



**ІНСТИТУТ  
ФІЗИКИ  
НАПІВПРОВІДНИКІВ  
ім. В.Є. ЛАШКАРЬОВА  
НАН УКРАЇНИ**

**1960–  
2020**







НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ  
ІНСТИТУТ ФІЗИКИ НАПІВПРОВІДНИКІВ  
ім. В.Є. ЛАШКАРЬОВА

ІНСТИТУТ  
ФІЗИКИ  
НАПІВПРОВІДНИКІВ  
ім. В.Є. ЛАШКАРЬОВА  
НАН УКРАЇНИ  
1960 – 2020

КИЇВ  
АКАДЕМПЕРІОДИКА  
2020



**Редакційна колегія:**

*О.Є. Беляєв* (голова), *В.П. Кладько* (заступник голови),  
*П.С. Смертенко* (відповідальний секретар), *В.С. Солнцев*, *Т.А. Кінько*, *Ю.П. Кияк*

**Рецензенти:**

*В.М. Порошин*, проф., д-р фіз.-мат. наук,  
Інститут фізики НАН України  
*М.Я. Валах*, проф., д-р фіз.-мат. наук, чл.-кор. НАН України,  
Інститут фізики напівпровідників ім. В.Є. Лашкарьова

*Рекомендовано до друку вченою радою Інституту  
фізики напівпровідників ім. В.Є. Лашкарьова НАН України  
(протокол від 04.09.2019 р. № 6)*

**Видання здійснено за кошти Цільової комплексної програми  
«Створення та розвиток науково-видавничого комплексу НАН України»**

I71 **Інститут фізики напівпровідників ім. В.Є. Лашкарьова НАН  
України. 1960—2020 / редкол.: О.Є. Беляєв (голова) та ін. ; НАН  
України, Інститут фізики напівпровідників ім. В.Є. Лашкарьова. —  
Київ : Академперіодика, 2020. — 290 с., 38 с. іл.**

ISBN 978-966-360-413-8

У монографії висвітлено історію створення Інституту фізики напівпровідників ім. В.Є. Лашкарьова НАН України, його розвиток, наукові школи, міжнародні зв'язки, прикладні напрями роботи та перспективи розвитку. Увагу зосереджено на шести наукових школах Інституту: фізики напівпровідників, теорії фізики напівпровідників, радіоспектроскопії, фізики поверхні напівпровідників, оптики і спектроскопії напівпровідників та оптоелектроніки. Наведено відомості про кожну школу, хронологію їх становлення й діяльності, наукові досягнення, відомості про зв'язки учитель — учень, співпрацю із закладами вищої освіти, окремих представників шкіл та вибрані роботи.

Для наукових працівників, викладачів і студентів закладів вищої освіти, що навчаються за спеціальністю «фізика та оптика напівпровідників», істориків науки.

УДК 061.6:537"1960/2020"(477)

---

---

## ПЕРЕДМОВА

У 2020 р. виповнюється 60 років з дня створення Інституту фізики напівпровідників ім. В.Є. Лашкарьова НАН України. Доки серед нас є кадрові співробітники Інституту, особисто знайомі з його фундаторами, доки є свідки етапів становлення Інституту, які пам'ятають як визначні віхи його розвитку, так і чимало важливих подробиць, створення історичного академічного видання є більш ніж актуальним.

Зміст книги базується переважно на архівних та наявних документах, особистих спогадах та офіційних відомостях про Інститут, архівних і особистих фотографіях, інформації з відкритих джерел. Розвиток Інституту збігся у часі з рухом «шістдесятників», основною ознакою якого була полеміка між фізиками та ліриками.

Під час опрацювання матеріалів виникали деякі труднощі мовного характеру. Річ у тім, що тривалий час документація велася переважно російською мовою, і тому не завжди просто було відтворювати окремі прізвища чи терміни українською мовою. А наукова термінологія доби українізації не завжди відповідала тій, яка усталилася згодом. Тому в написанні окремих прізвищ в українській транскрипції можуть виникати незначні різночитання.

Було також використано наукові статті, ювілейні книги до 25-річчя та 50-річчя Інституту, відомості Комітету з Державних премій України в галузі науки і техніки, рішення НАН України щодо присудження іменних премій НАН України, заснованих на честь видатних учених України, таких, наприклад, як Н.Д. Моргуліс, В.Є. Лашкарьов, С.І. Пекар та ін.

У виданні висвітлено історію створення Інституту напівпровідників Академії наук УРСР, його розвиток, наукові школи, міжнародні зв'язки, прикладні напрями роботи та перспективи розвитку. Увагу, головню, приділено шести науковим школам Інституту: фізики напівпровідників, теорії фізики напівпровідників, фізики поверхні напівпровідників, радіоспектроскопії, оптики та спектроскопії напівпровідників та оптоелектроніки. У розділах, присвячених цим науковим школам, наведено загальні відомості про кожен школу, їх характеристики та хронологію, становлення і діяльність, наукові досягнення, відомості про зв'язки учитель — учень, співпрацю із закладами вищої освіти, окремих представників шкіл та основні роботи.



Ця книга містить архівні матеріали, спомини, а також перелік публікацій науковців Інституту фізики напівпровідників ім. В.Є. Лашкарьова за час існування установи. Через обмежений обсяг видання матеріал викладено настільки повно, наскільки це було можливо. Наприклад, хронологія наукових шкіл мала б містити назви докторських і кандидатських дисертацій та роки захисту, бо саме ці роботи визначають суть, зміст і напрями розвитку шкіл. Однак відтворити картину в усіх подробицях виявилось непросто.

Також не вказано назви всіх публікацій науковців ІФН, усіх проектів, у яких вони брали участь, не розкрито наукову діяльність співробітників, які певний час працювали і захищалися в ІФН, а потім виїхали за кордон для роботи або постійного проживання (географія переміщення наукових кадрів Інституту охоплює США, Канаду, Мексику, Бразилію, Велику Британію, Німеччину, Францію, Італію, Польщу, Словаччину, Росію, Японію, Південну Корею, Китай, Ізраїль, Австралію та Нову Зеландію). Розповіді про всіх виявилось просто неможливо.

Сподіваємося, що зазначені прогалини зможуть заповнити наші послідовники, які гідно продовжать літопис нашої наукової альма-матер.

Безпосередню участь у написанні книги брали численні співробітники Інституту, які втілювали ідеї наукових шкіл. Вони зробили значний внесок не тільки у розвиток фізики напівпровідників в Інституті, а й у здобутки фізики та техніки напівпровідників і діелектриків, оптики, квантової електроніки та оптоелектроніки як в Україні і колишньому Радянському Союзі, так і в усьому світі.

Висловлюємо подяку співробітникам науково-організаційного відділу О.О. Скляренку, О.В. Ткаченко, Т.М. Рибалці, В.В. Пономаренко, З.В. Максименко, Є.М. Савчук (Синельник), Н.Д. Рябченко, Л.В. Добровольській та Л.М. Іващенко за допомогу у проведенні пошуку, обробці, підготовці та редагуванні архівних матеріалів книги, співробітникам відділу наукових кадрів і аспірантури А.Л. Яшиній, Г.І. Скляренко, Т.П. Голянді та Л.Є. Петрушенку за обробку, підготовку статистичної інформації щодо працівників та документів, що стосуються організаційного устрою Інституту.

Окрема подяка Юрію Михайловичу Ширшову за розширені спогади про діяльність Інституту в 60-ті роки. Вони, як і спогади Еммануїла Йосиповича Рашби, дуже стисло, проте емоційно та адекватно відобразили дух Інституту в усіх його проявах.

Особлива подяка О.П. Дімітрієву за історичний нарис з історії розвитку органічної електроніки в Інституті фізики напівпровідників ім. В.Є. Лашкарьова (розділ 11).

---

---

## ВСТУП

Інститут фізики напівпровідників ім. В.Є. Лашкарьова НАН України було створено в 1960 р. Тоді він був відомий як Інститут напівпровідників Академії наук УРСР. У 1992 р. ІН АН УРСР перейменували в Інститут фізики напівпровідників НАН України (ІФН НАН України). З 2002 р. Інститут носить ім'я свого першого директора академіка Вадима Євгеновича Лашкарьова.

За 60 років своєї історії Інститут подолав непростий шлях. Були на ньому перемоги і поразки, успіхи й невдачі. Усі вони тісно пов'язані з етапами розвитку економіки країни та епохою наукових відкриттів ХХ ст.

Інститут було створено як базову організацію для наукового супроводу та підготовки кадрів підприємств електронної промисловості СРСР та УРСР, зокрема Київського заводу напівпровідникових приладів. Основні завдання, поставлені урядом, полягали у створенні напівпровідникових дискретних приладів та пошуку нових ефектів взаємодії електромагнітного випромінювання з напівпровідниками.

Створення Інституту напівпровідників було як ніколи на часі, адже фізика напівпровідників вже вийшла у світі за межі маленьких лабораторій і започаткувала нові технології та нові галузі промисловості, а також сприяла мініатюризації радіотехнічної апаратури, яка до того періоду базувалася переважно на електронних лампах. Нобелівська премія з фізики 1956 р., присуджена Вільяму Бредфорду Шоклі, Джону Бардіну та Волтеру Хаузеру Браттейну за дослідження напівпровідників та відкриття транзисторного ефекту, дала старт для впровадження нової галузі промисловості в усьому світі.

У 50-ті роки ХХ ст. напівпровідникові матеріали викликали значний інтерес з огляду на їх широке застосування. Ці роки можна вважати добою народження сучасної фізики напівпровідників. І кожне подальше десятиліття ознаменовувалося певним висхідним витком розвитку (Беляєв, 2019).

60—70-ті роки ХХ ст. — період створення штучних матеріалів: інтеркаляційних сполук, двовимірних надґраток і гетероструктур, одновимірних квантових дротів і нульвимірних квантових точок (КТ).

У 80-ті роки ХХ ст. завдяки штучно створеним матеріалам було відкрито цілу низку фундаментальних ефектів — спостереження цілочислового і дробо-



вого квантового ефекту Холла, відкриття особливого стану двовимірних електронів, елементарні збудження яких є квазічастинками з дробовим зарядом.

90-ті роки — період зниженої розмірності, тобто перехід у квантовий світ нанометрових масштабів, що дозволило спостерігати фундаментальне квантове обмеження, явища інтерференції, одноелектронні явища тощо.

Початок ХХІ ст. ознаменувався відкриттям нового класу 2D-матеріалів: графену і споріднених одношарових сполук, розвитком міждисциплінарних досліджень.

Переглянувши перелік лауреатів Нобелівських премій з фізики та хімії, які підкреслили важливість цих наук у галузі фізики напівпровідників, оптики та оптоелектроніки та їх внесок у розвиток науки і техніки напівпровідників (див. Додаток 1), можна відзначити правильну спрямованість наукових розробок Інституту напівпровідників — фактично Інститут працює над усіма темами, які отримали Нобелівські премії. Наприклад, Сюдзі Накамура, з яким Інститут провів дослідження світлодіодів на основі нітриду галію упродовж 1998—1999 рр. (Sukach, 2001), отримав Нобелівську премію в 2014 р.

Слід відзначити незалежні від світових тенденцій дослідження властивостей напівпровідників та напівпровідникових структур у тогочасній Україні, здійснені, зокрема, в Інституті фізики такими науковцями, як О.Г. Гольдман, В.І. Ляшенко, В.Є. Лашкар'єв та С.І. Пекар (Гольдман, 1933, 1934; Ляшенко, 1938; Лашкар'єв, 1941а; Пекар, 1941а), які на той час представляли радянську науку, а також науковцем Ленінградської школи напівпровідників Б.Й. Давидовим (Давыдов, 1938а, 1938b, 1938с). З далеко не повного переліку посилянь видно, що українські науковці в 30—40-х роках ХХ ст. фактично вирішували ті самі завдання, що і майбутні Нобелівські лауреати Бардін, Браттейн та Шоклі. Так, якщо перша робота Бардіна та Браттейна була опублікована у 1948 р. (Bardeen, 1948), то роботи В.Є. Лашкар'єва, С.І. Пекара і В.І. Ляшенка вийшли у світ набагато раніше — у 1938—1941 рр. (Ляшенко, 1938; Лашкар'єв, 1941а, 1941b; Пекар, 1941а, 1941b, 1941с).

У 1938 р. Б.Й. Давидов та його співробітники запропонували дифузійну теорію випрямлення змінного струму за допомогою кристалічних детекторів, відповідно до якої воно виникає на межі між двома шарами провідників, що мають  $p$ - і  $n$ -провідність (Давыдов, 1937, 1938а, 1938b, 1938с, 1939). Згодом цю теорію було підтверджено і розвинуто в дослідженнях В.Є. Лашкар'єва, проведених у Києві в 1939—1941 рр. (Лашкар'єв, 1941а, 1941b). Він встановив, що по обидва боки запірного шару, розміщеного паралельно межі поділу мідь—оксид міді, знаходяться носії струму протилежних знаків (явище  $p$ — $n$ -переходу), а також те, що введення у напівпровідники домішок різко підвищує їх здатність проводити електричний струм. В.Є. Лашкар'єв відкрив і механізм інжекції (перенесення носіїв струму) — явища, що становить основу дії напівпровідникових діодів і транзисторів. Одно-

часно С.І. Пекар розвинув теорію контакту метал—напівпровідник (Пекар, 1941a, 1941b, 1941c), завдяки чому було досягнуто істотне просування в галузі сильних струмів через контакт: отримано точний розв’язок задачі й передбачений неординарний ефект — перехід у запірному шарі від режиму збіднення до режиму збагачення в міру зростання оберненого зсуву на контакті. Ці дослідження були перервані Другою світовою війною.

Після війни фізика напівпровідників в Україні розвивалася здебільшого в Інституті фізики АН УРСР, Київському університеті, Київському політехнічному інституті.

У 2014 р. фізиці напівпровідників виповнилося 100 років, оскільки формально вона розпочалася з роботи Йоганна Кенігсбергера (Königsberger, 1914). У ній німецький науковець класифікував тверді матеріали, розподіливши їх на метали, ізолятори та «змінні провідники».

### **Довідка про Й. Кенігсбергера**

*Кенігсбергер Йоганн Георг (Königsberger Johann Georg) (07.05.1874—03.12.1946) — німецький геофізик, мінералог, фізик, електрохімік. Народився у Гейдельберзі. У 1892—1897 рр. вивчав природничі науки і математику в Гейдельберзі, Берліні та Фрайбурзі. З 1897 р. працював у Берлінському та Фрайбурзькому фізичних інститутах. Вивчав електропровідні, оптичні та теплові властивості мінералів. Так, у 1906—1908 рр. виявив, що опір кремнію, а також деяких оксидів та сульфідів зменшується з температурою в усьому досліджуваному діапазоні, тоді як у титану і цирконію має явно виражений мінімум. Для пояснення він припустив, що носії струму з’являються в результаті дисоціації атомів на вільні електрони і позитивні іони, причому коли кількість електронів стане граничною, то поведінка цих матеріалів може бути уподібнена до металевих провідників. Отримав експонентну залежність провідності цих матеріалів від температури. Вважав, що властивості цих матеріалів характеризуються, крім того, великими значеннями термо-е.р.с. (електрорушійна сила) в парі з металом, невиконанням закону Ома на контакті з металом, чутливістю до світла. У 1914 р. опублікував перший в історії огляд властивостей подібних матеріалів. Класифікував за енергією активації тверді матеріали як метали, ізолятори та «змінні провідники», хоча ще в 1910 р. його учень Йозеф Вайс у докторській дисертації ввів термін «Halbleiter» (напівпровідник у сучасному значенні терміна). Хоча його ідея дисоціації була хибною, отримані ним залежності виявилися правильними (<http://www.eduspb.com/node/3114>).*

Світ відреагував на цей факт низкою робіт (Pearson, 1955; Hempstead, 1977; Dummer, 1983; Busch, 1989; Burgess, 2008). Історію розвитку науки про напівпровідники у світі та в Україні висвітлено також у низці статей та академічних видань (Korsun, 2018; Litovchenko, 2014; Баранський, 2019; Мачулін, 2010; Стріха, 2013a, 2013b, 2014; Храмов, 2006, 2015; Шустов, 2019). Проте первістки цієї науки з’явилися значно раніше. У Додатку 2 показано основні віхи розвитку науки про напівпровідники і техніки напівпровідників починаючи від перших експериментів.



Зародження науки про провідність матеріалів почалося у XVIII ст. з роботи Стефана Грея (Stephen Gray, 1679—1736, Англія), який відкрив явище електропровідності і розподілив усі матеріали на дві великі групи — провідники та ізолятори. Світочем науки про електрику на межі XVIII і XIX ст. став Алессандро Вольта, який подарував людству опис природи електрики і створив електричну батарею, що дало потужний поштовх дослідженням електричних явищ у різних речовинах.

Не можна не згадати таких відомих фізиків XIX ст., як: Т.Й. Зеебек (Thomas Johann Seebeck, 1770—1831, Німеччина), Г. Деві (Humphry Davy, 1778—1829, Англія), Г.С. Ом (Georg Simon Ohm, 1787—1854, Німеччина), М. Фарадей (Michael Faraday, 1791—1867, Англія), Ж. Пельтьє (Jean Charles Athanase Peltier, 1785—1845, Франція), О.Е. Беккерель (Alexandre Edmond Becquerel, 1820—1891, Франція), В. Томсон (William Thomson, 1827—1907, Англія), В. Сміт (Wilby Smith, 1828—1891, Англія), К. Браун (Karl Ferdinand Braun, 1850—1918, Німеччина), Е. Холл (Edwin Herbert Hall, 1855—1938, США), Ч.Е. Фріттс (Charles E. Fritts, 1850—1903, США), К.А. Вінклер (Clemens Alexander Winkler, 1838—1904, Німеччина), Дж.Дж. Томсон (Joseph John Thomson, 1856—1940, Англія), які заклали могутні підвалини для подальшого розвитку людства.

Отже, до початку XX ст. було відкрито п'ять властивостей, пов'язаних з напівпровідниками, але дуже мало досліджених: 1) від'ємний температурний коефіцієнт опору; 2) фотопровідність; 3) випрямлення; 4) фотоелектричний ефект; 5) електролюмінесценція.

XX століття ознаменувалося бурхливим розвитком фізики напівпровідників як науки та створенням на її основі індустріальних напрямів, а також визнанням V технологічного укладу (1975—2015) епоєю мікроелектроніки. Практично неможливо згадати тут усіх науковців, інженерів та винахідників, які сприяли науково-технічній революції у твердотільній електроніці. Тих, хто залишив найяскравіші віхи на цьому шляху, названо у Додатку 2.

Початок XXI ст. продовжив вектор мініатюризації напівпровідникових приладів до нанорозмірів. Одночасно виникла потреба у розробленні теорії нових фізичних явищ і процесів.

Інститут зробив свій гідний внесок у сучасну теорію напівпровідників та створення напівпровідникових приладів.

А починалося все так. У 1960 р. рішенням Ради Міністрів УРСР було створено Інститут напівпровідників Академії наук УРСР. У 1961 р. було прийнято Постанову ЦК КПРС і РМ СРСР «Про розвиток напівпровідникової промисловості», якою передбачалося будівництво заводів та НДІ у Києві, Мінську, Єревані, Нальчику та інших містах. У Києві завод та НДІ на Нивках було збудовано у 1964 р. Згодом великі напівпровідникові заводи було побудовано у Запоріжжі, Світловодську, Чернівцях, Івано-Франківську, Херсоні, Вінниці.

Створення у СРСР спеціалізованих інституцій, які опікувалися дослідженнями напівпровідників, відбувалося у такій хронологічній послідовності.

У 1918 р. з ініціативи учня Карла Рентгена — Абрама Федоровича Йоффе було створено Фізико-технічний інститут у Ленінграді (повна офіційна назва з січня 2012 р. — Федеральна державна бюджетна установа науки «Фізико-технічний інститут ім. А.Ф. Йоффе Російської академії наук», офіційна скорочена назва — ФТІ ім. А.Ф. Йоффе, також установа відома як Фізтех). Завдяки особистості Абрама Федоровича Йоффе цей Інститут став головним з дослідження напівпровідників у СРСР.

У Москві дослідженнями з фізики напівпровідників займався Фізичний інститут Академії наук СРСР (ФІАН), який було створено 28 квітня 1934 р. Очолив інститут С.І. Вавилов. Незабаром у ФІАНі з'явилися: Лабораторія фізичної оптики (Г.С. Ландсберг); Лабораторія люмінесценції (С.І. Вавилов); Лабораторія спектрального аналізу (С.Л. Мандельштам), Лабораторія фізики діелектриків (Б.М. Вул); Лабораторія теоретичної фізики (І.Є. Тамм). Керівники відділів ФІАНу незабаром стали головними «напівпровідниківцями» СРСР.

Другим інститутом у Москві, який брав участь у дослідженні напівпровідників, і третім на теренах колишнього СРСР був створений у 1946 р. Науково-дослідний інститут електронної оптики та інфрачервоної техніки (згодом — НДІ прикладної фізики, НДІ ПФ). Сьогодні це Державний науковий центр Російської Федерації — Федеральне державне унітарне підприємство «НВО «Оріон». ФДУП «НВО «Оріон» є єдиним у Росії державним науковим центром у галузі фотоелектроніки.

У 1962 р. було створено Інститут фізики напівпровідників Сибірського відділення Академії наук СРСР. Сьогодні його повна назва — Федеральна державна бюджетна установа науки «Інститут фізики напівпровідників ім. А.В. Ржанова».

У 1967 р. було створено Інститут фізики напівпровідників Литовської РСР у м. Вільнюс.

Цікаво, що саме наприкінці 50-х — на початку 60-х років ХХ ст. спеціалізовані інститути та фірми в галузі напівпровідників створювалися по всьому світу. Так, у США у 1957 р. було створено Shockley Semiconductor Laboratory (Beckman Instruments), у 1960 р. — Fairchild Semiconductor Corporation, у 1961 р. — Amelco, яка пізніше перетворилася на Teledyne Semiconductor, у 1964 р. — Union Carbide Electronics, у 1967 р. — Intel (Integral Electronics). У Європі крім відомих фірм, таких як Сіменс (Siemens) чи Філіпс (Philips), де є спеціалізовані відділи з вивчення властивостей та застосування напівпровідників, напівпровідниками опікувалися й опікуються, головню, університети. Наприклад, в Австрії Інститут мікроелектроніки створено при Віденському технічному університеті (Institute for Microelectronics, TU Wien).

Діють також спеціалізовані інститути при державних установах на кшталт нашої Академії наук. Так, у Франції (Гренобль) створено Інститут мікроелектроніки, електромагнетизму та фотоніки Національного центру наукових досліджень (Centre National de la Recherche Scientifique, CNRS). Інститут електроніки, мікроелектроніки та нанотехнологій (Institut d'électronique, de microélectronique et de nanotechnologie, IEMN) було створено у 1992 р. при Національному центрі наукових досліджень (CNRS) в університетському містечку типу «наукоград» університету міста Лілль. До сфери його досліджень входять фізика, електроніка, мікротехнології та нанотехнології. У Китаї було створено Інститут напівпровідників у Тяньцзині (1959) та Інститут напівпровідників Китайської академії наук (1960). Це далеко не повний перелік наукових центрів, лабораторій, кафедр при університетах.

Насамкінець наведемо думку «батька» фізики напівпровідників у СРСР А.Ф. Йоффе (вступ до книги «Фізика напівпровідників» (Йоффе, 1957)).

*Не менш швидкими темпами розвивається й теорія напівпровідників. Сотні наукових дослідників збагачують щомісяця наші знання про напівпровідники та наше розуміння про процеси, які відбуваються в них.*

*Величезне значення напівпровідників натеper і ті перспективи, які вони відкривають у майбутньому, потребують написання монографій і книг, які поширили б знання та досвід, напрацьований при вивченні застосування напівпровідників, серед широких кіл фізиків, хіміків, інженерів-електриків та теплотехніків.*



---

---

# Розділ 1

## ІСТОРІЯ СТВОРЕННЯ ІНСТИТУТУ НАПІВПРОВІДНИКІВ АКАДЕМІЇ НАУК УРСР

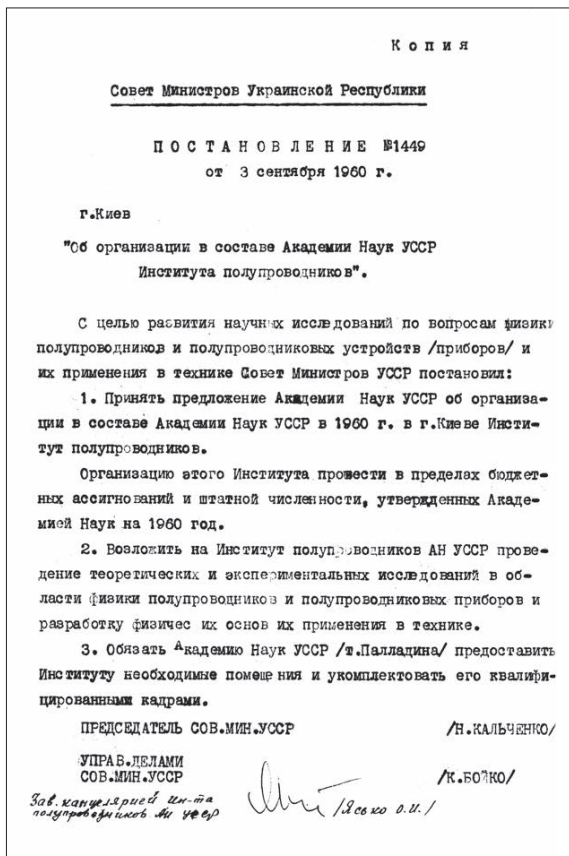
Інститут фізики напівпровідників ім. В.Є. Лашкарьова НАН України (перша назва — Інститут напівпровідників Академії наук УРСР, надалі — Інститут) створено у 1960 р. на базі відділів та лабораторій Інституту фізики АН УРСР на виконання Постанови Ради Міністрів УРСР від 3 вересня 1960 р. № 1449 «Про організацію у складі Академії наук УРСР Інституту напівпровідників» та Постанови Президії Академії наук УРСР від 7 жовтня 1960 р., протокол № 56, § 742. Виконувачем обов'язків директора Інституту напівпровідників АН УРСР було призначено академіка АН УРСР В.Є. Лашкарьова з наступним затвердженням його на цій посаді Загальними зборами АН УРСР (Інститут, 2010).

Вирішальне значення при цьому мало те, що в Інституті фізики АН УРСР на той час склалися наукові школи з фізики нерівноважних процесів у напівпровідниках і теорії напівпровідників, очолювані академіком АН УРСР проф. В.Є. Лашкарьовим та доктором фіз.-мат. наук, проф. С.І. Пекарем (серед заснованих НАН України премій імені видатних учених України є премії імені В.Є. Лашкарьова і С.І. Пекаря). Великий внесок у створення і організацію подальшої діяльності Інституту зробили також перші керівники науково-дослідних відділів і лабораторій, створених у 1960—1961 рр.: д-р фіз.-мат. наук М.Ф. Дейген, канд. фіз.-мат. наук М.П. Лисиця, д-р фіз.-мат. наук, проф. В.І. Ляшенко, канд. хім. наук І.Б. Мізецька, канд. фіз.-мат. наук О.Г. Міселюк, канд. фіз.-мат. наук Е.Й. Рашба, канд. техн. наук С.В. Свечніков, канд. фіз.-мат. наук О.В. Снітко, канд. фіз.-мат. наук Г.А. Федорус.

Згідно з Постановою Президії АН України від 30.12.1992 р. № 353, Інститут напівпровідників перейменовано на Інститут фізики напівпровідників.

Розпорядженням Кабінету Міністрів України від 25.12.2002 р. № 714-р «Про присвоєння Інституту фізики напівпровідників НАН України імені В.Є. Лашкарьова» і відповідною Постановою Президії НАН України від 04.02.2003 р. № 6 Інституту присвоєно ім'я В.Є. Лашкарьова.

З 1960 по 1970 р. першим директором Інституту був академік АН УРСР Вадим Євгенович Лашкарьов (1903—1974). З 1970 по 1990 р. Ін-



ститут очолював академік АН УРСР Олег В'ячеславович Снітко (1928—1990). З 1991 по 2003 р. директором Інституту був академік НАН України Сергій Васильович Свечніков, з 2003 по 2014 р. — академік НАН України Володимир Федорович Мачулін. З 2014 р. Інститутом керує академік НАН України Олександр Євгенович Беляв (Офіційний сайт).

**Передумови створення Інституту.** Створенню Інституту передувала низка як внутрішніх, так і зовнішніх чинників.

До зовнішніх чинників можна віднести бурхливий розвиток фізики і техніки напівпровідників у світі та створення випрямлячів на різних матеріалах, зокрема на закисі міді (купрум (I) оксид) та селені (Czochralski,

1918; Grondahl, 1927; Hilsch, 1938; Königsberger, 1914; Mott, 1939; Shockley, 1948; Wilson, 1932; Иоффе, 1933; Лашкарев, 1941, 1950; Пекар, 1941). Внутрішнім чинником стала потреба оборонної промисловості у портативних ефективних випрямлячах.

До вирішення цих завдань у 1950 р. було залучено відділ фізики напівпровідників ІФ АН УРСР на чолі з В.Є. Лашкарьовим. Розпочалися комплексні наукові дослідження в тісній співдружності як з інститутами Академії наук СРСР, так і з НДІ міністерств електронної промисловості та кольорової металургії. Було розроблено технологію вирощування кристалів германію та ефективні методи його очищення і легування, визначено розчинність і коефіцієнти дифузії електрично активних домішок, освоєно методи дослідження їх об'ємних і поверхневих характеристик, створено зразки діодів і тріодів, освоєно методи контролю стабільності параметрів напівпровідникових приладів у різних експлуатаційних умовах.

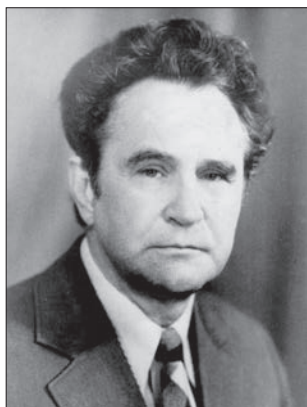
**Мета і основні наукові напрями нового Інституту.** Основною метою діяльності Інституту напівпровідників було дослідження взаємодії



Вадим Євгенович  
Лашкар'юв



Олег В'ячеславович  
Снітко



Сергій Васильович  
Свечніков



Володимир Федорович  
Мачулін



Олександр Євгенович  
Беляєв

електромагнітного випромінювання з твердим тілом. Для досягнення цієї мети було сформульовано профільні наукові напрями досліджень:

- теорія напівпровідників і напівпровідникових приладів;
- фотоелектричні і оптичні явища у напівпровідниках та їх застосування;
- електролюмінесценція у напівпровідниках;
- дія іонізуючих випромінювань на напівпровідники;
- електронні процеси на поверхні напівпровідників та їх зв'язок з явищами адсорбції і каталізу;
- напівпровідникова катодна електроніка;
- об'ємні електричні властивості напівпровідників і вплив на них домішок та структурних дефектів;



- розроблення і дослідження електричних властивостей неоднорідних напівпровідникових систем і створення на їх основі приладів;
- радіоспектроскопія напівпровідників;
- напівпровідникова металургія;
- хімія напівпровідників;
- напівпровідникові прилади та їх застосування.

На сучасному етапі основні наукові напрями діяльності Інституту такі:

- фізика напівпровідникових матеріалів і структур та їх діагностика;
- фізика поверхні, оптоелектроніка і фотоніка;
- ТГц- і ІЧ-функціональна напівпровідникова мікро- та нанофотоелектроніка;
- фізика і технологія сенсорних систем.

Перший штатний розпис Інституту напівпровідників було складено у лютому 1961 р.

Головною подією після створення Інституту напівпровідників стало заселення у 1962 р. новозбудованого корпусу Інституту по вул. Великій Китаївській, яку згодом було реконструйовано і названо проспектом Науки. Після цього Інститут почав розвиватися швидкими темпами.

---

---

## Розділ 2

# РОЗВИТОК ІНСТИТУТУ ФІЗИКИ НАПІВПРОВІДНИКІВ ІМ. В.Є. ЛАШКАРЬОВА НАН УКРАЇНИ

В Інституті фізики напівпровідників працювали і нині працюють відомі українські вчені, серед них сім академіків НАН України: О.Є. Беляєв, В.Є. Лашкар'юв (1903—1974), М.П. Лисиця (1921—2012), В.Ф. Мачулін (1950—2014), С.І. Пекар (1917—1985), С.В. Свечніков (1926—2017), О.В. Снітко (1928—1990); 12 членів-кореспондентів НАН України: М.Я. Валах, Є.Ф. Венгер, М.Ф. Дейген (1918—1977), В.П. Кладько, В.С. Лисенко, В.Г. Литовченко, Б.О. Нестеренко (1938—2003), П.Ф. Олексенко, Ф.Ф. Сизов, В.М. Сорокін, К.Б. Толпиго (1916—1998), М.К. Шейнкман (1929—2009).

Досягнення Інституту ґрунтуються на ефективній науковій, технічній, організаційній та кадровій політиці, що у різні періоди розвитку сприяло не тільки розробленню та впровадженню нових ідей, а й генеруванню піонерних досліджень.

### 2.1.

#### Періоди розвитку Інституту напівпровідників

**Період з 1960 по 1969 р.** Перше десятиріччя Інституту напівпровідників було присвячене переважно нарощуванню потенціалу: добору і підготовці наукових кадрів, освоєнню приміщення та комплектації обладнанням.

Згідно з Постановою Ради Міністрів УРСР від 3 вересня 1960 р. № 1449 «Про організацію у складі Академії наук УРСР Інституту напівпровідників», Постановою Президії Академії наук УРСР від 7 жовтня 1960 р., протокол № 56, § 742 та Наказом по Інституту напівпровідників № 9 від 8 лютого 1961 р., штат Інституту становив 115 осіб. Вже на кінець 1961 р. в Інституті працювали 224 чол., з них чотири доктори наук, 21 кандидат наук, 35 науковців без ступеня.

До адміністративного складу Інституту входило троє осіб, які фактично склали тріумвірат організаторів Інституту напівпровідників, — В.Є. Лашкар'юв (директор), О.Г. Миселюк (заст. директора) О.В. Снітко (вчений секретар).

Згодом цю трійку доповнили заступники директора М.Т. Костишин і О.В. Снітко, головний інженер І.А. Пузанов та головний енергетик А.В. Мартинов, який монтував електромережу корпусу Інституту на проспекті Науки.

Адміністративний склад Інституту напівпровідників на період 1961—1969 рр. був таким: директор — В.Є. Лашкарьов; заступники директора — О.Г. Міселюк, М.Т. Костишин, О.В. Снітко; ученими секретарями були О.В. Снітко (жовтень 1960 — вересень 1961), Ю.І. Горкун (жовтень 1961 — червень 1965), Ю.О. Тхорик (липень 1965 — грудень 1970); головний інженер — І.А. Пузанов; головний енергетик — А.В. Мартинов; старший бухгалтер — М.Я. Копенкін.

Співробітники Інституту поширювали дослідження з фізики і техніки напівпровідників поза його межі. Слід зазначити, що В.І. Ляшенко створив також лабораторії (деякі разом з В.Є. Лашкарьовим) в інших установах, зокрема: лабораторію контактних явищ у Київському державному університеті (незабаром її очолив проф. В.І. Стріха), лабораторію адсорбційних явищ у Львівському університеті (проф. Л.І. Іваньків), лабораторію шаруватих структур в Ужгородському університеті (проф. М.І. Довгошей, проф. Ю.В. Попик), лабораторії у Чернівецькому та інших університетах України.

Слід відзначити знакову подію не тільки для Інституту напівпровідників, а й для України та Радянського Союзу загалом — було створено першу в СРСР міжвідомчу лабораторію із заводом «Точелектроприлад». Керівником лабораторії став П.Ф. Олексенко. Згодом С.В. Свечніков узагальнить досвід цієї та наступних лабораторій у статті (Свечніков, 1980).

Інститут було створено на демократичних засадах, керівниками відділів стали знані у своїх наукових галузях вчені. Проте атмосфера в Інституті не завжди відповідала вимогам вільного розвитку науки.

**Зі спогадів Е.Й. Рашиби,  
професора Гарвардського університету (США),  
співробітника Інституту напівпровідників з 1960 по 1966 р.  
(Rashba, 2003)**

*На жаль, у нашому Інституті почали відбуватися зловісні зміни (1965 р.). Був призначений новий заступник директора. Ним став Максим Т. Костишин, який прийшов до нас з Наукового відділу ЦК, цитаделі мракобісся. У той час Лашкарьову вже було за 60, і його здоров'я сильно похитнулося. Ніхто не сумнівався, що Костишин прийшов, щоб у перспективі зайняти його місце. З професійної точки зору він був абсолютно не підготовлений. ...Єдине, що нас хвилювало, так це те, як він поведе себе найближчим часом і скільки часу у нас залишилося?*

*Першими жертвами завжди були студенти та молоді вчені, тому що вони найбільш уразливі. У нас був дуже хороший студент, Володимир І. Мельников, керівником диплома якого був Грибников. Це був справжній відмінник, який написав цікавий диплом з інжекції гарячих електронів у гетеропереході (Грибников, 1965).*



Тоді це була нова галузь, яка згодом почала розвиватися. На захисті диплома він отримав «3», єдина «3» у всій групі, а може, і перша в історії фізфаку. Навіть за найгірші дипломи не ставили нижче «4». Ніхто не сумнівався, що зроблено це було для того, щоб закрити йому доступ до аспірантури не тільки в університеті, а й взагалі. Чому? Це було важке питання. В університеті він не конфліктував, а отже, не мав ворогів. Не було проблем і з його громадянським та моральним обличчям. Батьки його були шкільними вчителями в невеликому містечку на кордоні України з Росією. ...Я думаю, це було проявом «червонокхмерської» ідеології, яка набрала сили на фізфаку університету: ненависть погано освічених та бездарних, але які зайняли високі пости завдяки належності до потужного партійного апарату, до тих, які і за освітою, і за професійною діяльністю були значно вищі за адміністраторів.

Ми прийняли Мельникова на посаду інженера, і він почав успішно працювати. Але незабаром в Інститут прийшов Костишин і звільнив Мельникова за «скороченням штатів». Це було аморально, до того ж незаконно, бо Мельников був молодим фахівцем, тому такий наказ можна було б оскаржити через суд. Мені довелося піти до Лашкарьова, і він відразу ж скасував наказ. ...

З новим заступником директора були й інші труднощі, але я не буду їх тут обговорювати. ...

Тим часом Патон [Борис Євгенович Патон, президент Академії наук УРСР] направив директиву, яка дала змогу Лашкарьову «створити умови для нормальної роботи доктора наук Е.Й. Рашиби». Коли ця директива прийшла в Інститут, почалася паніка. Її могли неправильно зрозуміти, а саме, що це Лашкарьов створював мені проблеми, і її міг використати Костишин для його негайної відставки. Тоді десяток активних кандидатів наук, експериментаторів і теоретиків написали листа до Лашкарьова, де висловлювали свою підтримку та довіру й просили вжити рішучих заходів у справі усунення Костишина, який згубно впливає на роботу Інституту. З цим листом Лашкарьов пішов до Патона, і Президія Академії зняла Костишина з посади заступника [директора]. Це був безпрецедентний випадок. Було призначено нового заступника директора, лояльного до Лашкарьова та його співробітників.

Кістяком наукових кадрів були вчені, що перейшли з Інституту фізики, насамперед академіки Вадим Євгенович Лашкарьов та Соломон Ісакович Пекар. Вони були спроможні виконувати поточні завдання і займатися перспективними дослідженнями.

Молоді наукові кадри залучалися з Київського державного університету (головно з фізичного та радіофізичного факультетів), Київського політехнічного інституту, Чернівецького державного університету, Запорізького та Ростовського університетів, Московського фізико-технічного інституту та ін.

**Зі спогадів Ю.М. Шишова,  
доктора фізико-математичних наук,  
співробітника Інституту напівпровідників з 1963 по 2003 р.**

58 років тому, у вересні 1962 року, в Київ приїхав невеликий десант студентів 5-го курсу фізико-математичного факультету Чернівецького держуніверситету.

*Шість фізиків і чотири математики. Їм належало провести два з половиною місяці на переддипломній практиці. Фізики — в новому Інституті напівпровідників, а математики — в сусідній будівлі Інституту кібернетики. На вокзалі усю нашу компанію зустрічав Микола Витрихівський, який встиг уже попрацювати в Інституті фізики і в'їхати в нову будівлю. Він доставив нас до місяця проживання — в гуртожиток УАСГН, а потім фізики пішли до ІН АН УРСР, а математики відповідно до ІК АН УРСР. Ваш покірний слуга був серед фізиків. Ми опинилися перед новенькою будівлею з червоної цегли з дзеркальними вікнами, дубовими вхідними дверима і свіжопофарбованими панелями. Відразу за входом перед нами відкрилося величезне лобі з письмовим столом у глибині, де за прекрасним канцелярським столом сиділа референт — чарівна молода Галина Дорофіївна Чепіль. (Через багато років її зачіску скопіює Юлія Тимошенко, але тоді цього ніхто не знав...) На дверях директорського кабінету справа — табличка «Академік Лашкарьов»; ліворуч скромніші двері з табличкою «Вчений секретар». Тоді ним був Юрій Іванович Горкун. Ось вони-то з Галиною Дорофіївною і розподілили нас по робочих місцях — когось у відділ № 3 до В.Є. Лашкарьова, когось у відділ № 4 до Г.А. Федоруса, когось в інші відділи, а мене направили у відділ № 9 (В.І. Ляшенко), точніше, до Володимира Григоровича Литовченка, до кімнати, де сиділи Горбань, Серба і Ковбасюк. Ми про щось говорили в перший день, а на завтра виявилось, що мене потрібно перенаправити у відділ № 10 до О.В. Снітка. Так я потрапив у підпорядкування до Віктора Євгеновича Примаченка.*

**Період з 1970 по 1979 р.** На 1970 р. штатний склад ІФН становив 546 осіб, серед яких 12 докторів наук, 61 кандидат наук, 99 науковців без ступеня.

У цей період відбувалися зміни в адміністративному складі Інституту. Посаду директора обіймав О.В. Снітко; заступниками директора були Є.А. Сальков, Ю.О. Тхорик (з грудня 1970), В.А. Стасевич (із загальних питань); ученими секретарями працювали Л.І. Даценко (грудень 1970 — червень 1974), Ю.П. Городничий, А.В. Прохорович (червень 1978 — березень 1991); головні інженери — В.А. Стасевич, І.О. Позняк, А.В. Стадник; головний електрик — А.В. Мартинов; інженер з техніки безпеки — А.В. Кравець; головний бухгалтер — А.С. Федорченко.

Цей час ознаменувався кількома значущими для розвитку Інституту напівпровідників подіями:

- заселенням у 1972 р. нового, так званого «радіаційного», корпусу Інституту;
- створенням у 1974 р. нового міжвідомчого відділу з НДІ ПФ (Москва) (керівник — Є.А. Сальков);
- виділенням у 1974 р. фінансування та земельної ділянки на Теремках під розвиток наукового напрямку «Оптоелектроніка». Було досягнуто домовленості з В.М. Глушковим, директором Інституту кібернетики АН УРСР, про передачу фінансів та земельної ділянки Інституту кібернетики АН УРСР з тим, що коли ці фінанси будуть освоєні, корпус ІК АН УРСР на

проспекті Науки, 41 буде передано Інституту напівпровідників АН УРСР для розвитку оптоелектроніки;

- створенням у 1975 р. СКТБ (Постанова Президії АН УРСР від 15.05.1975 р. № 196) (керівник — Л.Й. Зарубін) на базі двох підрозділів: відділу № 20 Інституту та госпрозрахункового дослідного виробництва, загальною кількістю 193 працівники.

Завдання СКТБ:

- забезпечення дослідно-конструкторських робіт;
- відпрацювання новітніх технологічних процесів;
- випуск малими партіями напівпровідникових приладів за розробками ІН АН УРСР;

- впровадження унікальних напівпровідникових приладів у народне господарство;

- виробничо-технічне забезпечення експериментальної бази ІН АН УРСР;

- освоєння під СКТБ колишніх корпусів Інституту кібернетики по вул.

Лисогірській;

- створення кріогенної станції та мережі рідкого гелію.

**Період з 1980 по 1989 р.** був також багатим на значущі для розвитку Інституту напівпровідників події:

- створено Відділення оптоелектроніки з фінансуванням окремим рядком у бюджеті Інституту;

- створено наприкінці 1980-х років Херсонський відділ Відділення оптоелектроніки (керівник — І.Є. Марончук);

- освоєно, починаючи з 1984 р., корпус Інституту кібернетики;

- створено станцію рідкого водню;

- розпочато з 1984 р. автоматизацію експериментів;

- сформовано групу автоматизації наукового експерименту та наукових розрахунків з ініціативи та за сприяння В.С. Лисенка. Керівником групи було призначено В.П. Соболевського. До групи входили також О.В. Шкіль, Г.П. Ольховик, А.Й. Ланда, В.М. Торбін. Неформальною автоматизацією наукового експерименту займався науковець В.Б. Попов. Створення цієї групи започаткувало комплексне впровадження сучасних інформаційних технологій у роботу наукових відділів Інституту. Завдяки спільній роботі науковців-фізиків та ІТ-фахівців було створено автоматизований комплекс для вимірювання та обробки отриманих експериментальних даних;

- з метою підвищення ІТ-кваліфікації співробітників Інституту та прискорення обчислень у 1986 р. було створено термінальний клас — внутрішню мережу моніторів з доступом до розрахункового серверу, який став осередком навчання у сфері інноваційних технологій науковців Інституту. Ядром цього осередку були В.І. Шека, А.О. Климов та Л.В. Моздор.

На 1980 р. штат ІФН становив 687 осіб, з них 23 доктори наук, 144 кандидати наук, 195 науковців без ступеня.



Адміністративний склад Інституту напівпровідників на період 1980—1989 рр. був таким: директор — О.В. Снітко; заступники директора — Б.О. Нестеренко, В.С. Лисенко, Ю.О. Тхорик, С.В. Свечніков, В.М. Климін (із загальних питань); учений секретар — А.В. Прохорович (червень 1978 — березень 1991); головні інженери — І.О. Позняк, М.І. Платонов, В.Г. Степанов, В.В. Пугач; головний електрик — А.В. Мартинов; інженер з техніки безпеки — М.І. Платонов; головні механіки — В.М. Бондаренко, А.В. Лобунець; головний бухгалтер — А.С. Федорченко.

Адміністративний склад Відділення оптоелектроніки Інституту напівпровідників на період 1980—1989 рр.: керівник Відділення, заступник директора Інституту — С.В. Свечніков; учений секретар — А.К. Смовж (по 1987), П.С. Смертенко (з 1987 по 1999); головний інженер — П.С. Смертенко (по 1985), А.М. Іванов (з 1985 по 1988), М.Ю. Гусев (з 1988 по 1991).

### ***Зі спогадів М.В. Сопінського, старшого наукового співробітника***

*За роки роботи в 1980—2019 рр. як рядовий співробітник я відчув на собі найбільший позитивний ефект від роботи не головних інженерів, а головного механіка Анатолія Васильовича Лобунця. При ньому і під його безпосереднім контролем у нас переварювали з'єднання батарей опалення, регулювали їх температуру (вдень вони були теплішими, а ввечері і на вихідних прохолоднішими). Також я бачив, як при ньому виконувалося прочищення дощової каналізації у дворі і робилося ще багато конкретних речей (з позитивним ефектом, зазначу, на відміну від результатів деяких інших керівників нашого технічного господарства).*

**Період з 1990 по 1999 р.** У ці роки було реорганізовано наукову структуру Інституту. Згідно з Постановою Президії АН України від 30.12.1992 р. № 353 Інститут напівпровідників було перейменовано на Інститут фізики напівпровідників. Усі структурні наукові підрозділи Інституту було об'єднано у відділення за тематикою науково-дослідних робіт. Це дозволило значно збільшити наукові колективи, об'єднані спільною тематикою, зробити їх більш незалежними і самостійними у виборі напряму наукового пошуку, експертизі наукової продукції, атестації кадрів, концентрації сил і ресурсів на найактуальніших проблемах. Спочатку було реорганізовано такі відділення:

- теорії напівпровідників;
- оптики та спектроскопії;
- оптоелектроніки.

А згодом створено ще три відділення:

- фізико-технологічних проблем напівпровідникової ІЧ-техніки;
- структурного і елементного аналізу напівпровідникових матеріалів і систем;
- технології і матеріалів сенсорної техніки.

У 1991 р. було відкрито комп'ютерний клас, оснащений персональними комп'ютерами, створено локальну мережу для обміну інформацією між співробітниками Інституту й доступу до Інтернету, що дало поштовх розвитку інформаційних технологій в Інституті та сприяло переходу на новий рівень інформаційних технологій.

У 1998 р. Інститут відвідали Президент України Л.Д. Кучма і президент НАН України Б.Є. Патон. Вони дали високу оцінку діяльності Інституту і на законодавчому рівні підтримали його ініціативи щодо організації технопарку та впровадження низки розробок, зокрема світлосигнальної апаратури (світлофори і т. ін.) нового покоління на базі енергоощадних над'яскравих світлодіодів.

Було створено технопарк «Напівпровідникові технології і матеріали, оптоелектроніка та сенсорна техніка», який став одним з перших трьох: два інших було створено при Інституті електрозварювання ім. Є.О. Патона та Інституті монокристалів.

На 1990 р. штат ІФН становив 836 осіб, серед них 62 доктори наук, 200 кандидатів наук, 199 науковців без ступеня.

Адміністративний склад Інституту напівпровідників на період 1990—1999 рр. був таким: директор — О.В. Снітко (до 1991), С.В. Свечніков (з 1991 по 2003); перший заступник директора — Є.Ф. Венгер; заступники директора — І.В. Прокопенко, П.Ф. Олексенко, М.І. Сипко (із загальних питань); учений секретар — О.І. Власенко (з 1991 по 2003); головні інженери — В.В. Пугач, О.М. Міхнов; головний електрик — Л.П. Семенченко; інженер з техніки безпеки — В.Г. Степанов; головний бухгалтер — Н.Г. Березинець.

Адміністративний склад Відділення оптоелектроніки Інституту напівпровідників на період 1990—1999 рр.: керівник Відділення, заступник директора Інституту — С.В. Свечніков; учений секретар — П.С. Смертенко (з 1987 по 1999); головний інженер — М.Ю. Гусев (з 1988 по 1991), К.В. Костюкевич (з 1991 по 1995), Ю.І. Федоренко (з 1995 по 1999).

**Період з 2000 по 2009 р.** У 2002 р., згідно з Розпорядженням Кабінету Міністрів України від 25.12.2002 р. № 714-р, Інституту було присвоєно ім'я В.Є. Лашкарьова.

Директором Інституту в 2003 р. став академік НАН України Володимир Федорович Мачулін.

На 2000 р. штат ІФН становив 645 осіб, з них 81 доктор наук, 167 кандидатів наук, 101 науковець без ступеня.

Адміністративний склад Інституту напівпровідників на період 2000—2009 рр. був таким: директор — С.В. Свечніков (до 2003), В.Ф. Мачулін (з 2003); перший заступник директора — Є.Ф. Венгер (до 2003), заступники директора — О.Є. Беляев (з 2003), І.В. Прокопенко (до 2003), О.І. Власенко (з 2003), П.Ф. Олексенко, М.І. Сипко (із загальних питань); учений сек-

ретар — О.І. Власенко (1991 по 2003), В.М. Томашик (з 2003); головний електрик — Л.П. Семенченко; інженер з техніки безпеки — В.Г. Степанов; головний механік — О.М. Колмаков; головний бухгалтер — О.І. Зубань.

Адміністративний склад Відділення оптоелектроніки Інституту напівпровідників на період 2000—2009 рр. був таким: керівник Відділення, заступник директора Інституту — С.В. Свечніков; учений секретар — Л.В. Зав'ялова (з 2000 по 2019); головний інженер — І.Д. Кушнеров (з 2000 по 2019).

**Період з 2010 по 2019 р.** У цей період різко погіршилися умови фінансування науки в Україні загалом і Національної академії наук зокрема. Це потребувало перебудови внутрішньої структури Інституту та скорочення штатів.

Так, було видано Наказ № 218 від 4 травня 2016 р., згідно з яким було внесено зміни до структури та штатного розпису Інституту в межах затверджених обсягів фінансування. Скорочення чисельності працівників, переведення на інші посади та зміни умов праці співробітників Інституту було здійснено з дотриманням норм КЗпП України, Галузевої угоди між НАН України і профспілкою працівників НАН України та відповідно до рішення вченої ради Інституту № 6 від 21 квітня 2016 р.

На 2010 р. штат ІФН становив 763 особи, серед яких 87 докторів наук, 207 кандидатів наук, 208 науковців без ступеня.

Адміністративний склад Інституту напівпровідників на період 2010—2019 рр. був таким: директор — В.Ф. Мачулін (до 2014), О.Є. Беляєв (з 2014); перший заступник директора — В.П. Кладько; заступники директора — В.П. Мельник, В.М. Сорокін, М.І. Сипко (із загальних питань); учений секретар — В.М. Томашик (з 2003); головний інженер — О.А. Стадник; головний електрик — С.А. Ківенко; інженер з техніки безпеки — О.М. Шерстюк; головний механік — О.М. Колмаков; головний бухгалтер — О.І. Зубань.

### **Ліквідація наслідків аварії на Чорнобильській атомній станції**

Окремою й надзвичайно важливою сторінкою в історії Інституту була участь його співробітників у 1986—1987 рр. у ліквідації наслідків аварії на Чорнобильській атомній електростанції. Про це можна написати об'ємну книгу, бо кожен з учасників тих подій є справжнім героєм, чия біографія і наукові здобутки займатимуть не один десяток сторінок.

Ось перелік співробітників Інституту — ліквідаторів наслідків аварії на ЧАЕС: Алейніков Андрій Борисович (17 діб), Артамонов Віктор Васильович (53 доби), Богославський Георгій Євгенович (15 діб), Гурєєв Анатолій Миколайович (20 діб), Конін Костянтин Петрович (45 діб), Корицький

Микола Іванович (14 діб), Лисенко Володимир Сергійович (37 діб), Мацас Євген Петрович (10 діб), Попов Вадим Борисович (31 доба), Сердега Борис Кирилович (65 діб), Турчаніков Віктор Іванович (30 діб), Шапар Володимир Миколайович (37 діб), Яшина Адель Людвігівна (34 доби).

Наведемо лише кілька епізодів ліквідації наслідків цієї жахливої трагедії за участю наших колег.

*Епізод 1. Дозиметричний контроль.* А.М. Гурєєв був сертифікованим дозиметристом в Інституті напівпровідників і добровільно одним з перших вирушив досліджувати радіаційний стан будівлі ЧАЕС після аварії. Працювали майже без захисних засобів, лише з респіраторами і дозиметрами, проте радіаційну карту було складено, що дало змогу приймати професійні рішення щодо першочергових заходів із захисту ліквідаторів аварії. На превеликий жаль, Анатолій Миколайович отримав занадто велику дозу опромінення і першим з ліквідаторів — співробітників Інституту пішов з життя у 1987 р.

*Епізод 2.* У СКТБ Інституту напівпровідників було розроблено і виготовлено 24-канальний багатофункціональний прилад для контролю за технологічними параметрами в автоматизованих установках. Саме цей прилад став у пригоді для моніторингу за температурним режимом в окремих ділянках будівлі ЧАЕС. А.Б. Алейніков, Г.Є. Богославський, Є.П. Мацас, В.Б. Попов та В.І. Турчаніков першими налагодили роботу приладу і розпочали моніторинг гарячих точок у зоні ЧАЕС.

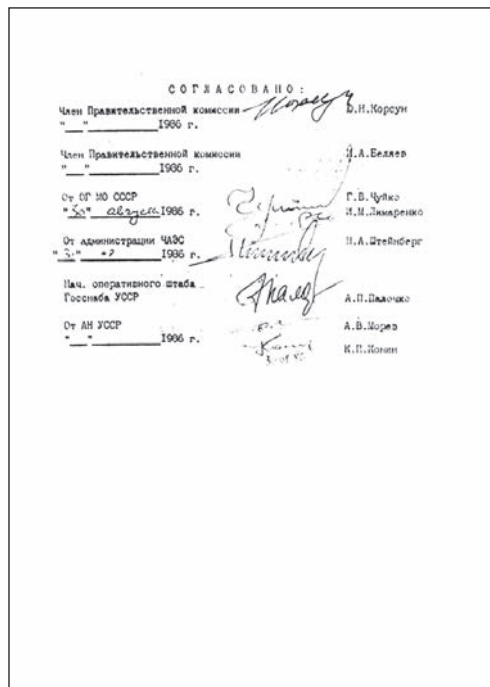
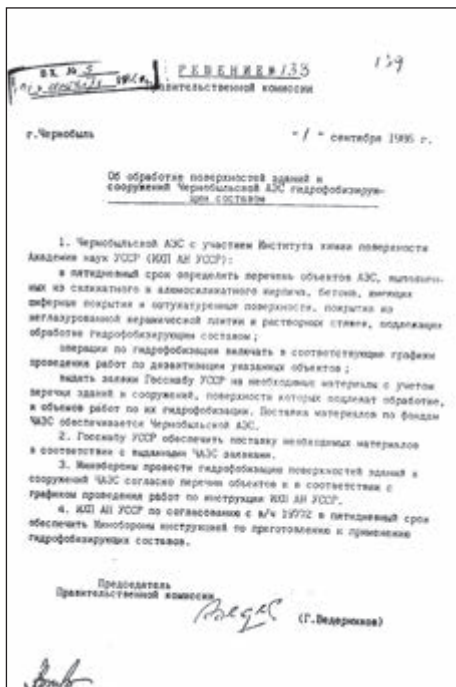
*Епізод 3.* Десант співробітників Інституту працював у штабі з ліквідації наслідків аварії на ЧАЕС протягом 37 діб у 1987 р. Керівником штабу був В.С. Лисенко, разом з ним працювали В.М. Шапар, А.Л. Яшина, В.О. Гусєв, В.В. Пугач та ін. У цей час сталася відмова системи моніторингу в розвалі реактора. Як з'ясувалося, місце відмови було саме в активній зоні. Незважаючи на вкрай несприятливі і загрозливі умови — темрява, дуже висока радіоактивність, перепони розвалу тощо, В.М. Шапар знайшов і усунув несправність. Згодом йому, на жаль, довелося зіткнутися з серйозними проблемами зі здоров'ям і бездушністю офіційної медицини.

*Епізод 4.* Група науковців Академії наук УРСР, серед яких був і співробітник Інституту напівпровідників К.П. Конін, у 1986 р. виконували роботи зі зв'язування пилу та усунення вторинного радіаційного забруднення об'єктів ЧАЕС методом гідрофобізації. Завдяки попереднім широкомасштабним випробуванням цей метод, згідно з подальшим Рішенням урядової комісії від 1 вересня 1986 р. № 133, було поширено на всі об'єкти ЧАЕС та зони відчуження. Ця робота локалізувала радіоактивне забруднення та запобігла його розповсюдженню.

В Інституті фізики напівпровідників створено і діють кілька центрів.

1. Центр випробувань та діагностики напівпровідникових джерел світла та освітлювальних систем на їх основі ІФН ім. В.Є. Лашкарєва НАН





Рішення урядової комісії від 01.09.1986 № 133

України, керівник — А.В. Рибалочка, канд. техн. наук, завідувач лабораторії відділу № 5 (з 1 грудня 2014 р.).

2. Центр випробувань фотоперетворювачів та батарей фотоелектричних (ЦВФБФ) ІФН ім. В.Є. Лашкарьова НАН України, керівник — В.П. Костильов, проф., д-р фіз.-мат. наук, завідувач лабораторії відділу № 9. Цей Центр внесено до Державного реєстру наукових об'єктів, що становлять національне надбання, відповідно до Розпорядження Кабінету Міністрів України від 28.08.2013 р. № 650. Він є єдиною в Україні атестованою уповноваженими органами Держспоживстандарту на підставі Закону України «Про метрологію і метрологічну діяльність» вимірювальною лабораторією, акредитованою на технічну компетентність і незалежність з правом проведення вимірювань ряду важливих фотоелектричних, фотоенергетичних, фототехнічних і спектральних характеристик сонячних елементів, модулів і батарей.

Стендова база Центру — унікальне метрологічно атестоване Національним науковим центром України «Інститут метрології» обладнання, розроблене і виготовлене спеціалістами відділу фізико-технічних основ напівпровідникової фотоенергетики ІФН спільно з фахівцями Спеціального конструкторсько-технологічного бюро з дослідним виробництвом

ІФН. Стендова база Центру дає змогу проводити випробування з використанням штучних імітаторів сонячного випромінювання, так і в натурних умовах при природному сонячному освітленні. Обладнання Центру дає можливість проведення незалежного і компетентного визначення низки фотоелектричних, фотоенергетичних, фототехнічних та спектральних характеристик фотоперетворювачів, фотосенсорів, сонячних елементів, модулів і батарей та інших фоточутливих напівпровідникових приладів, а також інших характеристик матеріалів, на основі яких вони створюються.

3. Науково-технологічна лінійка для фізико-технологічних досліджень та серійного виробництва монокристалів германію різної форми та розмірів, керівник — Г.С. Пекар, проф., д-р фіз.-мат. наук, завідувач лабораторії відділу № 3. Унікальна науково-технологічна лінійка дає змогу виробляти до 500 кг на рік монокристалічного германію для виготовлення приладів інфрачервоної оптики спеціального призначення для посилення обороноздатності держави.

4. Центр колективного користування приладами (ЦККП). Інститут надає послуги з доступу до обладнання ЦККП з метою проведення необхідних досліджень і вимірювань для будь-яких підприємств або організацій м. Києва та Київської області.

В Інституті використовують п'ять об'єктів регіонального рівня:

- обладнання для високороздільної X-променевої дифрактометрії;
- обладнання для раманівсько-люмінесцентної субмікронної спектроскопії;
- комплекс сканувальної зондової мікроскопії;
- вимірювальний комплекс для експресного контролю напівпровідникових матеріалів і нанорозмірних приладів;
- комплекс мас-спектрометричного аналізу.

Роль і значення обладнання ЦККП в регіональному вимірі полягає в наданні науково-технічних послуг підприємствам та організаціям регіону. Було забезпечено його технічне переоснащення та підвищення енергоефективності в галузі житлово-комунального господарства та охорони довкілля.

**На початок 2020 р.** в Інституті працюють 624 особи, зокрема один академік, 9 членів-кореспондентів, 69 докторів наук (серед них 39 професорів), 194 кандидати наук, 197 науковців без ступеня.

Дослідження і розробки здійснюють за такими основними науковими напрямами:

- фізика напівпровідникових матеріалів і структур та їх діагностика;
- фізика поверхні, оптоелектроніка і фотоніка;
- ТГц- і ІЧ-функціональна напівпровідникова мікро- та нанофотоелектроніка;
- фізика і технологія сенсорних систем.

За цими напрямками працюють усі науково-дослідні підрозділи: 16 відділів та 18 лабораторій, які очолюють переважно доктори наук.

Недоліки у менеджменті науки в СРСР та постсоціалістичній Україні дуже влучно відзначив Е.Й. Рашба.

**Зі спогадів Е.Й. Рашби,  
професора Гарвардського університету, США,  
співробітника Інституту напівпровідників з 1960 по 1966 р.  
(Rashba, 2003)**

*Тоді [1950 р.] це був невеликий Інститут фізики в центрі міста. Тут працював ряд вчених, чий імена пов'язані з науковими результатами, які залишили глибокий слід у фізиці конденсованої речовини. Тепер тут [1980 р., проспект Науки] було п'ять величезних фізичних інститутів, деякі в 10 разів більші за свого прабатька. Мені здається, капіталовкладення могли б бути скромнішими, а результати більш вражаючими, якби в роботі керувалися професійними критеріями, а не директивами місцевої партійної бюрократії. Будь-яке порушення наукових критеріїв коштує дуже дорого.*

## 2.2. Наукові школи Інституту фізики напівпровідників ім. В.Є. Лашкарьова

Сучасна наукова школа є неформальною творчою спільнотою дослідників різних поколінь високої наукової кваліфікації на чолі з науковим лідером у певному науковому напрямі, об'єднаних однаковими підходами до розв'язання проблеми, стилем роботи й мислення, оригінальністю й новизною ідей та методів реалізації дослідницької програми, яка досягла значних наукових результатів, здобула авторитет і громадське визнання у цій галузі знання (Храмов, 2006, 2015, 2017). Автор зазначає, що найбільш плідно група чи колектив дослідників на чолі з науковим лідером функціонують у таких структурах: науковий лідер — кафедра ВНЗ — інститут чи відділ (лабораторія) — семінар; науковий лідер — кафедра ВНЗ — семінар; науковий лідер — інститут чи відділ (лабораторія) — семінар. Вони сприяють залученню творчої молоді до науки, виступаючи своєрідними системами добору, підготовки та виховання дослідників.

Автор також підкреслює, що наукова школа – це найяскравіший вияв колективної форми творчості під безпосереднім ідейним та практичним керівництвом видатного вченого й учителя, який живить цей колектив науковими ідеями і визначає методи та зміст робіт, що проводяться в школі. Вона — охоронець набутих традицій, наукової «ідеології», концентрований досвід низки поколінь, своєрідна естафета передання знань у науці. Школа «зосереджує» величезну творчу енергію вчених, координує їхню діяльність у процесі наукового пошуку, максимально сприяє розкриттю творчих зді-

бностей молодих учених, їх вихованню й перетворенню на зрілих дослідників, ініціює нові «точки росту» науки та напрямів, сприяє їх становленню.

Наукові школи вирізняються методами та стилем досліджень, підходом до розуміння явищ, науковою ідеологією («духом школи»), творчою атмосферою, сприятливим мікрокліматом, традиціями наступництва, координацією зусиль науковців, зародками нових точок росту науки та наукових напрямів, осередками концентрації творчої енергії, розширеним відтворенням наступних поколінь дослідників.

Обов'язковими ознаками успішної наукової школи є наявність фундаментальної ідеї, наукової програми, колективу однодумців, доброзичливість дискусій, демократичність та наукова принциповість, взаємна повага та вимогливість, відданість науці та науковий ентузіазм. Для успішності наукової школи обов'язковим є тісний зв'язок із закладами вищої освіти та промисловими підприємствами.

Слід також додати якість семінарів та стиль організації наукових конференцій.

В Інституті фізики напівпровідників ім. В.Є. Лашкарьова історично склалися шість наукових шкіл: фізики напівпровідників, теорії напівпровідників, радіоспектроскопії, фізики поверхні напівпровідників, оптики і спектроскопії та оптоелектроніки. Найбільше суперечок викликає персоналізація наукових шкіл, особливо школи фізики поверхні напівпровідників. Упродовж 30 років ця школа носила ім'я академіка НАН України Олега В'ячеславовича Снітка. Віддаючи данину поваги значному внеску Олега В'ячеславовича у розвиток як Інституту напівпровідників, так і наукової школи фізики поверхні напівпровідників, слід зазначити, що піонером цього наукового напрямку є Василь Іванович Ляшенко, чий внесок у розвиток фізики поверхні напівпровідників був визначальним. Не менш значним є внесок Володимира Григоровича Литовченка. Тому цій школі ми дали ім'я трьох науковців: школа фізики поверхні напівпровідників В.І. Ляшенка, О.В. Снітка та В.Г. Литовченка (див. розд. 6).

Зважаючи на вищесказане та беручи до уваги розмитість контурів наукових шкіл, у цій книзі до певних наукових шкіл буде віднесено науковців, які захищали кандидатські дисертації під керівництвом лідерів наукових шкіл, їх учнів чи учнів учнів або докторські дисертації за консультацією вищеназваних науковців.

Слід відзначити також взаємовплив наукових шкіл як завдяки переходам учених з однієї наукової школи до іншої всередині Інституту напівпровідників, так і переходам на роботу в Інститут напівпровідників науковців з інших інститутів чи закладів вищої освіти.

Збагачення ідеями наукових шкіл Інституту напівпровідників відбувалося і відбувається також у результаті співпраці науковців з різних наукових шкіл, у тому числі й закордонних.



Наведемо лише кілька прикладів, які не відображують повної картини мультикомплексної багатофункціональної синергетичної співпраці та взаємозбагачення шкіл.

Г.О. Сукач, д-р фіз.-мат. наук, академік АН вищої школи, починав роботу під керівництвом В.Г. Литовченка та В.О. Зуєва (школа фізики поверхні), після захисту кандидатської дисертації деякий час працював в Інституті паперової промисловості, після повернення до ІФН працював з С.В. Свечніковим та П.Ф. Олексенком (школа оптоелектроніки).

Ю.М. Ширшов, д-р фіз.-мат. наук, починав роботу під керівництвом О.В. Снітка та В.А. Тягая (школа фізики поверхні), після захисту кандидатської дисертації деякий час працював в Інституті напівпровідникових приладів, після повернення до ІФН працював з С.В. Свечніковим (школа оптоелектроніки).

В.А. Стерлігов, д-р фіз.-мат. наук, починав роботу під керівництвом В.А. Тягая (школа фізики поверхні), після захисту кандидатської дисертації деякий час працював в Інституті напівпровідникових приладів, після повернення до ІФН працював з С.В. Свечніковим (школа оптоелектроніки).

О.М. Зюганов, д-р фіз.-мат. наук, починав роботу під керівництвом С.І. Пекаря та К.Б. Толпиго (школа теорії фізики напівпровідників), потім на прохання С.В. Свечнікова перейшов до відділу мікроелектроніки (школа оптоелектроніки).

В.К. Малютенко, д-р фіз.-мат. наук, починав роботу під керівництвом В.Є. Лашкарьова (школа фізики напівпровідників), після захисту кандидатської дисертації деякий час працював у Президії АН УРСР заступником головного вченого секретаря, після створення Відділення оптоелектроніки працював з С.В. Свечніковим (школа оптоелектроніки).

В.В. Вайнберг, д-р фіз.-мат. наук, починав роботу під керівництвом Ф.М. Воробкала та Л.Й. Зарубіна (школа фізики напівпровідників), невдовзі після захисту кандидатської дисертації перейшов до Інституту фізики НАН України, де захистив докторську дисертацію і співпрацював з В.М. Порошиним.

О.М. Камуз, д-р фіз.-мат. наук, починав роботу в Інституті фізики НАН України, де захистив кандидатську дисертацію, згодом перейшов до ІФН, де працював з П.Ф. Олексенком та С.В. Свечніковим (школа оптоелектроніки).

В.П. Папуша, канд. техн. наук, кандидатську дисертацію захистив у Москві під керівництвом М.Г. Басова, після переходу до ІФН співпрацює з Г.С. Пекарем (школа фізики напівпровідників).



Перший корпус Інституту напівпровідників (проспект Науки, 45). 1970-ті роки



Перший корпус Інституту напівпровідників. 2018 р.



Праворуч — будівля Обчислювального центру АН УРСР по вул. Лисогірській (1960-ті роки). У 70-х роках передана відділу Є.А. Салькова. Ліворуч — будівля Інституту кібернетики АН УРСР



Корпус № 5 Інституту фізики напівпровідників (у минулому — Інституту кібернетики ім. В.М. Глушкова). 2016 р.



Розширена дирекція Інституту.  
Зліва направо: М.К. Шейнкман,  
О.А. Бугай, С.І. Пекар, Є.А. Саль-  
ков, А.В. Прохорович, С.В. Свеч-  
ніков, О.В. Снітко, Ю.О. Тхорик.  
1985 р.

От зав. лаб. №2  
Грибников С.С.  
о выделении машин-  
ного времени

*С.С. Грибников*  
*12/4/87*

Зам. директора  
ИП АН УССР  
Лисенко В.С.

Служебная записка

В связи с необходимостью проведения численного моделирования в работах по теме «Разработка теории быстродействующих малоомощных СВЧ полупроводников» по Программе «Физико-технические основы создания полупроводниковых СВЧ приборов нового поколения» прошу предоставить машинное время на IBM PC сотрудникам: Ивашко В.М., Колесняку В.Е., Устигу В.В., Вагидову Н.В., Бахляновой Е.С. на 1987г. в объеме 1500 часов / 40 часов в неделю.

Зав. лаб. № 2 *Грибников* Грибников С.С.  
20 декабря 1986г.

*В.П. Сабитовский*  
*Розрешено*  
*6.12.92*

Отд. № 2  
Служебная записка  
6 февраля 1992 г.

Зам. директора ИП АН Украины  
докт.-физ.-мат.-наук. М.Я. ВАХУ  
13.02.92

Прошу разрешить мне работу в компьютерном классе в 1992 г., в связи с выполненным заданием по БУ № 32.

Ст. научн. сотр. *П.С. Свєтєноє*

Отдел №10  
Документальная записка  
1.04.1994г.

Директору ИТ АН  
Украины С.В.  
*С.В. Сабитовский*  
*1.04.94*

Прошу Вашего разрешения на работу в компьютерном классе на IBM PC сотрудников отдела №10:

1. Трише Н.А.
2. Востриков А.М.
3. Панигурская Т.В.

и.о. зав. отд. №10 *Сабитовский*

Перші запити на роботу в комп'ютерно-  
му класі

Попит на роботу в комп'ютерному класі ►  
зростає

Отдел №24  
Документальная записка  
7.02.1992

Зам. директора  
ИП АН Украины  
Ваху М.Я.

Прошу разрешить работу в компьютерном зале в 1992г. следующим сотрудникам отдела:

Должность	Ф.И.О.
1 инж.	Черниковский В.И.
2 инж.	Морозенко В.А.
3 инж.	Рыбак А.М.
4 и.н.с.	Витусевич С.А.
5 инж.	Иванченко И.Д.
6 и.н.с.	Салжик О.Я.

Работы проводятся по теме «Плазменные явления в полупроводниках в экстремальных условиях».

Зав. отделом №24 *Матенко В.К.*

*В.К. Матенко*  
В связи с большой загруженностью компьютерного зала (работы ведутся в 3 смены и в выходные дни), прошу указать в документах первоочередные 2-3 кандидатуры.



**Візит Президента України Л.Д. Кучми  
та президента НАН України Б.Є. Патона до ІФН**



Навпроти Л.Д. Кучми сидять (зліва направо): заступники директора ІФН П.Ф. Олексенко, М.Я. Валах. Є.Ф. Венгер, директор ІФН С.В. Свечніков, президент НАН України Б.Є. Патон, 1998 р.



Ліворуч Б.Є. Патон та С.В. Свечніков, експозицію представляє Ю.М. Шварц. Червень, 1998 р.



## Святкування 50-річчя ІФН НАН України



Виступ директора ІФН НАН України академіка НАН України В.Ф. Мачуліна. Зліва направо: віцепрезидент НАН України акад. НАН України А.Г. Загородній, президент НАН України акад. НАН України Б.Є. Патон, перший віцепрезидент НАН України акад. НАН України А.Г. Наумовець, директор Інституту фізичної хімії НАН України акад. НАН України В.Ф. Походенко



---

---

## Розділ 3

# НАУКОВА ШКОЛА «ФІЗИКА НАПІВПРОВІДНИКІВ» ІНСТИТУТУ ФІЗИКИ НАПІВПРОВІДНИКІВ ім. В.Є. ЛАШКАРЬОВА НАН УКРАЇНИ

Інститут напівпровідників створено на базі відділів напівпровідників та теоретичної фізики Інституту фізики. Його засновником був Вадим Євгенович Лашкар'юв, видатний вчений, як казали про нього його колеги — «фізик від бога». В.Є. Лашкар'юв представляв школу А.Ф. Йоффе, який, своєю чергою, був учнем видатних європейських фізиків.

Наукова школа В.Є. Лашкар'юва — видатне явище у науковому житті України. Проте воно недосить повно висвітлено у численних інформаційних матеріалах та споминах про Вадима Євгеновича (Litovchenko, 2014; Амосов, 1999; Андреева, 2013; Боголюбов, 1975; Вадим, 1963; Гусельников, 2019; Лень, 2010; Литовченко, 2014а; Мачулін, 2010; Стріха, 2014; Храмов, 2006, 2015; Царенко, 2017).

На сьогодні найширший опис історії та досягнень Інституту фізики напівпровідників ім. В.Є. Лашкар'юва, а також діяльності його фундаторів наведено у книзі, присвяченій 50-річчю Інституту (Інститут, 2010).

Школа фізики напівпровідників почала зароджуватися в Інституті фізики АН УРСР. Так, у 1930-х роках академік Олександр Генріхович Гольдман започаткував дослідження фотоелектричних явищ у твердотільних вентильних фотоелементах ( $\text{Se}$ ,  $\text{Cu}_2\text{O}$ ,  $\text{Ag}_2\text{S}$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) та перетворення світлової енергії на електричну на їх основі (Гольдман, 1933а), запірного шару (Гольдман, 1933б) та розроблення теорії твердих випрямлячів і фотоелементів (Гольдман, 1934). З поверненням В.Є. Лашкар'юва до Інституту фізики наприкінці 1940-х — на початку 1950-х років почав формуватися колектив науковців, який і став ядром наукової школи з фізики напівпровідників. Основні завдання, що стояли перед науковцями цієї школи, стосувалися вирішення практичних проблем у сфері економіки та оборонної промисловості СРСР: розроблення приладів для випрямлення змінного струму та фотоелектричних детекторів. Усі ці напрями очолював академік В.Є. Лашкар'юв. Разом з найближчими колегами з Інституту фізики він сформував науковий колектив нового Інституту напівпровідників. Крім того, створена у Київському державному університеті кафедра фізики напівпровідників так само належить до наукової школи фізики напівпровідників, яку названо на честь її за-

сновника — академіка Вадима Євгеновича Лашкарьова. Проте в історії створення та розвитку Інституту фізики напівпровідників університетська гілка наукової школи фізики напівпровідників потребує окремого розгляду.

Однією з важливих особливостей цієї школи того періоду, яка є ключовою для розуміння певних подій, було вміння дослідника виготовити все наукове обладнання власноруч (або принаймні його проєкт і креслення, і вже самому скласти й налагоджувати його). Це відображено, зокрема, і в спеціальному лабораторному практикумі кафедри напівпровідників Київського університету, яку в 50-ті роки заснував і очолював В.Є. Лашкарьов. Робота практикуму починалася з того, що студент самостійно (!) виготовляв зразки напівпровідникового матеріалу — закису міді (купрум (I) оксид) для своїх подальших досліджень на досить примітивному саморобному обладнанні. Далі проводилися дослідження напівпровідникових властивостей матеріалу на вимірювальних пристроях, які студент складав і калібрував також своїми руками.

Після винайдення у США транзистора перед відділом напівпровідників Інституту фізики постало завдання створити вітчизняні аналоги. Було налагоджено весь цикл виготовлення германієвих транзисторів: спроектовано і виготовлено установки для вирощування германієвих монокристалів з розплаву, розроблено технології вирощування досконалих монокристалів, налагоджено дослідження напівпровідникових властивостей германію, розроблено технології виготовлення власне транзисторів і виготовлено досить великі їх партії, налагоджено вимірювання їхніх характеристик і навіть виготовлення приладів на їх основі. Блискуче виконання поставленого завдання стало видатним взірцем злагодженої роботи великого колективу фахівців різного профілю, згуртованих задля вирішення спільного наукового завдання, а організація цієї роботи залишається взірцевим прикладом наукового менеджменту.

Ще на стадії ідеї створення Інституту напівпровідників передбачалося, що лабораторії різного профілю так само злагоджено працюватимуть над вирішенням ще складніших наукових завдань (до слова, одним з таких завдань могла бути технологія вирощування монокристалів кремнію та створення на його основі напівпровідникових елементів).

Слід зазначити, що до наукової школи В.Є. Лашкарьова можна віднести не тільки його безпосередніх учнів чи учнів його учнів. Наприклад, долучення до наукової школи В.Є. Лашкарьова Ірини Борисівни Мізецької є, з одного боку, формальним, оскільки керівником її кандидатської дисертації був співробітник Інституту монокристалів АН СРСР, а з іншого боку, вирощування монокристалів, зокрема сульфід кадмію, В.Є. Лашкарьов започаткував ще задовго до того, як Ірина Борисівна стала співробітником Інституту напівпровідників. Ось як про це розповів ветеран Інституту **Володимир Миколайович Корсун** (2019).

«Викликає якомсь мене Вадим Євгенович Лашкарьов і каже: «Є дві вихідні речовини [Cd та S], з них треба зробити одну сполуку [CdS]». Я солдат, 7 класів освіти, що я розумів? Та солдат є солдатом, начальник каже — треба робити! Питаю: «Вадиме Євгеновичу, а як це зробити?». А він відповідає: «Я Вам час не встановлюю. Ви спробуйте зробити». На цьому розмова й закінчилася. Повернувся я до майстерні, розмовляю з хлопцями, ні Борис, ні Міша [Борис Луганський та Михайло Куценко, напарники] не знають як це зробити, плечима стенають. Мені виділили кімнату, там шафа витяжна стоїть. Питав ще у Шейнкмана [М.К. Шейнкман], Салькова [Є.А. Сальков], у Федоруса [Г.А. Федорус], вони теж руками розводять, та й усе.

Ну, принцип був такий: треба зробити пічку, у пічку треба вставити трубу, у трубу треба вставити ще якісь труби, потім в одну покласти сірку, а в іншу — кадмій. Потім треба спрямувати повітря під тиском, а всередині пічки зробити температуру плавлення кадмію та загнати розтруби цих труб одна в другу. Труби були діаметром приблизно 60 [мм], 50 [мм] та 20 [мм]. Ось на цих трубах мали вирости кристали. А де взяти пічку? А де взяти трубу? Знайшов я каркас. А з чого зробити піч? Узяли вогнетривку цеглу. Став я вибивати в ній циліндр під діаметр 60 міліметрів, якраз виїшла труба. Потім цю піч набили азбестом, вставили трубу. І так далі...

Тоді ще Лашкарьов привозив з Москви Мізецьку Ірину Борисівну. Ірина Борисівна запропонувала як газ-носії взяти гелій. А де ж його взяти? Тоді запропонували взяти аргон...

Поставив я склянки Тищенка, налив туди води і з двох боків подавав аргон. Бульбашки йшли. Ще й рахував їх, мало вийти зі склянки 60—40 бульбашок. Речовини випаровуються — пара йшла, відстань між внутрішніми трубками, з яких йшла речовина, що випаровується, була десь 120—150 міліметрів. На стінках речовина осідає, а кристалів нема. Почав я зсувати та розсувати ці трубки. Ну, це вже, мабуть, рік минув... І раптом я відкриваю трубу, глянув — а там великі такі пластини. А що з ними робити, не знаю. Тоді взяв я коробку з-під цигарок «Любительські», дістаю ці пластинки з розтруба, а вони такі жовто-коричневого кольору. Збираю їх у коробочку, приношу Вадиму Євгеновичу. А він на мене так якомсь дивно дивиться, що я й не знаю, що маю сказати. Підходить до мене, обнімає за плечі та й каже: «Володимире Миколайовичу, то Ви навіть не знаєте, що Ви зробили!» Вадим Євгенович посміхнувся і повідомив: «Володимире Миколайовичу, за два місяці почнемо будувати свій Інститут напівпровідників!». А другу коробочку він попросив передати Федорусу. У Федоруса тоді працювали Міша Шейнкман, Коля Півторадні та Женя Сальков...

Кристали були у діаметрі 15 міліметрів, довжиною 20 міліметрів. Потім І.Б. Мізецьку перевели з Москви і вона стала зав. відділу. Вона та аспірант Гриша Олійник розробили технологію вирощування монокристалів сульфїду кадмію з розплаву ... Приходив Б.Є. Патон, дивився. Приїжджав атомник Курчатов [керівник Атомної програми СРСР І.В. Курчатов]. Приїжджали Александров з Москви [А.П. Александров, президент Академії наук СРСР у 1975—1986 рр.], Несмеянов [О.М. Несмеянов — на той час директор Інституту елементоорганічних сполук АН СРСР]».



Цей епізод показує рівень досягнень Інституту та їх важливість для економіки Радянського Союзу. Монокристали сульфїду кадмію становили основу для датчиків гамма- та рентгенівського випромінювання, що було особливо необхідно для атомної промисловості.

### 3.1. Структура і розвиток наукової школи фізики напівпровідників

Для наочності структуру наукової школи фізики напівпровідників подано на схемі (див. вклейку). Основних учнів школи академіка В.Є. Лашкарьова виділено окремо, а послідовників та учнів послідовників — списком у великих рамках.

#### Характеристика наукової школи В.Є. Лашкарьова

*Засновник школи* — В.Є. Лашкарьов.

*Послідовники:* В.О. Романов, М.К. Шейнкман, Є.А. Сальков, Ю.О. Тхорик, Л.Й. Зарубін, П.І. Баранський, К.Д. Глинчук, В.К. Малютенко, Ю.І. Карханін, В.І. Стріха, В.М. Добровольський, Г.П. Пека та ін.

*Учні послідовників:* І.П. Жадько, Б.К. Сердега, Г.А. Шепельський, С.Г. Гасан-Заде, В.Ф. Любченко, О.І. Власенко, В.В. Тетьоркін, А.П. Клименко, Л.О. Матвеева, Н.О. Корсунська, І.В. Маркевич, Н.Б. Лук'янчикова, Г.С. Пекарь, С.С. Остапенко, Т.В. Торчинська, В.М. Бабич, А.Д. Беляєв, В.В. Коломoeць, О.І. Єлізаров, О.П. Городничий, Л.І. Даценко, О.Є. Беляєв, А.В. Федосов, В.Ф. Мачулін, В.П. Кладько, А.В. Прохорович, В.Є. Родіонов, С.О. Вітусевич, Л.Л. Федоренко, Ю.В. Воробйов, Г.А. Холодар, О.В. Третьак, Д.І. Шека, Ю.С. Жарких, Є.В. Бузаньова, В.В. Ільченко, В.А. Скришевський та ін.

*Наукова продуктивність і потенціал школи:* понад 40 монографій та підручників; понад 1000 статей; понад 170 патентів України, а.с. СРСР; 3 академіки НАН України; 10 членів-кореспондентів НАН України; 15 академіків інших академій; понад 100 докторів наук; понад 250 кандидатів наук.

*Проблемно-тематична широта:* прилади для випрямлення змінного струму; фотоелектричні детектори; поверхневі явища у напівпровідниках; вплив адсорбції газів на поверхневу провідність та контактну різницю потенціалів; розроблення та виробництво вітчизняних германієвих транзисторів; розроблення методик вирощування монокристалічних зразків халькогенідів цинку та кадмію і твердих розчинів на їх основі; дослідження генераційно-рекомбінаційних процесів та електронного транспорту у напівпровідниках і напівпровідникових структурах; теоретичні та експериментальні дослідження електронного перенесення двовимірних вільних носіїв заряду в напівпровідникових наноструктурах; дослідження електрофізичних і фотоелектричних ефектів в органічних напівпровідниках та шаруватих структурах на їх основі; визначення впливу зовнішніх факторів на параметри поверхнево-бар'єрних структур з включеннями нанокристалічних на-

півпровідників і використання таких ефектів для сенсорики; розроблення фізичних моделей та модернізація методів дослідження параметрів глибоких центрів зі складною енергетичною будовою.

*Географічна широта:* Україна, США, Канада, Німеччина, Японія, Мексика.

*Офіційне визнання важливості досліджень наукової школи:* одна Державна премія СРСР, одна премія Ради Міністрів СРСР, понад 30 Державних премій України, понад 10 інших премій.

### **Хронологія наукової школи В.Є. Лашкарьова**

**1945** В.Є. Лашкарьова обрано академіком АН УРСР за спеціальністю «Фізика»

**12.02.1945**

**1946** В Інституті фізики АН УРСР організовано відділ напівпровідників (керівник — В.Є. Лашкарьов)

**1949** Організовано кафедру напівпровідників у Київському державному університеті

Розроблено теорію явища фото-е.р.с. і доведено, що негентильна е.р.с. (або так званий ефект Дембера) визначається дифузією неосновних носіїв струму, рух яких лідирує і спричинює біполярну дифузію від освітленого електрода в глиб зразка

З'ясовано роль контакту, властивості якого — запірні чи антизапірні (останнє поняття ввів В.Є. Лашкарьов) — визначають знак і величину е.р.с.

Розроблено теорію конденсаторної (безконтактної) е.р.с. і підкреслено важливість появи поверхневих зарядів при формуванні е.р.с.

Розвинуто теорію нестационарної фотопровідності, передбачено і реалізовано на досліді можливість керування фотопровідністю зовнішнім електричним полем. При цьому було введено звичні всім зараз поняття про розтягнуту та стиснуту полем довжину дифузійного зсуву. Звідси природно з'явилися роботи з біполярної провідності

Теоретично розглянуто явище, коли в умовах квазінейтральності поле може або притискати носії струму до одного з контактів, або затягувати їх в глиб зразка. Тим самим розкрито механізм інжекції — найважливішого явища, на основі якого діють напівпровідникові діоди й транзистори

Відкрито інфрачервону люмінесценцію закису міді (купрум (I) оксид), розроблено метод сталого підсвічування та змінного сигналу при дослідженні нелінійної фотопровідності. Це дозволило розділити нелінійні ефекти, пов'язані зі зміною квантового виходу і з рекомбінаційними явищами

Виявлено й досліджено так звану надлінійну фотопровідність у CdS та явища фотоактивації виходу фотоструму (сильніше, ніж лінійне, зростання фотоструму зі збільшенням освітленості та зростання при цьому початкової швидкості встановлення фотоструму)

- Передбачено і виявлено об'ємну фото-е.р.с. у германії  
Запропоновано ідею про екситонний механізм фотозбудження, яка надалі увійшла до інструментарію фізики напівпровідників  
Досліджено зв'язок між роботою виходу та приповерхневою провідністю напівпровідника, що поклало початок систематичному вивченню фізики поверхневих явищ у напівпровідниках  
Розроблено та доведено до виробництва технологію сірчисто-срібних фотоелементів (ФЕСС-V). У зв'язку з цим було створено теорію фотоелементів, що містять шар зі слабкою провідністю  
Розроблено технологію кристалізації, очищення і введення домішок у зразки Ge та методику дослідження їх об'ємних і поверхневих властивостей
- 1951—1956** Розвинуто уявлення про біполярну дифузію, що сприяло успішній роботі зі створення германієвих діодів і тріодів
- 1956** З ініціативи В.Є. Лашкарьова організовано «Український фізичний журнал»
- 1960** Створено відділ фотоелектричних явищ у напівпровідниках (керівник — В.Є. Лашкарьов)  
Створено відділ електричних і гальваномагнітних явищ у напівпровідниках (керівник — О.Г. Міселюк)
- 1962** Створено відділ напівпровідникової металургії (керівник — В.Ю. Косенко)
- 1962** Створено відділ хімії напівпровідників (керівник — І.Б. Мізецька)
- 1964** Створено відділ фізичних основ фотоелектричних напівпровідникових приладів (керівник — Г.А. Федорус)
- 1966** Створено відділення фотоелектроніки (керівник — В.Є. Лашкарьов)
- 1970** Новий керівник відділу фотоелектричних явищ — М.К. Шейнкман
- 1972** Новий керівник відділу електричних і гальваномагнітних явищ у напівпровідниках — П.І. Баранський
- 1974** Новий керівник відділення фотоелектроніки — М.К. Шейнкман  
Створено спільно з НДІ ПФ новий міжвідомчий відділ фізико-хімічних проблем надійності матеріалів та процесів (керівник — Є.А. Сальков)  
Державна премія УРСР у галузі науки і техніки за цикл робіт «Розробка фізичних основ керування частотою вимушеного випромінювання і створення комплексу лазерів з частотою, що перестроюється»: М.І. Витрихівський
- 1976** Створено відділ плазмових явищ у напівпровідниках (керівник — В.К. Малютенко)  
Створено відділ низькотемпературного матеріалознавства (керівник — Л.Й. Зарубін)
- 1981** Державна премія УРСР за цикл робіт «Комплексне дослідження оптичних та фотоелектричних властивостей напівпровідникових сполук

- елементів другої та шостої груп періодичної системи»: Г.А. Федорус, М.К. Шейнкман, І.Б. Мізецька, М.П. Лисиця, С.І. Пекар, О.В. Снітко, В.Є. Лашкар'єв, Є.А. Сальков
- Створено відділ анізотропних напівпровідників (керівник — В.О. Романов)
- Створено відділ дифракційних досліджень структури напівпровідників (керівник — Л.І. Даценко)
- 1983** Премія Ради Міністрів СРСР за розробку нових технологій: Ф.М. Воробкало, Л.Й. Зарубін, В.К. Малютенко, О.Г. Міселюк, І.Ю. Неміш, І.Ф. Полетаєва, В.І. Чуприна, Л.Т. Яценко (разом з Г.Є. Богославським)
- Державна премія УРСР за цикл робіт «Фізичні основи керування властивостями матеріалів і приладів твердотільної електроніки під дією радіації»: Н.О. Корсунська (разом з О.А. Бугаєм)
- Державна премія УРСР за розробку та дослідження матеріалів і структур електронної техніки: К.Д. Глинчук, Л.І. Даценко, Ю.О. Тхорик (разом з С.В. Свечніковим)
- Новий керівник відділу фізичних основ фотоелектричних напівпровідникових приладів — В.М. Комащенко
- 1984** Державна премія СРСР за розробку та освоєння нових радіоелектронних приладів: М.К. Шейнкман
- 1984** Державна премія УРСР за роботу в галузі радіоелектроніки: А.В. Прохорович (разом з М.Л. Дмитруком, Р.В. Конаковою, В.С. Лисенком, В.І. Файнбергом)
- Створено лабораторію хімії розчинення та травлення напівпровідників (керівник — Г.С. Олійник)
- 1986** Державна премія УРСР за цикл робіт «Фізичні дослідження і метрика напівпровідникових твердих розчинів кадмій-ртуть-телур та свинець-олово-телур, спрямованих на освоєння їх промислового виробництва для ІЧ-фотоелектроніки»: Є.А. Сальков, Ф.Ф. Сизов, Г.А. Шепельський (разом з М.П. Лисицею)
- 1986** Створено міжгалузеву лабораторію напівпровідникових матеріалів Міністерства електронної промисловості СРСР та АН УРСР (керівник — Г.С. Пекар'єв)
- 1986** Створено лабораторію фізики органічних провідникових і напівпровідникових матеріалів (керівник — К.І. Походня)
- 1987** Державна премія УРСР за цикл робіт «Розробка і впровадження елементів і пристроїв оптичної обробки інформації в ІЧ-діапазоні»: В.К. Малютенко, С.С. Болгов, А.І. Ліптуга, Г.І. Тесленко, Є.І. Яблоновський
- Державна премія УРСР за цикл робіт «Розробка фізичних основ міцності ковалентних кристалів і оптимізація на цій основі технологій виготовлення напівпровідникових структур мікроелектроніки»: П.І. Баранський (разом з Б.М. Романюком)



- 1988** Державна премія УРСР за цикл робіт «Позитронні дослідження структури твердих тіл»: О.В. Любченко, В.В. Дякін
- 15.01.1988** М.К. Шейнкмана обрано членом-кореспондентом АН УРСР за спеціальністю «Електроніка»
- Створено відділ фізико-хімічних основ бездефектного формоутворення (керівник — О.В. Любченко)
- Створено лабораторію датчиків параметрів технологічних процесів (керівник — Г.А. Шепельський)
- Створено лабораторію фізико-механічних основ напівпровідників і структур (керівник — М.М. Кролевець)
- Створено лабораторію бездефектного формування та обладнання (керівник — О.В. Фомін)
- Створено лабораторію фізико-хімічних проблем надійності (керівник — О.І. Власенко)
- Створено лабораторію математичного моделювання та автоматичних систем управління технологічними процесами (керівник — Г.І. Жовнір)
- 1990** Створено лабораторію флуктуаційних явищ у напівпровідниках (керівник — Н.Б. Лук'янчикова)
- 1991** Новий керівник відділу електричних і гальваноманітних явищ у напівпровідниках — В.М. Бабич
- Створено лабораторію деградаційних явищ (керівник — Т.В. Торчинська)
- 1993** Створено лабораторію структурного та елементного аналізу напівпровідникових матеріалів і приладових систем (керівник — І.В. Прокопенко)
- 1994** Державна премія України за цикл робіт «Рентгено-, опто-, акустичні явища в реальних кристалах при комбінованому впливі фізичних полів»: Л.І. Даценко, В.І. Хрупа, В.Ф. Мачулін
- 1995** Державна премія України за цикл робіт «Фізичні механізми деградації та шляхи підвищення надійності оптоелектронних приладів»: М.К. Шейнкман, Т.В. Торчинська, Н.Б. Лук'янчикова (спільно з Г.С. Свечніковим)
- 1996** Організовано відділення структурного і елементного аналізу напівпровідникових матеріалів і систем (керівник — В.Ф. Мачулін)
- Новий керівник відділу дифракційних досліджень структури напівпровідників — В.Ф. Мачулін
- Створено відділ електронних методів структурного і елементного аналізу напівпровідникових матеріалів і систем (керівник — І.В. Прокопенко)
- 1997** Створено відділ розробки і флуктуаційного аналізу напівпровідникових матеріалів та структур (керівник — Н.Б. Лук'янчикова)
- 1999** Премія імені В.Є. Лашкарьова НАН України за серію робіт «Дослідження нерівноважних та кінетичних явищ в актуальних для сучас-

ної фотоелектроніки напівпровідниках ( $A_2B_6$ ,  $A_4B_6$  та поруваті Si-структури): Є.А. Сальков, М.К. Шейнкман

- 2000** В.Ф. Мачуліна обрано членом-кореспондентом НАН України за спеціальністю «Елементна база, системи діагностики»
- 07.04.2000** Ф.Ф. Сизова обрано членом-кореспондентом НАН України за спеціальністю «Фізика низьковимірних систем»
- 2002** Започатковано наукові конференції для молодих учених, так звані «Лашкарьовські читання»
- 2003** Державна премія України за цикл робіт «Монокристали сапфіру: розробка високорентабельних технологій, освоєння промислового виробництва конкурентоспроможних на світовому ринку сапфірових елементів для оптики, електроніки та медицини»: В.Ф. Мачулін
- 2004** Новий керівник відділу електричних і гальваноманітних явищ у напівпровідниках — О.Є. Беляєв  
Новий керівник відділу дифракційних досліджень структури напівпровідників — В.П. Кладько
- 2005** Премія імені В.Є. Лашкарьова НАН України за роботу «Формування високостабільних контактних і поверхнево-бар'єрних структур у приладах високотемпературної НВЧ-електроніки на основі широкозонних напівпровідників»: О.Є. Беляєв (разом з Р.В. Конаковою, В.С. Лисенком)  
Створено Центр колективного користування приладами «Діагностика напівпровідникових матеріалів, структур та приладних систем» (керівник — І.В. Прокопенко)
- 2006** Державна премія України за роботу в галузі радіоелектроніки: О.Є. Беляєв, І.Б. Єрмолович (разом з В.О. Кочелопом, О.М. Назаровим, Т.О. Руденко)
- 06.05.2006** О.Є. Беляєва обрано членом-кореспондентом НАН України за спеціальністю «Експериментальна фізика напівпровідників»
- 2007** Державна премія України за роботу в галузі створення новітніх матеріалів: О.І. Власенко, І.З. Індутний, В.П. Кладько, В.М. Комащенко (разом з А.П. Горбанем)  
Державна премія України за розробку і впровадження вискоелективних технологій отримання напівпровідникових кристалічних матеріалів групи  $A^IVB^VI$  та виробів на їх основі для приладобудування: В.М. Томашик
- 2009** В.Ф. Мачуліна обрано академіком НАН України за спеціальністю «Фізика та діагностика наносистем»
- 04.02.2009** Новий завідувач відділу розробки і флуктуаційного аналізу напівпровідникових матеріалів та структур — Г.С. Пекарь
- 2010** Новий керівник відділу фотоелектричних явищ — Л.В. Борковська
- 2011** Державна премія України за цикл робіт зі створення нових функціональних матеріалів і розробки конструкторсько-технологічних рішень

- для спеціального приладобудування: Г.С. Пекарь, О.Ф. Сингаївський (разом з М.М. Локшиним, В.П. Масловим)
- 2012** Премія Академій наук України, Білорусі та Молдови за спільні дослідження «Фазові і структурні модифікації поверхневих шарів і плівок у технології напівпровідникових приладів і надвеликих інтегральних схем»: О.Є. Беляєв (разом з Я.Я. Кудриком)
- 2013** Премія імені Н.Д. Моргуліса НАН України за цикл робіт «Функціональні властивості та діагностика новітніх НВЧ-приладів»: О.Є. Беляєв (разом з Р.В. Конаковою, А.В. Саченком)
- 2015** В.П. Кладька обрано членом-кореспондентом НАН України за спеціальністю «Кореляційна оптика»
- 06.03.2015**
- 2016** Відділ фотоелектричних явищ реорганізовано в лабораторію багатофункціональних композитних матеріалів (керівник — Л.В. Борковська)
- 2017** Після реформування організаційної структури відділ розробки і флуктуаційного аналізу напівпровідникових матеріалів дістав нову назву — відділ ростових технологій напівпровідникових матеріалів і структур (керівник — Г.С. Пекар)
- 2018** О.Є. Беляєва обрано академіком НАН України за спеціальністю «Експериментальна фізика напівпровідників».
- 07.03.2018**

## 3.2.

### Наукові досягнення школи фізики напівпровідників

До основних наукових досягнень початкового періоду школи фізики напівпровідників в Інституті фізики, а згодом в Інституті напівпровідників слід віднести такі:

- у низці важливих робіт з фотоелектрорушійних сил у закисі міді (купрум (I) оксид) В.Є. Лашкар'єв розробив теорію і показав, що електрорушійна сила визначається дифузією неосновних носіїв струму, рух яких зумовлює біполярну дифузію від освітленого електрода в глибок зразка. Було визначено роль контактів, характеристики яких визначають знак і величину фотоелектрорушійної сили (е.р.с.). Учений розробив теорію конденсаторної е.р.с. і показав вплив на неї поверхневих зарядів;

- було розвинено теорію нестационарної фотопровідності, передбачено і реалізовано експериментально можливість керування нестационарною фотопровідністю зовнішнім електричним полем. При цьому було введено загальноприйняті нині поняття про розтягнуту і стиснуту полем довжину дифузійного зміщення;

- В.Є. Лашкар'єв виконав роботи з біполярної провідності, теоретично розглянув явище впливу поля на підтискання носіїв струму до одного з контактів і затягування їх у глибок зразка. Так було розкрито механізм інжекції;

- досліджено поверхневі явища у напівпровідниках, вплив адсорбції газів на поверхневу провідність та контактну різницю потенціалів;
- отримано теоретичну залежність, що пов'язує роботу виходу, вигин зон, величину поверхневого заряду та зміни поздовжньої провідності.

Надалі було розвинено теорію рекомбінаційних процесів у напівпровідниках з кількома типами рекомбінаційних центрів. Створено комплекс методів для спільного дослідження фотопровідності і рекомбінаційної люмінесценції, заснований на вивченні їх стаціонарних і, головню, кінетичних характеристик (В.Є. Лашкар'єв, І.Б. Єрмолович, О.В. Любченко, М.К. Шейнкман, 1960—1968 рр.). Це дало змогу вперше визначити всі параметри (концентрації, енергетичні положення в забороненій зоні, переріз захоплення електронів і дірок, ступінь електрон-фононої взаємодії) центрів фоточутливості та з'ясувати механізми випромінювальної рекомбінації в найважливіших напівпровідниках типу  $A_2B_6$ ,  $A_3B_5$ ,  $A_3B_6$  та ін. (В.Є. Лашкар'єв, І.Я. Городецький, І.Б. Єрмолович, Н.О. Корсунська, О.В. Любченко, М.К. Шейнкман). Ці результати було покладено в основу розроблення нових типів приймачів і перетворювачів світла для широкої ділянки спектра електромагнітного випромінювання.

У 1962 р. М.К. Шейнкман уперше розглянув новий тип взаємодії між центрами типу Оже, у якому енергія, що виділяється під час захоплення носія на центр, передається носію на сусідньому центрі. Тим самим було не лише теоретично запропоновано новий механізм безвипромінювальної рекомбінації, а й пояснено групу явищ міждомішкової взаємодії у напівпровідниках (В.І. Дякін, Є.А. Сальков, В.А. Хвостов, М.К. Шейнкман, Н.О. Корсунська, І.В. Маркевич, Т.В. Торчинська).

На основі теоретичних розрахунків вперше створено фізичну модель неоднорідних систем, яка дала змогу пояснити велику групу явищ тривалої релаксації струму (так званої залишкової провідності) у різних напівпровідникових матеріалах (І.В. Маркевич, В.А. Хвостов, М.К. Шейнкман).

На основі детального теоретичного аналізу (С.С. Остапенко) було розроблено комплекс поляризаційних методів дослідження люмінесценції й спектрів збудження фотоструму, що дозволило встановити ймовірні моделі основних центрів люмінесценції в матеріалах типу  $A_2B_6$  (С.С. Остапенко, М.А. Танатар, М.К. Шейнкман).

Досліджено принципово новий тип нерівноважних процесів — перетворення дефектів у разі збудження світлом та рентгенівським випромінюванням або при інжекції носіїв заряду (Н.О. Корсунська, І.В. Маркевич, Т.В. Торчинська, М.К. Шейнкман). Детальне вивчення природи цих процесів (фотохімічних реакцій) сприяло виявленню кількох типів реакцій. З'ясовано природу та механізми цих процесів, показано їх важливу роль у деградації оптоелектронних приладів. Зокрема, було запропоновано модель деградації електролюмінесценції світлодіодів на основі напівпровід-



ників  $A_3B_5$  (GaAs:Si, GaP:N), встановлено типи і механізми рекомбінаційно-стимульованих реакцій дефектів, які її спричинюють (Т.В. Торчинська).

Було виявлено процеси перебудови та генерації дефектів під дією ультразвукових хвиль та лазерного випромінювання (С.С. Остапенко, Н.О. Корсунська, М.К. Шейнкман). Встановлено механізми деградації активних елементів лазерів з електронним збудженням на основі кристалів CdS (Н.О. Корсунська, О.Ф. Сингаївський, Г.С. Пекарь).

Проведені у відділі теоретичні та експериментальні дослідження електродифузії дефектів показали, що використання зовнішнього електричного поля дає змогу знизити температуру легування, безпосередньо виявити локальні центри, утворені домішковими атомами, прискорити і спростити визначення параметрів дифузії досліджуваних дефектів, а також здійснювати очищення кристалів від домішок (І.В. Маркевич, Н.О. Корсунська, Л.В. Борковська, Л.Ю. Хоменкова, В.І. Кушніренко).

У результаті теоретичного аналізу процесів дрейфу дефектів в електричному полі було показано, що процес електродифузійного очищення напівпровідника може бути значно підсилений завдяки деформаційним ефектам. Це може справджуватися навіть для незаряджених дефектів (Н.І. Каширіна, М.К. Шейнкман).

Запропоновано новий механізм зміни дифузійного бар'єра вакансійних центрів в іонних кристалах, пов'язаний із захопленням двох електронів у антизв'язувальний стан. Числові розрахунки зміни дифузійного бар'єра вакансії при захопленні одного чи двох електронів у зв'язувальні та антизв'язувальні стани виконували для вакансійних центрів ( $F^-$  та  $F'^-$  центри) у лужно-галоїдних кристалах (Н.І. Каширіна, М.К. Шейнкман).

За допомогою дослідження дрейфу дефектів в електричному полі у поєднанні з вимірюванням екситонної люмінесценції було доведено, що дрібними донорами, які відповідають за високу провідність  $n$ -типу оксиду цинку, є атоми міжвузловинного цинку  $Zn_i$ , рухливі за кімнатної температури. Було показано, що: 1) формування тонкого шару з виродженою провідністю на поверхні кристалів ZnO відбувається завдяки акумуляції дрібних рухливих донорів біля поверхні внаслідок їх дрейфу в полі приповерхневого вигину зон, створеного адсорбованим киснем; 2) акумулювання дрібних донорів біля дислокацій призводить до зсуву краю оптичного поглинання у довгохвильовий бік, ослаблення екситонної люмінесценції та спотворення форми її спектра; 3) атоми  $Zn_i$  входять до складу комплексних центрів, що відповідають за зелену смугу люмінесценції ZnO; 4) дрібні рухливі донори  $Zn_i$  є чинником нестабільності характеристик кристалів ZnO (І.В. Маркевич, Б.М. Булах, В.І. Кушніренко, Л.В. Борковська, Л.Ю. Хоменкова).

На базі фундаментальних досліджень розробляли технологічні методи отримання нових фоточутливих матеріалів, переважно напівпровідників типу  $A_2B_6$  (Б.М. Булах, Г.С. Пекарь), а також створювали нові типи фотоелек-

тричних приладів і пристроїв широкого призначення. Зокрема, було розроблено метод вільного росту кристалів (Б.М. Булах, Н.К. Мойсеєва, Г.С. Пеккар), метод вільного росту профільованих кристалів (Б.М. Булах, Г.С. Пеккар, Г.Н. Поліський), метод синтезу кристалів сполук  $A_2B_6$  ( $CdS$ ,  $CdSe$ ,  $CdTe$ ,  $ZnO$ ) з газової фази (Б.М. Булах).

Досліджено низькорозмірні органічні провідники, перспективні з точки зору реалізації нових механізмів надпровідності з високими критичними температурами (1978—2001 рр.). У результаті систематичного вивчення електронних і коливальних спектрів пояснено важливі надпровідні властивості, специфічні для цього класу сполук (К.І. Походня, М.Е. Козлов). З'ясовано умови стабілізації надпровідного стану у сполуках на основі біс(етилендітіо)тетратіофульвалену (BEDT-TTF), які демонструють одні з найвищих значень критичних температур, проте схильні до діелектричних фазових переходів (Ю.В. Сушко, М.А. Танатар, В.О. Бондаренко).

Починаючи з 1995 р. у відділі проводилися дослідження напівпровідникових квантово-розмірних структур, зокрема поруватого Si, отриманого хімічним та анодним травленням, оксидних шарів ( $SiO_2$  і  $Al_2O_3$ ) з Si-нанокристаллами, отриманих магнетронним напиленням, а також структур з квантовими ямами та квантовими точками на основі сполук  $A_2B_6$  і  $A_3B_5$ , вирощених методом молекулярно-пучкової епітаксії, і систем з квантовими точками на основі сполук  $A_2B_6$ , отриманими методами колоїдної хімії (Н.О. Корсунська, Л.Ю. Хоменкова, Б.М. Булах, Л.В. Борковська, Т.Р. Стара).

Виявлено внесок різних каналів випромінювальної рекомбінації носіїв (рекомбінація екситонів у Si-нанокристалах та рекомбінація носіїв через дефекти в оксидній матриці) у спектри люмінесценції цих об'єктів залежно від режимів їх отримання, а також його трансформацію в процесі старіння та під впливом зовнішніх обробок (Н.О. Корсунська, Т.В. Торчинська, Л.Ю. Хоменкова, Т.Р. Стара).

Для епітаксійних гетероструктур  $CdSe/ZnSe$  з квантовими точками ідентифіковано смуги люмінесценції, пов'язані з катіонними вакансіями, і показано, що вакансії, які утворюються в процесі росту, перешкоджають самоорганізації великих за розмірами квантових точок і зумовлюють швидке розчинення точок при термічних відпалах унаслідок стимуляції процесів латеральної дифузії (Л.В. Борковська, Н.О. Корсунська).

Вперше отримано аналітичний розв'язок системи рівнянь для моделі незалежного захоплення носіїв заряду в квантові точки  $CdSe$  і експериментально підтверджено, що ця модель задовільно описує процес термічного гасіння люмінесценції в епітаксійних структурах  $CdSe/ZnSe$  з квантовими точками (Л.В. Борковська, Н.О. Корсунська). Разом з тим показано, що для структур  $InAs/InGaAs/GaAs$  з  $InAs$  квантовими точками в асиметричній  $InGaAs$  квантовій ямі термічне гасіння фотолюмінесценції описується моделлю двоступінчастого термічного викиду екситонів з квантових точок у

квантову яму і з квантової ями в GaAs-бар'єр (Л.В. Борковська, Н.О. Корсунська, Т.В. Торчинська).

Встановлено механізм спектрального зсуву максимуму смуги випромінювання колоїдних квантових точок CdSe/ZnS типу ядро/оболонка в разі приєднання до них біомолекул. Цей ефект може бути покладений в основу методу реєстрації наявності імунокомплексів і дає змогу істотно поліпшити точність імунофлуоресцентного аналізу (Л.В. Борковська, Н.О. Корсунська, Л.В. Щербина).

Разом з японськими колегами виконано низку експериментальних і теоретичних досліджень з лазерноіндукованого легування напівпровідника CdTe, формування  $p-n$ -переходу у поверхневій ділянці кристала і на основі створених діодів розроблено детектори ядерного випромінювання (О.І. Власенко, В.А. Гнатюк, А. Байдулаєва, С.М. Левицький, В.П. Велешук).

Відкрито явище від'ємної люмінесценції, яке виникає, коли концентрація електронів і дірок менша за їх рівноважні значення. Спільні теоретичні та експериментальні дослідження дали змогу спостерігати це явище для різних напівпровідникових матеріалів і структур в умовах дефіциту носіїв. Явище є важливим для приладів далекого інфрачервоного діапазону, зокрема для роботи фотодетекторів (В.К. Малютенко, В.Й. Піпа).

Методом РАМБЕ на нітридизованій підкладці Si(111) було вирощено зразки з нанодротами, які містили вставки  $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  з вмістом Al ( $x = 0,0; 0,22; 0,49; 1,0$ ). Встановлено, що під час росту в частинах нанодротів (НД), які містять вставку  $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ , оболонка навколо GaN бази НД формується з більшим вмістом Al. Було показано, що її товщина і склад залежать від складу вставки  $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ . У процесі дослідження катодолюмінесценції виявлено сильний синій зсув у ділянці ядро—оболонка GaN. За допомогою X-променевого дослідження визначено наявність напруг стиску в напрямку, паралельному  $c$ -осі НД в ядрі—GaN, які змінюються від 1,1 ГПа (для зразків зі вставкою  $\text{Al}_{0,22}\text{Ga}_{0,78}\text{N}$ ) до майже 2 ГПа (для чистого AlN). Порівнянням усереднених значень, отриманих з катодолюмінесценції (КЛ) та під час X-променевого дослідження, знайдено співвідношення між синім зсувом у КЛ та напругами стиску в ядрі GaN. Наші результати показали, що таку залежність можна відносно легко визначити. Ці структури можна використовувати для створення, наприклад, мікро-СВД на нанодротах, де склад шару  $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  є важливим змінним базовим параметром усієї структури (В.П. Кладько, А.В. Кучук, Н.В. Сафрук).

Встановлено залежність граничних параметрів приймачів терагерцового випромінювання від частоти і потужності. Розроблено лабораторний макет камери бачення на основі матриць ПЗЗ, які є безвакуумними електронними пристроями. Їх використання у пристроях нічного бачення (ПНБ) без охолодження дає можливість реалізовувати ПНБ з параметрами, які відповідають вакуумним електронно-оптичним приладам покоління 2+

і можуть застосовуватися для пристроїв контролю транспорту в нічних умовах за низької освітленості, в охоронних системах тощо (Ф.Ф. Сизов).

Виявлено ефект неадитивного впливу на відбивну здатність середовища локалізованих (статичних) і акустичних (динамічних) деформацій. Механізм його полягає в нелінійній взаємодії рентгенівських когерентних і некогерентних (дифузних) хвильових полів у процесах їх багаторазового перерозсіяння на флуктуаційних хвилях концентрації дефектів (В.І. Хрупа, В.Ф. Мачулін).

Розроблено методіку комплексного застосування аналізу товщинних залежностей інтенсивностей і даних ультразвукових експериментів, що дає змогу з'ясувати природу дефектів у цьому найскладнішому випадку розсіяння рентгенівських променів (РП), а також визначити величину статичного фактора Дебая—Валлера та рівень пружних деформацій (В.Ф. Мачулін).

Розроблено методіку структурної діагностики реальних кристалів, що ґрунтується на особливостях динамічного розсіяння РП у кристалічних середовищах у зоні аномальної дисперсії, що дозволило коректно описати ситуацію в діапазоні довжин хвиль гальмівного спектра, де істотну роль відіграють явища аномальної дисперсії в реальних бінарних кристалах. Методичні аспекти робіт з дослідження динамічного розсіяння в діапазоні аномальної дисперсії активно використовують для діагностики нанорозмірних об'єктів (надґратки, структури з квантовими точками, біологічні об'єкти) (В.П. Кладько).

Створено двовимірну модель далекого структурного порядку для функції просторової кореляції вертикально суміщених квантових точок (КТ), яка дає змогу отримувати результати кількісного аналізу гетероструктур з КТ за експериментальними даними високороздільної рентгенівської дифрактометрії (В.П. Кладько).

Закладено фізичні засади нового комплексного методу структурної діагностики реальних кристалів у найскладнішому випадку комплексної дефектної структури, що складається одночасно з деформаційних і композиційних неоднорідностей, який дає змогу визначати не лише структурні характеристики, а й параметр, що характеризує ступінь відхилення реального складу від стехіометричної композиції (В.П. Кладько).

Отримано пріоритетні результати у розвитку динамічної теорії розсіяння рентгенівських променів пружно деформованими багатошаровими квантоворозмірними структурами, що сприяє розвитку нанофізики, нанотехнологій, наноелектроніки та отриманню субмікронних структур із заданими фізичними та фізико-хімічними параметрами і характеристиками (В.П. Кладько).

Удосконалено технології вирощування великогабаритних пластин розробленого в Інституті фізики напівпровідників ім. В.Є. Лашкарьова НАН України і запатентованого оптичного германію нового типу, що дало змогу розширити номенклатуру і підвищити продуктивність вирощування таких



пластин. Досягнуті обсяг (приблизно 100 пластин за рік) і номенклатура є достатніми, щоб забезпечити всіх вітчизняних виробників (Г.С. Пекар, О.Ф. Сингаївський, М.М. Локшин).

Установлено механізм релаксації механічних і термічних деформацій у надгратках GaN/AlN. Показано, що релаксація вбудованої напруги в таких шарах зростає зі збільшенням числа періодів. Знайдено інтервал загальних товщин надграток, для яких можуть виникати обмеження у ході формування когерентних структур (О.Є. Беляєв, В.П. Кладько, А.В. Кучук, Н.В. Сафрюк, Г.В. Станчу, С.Б. Кривий, О.І. Любченко).

Було отримано поляризаційно легований  $p-n$ -перехід на когерентних  $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ -гетероструктурах з  $\Lambda$ -подібним профілем концентрації Al на  $[0001]$ -орієнтованих GaN-підкладках. Методами електростатичної та силової кельвін-зонд-мікроскопії показано ефект п'єзоіндукованого «легування» та формування аналога  $p-n$ -переходу в нанометрових композиційно-градієнтних шарах GaN/Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>N, що важливо для отримання систем GaN і Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>N  $p$ -типу (О.Є. Беляєв, В.П. Кладько, А.В. Кучук, П.М. Литвин, Г.В. Станчу спільно з Institute for Nanoscience and Engineering, University of Arkansas, США).

Методом сканувальної конфокальної мікроспектроскопії комбінаційного розсіяння світла визначено просторовий розподіл пружних деформацій, досконалості кристалічної структури і концентрації носіїв заряду по глибині  $n^{++}-n^0-n^{++}$ -GaN гетеродіодної структури, вирощеної методом молекулярно-променевої епітаксії. Побудовано просторовий профіль зменшення пружної деформації у напрямку від підкладки до поверхні структури і в площині росту від краю сколу структури та профіль розподілу концентрації носіїв заряду в нелегованій  $n^0$ -GaN-ділянці діодної структури (О.Є. Беляєв, В.В. Стрельчук, О.Ф. Коломис, А.С. Ніколенко).

Визначено оптимальні режими опромінення CdTe і твердих розчинів на його основі для отримання наноструктур у результаті опромінення рубіновим, неодимовим та KrF-ексимерним лазером при  $\tau_{\text{імн}} = 7-120$  нс. За зміною оптичного відбивання в часі встановлено, що повне зникнення наноструктур на поверхні (III) CdTe при опроміненні ексимерним KrF-лазером ( $\tau = 20$  нс) відбувається за густини енергії  $50 \pm 2$  мДж/см<sup>2</sup> (О.І. Власенко, В.П. Велешук, В.А. Гнатюк, З.К. Власенко, П.О. Генцарь, С.М. Левицький, М.П. Киселюк).

Запропоновано, теоретично обґрунтовано й експериментально підтверджено можливість механізму формування питомого контактного опору  $\rho_c$  до кремнієвих лавинно-пролітних діодів зі сходинкою легування  $n^+-n$ -типу з урахуванням збагаченого вигину зон у високоомній частині сходинки, який зумовлює зростання  $\rho_c$  у діапазоні температур, вищих за кімнатну, що розширює знання про природу фізичних процесів у контактах метал—напівпровідник (О.Є. Беляєв, А.В. Саченко, Р.В. Конакова, В.М. Шермет).

Установлено, що механізм релаксації напружень у GaN/AlN-короткоперіодних надгратках, вирощених на різних III-нітридних підкладках з орієнтацією (0001) методом молекулярно-променевої епітаксії, залежить від залишкової деформації підкладки. У зразках із псевдоморфним ростом надграток спостерігається тривимірний ріст покривного шару GaN на шаблоні AlN, а двовимірний ріст верхнього шару спостерігається для структур з не-псевдоморфним ростом надграток на шаблоні GaN зі значною щільністю великих тріщин, що з'являються на поверхні (В.Ф. Мачулін, В.П. Кладько, А.В. Кучук, Н.В. Сафрюк, О.Й. Гудименко, О.М. Єфанов, М.В. Слободян).

На основі аналізу вольт-амперних характеристик AlGaN/GaN-структур НЕМТ-типу з нанодротоми отримано залежність провідності нанодротів від їх ширини. Визначено величину ділянки збіднення провідного каналу в таких нанодротах на рівні  $\sim 170$  нм у темнових умовах. Установлено залежність ширини ділянки збіднення від енергії та інтенсивності освітлення (О.Є. Беляєв, А.Б. Алейніков, А.В. Наумов, В.Г. Райчева).

**Кафедра фізики напівпровідників  
у Київському державному університеті ім. Т.Г. Шевченка,  
заснована В.Є. Лашкарьовим**

Школу фізики напівпровідників у КДУ ім. Т.Г. Шевченка заснував у 1949 р. академік АН УРСР В.Є. Лашкарьов. У подальшому її очолювали професори В.І. Ляшенко (1957—1960), Ю.І. Карханін (1960—1975), В.І. Стріха (1975—1996). Науковим керівником школи фізики напівпровідників наразі є О.В. Третьак, професор, академік НАПН України. Основні напрями наукової діяльності школи:

- дослідження генераційно-рекомбінаційних процесів та електронного транспорту в напівпровідниках та напівпровідникових структурах;
- теоретичні та експериментальні дослідження електронного перенесення двовимірних вільних носіїв заряду у напівпровідникових наноструктурах;
- дослідження електрофізичних та фотоелектричних ефектів в органічних напівпровідниках та шаруватих структурах на їх основі;
- визначення впливу зовнішніх факторів на параметри поверхнево-бар'єрних структур з включеннями нанокристалічних напівпровідників і використання таких ефектів для сенсорики;
- розроблення фізичних моделей та модернізація методів дослідження параметрів глибоких центрів зі складною енергетичною будовою.

Проведені дослідження узагальнено у 22 монографіях.

Члени школи — викладачі та співробітники Університету захистили понад 50 кандидатських і 13 докторських дисертацій: В.І. Стріха, В.М. Добровольський, Г.П. Пека, В.А. Бродовий, Г.А. Холодар, Ю.В. Воробйов, О.В. Третьак, Д.І. Шека, Ю.С. Жарких, Є.В. Бузаньова, В.В. Ільченко, В.А. Скришевський, Г.В. Кузнецов. Серед вихованців школи 21 лауреат Державних премій

СРСР та УРСР, понад 20 академіків та членів-кореспондентів АН УРСР, НАН України та інших академій, у тому числі: акад. НАН України О.В. Снітко, чл.-кор. НАН України В.Г. Литовченко, чл.-кор. НАН України М.К. Шейнкман (усі — лауреати Державної премії України), чл.-кор. НАН України Б.О. Нестеренко, лауреат Ленінської премії Л.О. Петров, лауреати Державної премії СРСР В.І. Калмановський, І.М. Цидильківський, лауреати Державної премії України Ю.О. Тхорик, Л.В. Ляшенко, А.К. Смовж, С.О. Добролеж. Серед лауреатів Державних премій України — сім вчених факультету, представників школи фізики напівпровідників: В.І. Стріха, В.М. Добровольський (двічі), С.П. Павлюк, Г.П. Пека, Г.А. Холодар, Д.І. Шека, О.В. Третьак.

### Основні роботи школи

#### Монографії

Мизецкая, И.Б., Буденная, Л.Д., Олейник, Н.Д. (1976). Физико-химические основы синтеза полупроводниковых монокристаллов. К.: Наук. думка. 76 с.

Любченко, А.В., Шейнкман, М.К. (1981). Неравновесные процессы в фотопробниках. К.: Наук. думка. 264 с.

Любченко, А.В., Сальков, Е.А., Сизов, Ф.Ф. (1984). Физические основы полупроводниковой инфракрасной фотоэлектроники (современные тенденции, новые материалы). К.: Наук. думка. 256 с.

Шейнкман, М.К., Корсунская, Н.Е. (1986). Фотохимические реакции в полупроводниках типа  $A_2B_6$ . В кн.: Физика соединений  $A_2B_6$ . Под ред. А.Н. Георгобиани, М.К. Шейнкмана. М.: Наука. 319 с.

Lukyanchikova, N.V. (1997). Noise Research in Semiconductor Physics. London. Gordon & Breach. 412 p.

Ostapenko, S.S., Korsunkaya, N.E., Sheinkman, M.K. (2002). Ultrasound stimulated defect reactions in semiconductors. In: Defect interaction and clustering in semiconductors. Ed. S. Pizzini. Zurich: Scitec Publication Ltd. 370 p.

Даценко, Л.И., Кладько, В.П., Мачулин, В.Ф., Молодкин, В.Б. (2002). Динамическое рассеяние рентгеновских лучей реальными кристаллами в области аномальной дисперсии. К.: Академперіодика. 352 с.

Ostapenko, S., Korsunskaya, N.E., Sheinkman, M.K., Koveshnikov, S. (2002). Semiconductor ultrasound treatment. In: Wiley Encyclopedia of Electrical and Electronics Engineering. V. 19. Ed. John G. Webster. John Wiley & Sons, Inc. P. 171—179.

Молодкин, В.Б., Низкова, А.И., Шпак, А.П., Мачулин, В.Ф., Кладько, В.П., Прокопенко, И.В., Кютт, Р.Н., Кисловский, Е.Н., Олиховский, С.И., Первак, Е.Б., Фодчук, И.М., Дышеков, А.А., Хапачев Ю.П. (2005). Дифрактометрия наноразмерных дефектов и гетерослоев кристаллов. К.: Академперіодика. 364 с.

Borkovska, L.V., Korsunskaya, N.E., Markevich, I.V., Sheinkman, M.K. (2006). Mobile point defects in wide-band gap II-VI semiconductors as a factor of their instability. In: New Developments in Condensed Matter Physics. Ed. J.V. Chang. P. 215—248.

Кладько, В.П., Мачулін, В.Ф., Григор'єв, Д.О., Прокопенко, І.В. (2006). Рентгенооптичні ефекти в багаточарових періодичних квантових структурах. К.: Наук. думка. 287 с.

Єфанов, О.М., Кладько, В.П., Мачулін, В.Ф., Молодкін, В.Б. (2008). Динамічна дифракція X-променів у багатошарових структурах. К.: Наук. думка. 223 с.

Torchynska, T.V., Shcherbyna, L.V. (2010). SiC nanocrystal structures. In: Nanocrystals and quantum dots of group IV semiconductors. Ed.: T.V. Torchynska, Yu. Vorobiev. Mexico: Mexico D.F. National Polytechnic Institute. USA, California: American Scientific Publisher. P. 116—148.

Belyaev, A.E., Boltovets, N.S., Venger, E.F., Konakova, R.V., Kudryk, Ya.Ya., Milenin, V.V., Milenin, G.V. (2011). Physico-Technological Aspects of Degradation of Silicon Microwave Diodes. Kyiv: Akadempriodika. 182 p.

Баранський, П.І., Беляєв, О.Є., Гайдар, Г.П., Кладько, В.П., Кучук, А.В. (2014). Проблеми діагностики реальних напівпровідникових кристалів. К.: Наук. думка. 463 с.

Беляєв, А.Е., Бессолов, В.Н., Болтовец, Н.С., Жилиев, Ю.В., Кладько, В.П., Конакова, Р.В., Кучук, А.В., Саченко, А.В., Шеремет, В.Н. (2016). Физико-технологические проблемы нитридгаллиевой электроники. К.: Наук. думка. 258 с.

Tomashyk, V. (2018). Quaternary Alloys Based on III-V Semiconductors. London: CRC Press. 322 p.

Korsunskaya, N., Khomenkova, L. (2018). Multifunctional Zirconia-based Nanocomposites. In: Solid State Composites and Hybrid Systems. Ed. R. Savkina, L. Khomenkova. Boca Raton, USA: CRC Press (Taylor & Francis Groups). 216 p.

Баранський, П.І., Беляєв, О.Є., Гайдар, Г.П. (2019). Кінетичні ефекти в багатодлинних напівпровідниках. К.: Академперіодика. 448 с.

### Статті

Лашкарёв, В.Е. (1941). Исследование запорного слоя методом термозонда. *Изв. АН СССР, сер. «Физ.»*. Т. 5, № 4—5. С. 442—456.

Лашкарёв, В.Е., Косоногова, К.М. (1946). Фотоэлектродвижущие силы в однородном полупроводнике (закиси меди). *ЖЭТФ*. Т. 16, № 9. С. 786—789.

Лашкарёв, В.Е. (1948). «Продольная» фотопроводимость полупроводников. *ЖЭТФ*. Т. 18, № 11. С. 953—961.

Лашкарёв, В.Е. (1948). Свойства плохопроводящих слоёв между металлом и полупроводником. *ЖЭТФ*. Т. 18, № 11. С. 1347—1355.

Лашкарёв, В.Е. (1952). Работа выхода и проводимость полупроводников при наличии поверхностного заряда. *Изв. АН СССР, сер. «Физ.»*. Т. 16, № 2. С. 203—210.

Дейген, М.Ф., Лашкарёв, В.Е. (1953). О коэффициенте прозрачности контакта полупроводник—металл. *Труды ИФ АН УССР*. № 4. С. 3—10.

Лашкарёв, В.Е., Карханин, Ю.И. (1955). Длина диффузионного смещения в закиси меди. *ДАН СССР*. Т. 101, № 5. С. 829—832.

Лашкарёв, В.Е., Романов, В.А. (1956). Объёмная фото-э.д.с. в полупроводниках. *Радиотехника и электроника*. Т. 1, № 8. С. 1144—1146.

Жидков, В.А., Лашкарёв, В.Е. (1956). Новый вид термических акцепторов в германии. *Изв. АН СССР, сер. «Физ.»*. Т. 20, № 12. С. 1521—1525.

Лашкарёв, В.Е., Ляшенко, В.И. (1956). Поверхностная проводимость закиси меди. *ДАН СССР*. Т. 106, № 2. С. 243—245.

Баранский, П.И., Лашкарёв, В.Е. (1957). Измерение объёмной термо-э.д.с. в германии. *ЖТФ*. Т. 27, № 6. С. 1161—1166.

Лашкарёв, В.Е., Литовченко, В.Г., Омельяновская, Н.М. и др. (1957). Зависимость времени жизни сторонних носителей тока от концентрации примеси сурьмы в германии. *ЖТФ*. Т. 27, № 11. С. 2437—2439.

Лашкарёв, В.Е., Сальков, Е.А., Федорус, Г.А., Шейнкман, М.К. (1958). Дослідження спектральних характеристик монокристалів селенистого кадмію. *УФЖ*. Т. 3, № 2. С. 204—215.

Лашкарёв, В.Е., Рашба, Э.И., Романов, В.А. и др. (1958). Кинетика некоторых электронных процессов в полупроводниках. *ЖТФ*. Т. 28, № 9. С. 1853—1870.

Lashkarev, V.E., Miselyuk, E.G., Glinchuk, K.D. (1959). Effect of annealing on the state of certain impurities in Ge. *J. Phys. Chem. Sol.* V. 1, N 8. P. 84—86.

Лашкарёв, В.Е. (1961). Кинетика «квазимонополярной» фотопроводимости полупроводников. *ФТТ*. Т. 3, № 7. С. 1963—1972.

Лашкарёв, В.Е., Голынная, Г.И., Шейнкман, М.К. (1963). О канале быстрой рекомбинации на поверхности монокристаллов CdS. *ФТТ*. Т. 5, № 12. С. 3420—3425.

Lashkarev, V.E., Sheinkman, M.K. (1965). Determination of the parameters of sensitizing recombination centers in CdS and CdSe single crystals by temperature and optical quenching of photocurrents. *Phys. St. Sol.* V. 11, N 1. P. 429—441.

Лашкарёв, В.Е., Малютенко, В.К., Романов, В.А. (1966). Метод определения времени жизни неосновных носителей в монополярных полупроводниках. *ФТТ*. Т. 8. С. 67—71.

Korsunskaya, N.E., Markevich, I.V., Sheinkman, M.K. (1966). Low temperature photochemical reactions in CdS single crystals. *Phys. St. Sol.* V. 13. P. 25—36.

Городецкий, И.Я., Лашкарёв, В.Е., Шейнкман, М.К. (1967). Параметры рекомбинационных центров в монокристаллах CdS, легированных золотом. *УФЖ*. Т. 12. С. 1919—1922.

Tyagai, V.A., Lukyanchikova, N.B. (1968). Electrochemical noise of iodine reduction on a cadmium sulfide surface. *Surface Science*. V. 12, N 2. P. 331—340.

Лашкарёв, В.Е., Сальков, Е.А., Шейнкман, М.К. (1969). Дослідження внутрішнього фотоэффекту в екситонному діапазоні спектра поглинання монокристалів CdS. *УФЖ*. Т. 14, № 3. С. 363—372.

Lukyanchikova, N.B. Photoluminescence noise in CdS-type photoconductors. (1970). *Phys. St. Sol. (a)*. V. 3, N 1. P. 89—98.

Bulakh, V.M., Pekar, G.S. (1970). Single crystal formation in boules CdS crystal growth from the vapour phase. *J. Cryst. Growth*. V. 7, N 4. P. 375—376.

Гринь, В.Ф., Лашкарёв, В.Е., Сальков, Е.А., Хвостов, В.А. (1973). Дослідження зв'язку між «крайовою» та екситонною емісією у CdS-монокристалах. *УФЖ*. Т. 18, № 1. С. 117—125.

Шейнкман, М.К., Шик, А.Я. (1976). Долговременные релаксации и остаточная проводимость в полупроводниках. *ФТП*. Т. 10, № 2. С. 209—231.

Лукьянчикова, Н.Б., Пекар, Г.С., Шейнкман, М.К. и др. (1981). Эффективные голубые ZnS-светодиоды на основе МДП-структур с «толстым» диэлектриком. *Письма в ЖТФ*. Т. 7, № 20. С. 1262—1266.

Korsunskaya, N.E., Markevich, I.V., Torchinskaya, T.V., Sheinkman, M.K. (1982). The recharge-enhanced transformations of donor-acceptor pairs and clusters in CdS. *J. Phys. Chem. Sol.* V. 43. P. 475—479.



Bondarenko, V.A., Pokhodnya, K.I., Sushko, Yu.V., Tanatar, M.A. (1991). Ion conductivity in (BEDT-TTF) Ag<sub>x</sub>I<sub>y</sub>. *Synth. Metals*. V. 41—43. P. 2221—2224.

Malyutenko, V.K. (1995). HgCdTe and other infrared material status in Ukraine. *J. Electron. Mat.* V. 24, N 9. P. 1231—1238.

Klimova, N.V., Korsunskaya, N.E., Markevich, I.V., Pekar, G.S., Singaevsky, A.F. (1995). Large CdS single crystals with a high optical strength. *Material Science & Engineering B*. V. B34. P. 12—17.

Tanatar, M.A., Kagoshima, S., Ishiguro, T., Ito, H., Yefanov, V.S., Bondarenko, V.A., Kushch, N.D., Yagubskii, E.B. (2000). Electronic transport properties and structural transformations of kappa-(BEDT-TTF)<sub>2</sub>CuN(CN)<sub>2</sub>I. *Phys. Rev. B: Condensed Matter*. V. 62, N 23. P. 15561—15568.

Borkovska, L.V., Khomenkova, L.Yu., Korsunskaya, N.E., Markevich, I.V., Sheinkman, M.K. (2001). Investigation of lattice defects by means of their drift in electric field. *Phys. B*. V. V. 308—310. P. 967—970.

Lukyanchikova, N.B., Petrichuk, M.V., Garbar, M.P., Riley, L.S. Shall, S. (2002). A study of noise in surface and buried channel SiGe MOSFETs with gate oxide grown by low temperature plasma anodization. *Solid-State Electronics*. V. 46, N 12. P. 2053—2061.

Torchynska, T.V., Morales Rodriguez, M., Becerril-Espinoza, F.G., Korsunskaya, N.E., Khomenkova, L.Yu., Scherbina, L.V. (2002). Ballistic effect and red photoluminescence of Si wires. *Phys. Rev. B*. V. 65. P. 115313.

Korsunska, N.O., Borkovska, L.V., Bulakh, B.M., Khomenkova, L.Yu., Kushnirenko, V.I., Markevich, I.V. (2003). The influence of defect drift in external electric field on green luminescence of ZnO single crystals. *J. Luminescence*. V. 102—103. P. 733—736.

Rai, R.C., Bondarenko, V.A., Brill, J.W. (2003). Electro-reflectance spectra of blue bronze. *Eur. Phys. J. B*. V. 35, N 2. P. 233—238.

Khomenkova, L., Korsunska, N., Yukhimchuk, V., Jumayev, B., Torchynska, T., Vivas Hernandez, A., Many, A., Goldstein, Y., Savir, E., Jedrzejewski, J. (2003). Nature of visible luminescence and its excitation in Si—SiO<sub>x</sub> systems. *J. Luminescence*. V. 102. P. 705—711.

Malyutenko, V.K. (2004). Negative luminescence in semiconductors: a retrospective view. *Physica E*. V. 20. P. 553—557.

Machulin, V.F., Datsenko, L.I., Kladko, V.P. (2004). Diagnostics of Structure and Composition of Binary Crystals from Dynamical X-ray Scattering in the Region of Anomalous Dispersion. *Crystallography Reports*. V. 49. P. S72—S79.

Torchynska, T.V., Dybiec, M., Ostapenko, S. (2005). Ground and excited state energy trend in InAs/InGaAs quantum dots monitored by scanning photoluminescence spectroscopy. *Phys. Rev. B*. V. 72. P. 195341.

Belyaev, A., Polupan, O., Dallas, W., Ostapenko, S., Hess, D., Wohlgemuth, J. (2006). Crack detection and Analyses Using Resonance Ultrasonic Vibrations in Full-Size Crystalline Silicon Wafers. *Appl. Phys. Letters*. V. 88. P. 111907—111913.

Torchynska, T.V., Casas Espinola, J.L., Borkovska, L.V., Ostapenko, S., Dybiec, M., Polupan, O., Korsunska, N.O., Stintz, A., Eliseev, P.G., Malloy, K.J. (2007). Thermal activation of excitons in asymmetric InAs dots-in-a-well InGaAs/GaAs structures. *J. Appl. Phys.* V. 101. P. 024323.

Kladko, V.P., Kuchuk, A.V., Safryuk, N.V., Machulin, V.F. et al. (2009). Mechanism of strain relaxation by twisted nanocolumns revealed in AlGaIn/GaN heterostructures. *Appl. Phys. Letters*. V. 95, N 3. P. 031907.

Borkovska, L., Korsunskaya, N., Venger, Ye., Sadofyev, Yu., Kazakov, I., Kryshtab, T. (2009). Peculiarities of the thermal activation of carriers in CdSe/ZnSe QD structures. *J. Mater. Sci.: Mater. Electron.* V. 20. P. 102—S106.

Baran, M., Bulakh, B., Venger, Ye., Korsunskaya, N., Khomenkova, L., Stara, T., Goldstein, Y., Savir, E., Jedrzejewski, J. (2009). The structure of Si-SiO<sub>2</sub> layers with excess Si content prepared by magnetron sputtering. *Thin Solid Films.* V. 517, N 18. P. 5468—5473.

Lukyanchikova, N., Garbar, N., Kudina, V., Smolanka, A., Simoen, E., Claeys, C. (2011). LKE and BGI Lorentzian noise in strained and non-strained tri-gate SOI FinFETs with HfSiON/SiO<sub>2</sub> gate dielectric. *Solid-State Electronics.* V. 63, N 1. P. 27—36.

Kladko, V.P., Kuchuk, A.V., Safryuk, N.V., Machulin, V.F. et al. (2011). Influence of template type and buffer strain on structural properties of GaN multilayer quantum wells grown by PAMBE. X-Ray study. *J. Physics D: Applied Physics.* V. 44, N 2. P. 025403.

Borkovska, L.V., Korsunskaya, N.O., Kushnirenko, V.I., Stara, T.R., Kladko, V.P., Kryshtab, T.G. (2012). Study of thermal stability of CdSe/ZnSe quantum dot heterostructures. *Phys. St. Sol. C.* V. 9, N 8—9. P. 1768—1771.

Borkovska, L., Korsunskaya, N., Stara, T., Kolomys, O., Strelchuk, V., Rachkov, O., Kryshtab, T. (2013). The mechanism of the photoluminescence changes in bio-conjugated CdSe/ZnS quantum dots. *Appl. Surface Science.* V. 281. P. 79—83.

Markevich, I.V., Stara, T.R., Kuchuk, A.V., Polishchuk, Yu.O., Kladko, V.P. (2014). Formation of MgZnO alloy under thermodynamic conditions. *Phys. B.* V. 453. P. 123—126.

Baran, M.P., Korsunskaya, N.E., Stara, T.R., Venger, Y.E., Kryshtab, T.G., Stroyuk, O.L., Raevskaya, A.L., Korzhak, G.V., Kuchmiy, S.Ya. (2016). Graded ZnS/ZnS<sub>x</sub>O<sub>1-x</sub> heterostructures produced by oxidative photolysis of zinc sulfide: Structure, optical properties and photocatalytic evolution of molecular hydrogen. *J. Photochem. Photobiol. A.* V. 329. P. 213—220.

Markevich, I., Stara, T., Khomenkova, L., Kushnirenko, V., Borkovska, L. (2016). Photoluminescence engineering in polycrystalline ZnO and ZnO-based compounds. *AIMS Mater. Science.* V. 3. P. 508—524.

Маркевич, І.В., Борковська, Л.В., Венгер, Є.Ф., Корсунська, Н.О., Кушніренко, В.І., Мельничук, О.В., Мельничук, Л.Ю., Хоменкова, Л.Ю. (2018). Електричні, оптичні та люмінесцентні властивості монокристалів оксиду цинку. *УФЖ. Огляди.* Т. 13, № 1. С. 57—76.

Tanatar, M.A., Bondarenko, V.A., Timmons, E.I., Prozorov, R. (2018). Modular portable unit for thermal conductivity measurements in multiple cryogenic/magnetic field environments. *Rev. Scient. Instr.* V. 89. P. 013903.

Borkovska, L., Khomenkova, L., Markevich, I., Osipyonok, M., Stara, T., Gudymenko, O., Kladko, V., Baran, M., Lavoryk, S., Portier, X., Kryshtab, T. (2018). Effect of Li<sup>+</sup> co-doping on structural and luminescence properties of Mn<sup>4+</sup> activated magnesium titanate films. *J. Mater. Sci.: Mater. Electron.* V. 29, N 18. P. 15613.

Korsunskaya, N., Polishchuk, Y., Baran, M., Nosenko, V., Vorona, I., Lavoryk, S., Ponomaryov, S., Marie, O., Portier, X., Khomenkova, L. (2018). Peculiarities of Thermally Activated Migration of Subvalent Impurities in Cu-Doped Y-Stabilized ZrO<sub>2</sub> Nanopowders Produced From Zr Oxychlorides. *Frontiers Materials.* V. 5. P. 23.

Khomenkova, L., Korsunskaya, N., Labbé, C., Portier, X., Gourbilleau, F. (2019). The peculiarities of structural and optical properties of HfO<sub>2</sub>-based films co-doped with silicon and erbium. *Appl. Surf. Science.* V. 471. P. 521.

### 3.3.

#### В.Є. Лашкар'єв — засновник школи фізики напівпровідників

Розвиток фізики напівпровідників у Радянському Союзі тісно пов'язаний з ім'ям видатного українського фізика Вадима Євгеновича Лашкар'єва.

Його наукова діяльність розпочалася у 1924 р. в Києві, в аспірантурі при науково-дослідній кафедрі Народного комісаріату освіти УРСР, куди Вадим Євгенович вступив після закінчення Київського інституту народної освіти.

У цей перший київський період (1924—1930) молодого вченого цікавили актуальні питання тогочасної фізики, наприклад фізика рентгєнівських променів та загальна теорія відносності. Під час виконання циклу робіт, присвячених рентгєнівським дослідженням, В.Є. Лашкар'єв разом з В.П. Линником розробили новий прилад — тоталь-рефлектометр і визначили показники заломлення рентгєнівських променів для низки речовин.

Назви його робіт того часу — «К теорії гравітації», «К теорії движєния матерії и света в гравітаціонном полі», «Вывод коєффициента увлєчения Френєля из теорії квантов света» — свідчать про широке коло інтересів вченого, пов'язаних з новою фізикою. Фактично в ті роки В.Є. Лашкар'єв уже став всєвітньо відомим фізиком, його праці друкувалися в німецьких журналах (Linnik, 1926; Laschkarew, 1927).

У 1929—1930 рр. Вадим Євгенович очолював відділ в Інституті фізики АН УРСР. У 1930 р. він переїхав до Ленінграда (нині — Санкт-Петербург) і очолив лабораторію у Фізико-технічному інституті АН СРСР. Тут, у найсильнішій науковій школі радянських фізиків, очолюваній академіком А.Ф. Йоффе, на повну силу розквітнув його таланти. Вадим Євгенович швидко оцінив революційне значення квантової механіки, яка тоді тільки зародилася і яку з недовірою зустріли деякі, навіть видатні, фізики того часу. У цей період він виконав роботи з дифракції електронів, які згодом стали класичними. Серед них передусім слід відзначити роботи з визначення положення протонів у ґратці нашатиру, а також з визначення потенціалу кристалічної ґратки та розподілу електронної густини з аналізу електронно- та рентгєнограм.

У 1933 р. В.Є. Лашкар'єв написав першу в Радянському Союзі монографію з дифракції електронів. У 1935 р. йому було присвоєно ступінь доктора фізико-математичних наук. У цей період діяльності (1930—1935) В.Є. Лашкар'єв швидко став одним з провідних представників блискучої плеяди молодих радянських фізиків, що зросли у Ленінградському фізико-технічному інституті АН СРСР. Паралельно В.Є. Лашкар'єв викладав у Ленінградському політехнічному інституті як доцент.

З 1935 по 1939 р. В.Є. Лашкар'єв зазнав репресій. Його було вислано на поселення до Архангєльська, де він працював на кафедрі фізики у новоствореному Архангєльському медінституті. Там він вивчав біофізику і

провів оригінальні дослідження проходження електричних струмів у нервових волокнах.

У 1939 р. на запрошення Української академії наук Вадим Євгенович повертається до Києва, де в Інституті фізики АН УРСР очолює відділ фізики напівпровідників, а в Київському університеті — кафедру фізики. Під його керівництвом вивчали фотоелектричні і контактні явища у складних напівпровідниках ( $\text{AgS}$ ,  $\text{CuO}$ ,  $\text{Cu}_2\text{O}$ ,  $\text{Se}$ ,  $\text{Te}$  та ін.).

У той час було проведено дослідження запірного шару просторового заряду і зроблено відкриття нобелівського рівня, а саме, було відкрито  $p$ — $n$ -перехід, що забезпечує основний механізм випрямлення, зокрема вентильний фотоэффект (вентильна фото-е.р.с.) (Lashkaryov, 1941).  $p$ — $n$ -Перехід в  $\text{CuO}_x$ -шарі було відкрито завдяки використанню біелектродного термозонда. Згодом (1947)  $p$ — $n$ -перехід було перевідкрито на  $\text{Ge}$  (Бардін, Шоклі, Браттейн), і він дотепер залишається основною структурою напівпровідникової електроніки.

Слід зазначити, що дослідження В.Є. Лашкарьова в галузі напівпровідників (термо-, фотоелектричні, рентгенівські властивості) розпочалися ще в 1939—1941 рр. в Інституті фізики АН УРСР та Київському державному університеті. Вивчалися широкозонні напівпровідники, переважно з прямою структурою з великим внеском іонного зв'язку (оксидні  $\text{CuO}$ ,  $\text{Cu}_2\text{O}$ ,  $\text{ZnO}$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{SeO}_x$ ,  $\text{Ag}_2\text{S}_3$  та ін.).

Дослідження властивостей поверхні В.Є. Лашкарьов разом з досвідченими фізиками В.І. Ляшенком, Г.А. Федорусом спочатку проводили переважно на плоскому контакті метал — напівпровідник, а результати були опубліковані у відомих фізичних журналах — «Журнал экспериментальной и теоретической физики» (ЖЭТФ); «Известия Академии наук СССР» (Изв. АН) та ін. (1938—1941). Вже тоді В.Є. Лашкарьов виконав цикл досліджень з конденсаторної фото-е.р.с. та з термо-е.р.с. точкового контакту. Саме останні дослідження сприяли здійсненню ним у 1940 р. видатного відкриття — виявлення бар'єрної структури  $p$ — $n$ -переходу, яка становить основу сучасної напівпровідникової електроніки.

До війни найпоширенішими промисловими напівпровідниковими приладами були потужні селенові випрямлячі та fotocутливі мідь-оксидні і сірчано-срібні фотоелементи. Механізм випрямлення, однак, не було остаточно встановлено, хоча було зрозуміло, що існує випрямний бар'єр, вбудований у напівпровідник. Вже тоді В.Є. Лашкарьов запропонував дослідження бар'єрного шару оригінальним методом термоелектричного зонда. Розгорнута стаття В.Є. Лашкарьова на цю тему з'явилася якраз перед початком війни у журналі «Известия АН СССР» (Lashkaryov, 1941). Йшлося про розроблення методу подвійного термозонда (thermo probe), запропонованого автором і застосованого для дослідження бар'єрних шарів міднооксидних ( $\text{CuO}_x$ ), сірчано-срібних фотоелементів та селенових випрямлячів. Ці експерименти довели, що бар'єрний шар існує по обидва боки поверхневого шару напівпровідника, а носії струму в них









мають протилежний знак, тобто це  $n$  (електрон) або  $p$  (дірка). Запропоновано механізм дії напівпровідникових фотовольтаїчних приладів з  $p$ — $n$ -переходом. Саме  $p$ — $n$ -бар'єрні фотоелементи забезпечують максимальні бар'єри (порівняно, наприклад, з контактом Шотткі). Таким чином, В.Є. Лашкар'єв принаймні на 10—15 років випередив своїм відкриттям генеральний напрям розвитку напівпровідникової електроніки, як радіо-, так і фотоелектроніки.

Інший висновок мав принципове значення для розуміння явища термоелектрорушійних сил, що виникають у напівпровідникових матеріалах. Цей ефект є набагато більшим, ніж у металах (зокрема, через слабку теплопровідність та зміну електропровідності напівпровідників у широких межах). Саме висока координатна роздільна здатність (менша за 0,05 мм) дозволила В.Є. Лашкар'єву отримати координатну залежність термо-е.р.с. і встановити геометрію та оцінити товщину  $p$ — $n$ -переходу, що повністю узгоджувалося з його теоретичними розрахунками, які було виконано на основі співвідношень рівняння Пуассона.

Під час війни, перебуваючи разом з евакуйованим ІФ АН УРСР в Уфі (1941—1944), В.Є. Лашкар'єв працював у науково-дослідній установі Міністерства електроніки, де розробив і домігся промислового випуску потужних міднозакисних випрямлячів для живлення польових військових радіостанцій (Лашкар'єв, 1950). На одному з оборонних підприємств Уфи за його безпосередньої участі за короткий час було побудовано великий цех з виробництва напівпровідникових випрямлячів, використовуваних в апаратурі зв'язку, та фотоелементів, що застосовувалися для сигналізації у вимірвальній техніці.

Паралельно з роботою в Академії він очолював лабораторію в галузевому НДІ, яка працювала над удосконаленням напівпровідникових приладів для потреб оборони.

Після повернення до Києва у 1944 р. та обрання академіком АН УРСР у 1945 р. розпочався новий етап наукової діяльності В.Є. Лашкар'єва. Було започатковано майбутню наукову школу фізики напівпровідників, головним результатом якої на початковому етапі стало створення феноменологічної теорії фотопровідності напівпровідників, що містять центри рекомбінації і прилипання кількох типів, розроблено нові стаціонарні і, особливо, кінетичні методи дослідження таких об'єктів і за їх допомогою отримано великий масив нової інформації про механізми фотопровідності та люмінесценції у напівпровідниках  $A^{IV}B^{VI}$  та інших типів.

Дослідження В.Є. Лашкар'єва у післявоєнні роки були також пов'язані з прямозонними напівпровідниками, переважно фоточутливими, груп II—VI та III—V періодичної системи (CdS, CdSe, CaTe, InSb та ін.), хоча поза його увагою не залишилися і матеріали прикладної електроніки — германій і кремній, тобто напівпровідники з валентним зв'язком та з алмазоподібною кристалічною структурою.

Широкомасштабні дослідження германієвих та кремнієвих діодів і транзисторів забезпечили відділу високий авторитет. Зокрема, це стосується досліджень у новій, очолюваній В.Є. Лашкарьовим, спеціалізаційній лабораторії надвисоких частот Київського університету на тему «Дослідження з фізики поверхні напівпровідникових НВЧ-детекторів» (Литовченко, 2014б).

Наступний етап досліджень відображено в циклі публікацій з авторством В.Є. Лашкарьова, надрукованих у центральних академічних фізичних журналах (Лашкарёв, 1957, 1959а, 1959б). Було отримано нові результати з легування германію неглибокою донорною домішкою групи V антимоніду (Sb) та акцепторною домішкою — берилію (Be) групи II. А саме, було показано, що досліджені добре розчинні домішки вводять на неглибокі рівні (центри), що передусім зміщує об'ємний рівень Фермі. При цьому стибій не створює додаткових рекомбінаційних центрів, а лише впливає на зростання рекомбінації через зміну заповнення зарядами вже наявного «власного» центру, ймовірно, пов'язаного з комплексами структурних дефектів, що виникають під час росту кристала. Тоді як для берилію спостерігається інша картина, додатково до цього механізму берилій також вводить нові рекомбінаційні рівні, а тому не є бажаною легувальною домішкою.

Усі учні, колеги та співробітники відзначали незаперечні лідерські якості В.Є. Лашкарьова. Так, у статті, присвяченій його пам'яті (Царенко, 2017), зазначено: «На всіх, кому пощастило близько знати цю незвичайну людину, він справив винятковий вплив своєю особистістю, тонким розумінням фізики і захопленістю нею, можливо, більшою мірою, ніж прямими науковими рекомендаціями та безпосередньою допомогою в роботі. Особисте враження від спілкування з Вадимом Євгеновичем було таким сильним, що здавалося, ніби в діапазоні конкретних результатів ця винятково талановита людина зробила менше, ніж могла б. Проте насіння, яке він сів, проростало у роботах його співробітників, учнів, інших фізиків, і те, чого він не устигав сам, — робили інші».

### *Довідка*

*У 1932 р. було відкрито найпівнічніший у Росії медичний заклад вищої освіти — Архангельський державний медичний інститут (АДМІ, нині — Північний державний медичний університет). Однією з перших в АДМІ сформувалася кафедра фізики. Обов'язки завідувача кафедри фізики АДМІ у 1930-ті роки виконував д-р фіз.-мат. наук, проф. Вадим Євгенович Лашкарьов. Зі спогадів В.Є. Лашкарьова відомо, що великим щастям для нього стало те, що він опинився не на Соловках, у таборі особливого призначення, а в Архангельську. Одним з учнів В.Є. Лашкарьова у той час був Микола Михайлович Амосов (1913—2002), хірург, конструктор, винахідник, письменник, філософ, засновник Національного інституту серцево-судинної хірургії у Києві, який зараз названо його ім'ям.*

**Зі спогадів про В.Є. Лашкар'єва  
Миколи Михайловича Амосова (1913—2002),  
академіка АН УРСР та НАН України, академіка АМН України**

Пишов до нього скласти фізику без підготовки і отримав «чотири», соромно для мене, просив про перездачу. Тоді ж почав мудрувати зі штучним серцем. Вигадка наче дурниця, але ідея логічна. Тепер на принципі такого насоса створили протези серця, деякі працюють уже по кілька місяців, поки донора для пересадки підбирають. Креслення показав Вадиму Євгеновичу, він схвалив і п'ятірку в заліковку написав, не питаючи. Серця я не зробив, але знайомство відбулося. І слід — на все життя (Амосов, 1999).

**Зі спогадів учня В.Є. Лашкар'єва  
Володимира Григоровича Литовченка (нар. 1931),  
члена-кореспондента АН УРСР та НАН України**

Згадую з вдячністю, як фахово й інформативно проводив В.Є. Лашкар'єв семінари — навчав якісно реферувати наукові журнали, особисто пропонуючи статті, присвячені найновішим досягненням транзисторної фізики та техніки. Студенти захоплено дослухалися до його коментарів, порад, навчалися високої культури спілкування, поваги до осіб різного рангу. В цьому я ще більше впевнився, коли працював у заданій лабораторії університету [НВЧ-спецлабораторії] — він підтримував йому одному помітне нове і значне. І вмів без образ відкинути незначне, що тільки відволікало (Литовченко, 2014а).

**Зі спогадів учня В.Є. Лашкар'єва  
Олександра Олександровича Птащенка (нар. 1940),  
професора, завідувача кафедри фізики твердого тіла  
і твердотільної електроніки Одеського державного університету  
ім. І.І. Мечникова**

Працювати під керівництвом Вадима Євгеновича Лашкар'єва було для мене великим дарунком долі. Широка ерудиція у фізиці напівпровідників та напівпровідниковій електроніці поєднувалася у нього з глибокою інтуїцією. Він мав талант розгадувати механізми і будувати моделі фізичних явищ, а потім аналізувати їх математично. Його ідеї та роботи дали початок цілим напрямам у фізиці напівпровідників.

Вадим Євгенович був мудрим і уважним керівником молодих дослідників. Він ніколи не обмежував активності аспірантів, сприяв розвитку духу змагань у паралельних дослідженнях, звертав увагу на головні напрями досліджень, очолював і спрямовував роботу з інтерпретації експериментальних результатів. Працювати під його керівництвом було цікаво і приємно. На семінарах він виховував у співробітників активність під час обговорення проблем, допомагав знайти напрями подальших досліджень.

Мене завжди вражала глибока інтелігентність Вадима Євгеновича (я не знав тоді, що він — зі славного роду грузинських князів Лашкарашвілі), доброзичливість і повсякчасне бажання допомогти своїм молодим співробітникам.

У науковій роботі Вадим Євгенович відзначався такими рисами, як цілеспрямованість і добросесність.

**Зі спогадів учня В.Є. Лашкарьова  
Олександра Олександровича Птащенка**

Вадим Євгенович виступав як співавтор тільки у тих роботах, де був його суттєвий внесок у розв'язання проблеми [1, 2]. В обговоренні результатів роботи [3], у якій було експериментально доведено, що домішкова фотопровідність CdS у певному спектральному діапазоні зумовлена фотоіонізацією очутливлюючих центрів, він взяв активну участь, але бути співавтором відмовився.

1. Лашкарев В.Е., Птащенко А.А. Исследование спектральной зависимости фотоионизации чувствляющих центров в сульфиде кадмия. ДАН СССР, 1967. Т. 172, № 1. С. 77—79.

2. Лашкарев В.Е., Птащенко А.А. Кинетика примесной фотопроводимости полупроводников типа CdS. Укр. физ. журн., 1970. Т. 15, № 7. С. 1108—1115.

3. Птащенко А.А., Сердюк В.В., Кузьменко И.А. Инфракрасное гашение примесной фотопроводимости в сульфиде кадмия. Физ. тверд. тела, 1966. Т. 8, № 5. С. 1623—1625.





Вадим Євгенович Лашкарєв серед викладачів заснованої ним кафедри фізики напівпровідників та спецлабораторії надвисоких частот радіофізичного факультету Київського державного університету. Сидять (зліва направо): Н.Я. Карханіна, В.І. Ляшенко, В.Є. Лашкарєв, Ю.І. Карханін, Г.А. Холодар, Ю.І. Грищенко; стоять, перший ряд: І.Г. Самбур, В.А. Житков, Г.П. Пека, В.І. Стріха, Р.М. Бондаренко, другий ряд: Є.М. Березняковський, В.І. Кожевін, Г.П. Зубрін. 1956 р.

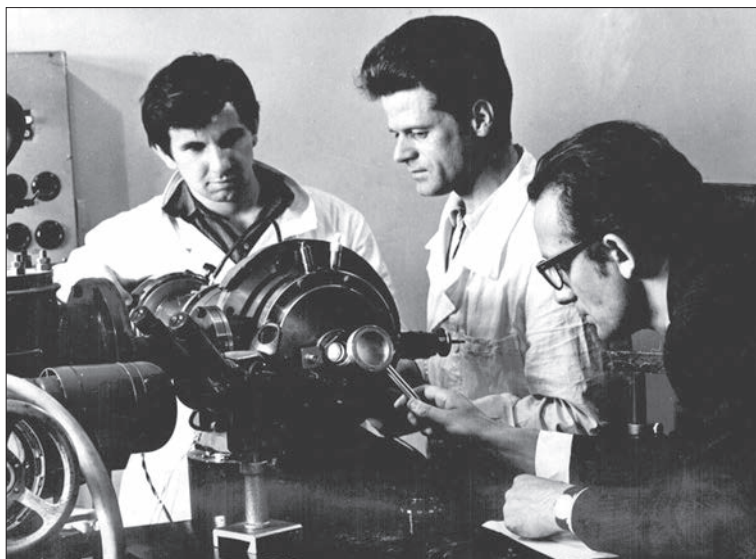


Студенти Київського університету. Перший ліворуч — В.І. Стріха, 5-й ліворуч — В.Г. Литовченко. Початок 50-х років ХХ ст.

## Представники наукової школи «Фізика напівпровідників»



Відділ фотопровідності Інституту напівпровідників АН УРСР.  
Зліва направо: М.К. Шейнкман, Є.А. Сальков, В.Є. Лашкар'єв та  
В.О. Романов. Початок 60-х років ХХ ст.



Аспірант В.П. Папуша (у центрі) за налаштуванням лабораторного  
обладнання лазерного кінескопа в лабораторії квантової радіофі-  
зики Фізичного інституту ім. П.М. Лебедева Академії наук СРСР.  
Москва, червень 1973 р. Фото О. Кузьміна (фотохроніка ТАРС)

Сидять: Л.В. Борковська,  
Б.М. Булах; стоять: Л.Ю. Хо-  
менкова, В.І. Кушніренко,  
В.В. Кислюк. 1999 р.



Відділ анізотропних напівпровідників (зліва направо): Ю.А. Левицький, Г.Г. Бабічев,  
В.О. Романов, С.І. Козловський, Л.В. Святогор та Е.О. Зінченко. 1999 р.





Відділ фотоелектричних явищ. Сидять (зліва направо): І.В. Маркевич, М.К. Шейнкман, Н.О. Корсунська; стоять: І.Л. Горилловська, Л.Ю. Хоменкова, Л.В. Борковська, В.І. Кушніренко, К.П. Шульга, Б.Р. Джумаєв. 2000 р.



Президент України В.А. Ющенко вручає О.І. Власенку Державну премію України в галузі науки і техніки. 2007 р.

---

---

## Розділ 4

# НАУКОВА ШКОЛА «ТЕОРІЯ НАПІВПРОВІДНИКІВ» ІНСТИТУТУ ФІЗИКИ НАПІВПРОВІДНИКІВ ім. В.Є. ЛАШКАРЬОВА НАН УКРАЇНИ

З часу організації Інституту фізики напівпровідників НАН України та від початку його роботи дослідженням з теорії фізики напівпровідників приділялася особлива увага (Інститут, 2010).

*Зі слів В.Л. Гінзбурга (парафраз щодо фізики напівпровідників): «...У фізики напівпровідників існує стрижень, яким є фундаментальні поняття і закони, сформульовані у теоретичній фізиці» (Гінзбург, 1999).*

Було відкрито два теоретичні відділи (з 12 підрозділів новоствореного Інституту): відділ теоретичної фізики (завідувач — академік Соломон Ісакович Пекар) та відділ теорії напівпровідникових приладів (завідувач — проф. Еммануїл Йосипович Рашба).

Відділи отримали номери — № 1 і № 2 відповідно. Уже сама назва відділу № 1 свідчила про те, що фронт його робіт ширший, ніж теорія твердого тіла і теорія напівпровідників. Натомість відділ № 2 був налаштований як на теоретичну підтримку експериментів з фізики напівпровідників, так і на розроблення ідейної бази нових напівпровідникових приладів. Два теоретичних відділи становили теоретичний сектор ІФН із загальним теоретичним семінаром. Неформальним керівником сектору і семінару був академік С.І. Пекар.

Теоретичні відділи виникли не на порожньому місці — кадровий кістяк відділів склали співробітники, які перейшли з Інституту фізики АН УРСР. Крім згаданих С.І. Пекара та Е.Й. Рашби, з моменту створення відділів у них працювали досвідчені професори: К.Б. Толпиго (згодом — чл.-кор. АН УРСР) і І.М. Дикман, а також молоді (на той час) дослідники: І.І. Бойко, В.М. Буймистров, З.С. Грибніков, О.А. Демиденко, В.М. Пісковий, Б.Є. Цеквава, В.І. Шека, Т.Й. Кучер, М.М. Григор'єв, О.І. Толпиго та ін. У 1965—1968 рр. до відділу прийшли як співробітники або аспіранти випускники університетів: В.І. Мельников, В.І. Піпа, А.А. Акоюн, В.О. Кочелап, Ю.О. Кукубний, В.М. Соколов, В.В. Мітін, Ф.Т. Васько та ін.

Слід зазначити, що теоретичними дослідженнями в Інституті займалися не лише в теоретичному секторі. Теоретики, що з різних причин не потрапили до облікового складу теоретичних відділів, зберігали з ними най-



тісніший контакт, працюючи в експериментальних лабораторіях Інституту. Це насамперед М.Ф. Дейген, О.М. Булашенко, О.М. Зюганов, М.О. Захле-нюк, Р.Н. Литовський, Н.А. Прима, А.В. Саченко, С.М. Соскін, Л.С. Хазан, А.М. Яремко та ін.

У 60—70-ті роки ХХ ст. основну тематику відділів становили:

- оптика кристалів (С.І. Пекар, Е.Й. Рашба, В.М. Пісковий, О.А. Демиденко, Б.Є. Цеквава, В.І. Піпа);
- динаміка ґратки (К.Б. Толпиго, Т.І. Кучер);
- фононна взаємодія (С.І. Пекар, Е.Й. Рашба, В.М. Пісковий, В.І. Піпа, В.О. Кочелап, В.М. Соколов);
- зонна структура та спінові явища (Е.Й. Рашба, В.І. Шека, І.І. Бойко);
- явища переносу в напівпровідниках, у тому числі розмірні ефекти, сильнопольові та сильнотрумові явища (Е.Й. Рашба, І.М. Дикман, І.І. Бойко, З.С. Грибніков, В.І. Мельников, М.М. Григор'єв, Ф.Т. Васько, В.О. Кочелап, В.В. Мітін, В.М. Соколов);
- акустoeлектроніка (С.І. Пекар, В.М. Пісковий, О.А. Демиденко, Б.Є. Цеквава, Ю.О. Кукібний);
- теорія напівпровідникових приладів (Е.Й. Рашба, К.Б. Толпиго, З.С. Грибніков);
- нелінійні ефекти в лазерних полях, теорія хімічних лазерів (С.І. Пекар, А.А. Акоюн, В.О. Кочелап, Ю.О. Кукібний, І.О. Ізмайлов, В.В. Наумов та ін.).

У 1966 р. у м. Чорноголовка (Московська область) було організовано Інститут теоретичної фізики АН СРСР (згодом — ІТФ ім. Л.Д. Ландау), запрошення працювати в якому отримали деякі співробітники теоретичних відділів ІФН. Серед них були Е.Й. Рашба, який очолив там сектор теорії напівпровідників, та В.І. Мельников. Після від'їзду Е.Й. Рашби завідувачем відділу напівпровідникових приладів став проф. І.М. Дикман (1967). Важливо, що в подальшому ані Е.Й. Рашба, ані В.І. Мельников не втратили зв'язок з ІФН, тривали спільні роботи, на семінарах теоретичного сектору систематично доповідалися й обговорювалися результати, отримані в ІТФ АН СРСР.

У наступні роки теоретичний сектор повільно, але неухильно зростав завдяки дослідникам, які успішно закінчили аспірантуру. Так, у теоретичному секторі в 1970-х роках з'явилися О.Г. Балєв, В.Л. Борблик, М.І. Дикман, В.М. Іващенко, І.О. Ізмайлов, В.В. Наумов, В.С. Пекар та ін. У 80-ті роки він поповнився великою групою талановитої молоді: Б.Д. Бармашенко, Н.З. Вагідов, А.В. Кузнецов, Л.Ю. Мельников, Ю.С. Мельникова, О.Е. Райчев, Ю.Г. Рубо, Ю.М. Сіренко, В.Н. Смілянський, М.В. Стріха та ін.

У 1983 р. теоретичний відділ № 2 було перетворено на лабораторію з теорії напівпровідникових приладів, завідувачем якої став проф. З.С. Грибніков. Формально лабораторія увійшла до складу відділу № 1, фактично ж було збережено статус відділу з незалежністю в плануванні й проведенні досліджень, доборі співробітників тощо.

Загалом основна тематика відділів залишалася незмінною. Однак увагу було перенесено на квантові явища, зокрема, розроблялася теорія квантування світлових полів у диспергувальних середовищах, поглинальних середовищах, у мікрорезонаторах. Аналізувалися нові надвисокочастотні ефекти, надшвидкий електронний транспорт, електронні флуктуації. У фокусі досліджень були нові напівпровідникові матеріали, зокрема вузькозонні напівпровідники та структури субмікронних масштабів. Було розпочато роботи з теплового випромінювання. Істотно зросла питома вага робіт, що виконуються з використанням електронно-обчислювальних машин.

У 1985 р. помер керівник відділу теоретичної фізики і засновник наукової школи з теорії академік Соломон Ісакович Пекар. Соратники і учні С.І. Пекаря, в тому числі К.Б. Толпиго, Е.Й. Рашба, М.А. Кривоглаз, звернулися до дирекції та вченої ради ІФН з пропозицією призначити керівником відділу В.О. Кочелапа. Пропозицію було підтримано. На той час чисельність теоретичного сектору (з урахуванням аспірантів) становила 30 осіб. Надалі робота сектору тривала з орієнтацією на наукові традиції і правила школи С.І. Пекаря.

З кінця 80-х років, відображуючи тенденції розвитку напівпровідникової науки, у тематиці відділу почали переважати дослідження напівпровідникових гетероструктур, низькорозмірних електронних систем і приладів на їх основі. Вперше з'явилася можливість брати участь у міжнародних конференціях і налагодити міжнародне співробітництво. В результаті було встановлено плідні наукові контакти з багатьма країнами, у тому числі зі США, Великою Британією, Німеччиною, Італією, Канадою та ін. В умовах стрімкого розвитку технологій напівпровідникових матеріалів і структур, методик досліджень такі контакти виявилися надзвичайно важливими, оскільки спрямовували колектив відділу на розв'язання найактуальніших проблем у фізичній науці. Деякі з наукових зв'язків, встановлених у ті роки, виявилися настільки міцними, що зберігаються й досі (понад 30 років!), незважаючи на трансформацію конкретних тематик. Варто назвати деякі з напрямів міжнародного співробітництва.

Для молодих дослідників дуже важливою була кооперація з Центром теоретичної фізики ім. проф. Салама в Трієсті (Італія). З 1988 р. і по сьогодні діє договір між Центром та теоретичним відділом, згідно з яким молоді дослідники мають можливість відвідувати Центр, працювати в ньому і брати участь у численних конференціях, що там проводяться. Слід зазначити, що проблеми конденсованих матеріалів (твердих тіл, напівпровідників та ін.) посідають у дослідженнях Центру одне з важливих місць. За ці роки усі без винятку молоді дослідники відділу багаторазово відвідували Трієст, де збагачувалися знаннями та інформацією про найсучасніші наукові напрями в галузі теорії і фізики твердого тіла. Не менш важливо й те, що для багатьох Трієст став місцем, де вони ознайомилися з життям за кордоном, устроєм західного суспільства, організацією науки, встановили персональні контакти тощо.

Досить плідною стала кооперація з університетами США, що спеціалізуються на теорії напівпровідникових приладів і виконують спільні дослідницькі програми, — Wayne State University, Detroit, University of Illinois at Urbana/Champaign, North Carolina State University, Raleigh, State University of New York at Buffalo, N.Y. Низка співробітників відділу неодноразово відвідували ці університети і працювали в них: В.В. Мітін, В.О. Кочелап, З.С. Грибніков, Ф.Т. Васько, В.І. Шека, В.Й. Піпа, Ю.М. Сіренко, Н.З. Вагідов, О.Е. Райчев, В.М. Соколов. Результатом співпраці стали не лише численні спільні публікації, а й узагальнювальні огляди та монографії (Гинзбург, 1999; Mitin, 2019). Ця співпраця реалізувалася також у рамках багатонаціональних проектів таких міжнародних організацій, як CRDF, NATO Science for Peace and Security, STCU та ін.

Досвід, отриманий у закордонних відрядженнях, також застосовувався для підготовки молодих спеціалістів. Наприклад, з кінця 1990-х років в ІФН читали регулярні курси з новітніх напівпровідникових матеріалів і приладів для аспірантів та молоді (В.О. Кочелап). Зазначимо, що офіційно курси для аспірантів НАН України було введено лише з 2017 р.

Послідовна робота з молодими дослідниками, їх участь у дослідженнях найсучасніших проблем та залучення до міжнародної кооперації сприяли тому, що до початку 90-х років у відділі склалася дуже сильна і активна група молодих теоретиків: Ю.Г. Рубо, М.В. Стріха, Ю.М. Сіренко, А.Н. Кузнецов, М.О. Захленюк, О.М. Булашенко, В.Н. Смілянський та ін. На жаль, соціально-економічне становище країни на той час було настільки складним, що більшість із названих молодих та енергійних людей були змушені перейти до закордонних дослідницьких організацій. Навіть представникам старшого покоління довелося емігрувати за кордон. Найбільш чутливою для відділу втратою такого роду був від'їзд до США у 1991 р. М.І. Дикмана. Озираючись назад, можна з гіркотою стверджувати, що виїзд значної частини наукової еліти в 90-х роках, який був доволі поширеною тенденцією, є непоправною втратою як для української науки, так і для країни в цілому.

Однак життя в країні, Інституті та відділі тривало. У 1992 р. з відділу поверхні перейшов до теоретичного відділу учень М.І. Дикмана, канд. фіз.-мат наук С.М. Соскін. Прийшли нові аспіранти. У 90-х роках до відділу прийняли новачків, які захистили кандидатські дисертації, — Б.А. Главіна та Т.Л. Лінник. Починаючи з 2000 р. дещо поліпшилася «демографія» відділу, з'явилися нові аспіранти. В цілому їх підготовка істотно поступається тій, з якою приходили випускники вишів у 80-ті роки й раніше. Однак ті з них, хто виявляє інтерес і завзятість, швидко ліквідують недобір знань і надалі успішно працюють. Так, В.В. Коротеєв після прийняття у відділ швидко захистив кандидатську дисертацію.

Наприкінці 90-х років у тематиці теоретичного відділу центральне місце почали відводити дослідженням надшвидких явищ та проблем взаємодії напівпровідників з терагерцовим випромінюванням, нових широкозонних

матеріалів на основі нітридів III групи, наноструктур та наносистем, у тому числі нанорозмірних квантових точок, одновимірних «дротів». Використовуючи багаторічний досвід роботи зі спин-орбітальної взаємодії, значну увагу приділяли завданням спинтроніки. Зрештою почали вивчати матеріали в один атомарний шар — графени тощо.

Виклавши загальні, швидше формальні, відомості про діяльність теоретичного сектору ІФН, згадаймо про тих, хто стояв біля витоків, хто сформував наукову школу теоретичної фізики, визначив принципи та основні напрями робіт з теорії напівпровідників в Інституті. Це насамперед академік С.І. Пекар та його найближчі учні й соратники — професори К.Б. Толпиго і Е.Й. Рашба.

## 4.1. Структура і розвиток наукової школи теорії напівпровідників

Для наочності структуру наукової школи фізики поверхні напівпровідників наведено на схемі (див. вклейку). Прізвища основних учнів академіка С.І. Пекаря подано окремо, а послідовників та учнів послідовників — списком у великих рамках.

### Характеристика наукової школи С.І. Пекаря

*Засновник школи* — С.І. Пекар.

*Послідовники* — М.Ф. Дейген, Е.Й. Рашба, К.Б. Толпиго, М.А. Кривоглаз, І.М. Дикман, І.І. Бойко, В.М. Буймистров, З.С. Грибніков, О.А. Демиденко, В.М. Пісковий, Б.Е. Цеквава, В.І. Шека, Т.І. Кучер, М.М. Григор'єв, В.О. Кочелап та ін.

*Учні послідовників* — В.І. Мельников, М.І. Дикман, В.Й. Піпа, А.А. Акопян, Ю.О. Кукібний, В.М. Соколов, Ф.Т. Васько, В.В. Мітін, А.В. Саченко, А.М. Яремко, Н.А. Прима, О.І. Толпиго, Л.С. Хазан, М.О. Захленюк, О.М. Булашенко та ін.

*Наукова продуктивність і потенціал школи:* понад 26 монографій і підручників, більш як 1000 статей, понад 30 патентів України, а.с. СРСР, один академік НАН України, 7 членів-кореспондентів НАН України, понад 40 докторів наук, більш як 80 кандидатів наук.

*Проблемно-тематична широта:* теоретичні та експериментальні дослідження екситонів у кристалах; оптика кристалів, динаміка ґратки, електрон-фононна взаємодія, зонна структура та спінові явища, явища переносу в напівпровідниках, у тому числі розмірні ефекти, сильнопольові та сильнострумкові явища, акустoeлектроніка, теорія напівпровідникових приладів, нелінійні ефекти у лазерних полях, теорія хімічних лазерів; квантові явища, зокрема теорія квантування світлових полів у диспергувальних середовищах, поглинальних середовищах, у мікродрезонаторах, надвисокочастотні ефекти, надшвидкий електронний транспорт, електронні флуктуації; нові напівпровідникові матеріали, зокрема вузькозонні напівпровідники та структури субмікронних масштабів; теплове випромінювання; фізика напівпровідникових гетероструктур, низькорозмірні електронні системи

та прилади на їх основі, взаємодія напівпровідників з терагерцовим випромінюванням, нові широкозонні матеріали на основі нітридів III групи, фізичні процеси у наноструктурах та наносистемах, у тому числі нанорозмірних квантових точках, одновимірних «дротах»; флуктуаційні та динамічні явища у різноманітних фізичних системах, у тому числі напівпровідникових.

*Географічна широта:* Україна, США, Італія, Канада, Іспанія, Німеччина, Франція, Велика Британія, Бразилія.

*Офіційне визнання важливості досліджень наукової школи:* одна Ленінська премія, дві Державні премії України, п'ять інших премій.

### Хронологія наукової школи С.І. Пекара

- 1941** Захист докторської дисертації С.І. Пекаря
- 1944** Організовано відділ в Інституті фізики АН УРСР (керівник — С.І. Пекар)  
Організовано кафедру в Київському державному університеті (керівник — С.І. Пекар)
- 1946** Розроблено теорію полярона, автолокалізованої частинки, електрона, який оточений полем поляризованої ґратки та рухається по ґратці, супроводжуваний поляризаційною «шубою». Маса такої квазічастинки значно перевищує масу «голого» електрона, і її тепловий рух є повільним (С.І. Пекар)
- 1948—1951** Розроблено теорію зонних спектрів, метод ефективної маси (С.І. Пекар, К.Б. Толпиго)
- 1950—1951** Введено поняття «поляритон», «квазічастинка», узгоджено поширення в кристалі власного збудження кристала й електромагнітної хвилі (фотона) (К.Б. Толпиго)
- 1957** Запропоновано теорію додаткових хвиль у кристалі, в якому виникають екситони (хвилі Пекаря) (С.І. Пекар)  
Розроблено теорію локалізованого низькорозмірного екситона (Е.Й. Рашба)
- 1958** Вивчено транспорт носіїв струму в діодах з їх дисипативним перенесенням (Е.Й. Рашба, К.Б. Толпиго)
- 1959** Встановлено ефект Рашби — зняття виродження по спіну у твердих тілах (зокрема, у гетероструктурах) завдяки сильній спін-орбітальній взаємодії (Е.Й. Рашба)  
Виконано мікроскопічні розрахунки динаміки ґратки полярних кристалів (К.Б. Толпиго, Т.Й. Кучер)
- 1960** Організовано відділ теоретичної фізики (керівник — С.І. Пекар)  
Створено відділ теорії напівпровідникових приладів (керівник — Е.Й. Рашба)  
Організовано теоретичний сектор (керівник — С.І. Пекар)  
Відкрито явище комбінованого резонансу у напівпровідниках зі спін-орбітальною взаємодією (Е.Й. Рашба)



- 1961** С.І. Пекара обрано академіком АН УРСР за спеціальністю «Теоретична фізика»
- 18.04.1961** С.І. Пекара обрано академіком АН УРСР за спеціальністю «Теоретична фізика»
- 1964** Організовано відділ радіоспектроскопії (керівник — М.Ф. Дейген)
- 1965** Розроблено теорію гіперзвуку, посилення або генерації ультразвуку в непьезоелектричному кристалі, яка заснована на електрострикційній взаємодії деформації із зовнішнім електричним полем (С.І. Пекар)
- Виявлено розмірні ефекти на біполярній довжині (Е.Й. Рашба, В.О. Романов, І.І. Бойко)
- Встановлено багатозначний ефект Сасаки, долинну поляризацію у сильному електричному полі (З.С. Грибніков, В.В. Мітін, В.О. Кочелап)
- Спостережено розмірні ефекти на міждолинній довжині (Е.Й. Рашба, З.С. Грибніков, В.О. Кочелап)
- Виявлено розмірні ефекти на довжині охолодження гарячих носіїв струму (Е.Й. Рашба, В.І. Мельников, Н.А. Прима)
- 1966** Ленінська премія за теоретичні та експериментальні дослідження екситонів у кристалах (Е.Й. Рашба разом з М.С. Бродиним, В.Л. Броуде, О.С. Давидовим, А.Ф. Лубченком, А.Ф. Прихотько)
- К.Б. Толпиги обрано членом-кореспондентом АН УРСР
- 1967** М.Ф. Дейгена обрано членом-кореспондентом АН УРСР за спеціальністю «Теоретична фізика»
- 20.12.1967** М.Ф. Дейгена обрано членом-кореспондентом АН УРСР за спеціальністю «Теоретична фізика»
- Новий керівник відділу теорії напівпровідникових приладів — І.М. Дикман
- 1971** Виявлено охолодження носіїв струму сильним електричним полем (З.С. Грибніков, В.О. Кочелап)
- 1972** Виявлено гальваномангнітний транспорт у багатодолинних напівпровідниках (В.О. Кочелап)
- 1972—1973** Виявлено електронні фазові переходи у напівпровідниках з деформаційною (електрон-фононою) взаємодією (В.О. Кочелап, В.Й. Піпа, В.М. Соколов, В.М. Пісковий)
- 1980** Досліджено електронні флуктуації і розроблено теорію пригамовування електричних флуктуацій (В.О. Кочелап, М.О. Захленюк, В.М. Соколов)
- Встановлено ефект дисипативної безрезонаторної оптичної бістабільності (В.О. Кочелап, В.М. Соколов, Л.Ю. Мельников)
- 1981** Державна премія УРСР у галузі науки і техніки за комплексне дослідження оптичних та фотоелектричних властивостей напівпровідникових сполук елементів другої та шостої груп періодичної системи (С.І. Пекар спільно з Г.А. Федорусом, М.К. Шейнкманом, І.Б. Мізецькою, М.П. Лисицею, О.В. Снітком, В.Є. Лашкарьовим, Є.А. Сальковим)
- 1982** Наукове відкриття «Властивість багатозначної анізотропії електропровідності напівпровідникових кристалів у сильних електричних полях», диплом № 294 (заявка від 17.04.1982 р.) (З.С. Грибніков, В.В. Мітін)

- 1983** Відділ теорії напівпровідникових приладів реорганізовано у лабораторію (керівник — З.С. Грибніков)
- 1984** Наукове відкриття «Явище поширення додаткових хвиль у кристалах», диплом № 323 (заявка від 27.09.1984 р.) (С.І. Пекар)  
Наукове відкриття «Явище комбінованого резонансу в кристалах», диплом № 327 (заявка від 18.10.1984 р.) (Е.Й. Рашба)  
Виявлено спін-орбітальний резонанс у квантових ямах (Ф.Т. Васько)
- 1985** Новий керівник теоретичного відділу — В.О. Кочелап
- 1988** Виявлено підсилення надвисоких частот у структурах з від'ємною ефективною масою (З.С. Грибніков)
- 1989** Спостережено явище переносу носіїв струму у гетероструктурах — Real Space Transfer (З.С. Грибніков)
- 1995** Встановлено ефект резонансного тунелювання через два бар'єри, утворення просторових структур при резонансному тунелюванні (В.О. Кочелап, Б.А. Главін)
- 1997** Виявлено ефект формування локалізованих фононів у квантових ямах, підсилення НВЧ-фононів дрейфом електронів (В.О. Кочелап, О.А. Демиденко)
- 1999** Вийшли друком монографії, що підсумовують результати, отримані в 1990-х роках: Vasko, F.T., Kuznetsov, A.V. (1999). *Electronic states and optical transitions in semiconductor heterostructures*. Springer; Mitin, V.V., Kochelap, V.A., Stroschio, V.F. (1999). *Quantum Heterostructures (Microelectronics and Optoelectronics)*. Cambridge University Press
- 2000** Встановлено ефект підсилення струмів та генерації субтерагерцових фононів у надгратках (SASER, Sound amplification by stimulated emission of radiation) (В.О. Кочелап, Б.А. Главін, Т.Л. Лінник)
- 2001** Премія імені С.І. Пекаря НАН України за цикл робіт «Теорія електричних та оптичних явищ у квантових гетероструктурах» (В.О. Кочелап, Ф.Т. Васько)
- 2005** Узагальнено методи теорії квантових гетероструктур: Vasko, F.T., Raichev, J.E. (2005). *Quantum Kinetic Theory and Applications (Electrons, Phonons, Photons)*. Springer
- 2006** Державна премія України за роботу в галузі радіоелектроніки (В.О. Кочелап разом з О.Є. Беляєвим, О.М. Назаровим, Т.О. Руденко)  
Відкриття «Багатозначна анізотропія провідності в напівпровідниках» (З.С. Грибніков, В.В. Мітін разом з О.Г. Сарбеем, М. Аше, Х. Костіал)
- 2007** Премія імені С.І. Пекаря НАН України за цикл наукових робіт «Теорія спін-орбітальної взаємодії та поляронних станів у напівпровідниках» (Е.Й. Рашба, В.І. Шека)  
Видано монографію, присвячену напівпровідниковим наноструктурам: Mitin, V.V., Kochelap, V.A., Stroschio, V.F. (2007). *Introduction to Na-*

noelectronics: Science, Nanotechnology, Engineering, and Applications. Cambridge University Press

- 2009** Премія НАН України імені С.І. Пекаря за цикл робіт «Вплив спіно-орбітальної та кулонівської взаємодії на властивості електронних систем» (О.Е. Райчев)
- 2012** В.О. Кочелапа обрано членом-кореспондентом НАН України за спеціальністю «Фізика напівпровідників»
- 13.04.2012**
- 2015** Премія ім. С.І. Пекаря НАН України за передбачення електронних та когерентних акустичних явищ у низьковимірних напівпровідникових структурах (Б.А. Главін)
- 2019** Опубліковано монографію, присвячену оптоелектроніці наноструктур, зокрема двовимірним кристалам: Mitin, V.V., Kochelap, V.A., Strosio, V.F., Dutta, M. (2019). Introduction to Optical and Optoelectronic Properties of Nanostructures.

## 4.2. Наукові досягнення школи теорії напівпровідників

Досягнення наукової школи теорії напівпровідників за більш ніж 50 років її діяльності висвітлено в монографії (Інститут, 2010), а також в інших роботах. У цьому розділі показано основні досягнення за останнє десятиріччя.

В ці роки теоретичні дослідження були спрямовані на вивчення фізичних явищ у квантових гетероструктурах, нових напівпровідникових матеріалах, двовимірних кристалах, гібридних системах тощо. Значну увагу приділено теорії напівпровідникових приладів.

Продовжувалися роботи з вивчення електричних, оптичних та магнітних явищ у квантових гетероструктурах. Досліджено квантові особливості електронної провідності та магнітоопору в системах з двома підзонами (магніто-міжпідзонні осциляції, зумовлені переходами електронів між підзонами при пружному розсіюванні). Вивчено вплив мікрохвильового випромінювання на магнітоопір у подвійних квантових ямах. Проведено теоретичне дослідження низькотемпературного нелінійного транспорту електронів у гетероструктурах на основі GaAs з екстремально високою рухливістю. Виявлено новий механізм нелінійного опору, притаманний виродженому електронному газу з високою рухливістю за досить низьких температур. Побудовано послідовну теорію термоелектричних ефектів (ефекти Зеебека та Нернста—Еттінгсгаузена) у двовимірному електронному газі за наявності квантувального магнітного поля та мікрохвильового випромінювання (Ф.Т. Васько, О.Е. Райчев).

Активно велися роботи з дослідження напівпровідникових властивостей графену. Побудовано теорію електричних і оптичних властивостей графену та графеноподібних структур у сильних електричних полях. Вивчено

електрооптику і люмінесценцію нерівноважних носіїв, зокрема електрооптику відбиття та ефект Кера в графені. Показано, що анізотропія фермішвидкості за наявності опромінення півки графену світлом призводить до появи долинних струмів. Знайдено, що в просторово обмежених зразках графену в разі прикладання поперечного магнітного поля виникають розмірні ефекти, що призводять, зокрема, до збагачення носіями зразка та інверсної заселеності відносно міжзонного випромінювання. Показано, що в системах з лінійним спектром електронів, крім звичайних плазмонів та хвиль ван Кампена, існують додаткові хвилі, які пов'язані з наявністю точок розгалуження. Ці хвилі загасають у часі за степеневими законами. Хвилі ван Кампена збуджуються, якщо початкова функція розподілу є сильно анізотропною, тоді як плазмони і хвилі, пов'язані з точками розгалуження, збуджуються завжди (Ф.Т. Васько, М.В. Стріха, О.Е. Райчев, В.О. Кочелап, В.М. Соколов, С.М. Кухтарук).

Також було сформульовано теорію надвисокочастотних властивостей  $n+-i-n+$  балістичних нанодіодів. Визначено відгук діода на зовнішній електромагнітний сигнал. Обґрунтовано, що систему можна застосувати для генерування електромагнітного випромінювання ТГц-діапазону, запропоновано нову каскадну структуру балістичних діодів для генерування ТГц-випромінювання (В.О. Кочелап, В.В. Коротеев).

Розроблено теорію спонтанної емісії при блохівських осциляціях електрона в суперґратках, у терагерцовому діапазоні частот, що випромінюються завдяки блохівським осциляціям електрона, прискореного під дією постійного електричного поля у межах однієї енергетичної мінізони в суперґратках. Досліджено нове явище — спонтанне випромінювання на частотах, кратних частотам блохівських осциляцій, зокрема за наявності оптичного резонатора (В.М. Соколов).

Під час розроблення теорії електронного транспорту в широкощілинних напівпровідниках, зокрема для нітридів групи III, було отримано спектри диференційної динамічної рухливості, в тому числі для паралельної і перпендикулярної конфігурацій постійного та високочастотного полів. Показано, що для GaN у паралельній конфігурації в інтервалі частот 0,5—2 ТГц в електричних полях 2—10 кВ/см існує ефект пролітного резонансу і виникає від'ємна динамічна провідність. Досліджено просторову дисперсію диференціальної рухливості дрейфуючого електронного газу в GaN. Розроблено моделі електронного транспорту в нанодротах на основі AlGaIn/GaN-структур (В.О. Кочелап, В.В. Коротеев, Г.І. Сингаївська).

Започатковано роботи з вивчення властивостей гібридних структур, що складаються зі штучних метаповерхонь і напівпровідників. Досліджено плазмонні ефекти та взаємодію таких структур з електромагнітним випромінюванням, показано, що, використовуючи гібридні структури, можна керувати поглинанням випромінювання (В.О. Кочелап, В.В. Коротеев, Ю.М. Лящук).

Побудовано теорію когерентного теплового випромінювання напівпровідників, зокрема для планарних резонаторних напівпровідникових структур. Продовжено аналіз міжзонної негативної люмінесценції плоскопаралельних напівпровідникових структур (В.Й. Піпа).

Продовжено розроблення теорії генерації надвисокочастотних акустичних та оптичних фононів. Досліджено наноакустичні та акустоелектронні ефекти в напівпровідникових наноструктурах. Запропоновано і досліджено новий ефект — підсилення п'єзоелектричної електрон-фононної взаємодії в надгратках, що може бути використано для створення терагерцових фононних лазерів (сазерів). Розглянуто магнітопружну взаємодію в антиферомагнітних матеріалах і проаналізовано можливість збудження терагерцової прецесії намагніченості акустичним випромінюванням фононних лазерів. Досліджено високочастотні магнітоакустичні ефекти, що виникають під час взаємодії носіїв струму з кристалічною ґраткою. Зокрема, розроблено теорію взаємодії терагерцового акустичного імпульсу з намагніченістю (Б.А. Главін, Т.Л. Лінник, С.М. Кухтарук).

Нові результати було отримано в процесі узагальнювального аналізу стохастичних процесів у нелінійних системах і застосовано для розвитку теорії електронного транспорту в нанометрових напівпровідникових надгратках (С.М. Соскін).

Започатковано принципово новий напрям досліджень нано- і мікроелектромеханічних резонаторів з напівпровідникових матеріалів — нульдисперсійні явища у таких резонаторах (С.М. Соскін).

## Основні роботи школи

### *Монографії*

Пекар, С.И. (1951). Исследования по электронной теории кристаллов. Москва; Ленинград: Гостехтеориздат, 256 с.

Пекар, С.И. (1982). Кристаллооптика и добавочные световые волны. Киев: Наук. думка, 296 с.

Кочелап, В.А., Соколов, В.Н., Вегалис, Б.Ю. (1984). Фазовые переходы в полупроводниках с электрон-фононным взаимодействием. Киев: Наук. думка, 180 с.

Кочелап, В.А., Пекар, С.И. (1986). Теория спонтанной и стимулированной хемилюминесценции газов. Киев: Наук. думка, 264 с.

Mitin, V.V., Kochelap, V.A., Strosio, M.A. (1999). Quantum Heterostructures for Microelectronics and Optoelectronics. Cambridge University Press, 642 p.

Mitin, V.V., Kochelap, V.A., Strosio, M.A. (2008). Introduction to Nanoelectronics: Science, Nanotechnology, Engineering, and Applications. Cambridge University Press, 329 p.

Mitin, V.V., Kochelap, V.A., Dutta, M., Strosio, M.A. (2019). Introduction to Optical and Optoelectronic Properties of Nanostructures. Cambridge University Press, 414 p.



### Відкриття

Пекар, С.И. (1987). Диплом на открытие № 323. Явление распространения добавочных световых волн (волн Пекара) в кристаллах. ОТ-11003; Заявл. 27.09.84; Опубл. 30.08.87. *Открытия. Изобретения.* № 32. С. 3.

### Статті

Пекар, С.И. (1940). Теория контакта металла с диэлектриком или полупроводником. *ЖЭТФ.* Т. 10, № 11. С. 1210—1224.

Пекар, С.И. (1946). Автолокализация электрона в диэлектрической инерционно-поляризующейся среде. *ЖЭТФ.* Т. 16, № 4. С. 335—340.

Ландау, Л.Д., Пекар, С.И. (1948). Эффективная масса полярона. *ЖЭТФ.* Т. 18. С. 419.

Пекар, С.И. (1953). О влиянии деформации решёток электронами на оптические и электрические свойства кристаллов. *Успехи физических наук.* Т. 50, вып. 2. С. 197—252.

Рашба, Э.И., Толпыго, К.Б. (1955). Статическая вольтамперная характеристика запирающего слоя, образованного на границе электронного и дырочного полупроводников, в обратном направлении. *ЖТФ.* Т. 25, № 7. С. 1335—1338.

Глинчук, К.Д., Миселюк, Е.Г., Рашба, Э.И. (1956). Измерение скорости рекомбинации носителей по модуляции проводимости. *ЖТФ.* Т. 26, № 12. С. 2607—2613.

Рашба, Э.И., Толпыго, К.Б. (1956). К теории фотоэлектрического метода определения времени жизни неосновных носителей тока в полупроводниках. *УФЖ.* Т. 1. С. 29—43.

Рашба, Э.И., Толпыго, К.Б. (1956). Обратная статическая характеристика электронно-дырочного перехода. *Тр. Инст. физики АН УССР.* Т. 7. С. 60—77.

Буймистров, В.М., Пекар, С.И. (1957). Теория поляронов при произвольной силе связи между электроном и оптическими колебаниями решётки. *ЖТФ.* Т. 27, № 11. С. 2667—2669.

Рашба, Э.И. (1957). Теория сильного взаимодействия электронных возбуждений с колебаниями решётки в молекулярных кристаллах. *Оптика и спектроскопия.* Т. 2, № 1. С. 75—98.

Рашба, Э.И., Давыдов, А.С. (1957). Поглощение света в молекулярных кристаллах при слабом взаимодействии экситонов с фононами. *УФЖ.* Т. 2. С. 226—241.

Броуде, В.Л., Еременко, В.В., Рашба, Э.И. (1957). Поглощение света кристаллами CdS. *Докл. Акад. наук СССР.* Т. 114, № 3. С. 520—523.

Лашкарев, В.Е., Рашба, Э.И., Романов, В.А., Демиденко, Е.А. (1958). Кинетика некоторых электронных процессов в полупроводниках. *ЖТФ.* Т. 28, № 9. С. 1853—1870.

Рашба, Э.И., Шейнкман, М.К. (1958). Влияние поверхностной рекомбинации на кинетику фотопроводимости в полупроводниках. *ЖТФ.* Т. 28, № 9. С. 1883—1889.

Грибников, З.С., Рашба, Э.И. (1958). Влияние неоднородного электрического поля на диффузию экситонов. *ЖТФ.* Т. 28, № 9. С. 1948—1957.

Рашба, Э.И., Лубченко, А.Ф. (1958). Об экситонных состояниях молекулярного кристалла, содержащего различные молекулы. *Оптика и спектроскопия.* Т. 4, № 5. С. 580—585.

Рашба, Э.И. (1959). Эффект резонансной передачи возбуждения в теории экситона большого радиуса. *ЖЭТФ*. Т. 36, № 6. С. 1703—1708.

Прихотько, А.Ф., Броуде, В.Л., Рашба, Э.И. (1959). Некоторые вопросы люминесценции кристаллов. *Успехи физических наук*. Т. 67, № 1. С. 99—117.

Бойко, И.И., Рашба, Э.И., Трофимов, А.П. (1960). Термически стимулированная проводимость в полупроводниках. *ФТТ*. Т. 2, № 1. С. 109—117.

Броуде, В.Л., Рашба, Э.И. (1961). Экситонное поглощение в смешанных молекулярных кристаллах. *ФТТ*. Т. 3, № 7. С. 1941—1950.

Рашба, Э.И. (1963). Анализ структуры экситонных зон по электронно-колебательным спектрам. *ФТТ*. Т. 5, № 4. С. 1040—1045.

Пекар, С.И., Рашба, Э.И. (1964). Комбинированный резонанс в кристаллах в неоднородных магнитных полях. *ЖЭТФ*. Т. 47, № 5. С. 1927—1932.

Рашба, Э.И., Шека, В.И. (1964). Комбинированный резонанс на локальных центрах большого радиуса. *ФТТ*. Т. 6, № 1. С. 141—152.

Бойко, И.И., Жадько, И.П., Рашба, Э.И., Романов, В.А. (1965). Возникновение неравновесных носителей при прохождении тока через упруго-деформированный германий. *ФТТ*. Т. 7. С. 2239—2242.

Жадько, И.П., Рашба, Э.И., Романов, В.А., Стахира, И.М., Товстюк К.Д. (1965). Анизотропия электрических и фотоэлектрических свойств  $\text{In}_2\text{Se}$ . *ФТТ*. Т. 7, № 6. С. 1777—1782.

Рашба, Э.И., Бойко, И.И. (1965). Кинетика электронов проводимости в переменном магнитном поле. *УФЖ*. Т. 10. С. 113—114.

Грибников, З.С., Кочелап, В.А., Рашба, Э.И. (1966). Доменная структура многодолинного полупроводника при прохождении сильных токов. *ФТТ*. Т. 8, № 8. С. 2479—2481.

Rashba, E.I., Romanov, V.A., Boiko, I.I., Zhadko, I.P. (1966). Electrical Pinch in Elastically Deformed Germanium. *Phys. St. Sol. (b)*. V. 16, N 1. P. 43—56.

Грибников, З.С., Рашба, Э.И. (1967). Особенности электрического пинч-эффекта в многодолинных биполярных полупроводниках. *ФТТ*. Т. 9, № 5. С. 967—978.

Пекар, С.И. (1968). Теория поляронов в многодолинных кристаллах. 1. *ЖЭТФ*. Т. 55, № 5. С. 1997—2002.

Горкун, Ю.И., Рашба, Э.И. (1968). Электропроводность пластинок из кристаллов с многодолинным энергетическим спектром носителей тока. *ФТТ*. Т. 10, № 10. С. 3053—3059.

Пекар, С.И., Шека, В.И., Дмитренко, Г.В. (1972). Теория поляронов в многодолинных кристаллах. 2. *ЖЭТФ*. Т. 63, № 10. С. 1455.

Власенко, Н.А., Пекар, С.И., Пекар, В.С. (1973). Электролюминесценции слоев  $\text{ZnS—Mn}$ . *ЖЭТФ*. Т. 64. С. 371.

Демиденко, А.А., Пекар, С.И., Цеквава, Б.Е. (1979). К теории пространственной дисперсии и добавочных световых волн в области экситонного поглощения. *ЖЭТФ*. Т. 76, № 4. С. 1445—1453.

Пекар, С.И., Писковой, В.Н., Цеквава, Б.Е. (1981). Прохождение и отражение света на границе вакуум—кристалл в области квадрупольного экситонного перехода. *ФТТ*. Т. 23, № 7. С. 1905—1912.

Korotyeyev, V.V., Kochelap, V.A., Klimov, A.A., Kim, K.W., Woolard, D.L. (2004). Tunable terahertz-frequency resonances and negative dynamic conductivity of two-dimensional electrons in group-III nitrides. *J. Appl. Phys.* V. 96. P. 6488.

Korotyeyev, V.V., Kochelap, V.A., Klimov, A.A., Sabatini, G., Marinchio, H., Palermo, C., Varani, L. (2011). Theory of Ballistic Electron Transport in n+-i-n+ Diodes. Negative Dynamic Resistance in THz-Frequency Range, *J. Nanoelectron. Optoelectron.* V. 6. P. 69—187.

Korotyeyev, V.V., Kochelap, V.A., Varani, L. (2012). Wave excitations of drifting two-dimensional electron gas under strong inelastic scattering. *J. Appl. Phys.* V. 112. P. 083721.

Melentev, G.A., Shalygin, V.A., Vorobjev, L.E., Panevin, V.Yu., Firsov, D.A., Riuttanen, L., Suihkonen, S., Korotyeyev, V.V., Lyashchuk, Yu.M., Kochelap, V.A., Poroshin, V.N. (2016). Interaction of surface plasmon polaritons in heavily doped GaN microstructures with terahertz radiation. *J. Appl. Phys.* V. 119. P. 093104

Kochelap, V.A., Korotyeyev, V.V., Lyashchuk, Yu.M., Kim, K.W. (2019). Nanoscale allistic diodes made of polar materials for amplification and generation of radiation in the 10 THz-range *J. Appl. Phys.* V. 126. P. 085708.



Соломон Ісакович Пекар — засновник наукової школи «Теорія напівпровідників»



С.І. Пекар на науковому семінарі. 1970 р.

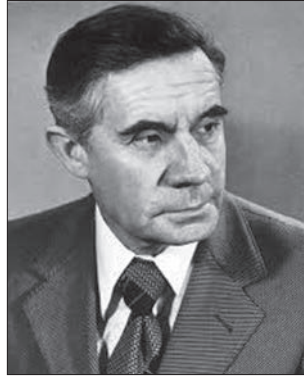


С.І. Пекар у робочому кабінеті.  
1980 р.

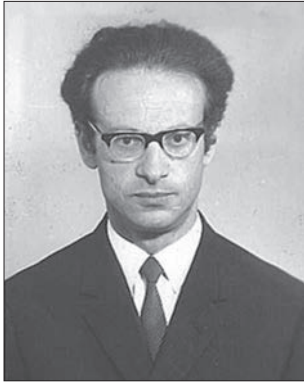
## Перші учні наукової школи «Теорія напівпровідників»



Еммануїл Йосипович  
Рашба



Кирило Борисович  
Толпиго



Михайло Олександрович  
Кривоглаз



Ісак Маркович  
Дикман



Михайло Федорович  
Дейген

## Представники наукової школи «Теорія напівпровідників»



С.І. Пекар з учнями. Зліва направо:  
О.А. Демиденко та В.О. Кочелап. 1969 р.



Зліва направо: В.О. Кочелап, З.С. Гриніков та Б.Е. Цеквава. 1973 р.





Зліва направо: Н.А. Прима, Ф.Т. Васько,  
М.М. Чумачкова. 1973 р.



Зліва направо: Е.Й. Рашба та С.І. Пекар.  
1977 р.



Зліва направо: В.О. Кочелап та С.І. Пекар.  
1982 р.



Зліва направо: В.О. Кочелап, А.А. Аكو-  
пян, В.І. Шека, І.І.Бойко, Т.Л. Лінник,  
В.М. Пісковий, В.В. Коротеєв. 2007 р.



Зліва направо, сидять: В.М. Пісковий, В.Й. Піпа, В.О. Кочелап, М.І. Дикман, В.С. Ли-  
сенко, О.Е. Райчев, стоять: І.О. Ізмайлов, В.В. Наумов, Д.І. Абакаров. 2004 р.



Зліва направо: І.І. Бойко, С.М. Соскін та В.М. Пісковий. 2007 р.



Зліва направо: В.Т. Васько та М.В. Стріха. 2007 р.

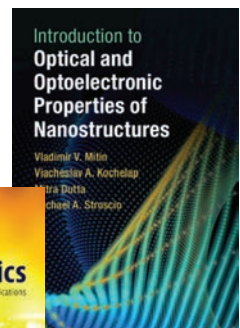
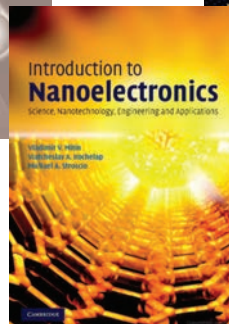
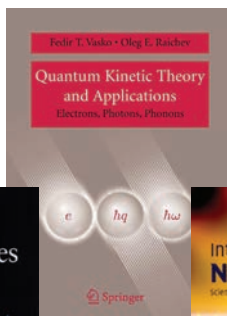
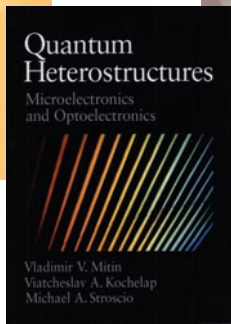
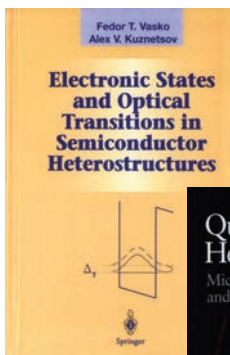


Зліва направо: В.І. Шека та В.М. Маєвський. 2007 р.



Зліва направо: Б.А. Главін, В.В. Коротеєв, О.Е. Райчев, Г.М. Сингаївська. 2010 р.

## Монографії з сучасної фізики напівпровідників



---

---

## Розділ 5

# НАУКОВА ШКОЛА «РАДІОСПЕКТРОСКОПІЯ» ІНСТИТУТУ ФІЗИКИ НАПІВПРОВІДНИКІВ ім. В.Є. ЛАШКАРЬОВА НАН УКРАЇНИ

Відділ радіоспектроскопії в Інституті напівпровідників АН УРСР було засновано у 1964 р. Михайлом Федоровичем Дейгеном, який очолював його до 1977 р. М.Ф. Дейген був видатним ученим і яскравою особистістю. Він створив Київську школу радіоспектроскопії і організував семінар, що став видатним явищем у масштабах усієї країни. Його численні учні стали відомими вченими не тільки в Україні, а й за її межами, і продовжували розвиток започаткованих Михайлом Федоровичем наукових напрямів.

Після М.Ф. Дейгена відділом з 1978 до 1994 р. керував його учень О.А. Бугай.

У 1994 р. відділ було реструктуровано, більшість його співробітників продовжували працювати у відділі радіоспектроскопії під керівництвом Ю.Г. Семенова, менша частина перейшла до нового відділу фізичних проблем ретроспективної дозиметрії (прикладні застосування радіоспектроскопії), керівником якого став О.А. Бугай. У 2003 р. відділ радіоспектроскопії було розформовано, а його співробітники перейшли до інших відділів Інституту. Відділ фізичних проблем ретроспективної дозиметрії, що займався прикладними аспектами ЕПР-спектроскопії, а саме ЕПР-дозиметрією (ретроспективною та еталонною), було розформовано у 2007 р., а його співробітників переведено до інших відділів Інституту.

Історію створення відділу радіоспектроскопії в Інституті напівпровідників та організації Київської наукової школи радіоспектроскопії, розвиток наукових досліджень у відділі та основні їх результати, а також біографію М.Ф. Дейгена і роботи його учнів детально висвітлено у колективній двотомній монографії, опублікованій з нагоди 80-річчя від дня його народження (Радиоспектроскопия, 1998).

## 5.1.

### Структура і розвиток наукової школи радіоспектроскопії

Для наочності структуру наукової школи радіоспектроскопії подано на схемі (див. вклейку). Прізвища основних учнів школи М.Ф. Дейгена наведено окремо, а послідовників та учнів послідовників — списком у великих рамках.

## Характеристика наукової школи М.Ф. Дейгена

*Засновник школи* — М.Ф. Дейген.

*Послідовники* — В.Я. Зевін, М.Д. Глинчук, М.О. Рубан, О.А. Бугай, В.М. Мавський, І.М. Зарицький, Г.І. Тесленко, В.Я. Братусь, С.С. Іщенко, А.А. Кончиць, Б.Д. Шанина, В.Г. Грачов, І.І. Жеру та ін.

*Учні послідовників* — К.М. Калабухова, Ю.Г. Семенов, Д.В. Савченко, С.М. Окулов, В.А. Стефанович, О.Б. Брик та ін.

*Наукова продуктивність і потенціал школи:* понад 15 монографій та підручників, більш як 1000 статей, понад 30 патентів України, а.с. СРСР, 3 члени-кореспонденти НАН України, один академік інших академій, понад 20 докторів наук, більш як 40 кандидатів наук.

*Проблемно-тематична широта:* теоретичні та експериментальні дослідження дефектів у кристалах; динаміка ґратки, електрон-фононна взаємодія, зонна структура та спінові явища, явища переносу в напівпровідниках, у тому числі розмірні ефекти, сильнопольові явища; квантові явища, зокрема теорія спінової релаксації; нові напівпровідникові матеріали, у тому числі вузькозонні напівпровідники; фізика високотемпературних надпровідникових матеріалів, низькорозмірні електронні системи, фізичні процеси у наноструктурах та наносистемах, зокрема нанорозмірні квантові точки, одновимірні «дроти». На спектрометрі ПЕЯР, створеному у відділі, проводили дослідження на ядрах, віддалених від парамагнітного центру (так званий ДДЕЯР), вивчали динамічні та електропольові ефекти, розподіл хвильових функцій локальних електронних центрів у кристалах; розроблено метод розрахунків структури енергетичних зон у кристалах за даними ПЕЯР; запропоновано теорію подвійного електронно-ядерного магнітоакустичного резонансу.

*Географічна широта:* Україна, США, Німеччина, Росія, Бразилія, Молдова.

*Офіційне визнання важливості досліджень наукової школи:* дві Державні премії України.

## Хронологія наукової школи М.Ф. Дейгена

- 1956** Перше дослідження М.Ф. Дейгена в галузі радіоспектроскопії: «К теорії спин-електронного резонанса на F-центрах в іонних кристалах» опубліковано в журналі «Оптика и спектроскопия» (Дейген, 1957а)  
Створено концепцію деформаційного потенціалу (разом з С.І. Пекарем)
- 1957** Створено теорію конденсорів  
Запропоновано теорію парамагнітного резонансу F-центрів у іонних кристалах
- 1957—1960** Створено теорію подвійного електронно-ядерного резонансу (ПЕЯР)
- 1958** Встановлено залежність надтонкої структури F-центру від орієнтації кристала у зовнішньому магнітному полі
- 1960** Створено лабораторію радіоспектроскопії напівпровідників (керівник — М.Ф. Дейген)



- 1960—1964** Створено перший спектрометр ПЕЯР (спільно з М.О. Рубаном)
- 1960—1967** Розвинуто теорію форми ліній ЕПР локальних центрів у неметалічних кристалах
- 1963—1972** Проведено дослідження електропольових ефектів в електронному парамагнітному резонансі, що дало можливість отримати нові параметри, які характеризують дефектні кристали, і виявити новий механізм розширення ліній електронного парамагнітного резонансу в кристалах
- 1964** Організовано відділ радіоспектроскопії (керівник — М.Ф. Дейген)  
Встановлено надтонку взаємодію та спін-електронний резонанс у поляронах та екситонах  
Спостережено ПЕЯР F-центрів у КСІ
- 1965** Розроблено теорію локальних електронних станів на поверхні неметалічного кристала
- 1967** М.Ф. Дейгена обрано членом-кореспондентом АН УРСР за спеціальністю «Теоретична фізика»
- 20.12.1967**
- 1967—1977** На ПЕЯР-спектрометрі було проведено унікальні дослідження ПЕЯР далеких від парамагнітного центру ядер та динамічних і електропольових ефектів. Широкі можливості спектрометра і розвинена теоретична база методу дозволили визначити розподіл хвильових функцій локальних електронних центрів у кристалах
- 1968—1973** Створено спектрометр для вимірювання релаксаційних часів спінових систем локальних центрів, а також у численних роботах розвинуто теорію спін-ґраткової та спін-спінової релаксації (А.А. Кончиць, М.Ф. Дейген, В.С. Віхнін, І.М. Зарицький, Б.Д. Шаніна)
- 1977** На основі отриманих результатів М.Ф. Дейген разом з С.І. Пекарем і В.Г. Грачовим розробили новий метод розрахунку структури енергетичних зон у кристалах за даними ПЕЯР
- 1978** Новий керівник відділу радіоспектроскопії — О.А. Бугай
- 1979** Відкрито і з'ясовано негативний ефект ПЕЯР (Б.Д. Шаніна, В.Л. Гохман)
- 1980** Відкрито явище інверсної заселеності спінових станів під впливом неполяризованої оптичної радіації (А.А. Кончиць, Б.Д. Шаніна)
- 1981—1982** Відкрито і з'ясовано модель носій—домішкові взаємодії у твердих тілах (М.Ф. Дейген, І.М. Зарицький, Ю.Г. Семенов, Б.Д. Шаніна)
- 1983** Державна премія УРСР у галузі науки і техніки за цикл робіт «Фізичні основи керування властивостями матеріалів і приладів твердотільної електроніки під дією радіації» (О.А. Бугай разом з Н.О. Корсунською)
- 1984** Створено лабораторію квантової хімії і магнітного резонансу в кристалах (керівник — О.Б. Ройцин)
- 1987—1995** Доведено, що є відмінність у характері хвильової функції основного стану донорів, яка пов'язана з різницею у величині долин-орбітального



- розщеплення для атомів азоту, що заміщують гексагональні та квазікубічні позиції у ґратці SiC (К.М. Калабухова, Б.Д. Шаніна, С.М. Лукін)
- На основі дослідження високочастотних спектрів ЕПР та імпульсних спектрів потрійного електронно-ядерного резонансу (ПЕЯР) встановлено електронну структуру донорної домішки азоту в політипах карбиду кремнію (SiC) (Д.В. Савченко, К.М. Калабухова, Б.Д. Шаніна)
- 1990** Створено лабораторію магнітної резонансної інтроскопії (керівник — С.С. Іщенко)
- 1991—1995** Відкрито вплив мікрохвильового відгуку на властивості високотемпературних надпровідників (І.М. Зарицький, А.А. Кончиць, Б.Д. Шаніна)
- 1994** Реструктуризовано відділ радіоспектроскопії (новий керівник відділу — Ю.Г. Семенов)
- Створено новий відділ фізичних проблем ретроспективної дозиметрії (прикладні застосування радіоспектроскопії) (керівник — О.А. Бугай)
- 1995** М.Д. Глинчук обрано членом-кореспондентом АН УРСР за спеціальністю «Матеріалознавство, технологія матеріалів»
- 14.04.1995**
- 2000** І.І. Жеру обрано членом-кореспондентом АН Молдови за спеціальністю «Фізика»
- 17.05.2000**
- 2000—2019** Отримано параметри електронів провідності у нанопоруватих матеріалах, показано властивості домішок перехідних металів Ni, Co, Pa, Mn, доведено різну здатність цих металів змінювати магнітні властивості нанопоруватих матеріалів завдяки кластеризації, отримано фазову структуру заліза, введеного у вуглецеві нанотрубки, доведено, що вуглецеве покриття наночастинок SiO<sub>2</sub> сприяє формуванню вуглецевих квантових точок, де конфайнмент електронів провідності виявляється як коливання амплітуди сигналу ЕПР зі зростанням температури
- 2001** Державна премія України в галузі науки і техніки за роботу «Нові фізичні ефекти в сильноанізотропних напівпровідниках і приладах на їх основі» (С.С. Іщенко разом з Ф.В. Моцним, А.М. Яремком)
- 2003** Реорганізація відділу радіоспектроскопії — створення об'єднаного відділу «Оптика та спектроскопія» (раніше — відділ оптики)
- 2007** Розформування відділу фізичних проблем ретроспективної дозиметрії Б.Д. Шаніна зі співавторами одержала премію міжнародного фізичного журналу «Steel Research» Best Paper Award за розвиток теорії спінового резонансу електронів провідності. Вперше у світі показано значний вплив розподілу густини електронів провідності на механічні властивості металічних сплавів
- 2012** З'ясовано вплив сполук заліза на формування метану у вугіллі Донецького басейну методами магнітного резонансу. Визначено механізм дифузії водневих атомів та молекул у вуглецевих зразках з різними об'ємами летких речовин з температурної залежності дифузії водню.

## 5.2. Наукові досягнення школи радіоспектроскопії

Михайло Федорович Дейген, талановитий молодий фізик-теоретик, що вже зробив перші кроки в галузі радіоспектроскопії, один з видатних учнів С.І. Пекаря, одержав запрошення від В.Є. Лашкарьова очолити новий відділ радіоспектроскопії, дібрати кадри та розробити наукову програму досліджень.

Першу роботу в галузі радіоспектроскопії М.Ф. Дейген опублікував у 1957 р. разом зі своїм учнем — Л.А. Шульманом (Дейген, 1957а), ідеї цієї роботи розвинуто далі у публікації (Дейген, 1957б). У ній виконано розрахунки надтонкої взаємодії електрона F-центру зі спінами ядер катіонів, що оточують аніонну вакансію у кристалічній ґратці, і показано, що саме ця взаємодія визначає форму і ширину лінії ЕПР F-центрів у лужно-галоїдних кристалах. Ця робота є ключовою, оскільки саме дослідження спектрів ЕПР і ПЕЯР F-центрів у лужно-галоїдних кристалах у подальшому виявилися найвизначнішими досягненнями майбутнього відділу радіоспектроскопії.

Разом з М.Д. Глинчук виконано теоретичне дослідження спектрів ЕПР надмалих часточок галоїдного металу (тепер їх назвали б наночастинками) у лужно-галоїдному монокристалі NaCl (Глинчук, 1958). Спільно з В.Я. Зевіним досліджено кутову залежність надтонкої структури F-центру від орієнтації кристала у зовнішньому магнітному полі (Дейген, 1958). Разом з О.Б. Ройциним виконано перше теоретичне дослідження ПЕЯР F-центрів та домішкових атомів у змішаних кристалах (Дейген, 1958б). Спільно з С.І. Пекарем розраховано надтонку взаємодію та ЕПР у поляронах та екситонах (Дейген, 1958с).

У журналі «Известия АН СССР» М.Ф. Дейген публікує оглядову працю про ЕПР домішкових центрів у іонних кристалах (Дейген, 1958d). Разом з О.Б. Ройциним він виконав теоретичні дослідження ЕПР F-центрів у статичних магнітних полях довільної величини (Дейген, 1959), а також форми і температурної залежності ліній ЕПР локальних електронних центрів у кристалах (Дейген, 1960а). Спільно з В.Я. Зевіним виконано теоретичне дослідження спін-ґраткової релаксації локальних електронних центрів у неметалічних кристалах (Дейген, 1960b).

Ключовими словами і фразами в цьому списку є: F-центри в лужно-галоїдних кристалах, ЕПР F-центрів, ПЕЯР F-центрів, надтонка взаємодія, форма і ширина лінії ЕПР, кутова залежність, температурна залежність, спін-ґраткова релаксація.

Протягом наступних 50 років ці слова в різних комбінаціях повторюватимуться у сотнях наукових публікацій школи Михайла Федоровича (звичайно, буде додано й багато нових термінів).

Таким чином, у 1956—59 рр. М.Ф. Дейген окреслив основні напрями майбутніх експериментально-теоретичних досліджень відділу радіоспектроскопії та своїх численних учнів.

Що стосується радіоспектроскопічних досліджень, то їх високий рівень визначався заслуженим авторитетом школи М.Ф. Дейгена, яка значною мірою задавала рівень цих досліджень не лише в Україні, а й у колишньому Радянському Союзі. Цьому сприяло вдале поєднання в рамках відділу фізиків-експериментаторів і теоретиків, які органічно доповнювали одні одних як у постановці нових досліджень, так і в інтерпретації отриманих результатів.

Час показав, що приєднання групи радіоспектроскопістів до великого наукового колективу фахівців у галузі оптичної спектроскопії, залучення їх у загальний науковий семінар було, очевидно, найбільш логічним варіантом збереження потенціалу створеної радіоспектроскопічної школи. Спільність багатьох методичних підходів у спектроскопії оптичного й радіодіапазонів сприяла досить швидкому вирішенню проблеми постановки загальних робіт, які взаємно доповнювали одна одну. Це стосується досліджень наноструктурованих напівпровідникових (кремній) і діелектричних (гідроксилапатит) кристалів, шаруватих напівпровідників, структурних особливостей різних форм вуглецевих матеріалів (алмаз, графіт, алмазоподібні аморфні плівки, фулерити), проблеми дефектів у карбіді кремнію.

У першому циклі цих робіт, що продемонстрували плідність комплексного використання оптичних і радіоспектроскопічних методик, було досліджено взаємозв'язок структурних і випромінювальних властивостей матрично ізольованих кремнієвих квантових точок у  $\text{SiO}_2$ . Роботи велися в рамках міжнародного наукового проекту INTAS, у якому, крім відділу оптики нашого Інституту, брали участь колеги з Англії, Іспанії та Росії. Вихідні зразки створювалися імплантацією іонів кремнію в шари  $\text{SiO}_2$  в Університеті Саррей (Англія). Їх наступний відпал з варіацією температури й тривалості здійснювали в ІФН НАН України. Тут же було виконано паралельні вимірювання спектрів фотолюмінесценції, комбінаційного розсіювання світла та ЕПР. Саме кореляція змін оптичних і ЕПР-спектрів дала змогу довести істотну роль інтерфейсу кремнієвих квантових точок і матриці  $\text{SiO}_2$  у механізмі випромінювальної рекомбінації структури (М.Я. Валах, В.О. Юхимчук, В.Я. Братусь).

Найважливіші результати відділу, отримані з використанням радіоспектроскопічних методів, починаючи з 1997 р. такі.

У шаруватих кристалах типу GaSe та  $\text{BiI}_3$  методами ЕПР та подвійного електронного ядерного резонансу (ПЕЯР) знайдено багато нових парамагнітних центрів, визначено їхні характеристики, досліджено властивості. Встановлено загальні закономірності проникнення домішкових атомів у

шаруваті кристали та особливості утворення парамагнітних центрів. Пояснено аномалії температурних залежностей магніторезонансних спектрів, зумовлені низькочастотними оптичними фононами, знайдено і пояснено ефект локальної тримеризації шаруватої структури (С.С. Іщенко, С.М. Окулов).

Ці результати увійшли до циклу робіт, відзначених у 2001 р. Державною премією України в галузі науки і техніки.

Розвинуто теорію ЕПР- та ПЕЯР-томографії (С.С. Іщенко, І.П. Ворона).

Встановлено, що основними радіаційними дефектами в гідроксилапатиті біологічних тканин є парамагнітні центри  $\text{CO}_2$  двох типів — аксіальні та орторомбічні. Знайдено, що співвідношення кількості цих центрів залежить від типу опромінення і термічних впливів. Встановлено моделі центрів та механізми утворення. Отримано відомості, важливі для ЕПР-дозиметрії, ЕПР-датування та медичної імплантації (С.С. Іщенко, І.П. Ворона, В.В. Рудько).

Розроблено нові методи розділення внесків різних типів опромінення ( $\gamma$ -, X-, УФ-) у радіаційну дозу, отриману біологічним об'єктом. Методи ґрунтуються на вимірах ЕПР-томографії та анізотропії спектрів ЕПР пластинок зубної емалі та кісток (С.С. Іщенко, І.П. Ворона, В.В. Рудько).

Спільно з Міждисциплінарним центром з магнітного резонансу (Університет м. Лінчопінг, Швеція) проведено дослідження методом ОДМР власних дефектів у розбавлених нітридах (III-N-V). Знайдено, що домінівними дефектами в таких матеріалах є міжвузлові атоми галію, які можуть утворювати кілька різних парамагнітних центрів. Встановлено радіоспектроскопічні параметри таких центрів, а також їх роль у рекомбінації фотозбуджених носіїв (І.П. Ворона).

Розвинуто теорію спектрів ЕПР, ЯМР і ЯКР парамагнітних центрів у кристалічному полі ікосаедричної симетрії (фулерити). Отримано спінгамільтоніан за наявності постійних і змінних електромагнітних полів, знайдено його власні значення, а також резонансні магнітні поля. Передбачено і досліджено спектри магніторезонансних явищ: число ліній, їх відносні інтенсивності, кутові залежності тощо. Отримано магнітно-резонансний спектр хаотично орієнтованих центрів (О.Б. Ройцин).

Методом МБР визначено пружні константи природних і синтетичних монокристалів алмазу різних типів та 6Н і 4Н SiC. Встановлено, що величини пружних констант нелегованих та легованих азотом і бором синтетичних алмазів близькі до відповідних величин природних алмазів. Показано, що МБР можна використати для неруйнівної оцінки якості та ідентичності монокристалічних алмазів, одержаних різними способами та з варіаціями технології їх виготовлення. Знайдено, що у кристалах 6Н та 4Н SiC дисперсії пружних констант практично немає до гіперзвукових частот (В.М. Маєвський).

Встановлено, що під дією ГЧ-лазерного випромінювання у вузькозонних напівпровідниках  $A_4B_6$  відбувається розпад електронейтральних включень з подальшою дифузією домішок у вузли ґратки. Одночасна дія ГЧ-лазерного випромінювання і зовнішнього електричного поля дає змогу ефективно знижувати концентрацію основних носіїв заряду, а також змінювати тип провідності напівпровідників  $A_4B_6$  (Ю.С. Громовий).

Створено детальну нелокальну теорію спінового резонансу електронів провідності з урахуванням взаємодії останніх з локалізованими спіновими центрами. Ця теорія дозволила проаналізувати вплив легувальних міжвузлових домішок на характер міжатомних зв'язків у твердих розчинах з металічною провідністю (Б.Д. Шаніна).

З метою вирішення проблеми створення нових нанорозмірних матеріалів досліджено спіновий резонанс електронів провідності у нанопоруватому вуглеці, легованому атомами перехідних металів — Ni, Co, Pd, що дало можливість з'ясувати умови виникнення феромагнетизму в цих матеріалах (Б.Д. Шаніна).

У співробітництві з колегами з Рурського університету в м. Бохум (Німеччина) виконано розрахунки з перших принципів електронної структури високоазотистої сталі, причому показано, що азот сприяє посиленню металічного типу зв'язку, тоді як вуглець зміцнює ковалентний зв'язок і зменшує концентрацію електронів провідності (Б.Д. Шаніна).

Вуглецевмісні аморфні плівки та наноккомпозити на їх основі є актуальним класом матеріалів з привабливими механічними, оптичними, електричними та іншими властивостями, що мають широке практичне застосування: від унікальних тонкоплівкових захисних покриттів для елементів електронної техніки до активних шарів випромінювальних оптичних приладів. Досліджено динаміку парамагнітних систем в аморфних алмазоподібних плівках ( $-C$ ,  $-C:H$ ) і аморфному карбіді кремнію ( $-SiC:H$ ). Вперше виявлено взаємозв'язок між умовами синтезу, мікроструктурою, фазовим складом і величиною внутрішніх напружень у плівках з одного боку та природою і характеристиками парамагнітних дефектів з іншого. Встановлено механізм впливу водню на концентрацію дефектів завдяки зниженню внутрішніх напружень у плівках. Вперше в аморфних плівках виявлено ефект анізотропії  $g$ -фактора і показано його зв'язок з особливостями спін-спінової взаємодії в тонких плівках (А.А. Кончиць, Б.Д. Шаніна, С.П. Колесник, В.С. Єфанов, І.Б. Янчук).

Виконано цикл досліджень, пов'язаних з вивченням фундаментальних властивостей нанорозмірних структур, зокрема ансамблів магнітних наночастинок, що мають надзвичайно широкі перспективи застосувань (надгустий магнітний запис, магніторезонансна томографія, лікування й транспортування ліків, захист навколишнього середовища тощо). Метою досліджень було розроблення фундаментальних принципів і методів діа-



гностики та характеристики властивостей ансамблів магнітних наночастинок (АМН) на основі явища магнітного резонансу, зокрема, дослідження механізмів взаємодії в ансамблі магнітних наночастинок та шляхів подолання так званого суперпарамагнітного бар'єра. Вперше детально досліджено магніторезонансне поглинання в системі одностінні вуглецеві нанотрубки/нанокластери Ni. З'ясовано природу магніторезонансних сигналів та фактори, що впливають на температурну поведінку спектрів, яка свідчить про перехід від суперпарамагнітного стану ансамблю наночастинок до блокованого. Вперше встановлено аномальну температурну поведінку спектрів магніторезонансного поглинання, зумовлену конкуренцією механізмів магнітної анізотропії в системі двох взаємодіючих магнітних ансамблів наночастинок (А.А. Кончиць, С.П. Колесник, В.С. Єфанов).

Одночасно започатковано новий напрям: дослідження нових нанокompatитних матеріалів типу полімер/наноструктуровані вуглецеві наповнювачі (фулерени та їх похідні, нанотрубки, детонаційно синтезований наноалмаз та ін.). Створення таких нанокompatитів дає змогу значно розширити сфери їх застосування у трибології, біомедицині, космічній техніці. Розвинено методику застосування магніторезонансної спектроскопії для вивчення процесів сорбції/десорбції водню в нанокompatитах та досліджено кінетику таких процесів у композиті полі(орто-анісидин)/вуглецеві нанотрубки. Аналіз результатів показав домінування процесів фізисорбції в цій системі і продемонстрував ефективність методів радіоспектроскопії для вивчення процесів накопичення водню в нанокompatитних системах.

Іншим прикладом є дослідження вперше отриманих (О.І. Буря, Дніпропетровський аграрний університет) нанокompatитів на основі «суперпластику» Фенілон-С2 (Nomex), що є базовим для створення новітніх термостійких конструкційних матеріалів. Нанокompatити фенілону з різним вмістом наповнювачів (фулерен, фулеренова чернь, ультрадисперсний алмаз) досліджено методами ЕПР та фотолюмінесценції в широкому інтервалі температур. Виявлено, що окремо взяті наповнювачі часто демонструють ЕПР-властивості, притаманні двовимірним системам, тоді як у композиті ця поведінка має повністю тривимірний характер. Аналіз цих властивостей разом з особливостями фотолюмінесцентного відгуку дає змогу встановлювати вміст фракції наповнювача і робити висновки стосовно характеру зв'язку матриця—наповнювач у композиті (А.А. Кончиць, С.П. Колесник, В.С. Єфанов, І.Б. Янчук, Є.Г. Гуле).

Встановлено, що відношення інтенсивностей двох характеристичних смуг ( $I_D/I_G$ ) для різних наноструктурованих вуглецевих матеріалів природного походження (вугілля) обернено пропорційне вмісту легких речовин  $V^{daf}$ . Це дало змогу запропонувати незалежну класифікацію різних типів

вугілля за аналізом їх локальної структури зі спектрів комбінаційного розсіювання (М.Я. Валах, А.А. Кончиць, Б.Д. Шаніна, І.Б. Янчук).

На прикладі суміші спектрально чистого графіту, сполук заліза та слабого розчину сульфатної кислоти як джерела водню було змодельовано процес утворення метану у вугіллі (Б.Д. Шаніна, А.А. Кончиць спільно з Інститутом металофізики ім. Г.В. Курдюмова НАН України).

Кілька слів про групу радіоспектроскопії під керівництвом д-ра фіз.-мат. наук К.М. Калабухової (д-р фіз.-мат. наук, проф. С.М. Лукін, д-р фіз.-мат. наук Д.В. Савченко, О.О. Сітніков), яка з 1998 р. працювала у відділі напівпровідникових гетеросистем. Основним напрямом її діяльності було дослідження широкозонних напівпровідників та вуглецевмісних матеріалів високочастотними стаціонарними та імпульсними методами ЕПР, а також розроблення мікрохвильового (НВЧ) обладнання для спектрометрів ЕПР. Вперше у світі було застосовано високочастотні/високопольові методи ЕПР для дослідження властивостей домішкових та дефектних центрів у політипах карбіду кремнію (SiC) (К.М. Калабухова, С.М. Лукін).

На основі дослідження спектрів ЕПР донорів азоту на частоті 140 ГГц (С.М. Лукін, К.М. Калабухова) та спектрів імпульсного подвійного і потрійного електронного ядерного резонансу (ПЕЯР) було встановлено електронні моделі донорів азоту та тип вузла, який він заміщує в ґратці політипів SiC, а також виявлено триплетний центр від віддалених пар азоту в 4Н та 6Н SiC *n*-типу (К.М. Калабухова, Д.В. Савченко) (Kalabukhova, 1995; Savchenko, 2012). Крім того, методами імпульсного ЕПР було проведено дослідження спінової релаксації донорів азоту в 6Н SiC, що дозволило зробити висновки про вплив технологічних чинників на часи та механізми їх спінової релаксації (К.М. Калабухова, Д.В. Савченко, Б.Д. Шаніна) (Savchenko, 2016). За результатами дослідження спектрів ЕПР акцепторів бору на частоті 140 ГГц та спектрів стаціонарного ПЕЯР було запропоновано електронну модель дрібної домішки бору в трьох політипах SiC (К.М. Калабухова, С.М. Лукін) (Greulich-Weber, 1998). Усі ці дослідження виконувалися в 1993—2010 рр. у співпраці з лабораторіями радіоспектроскопії Падерборнського та Лейпцизького (Німеччина) університетів на основі спільних проектів та грантів DFG.

У співробітництві з лабораторією напівпровідників (AFRL/MLPS) Військово-повітряних сил США в рамках грантів, проектів УНТЦ та INTAS у 1997—2006 рр. проводилися дослідження підкладок особливо чистого напівізолювального (НІ) SiC методом фото-ЕПР в Q-діапазоні частот (35 ГГц), вирощених на фірмі Cree Research (США) та в лабораторії широкозонних напівпровідників Фізико-технічного інституту ім. А.Ф. Йоффе РАН (Санкт-Петербург, Росія). Було встановлено рівні залягання та електронну структуру дефектних центрів, що відповідають за НІ-властивості

4Н та 6Н SiC. Виявлено і теоретично описано процес довготривалої релаксації нерівноважних носіїв, захоплених на дефектні та домішкові центри в НІ 4Н та 6Н SiC (К.М. Калабухова, С.М. Лукін, Б.Д. Шаніна, Д.В. Савченко) (Kalabukhova, 2001; Savchenko, 2011). Отримані результати мають практичне значення для розроблення технології виготовлення підкладок SiC з НІ-властивостями, які використовують при виробництві потужних і силових приладів на основі SiC.

Було проведено дослідження спектрів ЕПР у самовпорядкованих наноструктурах 6Н SiC *n*-типу, отриманих методом планарної дифузійної технології. Виявлено триплетний центр від азотно-вакансійної ( $N-V_{Si}$ ) пари, який привертає до себе увагу завдяки можливості застосування його в спінтроніці і раніше спостерігався тільки в опромінену нейтронами, протонами або електронами алмазі та 6Н SiC. Було отримано параметри спінового гамільтоніана  $N-V_{Si}$ -пари з урахуванням ефектів другого порядку (К.М. Калабухова, Б.Д. Шаніна, Д.В. Савченко).

Проведено дослідження спектрів ЕПР аморфних плівок карбиду кремнію ( $a\text{-Si}_x\text{C}_{1-x}:\text{H}$ ). Спостережену температурну залежність анізотропії *g*-фактора для сигналу ЕПР від вуглецев'язаного дефекту було пояснено наявністю графітоподібних  $sp^2$ -пов'язаних вуглецевих кластерів та впливом розмагнічувальних полів (К.М. Калабухова, Б.Д. Шаніна, Д.В. Савченко, С.М. Лукін) (Kalabukhova, 2010; Savchenko, 2018).

У співробітництві з відділом функціональних матеріалів і наноструктур ІФН НАН України в рамках проекту УНТЦ (2012—2013) та Інститутом фізики Чеської академії наук методами стаціонарного та імпульсного ЕПР проводилися дослідження нанокомпозитів карбонізованого кремнезему ( $\text{SiO}_2:\text{C}$ ), перспективного для створення джерел білого випромінювання. Виявлений осцилюючий характер температурної залежності сигналу ЕПР від електронів провідності (ЕП) у  $\text{SiO}_2:\text{C}$  було пояснено квантово-розмірним ефектом для ЕП, локалізованих у вуглецевих наноточках. Визначено енергії активації стрибкового руху для ЕП та їх енергії конфайнменту залежно від хімічної обробки зразків (К.М. Калабухова, Б.Д. Шаніна, Д.В. Савченко) (Savchenko, 2014).

Розроблено і виготовлено твердотільний НВЧ-міст двоміліметрового діапазону частот (140 ГГц) для спектрометра ЕПР високої роздільної здатності (К.М. Калабухова, С.М. Лукін, Д.В. Савченко).

Розроблено і впроваджено в Інституті фізичної хімії при Штутгартському університеті (Німеччина) високопотужний імпульсний твердотільний НВЧ-міст Q-діапазону частот (35 ГГц) на основі ІМРАТТ-діодів для імпульсного спектрометра ПЕЯР (К.М. Калабухова, С.М. Лукін, О.О. Сітніков, І. Ткач, Д.В. Савченко).

Розроблено і виготовлено імпульсний твердотільний НВЧ-міст на основі GaAs рНЕМТ польових транзисторів та НВЧ-обладнання Q-діапазону

частот для імпульсних спектрометрів ЕПР (К.М. Калабухова, О.О. Сітніков, Д.В. Савченко).

Розробки зі створення НВЧ-обладнання було висвітлено в публікаціях у провідних наукових фахових журналах (Tkach, 2008; Sitnikov, 2017).

Чимало науковців школи радіоспектроскопії працюють за кордоном. Серед них можна згадати докторів наук І.М. Зарицького, І.Н. Гейфмана, В.Г. Грачова, В.С. Віхніна, Ю.Г. Семенова, В.О. Стефановича, І.С. Головіну та кандидата наук О.Й. Неймарк.

### ***Зі спогадів професора О.А. Бугая (нар.1934), одного з учнів М.Ф. Дейгена***

*Школа С.І. Пекаря налічує десятки яскравих особистостей, і ці спогади аж ніяк не претендують на будь-яке її висвітлення. Тут я тільки вказую на те, що М.Ф. Дейген був одним із блискучих учнів і соратників С.І. Пекаря. Однією з ключових особливостей стилю школи С.І. Пекаря і його видатних учнів, зокрема тих, кого я добре знав, — К.Б. Толпиго, Е.Й. Рашибі і М.Ф. Дейгена, — була здатність розглядати будь-яку фізичну проблему «ab ovo» («від яйця», тобто «від початку»), глибоке знання основ фізики і блискуче володіння математичним апаратом. Завдяки цим якостям, а також такій особливості характеру, яку можна назвати особистою харизмою, Михайло Федорович Дейген був лідером будь-яких наукових дискусій і досліджень.*

### ***Зі спогадів професора І.І. Жеру (нар. 1937), члена-кореспондента АН Молдови, одного з учнів М.Ф. Дейгена***

*Я був аспірантом члена-кореспондента АН УРСР М.Ф. Дейгена з 01.10.1962 по 01.10.1965 р. Після складання вступних іспитів відбулася перша зустріч з моїм майбутнім науковим керівником. Він привітав мене зі вступом до аспірантури, але тут же додав, що на першому році навчання мені не доведеться займатися фізикою, оскільки у відділі № 8 створюється перший у СРСР радіоспектрометр подвійного електронно-ядерного резонансу і потрібні «робочі руки». На питання про те, чи згоден я з такими умовами, відповідь була позитивною, після чого пролунала вказівка: «Тоді знайдіть Михайла Приходька й отримаєте робочий халат». Згодом, відвідуючи регулярно щотижневі міські семінари з радіоспектроскопії, які проходили в Інституті напівпровідників під керівництвом М.Ф. Дейгена, я зрозумів, що попередження про те, що деякий час мені не доведеться займатися фізикою, було якимось педагогічним тестом. Саме ці семінари були чудовою школою підвищення наукового рівня слухачів.*

*У пам'яті залишилося назавжди багато спогадів, пов'язаних з М.Ф. Дейгеном. Зупинюся коротко на трьох з них.*

У листопаді 1965 року я отримав завдання від технічного керівника проекту М.О. Рубана виконати монтаж одного блока стабілізатора напруги на 600 В. Я не був радіоаматором і не мав досвіду в радіотехніці. Тим не менш, я спаяв радіодеталі і після перевірки правильності монтажу (яка, як виявилось, не була виконана ретельно), включив цей блок в електричну мережу. Миттєво стався сильний вибух, і кімната на першому поверсі, а також коридор були заповнені білим димом. Вибухнула серія електролітичних конденсаторів. Я відразу ж усвідомив серйозність цього випадку для мого подальшого навчання в аспірантурі. Через деякий час мені повідомили, що мене чекає Михайло Федорович. Науковий керівник, не запитавши нічого про те, що сталося, запросив підійти до його робочого столу, на якому був відкритий журнал (швидше за все, це був один з номерів журналу *Phys. Rev. B*), вказав на один абзац з якоюсь формулою і запитав, що я думаю про те, що там написано. Минув деякий час, поки я прочитав зазначений текст про спін-гратчасту релаксацію і щось (вже не пам'ятаю що) відповів. Після цього Михайло Федорович сказав буквально таке: «Я теж так думаю. Ідіть і продовжуйте роботу». Так було припинено ініціативу про моє відрахування з аспірантури.

У вільний від роботи час (пізно ввечері, іноді після опівночі) я виконав деякі розрахунки і через два місяці після зазначеного випадку звернувся до М.Ф. Дейгена з пропозицією зробити доповідь на теоретичному семінарі відділу (де збиралися тільки теоретики) про застосування методу інваріантів у подвійному електронно-ядерному резонансі. Семінар відбувся, але я не зміг відповісти на ряд питань, внаслідок чого роботу не було допущено до друку. Після того, як я знайшов відповіді на всі питання, які виникли під час семінару, я написав статтю і подав її науковому керівнику. Він уважно прочитав її в моїй присутності, після чого викреслив своє прізвище, що стояло першим, сказавши, що цю роботу я виконав самостійно, а ми ще опублікуємо спільні роботи. Це є взірцем високої наукової етики.

На початку другого року навчання в аспірантурі Михайло Федорович провів зі мною в своєму робочому кабінеті тривалу (близько години) наукову бесіду з найрізноманітніших проблем сучасної фізики, в ході якої розповів про невирішене ще завдання розподілу магнітних моментів у ядрах і про багато іншого. Раптом він повернувся до мене і запитав: «А що Ви скажете, якщо я запропоную Вам писати «bra» і «ket»?» (частини англійського слова «bracket» — дужка). У формалізмі Дірака вони позначають комплексно-сполучену хвильову функцію  $|\Psi\rangle$  і, відповідно, не пов'язану хвильову функцію  $\langle\Psi|$  — «bra» та вектор стану — «ket». (Тут дужки мають бути не круглими, а кутовими. — Ред.) Я блискавично зрозумів сенс питання і з радістю погодився. «Тут є одна маленька формальність, — продовжив він, — але я гадаю, для Вас це не проблема. Ви склали кандидатський іспит як експериментатор, але тепер треба буде здати і мінімум Ландау з теоретичної фізики». Так, з легкої руки Михайла Федоровича, я, не пройшовши спеціалізацію на кафедрі теоретичної фізики Кишинівського держуніверситету, дістав можливість виконувати наукові роботи в галузі теоретичної фізики. За цей подарунок я на все життя залишаюся вдячним чудовому вченому і високоінтелігентній Людіні, члену-кореспонденту АН УРСР М.Ф. Дейгену.



## Основні роботи школи

### Монографії

Шанина, Б.Д. (1983). Динамика двойного электронно-ядерного резонанса. Киев: Наук. думка, 176 с.

Глинчук, М.Д., Грачёв, В.Г., Дейген, М.Ф., Ройцин, А.Б., Суслин, Л.А. (1992). Радиоспектроскопия твердого тела. Киев: Наук. думка, 632 с.

Ройцин, А.Б., Маевский, В.М. (1992). Радиоспектроскопия поверхности твёрдых тел. Киев: Наук. думка, 272 с.

Savchenko, D.V., Kalabukhova, E.N., Shanina, B.D. (2011). Identification and Kinetic Properties of the Photosensitive Impurities and Defects in High-Purity Semi-Insulating Silicon Carbide. In: Properties and Applications of Silicon Carbide. Ed. Rosario Gerhardt. InTech. P. 3—28.

Pozdnyakov, A.O., Konchits, A.A., Pushkarchuk, A.L. (2012). Spectroscopy and modeling of thermal stability and defect states in polymer-fullerene C60 composites.. In: Handbook on Fullerene: Synthesis, Properties and Applications. Nova Science Publishers, Inc. P. 421—438.

Головина, И.С., Гейфман, И.Н., Родионов, В.Е. (2015). Диэлектрические резонаторы для ЭПР спектроскопии. Киев, 158 с.

Kalabukhova, E., Savchenko, D., Shanina, B. (2018). Paramagnetic defects in amorphous hydrogenated silicon carbide and silicon carbonitride films. In: Frontiers in Magnetic Resonance: EPR in modern carbon-based nanomaterials. Eds D. Savchenko, A. Kassiba. Bentham Science Publishers. P. 254—282.

Буря, О.І., Єрьоміна, К.А., Лисенко, О.Б., Кончиць, А.А., Морозов, О.Ф. (2019). Полімерні композити на основі термопластичних в'язучих. Дніпро, 238 с.

### Статті

Дейген, М.Ф. (1948). О некоторых оптических свойствах поляронов и центров окраски. *Изв. АН СССР*. Т. 12, № 5.

Дейген, М.Ф., Пекар, С.И. (1951). О состоянии электрона проводимости в идеальном гомеоплярном кристалле. *ЖЭТФ*. Т. 21, № 7. С. 803—808.

Дейген, М.Ф., Лашкарёв, В.Е. (1953). О коэффициенте прозрачности контакта полупроводник—металл. *Труды ИФ АН УССР*. № 4. С. 3—10.

Дейген, М.Ф., Пекар, С.И. (1955). Обобщение метода эффективной массы на случай перекрывающихся зон. *ЖЭТФ*. Т. 30. С. 24.

Дейген, М.Ф. (1956). Теория локальных состояний электронов в изотропном гомеоплярном кристалле. *ЖЭТФ*. Т. 31, № 3. С. 504.

Дейген, М.Ф. (1957a). К теории примесных центров в анизотропных гомеоплярных кристаллах. *Оптика и спектроскопия*. Т. 2, № 5.

Дейген, М.Ф. (1957b). Теория парамагнитного резонанса F-центров в ионных кристаллах. *ЖЭТФ*. Т. 33, № 3. С. 773.

Дейген, М.Ф. (1957c). Взаимодействие локализованных электронов с акустическими колебаниями в гомеоплярном кристалле. *Изв. АН СССР*. Т. 21, № 1.

Дейген, М.Ф. (1957d). Оптические свойства локальных электронных центров в твёрдых и жидких ионных диэлектриках. *Изв. АН СССР*. Т. 21, № 6.

Дейген, М.Ф., Винецкий, Л.В. (1958). О влиянии акустических колебаний на параметры полос примесного поглощения в кристаллах. *ЖЭТФ*. Т. 35, № 1.

Буймистров, В.М., Дейген, М.Ф. (1959). К теории примесного поглощения света в гомеополярных кристаллах. *ФТТ*. Т. 1. С. 1463.

Дейген, М.Ф., Зевин, В.Я. (1960). Спин-решёточная релаксация локальных электронных центров в неметаллических кристаллах. *ЖЭТФ*. Т. 30, № 10. С. 1126—1137.

Дейген, М.Ф., Глинчук, М.Д. (1963). Про оптичні властивості локальних електронних центрів поблизу поверхні напівпровідника. *УФЖ*. Т. 8, № 10.

Рубан, М.А., Дейген, М.Ф. (1964). Наблюдение ДЭЯР F-центров в КСl. *ФТТ*. Т. 6, № 12.

Deigen, M.F., Glinchuk, M.D. (1965). Theory of local electronic states on the surface of a non-metallic crystal. *Surface Science*. V. 3. P. 243—260.

Глинчук, М.Д., Грачёв, В.Г., Дейген, М.Ф. (1966). Спин-решёточная релаксация обменно взаимодействующих примесных центров. *ФТТ*. Т. 8, № 11. С. 3354—3362.

Глинчук, М.Д., Дейген, М.Ф., Коробко, Г.В. (1967). Теория формы линии ЭПР во внешних постоянных и переменных электрических полях. *ФТТ*. Т. 9, № 11. С. 3198—3204.

Deigen, M.F., Bratus', V.Ya., Vugmeister, B.E., Zaritskii, I.M., Zolotukhin, A.A., Konchits, A.A., Milevskii, L.S. (1975). ESR and spin relaxation of deep centers in semiconductors in the presence of photoelectrons (Si : Fe<sup>0</sup>). *ЖЭТФ*. V. 42, N 6. P. 1073—1076.

Грачёв, В.Г., Дейген, М.Ф., Пекар, С.И. (1977). Двойной электронно-ядерный резонанс примесных центров в кристаллах. *УФН*. Т. 125, № 4. С. 631—663.

Шанина, Б.Д. (1979). О природе отрицательного ДЭЯР и возможности его описания в рамках уравнений Блоха. *ФТТ*. Т. 21. С. 283—328.

Кончиц, А.А., Зарицкий, И.М., Семёнов, Ю.Г. и др. (1980). Инверсия населённостей спиновых состояний Cr<sup>+</sup> в кремнии при неполяризованной оптической подсветке. *Письма в ЖЭТФ*. Т. 31. С. 56—59.

Коновалов, В.И., Ищенко, С.С., Окулов, С.М. (1980). Осевое кристаллическое поле и ЭПР в GaSe. *ФТТ*. Т. 20. С. 1842.

Deugen, M.F., Semenoff, Yu.G., Shanina, B.D. (1981). Exchange interaction between paramagnetic centers and valence band electrons in semiconductors with cubic lattices. *Phys. St. Sol.(b)*. V. 104. P. 631—639.

Зарицкий, И.М., Кончиц, А.А., Шанина, Б.Д. (1982). Исследование методом ЭПР носитель-примесных взаимодействий в полупроводниках. *ФТП*. 1982. Т. 16. С. 1793—1797.

Калабухова, Е.Н., Кабдин, Н.Н., Лукин, С.Н. (1987). Новое представление о донорных состояниях азота в 6H-SiC. *ФТТ*. Т. 29, № 8. С. 2532—2534.

Грачёв, В.Г., Ищенко, С.С., Климов, А.А., Ковалюк, З.Д., Окулов, С.М., Тесленко, В.В. (1988). Стабильные парамагнитные комплексы из иона гадолиния и дырки в слоистом полупроводнике GaSe. *ФТТ*. Т. 30, № 1. С. 82—87.

Ройцин, А.Б. (1988). Природа неоднозначности обобщенного спинового гамильтониана и способы ее устранения. *ФТТ*. Т. 30, № 9. С. 2733—2737.

Гейфман, И.Н., Свечников, С.В., Самойлова, И.А., Хоруженко, В.Ю., Сонько, Т.В. (1988). Индуцированный электрическим полем фазовый переход в (K<sub>1-x</sub>:Li<sub>x</sub>)TaO<sub>3</sub>. *ФТТ*. Т. 30, № 9. С. 2824—2828.

Шанина, Б.Д. (1989). Микроволновой отклик высокотемпературного сверхпроводника с одним контактом Джозефсона в резонаторе спектрометра ЭПР. *Сверхпроводимость: физика, химия, техника*. Т. 2, № 6. С. 30—39.

Bratus, V.Ya., Ishchenko, S.S., Okulov, S.M., Vorona, I.P. et al. (1990). EPR and ENDOR study of  $P_b$  center in porous silicon. *Phys. Rev. B*. V. 50, N 20. P. 15449—15452.

Гаврилюк, В.Г., Шанина, Б.Д., Баран, Н.П., Максименко, В.М. (1991). Спиновый резонанс электронов проводимости в азотистом и углеродистом аустенитах. *Металлофизика*. Т. 13, № 11. С. 11—15.

Зарицкий, И.М., Кончиц, А.А., Шанина, Б.Д., Колесник, С.П. (1991). Релаксация магнитного потока в монокристаллах ВТСП: изучение с помощью внутреннего СВЧ-сквида. *Сверхпроводимость: физика, химия, техника*. Т. 4, № 12. С. 2333—2341.

Мельничук, А.В., Пасечник, Ю.А. (1992). Анизотропия эффективных масс электронов в карбиде кремния. *ФТТ*. Т. 34, № 2. С. 423—428.

Shanina, B.D., Baran, N.P., Maksimenko, V.M. et al. (1993). Spin resonance study of electron properties in nitrogen and carbon austenites. *Phys. Rev. B*. V. 48. P. 3224—3231.

Kalabukhova, E.N., Lukin, S.N., Mokhov, E.N., Reinke, J., Greulich-Weber, S., Spaeth, J.-M. (1995). On the microscopic structure of shallow donors in 6HSiC studies with EPR and ENDOR. *Sol. St. Com.* V. 93, N 5. P. 393—397.

Greulich-Weber, S., Feege, F., Kalabukhova, E.N., Lukin, S.N., Spaeth, J.-M., Adrian, F.J. (1998). EPR and ENDOR investigations of B acceptors in 3C-, 4H- and 6H-silicon carbide. *Semicond. Sci. Technol.* V. 13. P. 59—70.

Vorona, I., Ishchenko, S., Okulov, S. (1999). ENDOR study of irradiated tooth enamel. *Semicond. Phys. Quantum Electron. Optoelectron.* V. 2, N 1. P. 84—92.

Vorona I., Ishchenko, S., Okulov, S., Petrenko, T.T. (2000). New possibility of retrospective EPR dosimetry. *Semicond. Phys. Quantum Electron. Optoelectron.* V. 3, N 2. P. 219—222.

Konchits, A.A., Shanina, B.D., Kolesnik, S.P., Katsaj, M.Ya. (2000). Electron paramagnetic resonance and magnetic properties of composite  $C_{60}$ :Er. *J. Magn. Magn. Mater.* V. 210. P. 215—224.

Gavriljuk, V.G., Berns, H., Shanina, B.D. (2000). On the correlation between electron structure and short range atomic order in iron-based alloys. *Acta Materialia*. V. 48, N 15. P. 3879—3893.

Bratus, V.Ya., Makeeva, I.N., Okulov, S.M., Petrenko, T.L. et al. (2001). Positively charged carbon vacancy in 6H-SiC: EPR study. *Physica B*. V. 308—310. P. 621—624.

Kalabukhova, E.N., Lukin, S.N., Saxler, A., Mitchel, W.C., Smith, S.R., Solomon, J.S., Ewwaraye, A.O. (2001). Photosensitive electron paramagnetic resonance spectra in semi-insulating 4H-SiC crystals. *Phys. Rev. B*. V. 64. P. 235202(1—5).

Вейнгер, А.И., Шанина, Б.Д., Данишевский, А.М., Попов, В.В., Гордеев, С.К., Гречинская, А.В. (2003). Электрофизические исследования нанопористых углеродных материалов, приготовленных из порошков карбида кремния. *ФТТ*. Т. 45, № 6. С. 1141—1150.

Druz, B., Zaritskiy, I., Yevtukhov, Y., Konchits, A. et al. (2004). Diamond-like carbon films: electron spin resonance (ESR) and Raman spectroscopy. *Diamond & Related Materials*. V. 13. P. 1592—1602.

Bratus, V.Ya., Petrenko, T.L., Okulov, S.M., Petrenko, T.T. (2005). Positively charged carbon vacancy in three inequivalent lattice sites of 6H-SiC: combined EPR and density functional theory study. *Phys. Rev. B*. V. 71, N 12. P. 125202—125223.

Malovichko, G., Grachev, V., Okulov, S., Kakanyan, E. et al. (2006). EPR of Nd in congruent and nearly stoichiometric lithium niobate. *Phys. St. Sol. (b)*. V. 243, N 2. P. 409—415.

Shanina, B.D., Gavriljuk, V.G., Berns, H. (2007). High Strength Austenitic CrMnN steels. Part III: Electronic Properties. *Steel Research Int.* V. 78. P. 720—724.

Shanina, B.D., Kolesnik, S.P., Gavriljuk, V.G., Petrov, Yu.N., Sokhatsky, V.P. (2008). Properties of iron nanowires encased in multiwalled carbon nanotubes. *Fullerene, Nanotubes, and Carbon Nanostructures*. V. 16, N 6. P. 365—371.

Tkach, I., Baldansuren, A., Kalabukhova, E., Lukin, S., Sitnikov, A., Tsvir, A., Ischenko, M., Rosentzweig, Yu., Roduner, E. (2008). A home-built ESE-spectrometer based on a high power Q-band microwave bridge. *J. Appl. Magn. Res.* V. 35, N 1. P. 95—112.

Данишевский, А.М., Кютт, Р.Н., Ситникова, А.А., Шанина, Б.Д., Курдюков, Д.А., Гордеев, С.К. (2009). Кластеры палладия в образцах нанопористого углерода: структурные свойства. *ФТТ*. Т. 51, № 3. С. 604—609.

Іщенко, С.С., Ворона, І.П., Баран, М.П., Окулов, С.М., Рудько, В.В. (2009). Термічно індуковані зміни карбонатної структури біологічного гідроксилпатиту, досліджені методами ЕПР і ПЕЯР. *УФЖ*. Т. 54, № 3. С. 231—237.

Bratus, V.Ya., Melnik, R.S., Okulov, S.M., Rodionov, V.N., Shanina B.D., Smoliy, M.I. (2009). A new spin one defect in cubic SiC. *Physica B*. V. 404. P. 4739—4741.

Kalabukhova, E.N., Lukin, S.N., Savchenko, D.V., Shanina, B.D., Vasin, A.V., Lysenko, V.S., Nazarov, A.N., Rusavsky, A.V., Koshka, Y. (2010). ESR study of carbon and silicon related defects in carbon-rich hydrogenated amorphous silicon-carbon films. *Phys. Rev. B*. V. 81. P. 155319—155327.

Skoblik, A.P., Shanina, B.D., Okulov, S.M., Ulyanova, E.V. et al. (2011). Effect of iron compounds on hyperfine interactions and methane formation in the coal. *J. Appl. Phys.* V. 110. P. 013706.

Головина, И.С., Шанина, Б.Д., Гейфман, И.Н., Андрийко, А.А., Черненко, Л.В. (2011). Особенности спектров ЭПР нанопорошков  $\text{KTaO}_3\text{:Mn}$ . *ФТТ*. Т. 54, № 3. С. 516—522.

Savchenko, D.V., Kalabukhova, E.N., Pöpl, A., Shanina, B.D. (2012). Electronic structure of the nitrogen donors in 6H SiC as studied by pulsed ENDOR and TRIPLE ENDOR spectroscopy. *Phys. St. Sol. (b)*. V. 249, N 11. P. 2167—2178.

Валах, М.Я., Кончиць, А.А., Янчук, І.Б., Шанина, Б.Д., Алексєєв, А.Д., Василенко, Т.А., Молчанов, О.М., Кирилов, А.К. (2012). Структурні та магніторезонансні дослідження викопного вугілля Донецького басейну. *Доповіди НАНУ*. № 5. С. 88—96.

Skoblik, A.P., Kolesnik, S.P., Konchits, A.A., Shanina, B.D., Gavriljuk, V.G. (2012). A Modeling for Effect of Iron Compounds of Methane Formation in the Coal. *Fuel*. V. 98. P. 124—130.

Savchenko, D.V., Kalabukhova, E.N., Shanina, B.D., Sitnikov, A.A., Lysenko, V.S., Tertykh V.A. (2014). Electron paramagnetic resonance study of paramagnetic centers in carbon-fumed silica adsorbent. *J. Appl. Phys.* V. 115, N 13. P. 133704(1—7).

Savchenko, D., Shanina, B., Pöppl, A., Mokhov, E. (2016). The spin relaxation of nitrogen donors in 6H SiC crystals studied by electron spin echo method. *J. Appl. Phys.* V. 119, N 13. P. 135706(1—7).

Sitnikov, A., Kalabukhova, E., Oliynyk, V., Kolisnichenko M. (2017). A Q-band low noise GaAs pHEMT MMIC power amplifier for pulse electron spin resonance spectrometer. *Rev. Sci. Instr.* V. 88. P. 054702(1—5).

Ворона, И.П., Ищенко, С.С., Грачёв, В.Г., Баран, Н.П. и др. (2019). Электронный парамагнитный резонанс ионов  $Mn^{2+}$  в наноразмерном сульфиде цинка с планарным дефектом решётки. *Журнал прикладной спектроскопии*. Т. 86, № 1. С. 146—150.

### **Патенти**

А.с. СРСР № 219862. (1965). Рубан М.А. Установка для исследования двойного электронно-ядерного резонанса. Патент США. № 623782. (1967). Патент Великої Британії. № 13205. (1967). Патент Японії. № 21308. (1967). Патент ФРН. № 33213. (1967).

А.с. СССР № 1070461. (1984). Ищенко, С.С., Окулов, С.М., Брик, А.Б. Резонатор для радиоспектрометра.

А.с. СССР № 1592739. (1990). Окулов, С.М. Термометр сопротивления.

А.с. СССР № 1628786. (1990). Ищенко, С.С., Окулов, С.М., Брик, А.Б., Матяш, И.В. Метод определения характеристик высокотемпературных сверхпроводников.



## Представники наукової школи «Радіоспектроскопія»



М.Ф. Дейген (ліворуч) і Л.Д. Ландау (праворуч). 1960 р.



М.Ф. Дейген і О.А. Бугай на 16-му конгресі AMPERE. Перший ліворуч — піонер радіоспектроскопії С.А. Альтшулер. Бухарест, 1970 р.



Зліва направо: Л.М. Суслін, С.С. Іщенко, М.Ф. Дейген



Зліва направо: А.А. Кончиць, Л.А. Власенко з дружиною, В.Я. Братусь, Ю.Г. Семенов, В.М. Максименко



Зліва направо: С.М. Окулов, В.Я. Братусь, А.О. Клімов, В.Г. Грачов



Біля установки для радіоспектроскопічних досліджень кристалів. Зліва направо: доктори фізико-математичних наук І.П. Ворона, В.Я. Братусь, С.С. Іщенко



Зліва направо: І.М. Зарицький, Л.Г. Ракитіна, Б.Д. Шаніна, А.А. Кончиць



В.І. Коновалов. 1972 р.



Зліва направо: Г.І. Тесленко та В.В. Тесленко. 1978 р.



Зліва направо: І.І. Жеру, О.Б. Ройцин, В.Я. Зевін, В.А. Ацаркін, Б.Д. Шаніна



Зліва направо: С.С. Іщенко, О.Б. Брик, М.П. Баран



Зліва направо: Є.С. Єфанов та А.А. Кончиць



В.С. Кисельов (ліворуч) та С.Ф. Авраменко проводять вирощування монокристалів карбїду кремнію модифікованим сублімаційним методом за  $T = 2600\text{ }^{\circ}\text{C}$  із застосуванням модернізованої промислової печі РЕДМЕТ-30. 2003 р.



А. Козловський (ліворуч) та О.О. Сітніков проводять вимірювання спектрів фото-ЕПР на спектрометрі ЕПР з діапазоном частот 8 мм. 2006 р.



Зліва направо, перший ряд: К.М. Калабухова, С.М. Лукін, другий ряд: С.Ф. Авраменко, В.С. Кисельов, С.П. Колесник. 2006 р.

І.І. Жеру і Н.Є. Завойська (дочка акад. Є.К. Завойського) на Міжнародній конференції «Сучасний розвиток магнітного резонансу», присвяченій 100-річчю від дня народження акад. Є.К. Завойського, автора відкриття електронного парамагнітного резонансу. Казань, 24—27 вересня 2007 р. ▶







Група радіоспектроскопії відділу напівпровідникових гетеросистем. Зліва направо, перший ряд: д-ри фіз.-мат. наук С.М. Лукін і К.М. Калабухова, другий ряд: інженер О.М. Лисенко, аспіранти Д.В. Савченко та О.О. Сітніков. 2007 р.



Зліва направо: В.М. Максименко, К.М. Калабухова, С.М. Омельченко (Дніпропетровський університет), П. Левковський під час відзначення 90-річчя від дня народження М.Ф. Дейгена. 2008 р.



К.М. Калабухова під час доповіді на семінарі, присвяченому 90-річчю від дня народження М.Ф. Дейгена. 2008 р.



Д.В. Савченко під час доповіді на конференції молодих вчених «Лашкарівські читання — 2013»

---

---

## Розділ 6

# НАУКОВА ШКОЛА «ФІЗИКА ПОВЕРХНІ НАПІВПРОВІДНИКІВ» ІНСТИТУТУ ФІЗИКИ НАПІВПРОВІДНИКІВ ім. В.Є. ЛАШКАРЬОВА НАН УКРАЇНИ

Школа фізики поверхні напівпровідників є однією з перших на теренах колишнього Радянського Союзу, яка стала (і залишається досі) базовою для формування багатьох лабораторій з фізики напівпровідників (Інститут, 2010).

Одним із засновників цієї школи був Василь Іванович Ляшенко, який має великі заслуги перед фізичною наукою України. Він стоїть в одному ряду з її фундаторами в часи передвоєнного відродження науки в СРСР. Варто назвати імена таких його сучасників і колег, як Вадим Євгенович Лашкарьов, Олександр Генріхович Гольдман, Петро Григорович Борзяк.

Навколо В.І. Ляшенка згуртувалося багато видатних у майбутньому фізиків, серед яких слід згадати насамперед теоретиків — О.С. Давидова, С.І. Пекаря, а після війни — експериментаторів О.В. Снітка, В.Г. Литовченка, Г.П. Пеку, В.І. Стріху, В.М. Добровольського.

В.І. Ляшенко був одним із фундаторів Інституту фізики напівпровідників. Він доклав багато зусиль для його створення і плідної діяльності, тривалий час був заступником академіка-секретаря Відділення фізики та астрономії Академії наук України.

Надалі школу фізики поверхні напівпровідників розвивали учні В.І. Ляшенка — академік НАН України О.В. Снітко та член-кореспондент НАН України В.Г. Литовченко. Фактично ця школа відома у наукових колах під потрійним ім'ям: Ляшенка—Снітка—Литовченка.

Вихованцями школи є понад 100 кандидатів і більш як 20 докторів фізико-математичних наук, 5 дійсних членів і членів-кореспондентів НАН України, чимало високофахових інженерів та викладачів.

Перші роботи з дослідження напівпровідників були поставлені В.І. Ляшенком і виконані в Інституті фізики Академії наук та Київському університеті під керівництвом академіка О.Г. Гольдмана (після повернення із заслання до них долучився і В.Є. Лашкарьов) ще в передвоєнні 30-ті—40-ві роки на класичних тоді матеріалах: селені (Se), закисі міді (купрум (I) оксид,  $Cu_2O$ ), сірчастосрібних плівках, які були основою для виготовлення випрямлячів струму, що використовувалися у силових пристроях. Ці пристрої були розроблені лише за кілька років до цього німецькими фізиками



(Grondahl, 1926; Schottky, 1929). В.І. Ляшенко запропонував нові, зокрема залізооксидні випрямні, матеріали, інформацію про які було вміщено в одній з перших його публікацій у 1935 р. (Ляшенко, 1935).

В.І. Ляшенко виконав також перші дослідження приконтактних ефектів для ділянок «контактний метал (Pb) — напівпровідник», вимірюючи розподіл потенціалу вздовж зразків. Раніше (1935 р.) у роботах Д.М. Наследова та Л.М. Семенова було виявлено істотний контактний опір як для анодного, так і для катодного режиму ввімкнення зразка, причому опір не залежав від величини і полярності прикладеного поля. Результат було пояснено наявністю «неякісного» приконтактного високоомного шару (PbSe). В.І. Ляшенко (разом зі своїм співробітником Г.А. Федорусом) (Ляшенко, 1938) відкрили на контакті метал—напівпровідник новий ефект, названий ними високовольтною поляризацією приконтактної частини напівпровідників. Ефект полягав у створенні високоомного приконтактного шару, опір якого значно змінювався від величини і полярності застосованої напруги — від надмалої величини (за катодної полярності) до багаторазового перевищення опору об'єму зразка (за анодної поляризації). Було зроблено фізично обґрунтований висновок: наявність додаткового стрибка потенціалу на анодному контакті зумовлена формуванням об'ємного заряду та високовольтної поляризації (виснаження) електронних напівпровідників.

Ця робота є однією з пріоритетних у відкритті запірного шару (названого згодом Шотткі-бар'єром) на контакті метал—напівпровідник. Деяко пізніше в роботах В.Є. Лашкар'єва запірний шар було виявлено на контакті  $\text{Cu—Cu}_2\text{O—CuO}$  і вперше пояснено виникненням  $p$ — $n$ -переходу ( $\text{CuO}(n)\text{—Cu}_2\text{O}(p)\text{—Cu}$ ), який також було названо запірним шаром.

Отже, до відкриття запірних шарів у напівпровіднику поблизу поверхні на межі поділу метал—напівпровідник та пояснення природи такого ефекту безпосередньо причетні ще в передвоєнні роки українські вчені — В.І. Ляшенко, В.Є. Лашкар'єв та їхні співробітники. Важливо підкреслити, що саме ці структури є базовими в сучасній напівпровідниковій електроніці.

На основі цих досліджень Василь Іванович Ляшенко підготував докторську дисертацію, але війна перешкодила її захисту. Результати цих досліджень пізніше були ретельно проаналізовані С.І. Пекарем у докторській дисертації. На жаль, країна перебувала в ізоляції, стан наукових зв'язків залишав бажати кращого, а воєнні події перешкодили широкому ознайомленню світової наукової спільноти з цими інноваційними на той час результатами, і Україна, де-факто, втратила пріоритет на низку фундаментальних відкриттів у напівпровідниковій електроніці. Роботи (Глебова, 2011; Litovchenko, 2014; Литовченко, 2016) намагаються цей пріоритет повернути.

У наступний, вже повоєнний період, В.І. Ляшенко, залучаючи до досліджень ширше коло сучасних дослідницьких методик та фізичних явищ, зосередив свої зусилля на «поверхневій тематиці», зокрема на з'ясуванні

особливостей електричних параметрів і характеристик: робота виходу, приповерхнева провідність, фотоелектрична провідність, адсорбційні та каталітичні явища у напівпровідникових об'єктах. Ці роботи виконували В.І. Ляшенко разом з новими співробітниками — І.І. Степком, А.М. Павленком та ін., а від 1950-х років — разом з О.В. Снітком, В.Г. Литовченком та деякими іншими (Ляшенко, 1952; 1953; 1957; 1958а; 1958б). За цими результатами опубліковано велику кількість принципових робіт, серед яких особливе місце посідає оглядова стаття, написана В.І. Ляшенко разом з В.Є. Лашкар'євим, що вийшла в ювілейному збірнику, присвяченому 70-річчю академіка А.Ф. Йоффе, в 1950 р. (Лашкарев, 1950). Результати роботи були отримані практично одночасно з відомими фундаментальними публікаціями з електроадсорбційних явищ, досліджених Бардіном та Браттейном (Brattain, 1953). У цих роботах було встановлено екранування зовнішнього поля та дипольного поля адсорбованих молекул зарядженими поверхневими центрами. На початку досліди київських авторів було виконано на традиційних fotocутливих напівпровідниках ( $\text{Cu}_2\text{O}$ ,  $\text{CdS}$ ), тоді як західні вчені почали дослідження моноатомних напівпровідникових матеріалів — германію та кремнію. Саме на цих непрямозонних напівпровідниках з великою довжиною дифузії електронів  $L_D$ , як відомо, Шоклі, Бардін та Браттейн відкрили в 1947 р. транзисторний ефект (використовуючи контактне поле в двох сусідніх металічних точкових електродах). Разом з тим fotocутливі багатокомпонентні II-VI, III-V та інші інтерметалічні сполуки стали в майбутньому базовими для створення НВЧ-приладів, фотоприймачів, лазерів, високоефективних сонячних батарей та інших сучасних напівпровідникових приладів.

У 1956 р. у зв'язку з інтенсивним розвитком транзисторної електроніки в Інституті фізики АН УРСР вперше в СРСР розпочалися комплексні дослідження електрофізичних властивостей поверхні германію та кремнію. У ході цих досліджень детально вивчали вплив зовнішнього електричного поля та адсорбції молекул на поверхневі електронні процеси, такі як темнова і фотопровідність, фото-е.р.с., поверхнева рекомбінація, конденсаторний фотоэффект. Це дало можливість визначити топографію поверхневих рівнів германію та кремнію.

Вперше було визначено параметри, концентрацію та енергетичне положення поверхневих електронних рівнів, що утворюються при адсорбції. Встановлено існування двох систем електронних рівнів — «повільних» і «швидких»; показано, що поверхневі рівні можуть слугувати донорами чи акцепторами і виконувати інші функції, властиві домішковим електронним рівням в об'ємі напівпровідника. З'ясовано механізми обміну носіями заряду між зонами в об'ємі напівпровідника та поверхневими рівнями.

При виконанні цих дослідів В.І. Ляшенка цікавило фундаментальне питання — який механізм електричної дії адсорбційних молекул у випадку

так званої реальної поверхні (вкритої тонким природним захисним шаром оксиду) домінує: вплив колективного заряду вільних носіїв (як вважав відомий теоретик Ф.Ф. Волькенштейн) чи заряду локальних центрів. Для цього було досліджено ізотерми електроадсорбції на добре відтвореній реальній поверхні германію. Ці цикли робіт було проведено спільно зі співробітниками: В.Г. Литовченком, В.Є. Примаченком, Г.П. Романовою, О.А. Сербою, О.В. Снітком, І.І. Степком, О.С. Фроловим та ін. у 1956—1962 рр. (Ляшенко, 1952; 1953; 1957; 1958a; 1958b; Лашкарев, 1950; Литовченко, 1962a; Литовченко, 1962b; Литовченко, 1965; Литовченко, 1972; Литовченко, 1978).

Ці дослідження дали змогу не тільки обґрунтувати фізичну модель поверхні з визначенням необхідного числа параметрів, а й розробити метод зменшення і стабілізації поверхневої рекомбінації кремнію, що є суттєвим для розроблення напівпровідникових приладів.

Відомо, що за типом ізотерми можна визначити характер адсорбційності поверхні, а за енергетичними параметрами ізотерми — ідентифікувати енергетичні характеристики системи адатом—поверхня. Отже, було класифіковано стани реальної поверхні:

- 1) гомогенна чи гетерогенна;
- 2) тип зарядності (донорна чи акцепторна) поверхні напівпровідника (не пов'язані з дипольним моментом);
- 3) було ідентифіковано параметри адсорбційних центрів: глибоких (міцно зв'язаних молекул водневого типу — спирти ( $E = 0,3$  еВ), менш зв'язаних (ацетон —  $0,22$  еВ) та слабо зв'язаних ( $\text{CO}$ ,  $E = 0,1$  еВ, акцептор).

Наступний цикл робіт, виконаний В.І. Ляшенком з групою молодих співробітників (О.В. Снітко, В.Г. Литовченко, А.П. Горбань, Р.О. Литвинов, В.С. Лисенко), стосувався дослідження поверхні найбільш актуальних на той час напівпровідників — германію та кремнію — методами ефекту поля, вібруючого електрода (контактного потенціалу) та фотостимульованих нерівноважних ефектів (фотопотенціалу, або так званої конденсаторної фото-е.р.с., фотопровідності, фотомагнітної та демберівської фото-е.р.с.). Було встановлено основні параметри поверхневих центрів (енергія активації, перерізи захоплення, густина), що є характерними для реальної поверхні. На основі цих досліджень було висунуто так звану тришарову модель реальної поверхні, в якій центри мають природу, близьку до радіаційно стимульованих центрів (Ляшенко, 1968).

У дослідях на однокомпонентних напівпровідниках (на тонких зразках германію та кремнію) було відкрито важливий ефект — прилипання нерівноважних фотоносіїв на поверхні (В.І. Ляшенко, В.Г. Литовченко, О.В. Снітко), що виявилось істотним вже за кімнатної температури. Цей цикл робіт було узагальнено у 1968 р. в монографії (Ляшенко, 1968), за яку В.І. Ляшенку та його співробітникам було присуджено Державну премію УРСР в галузі науки і техніки (1970 р.).

Отже, в 60—70-ті роки минулого століття школою, якою керував В.І. Ляшенко, було закладено основи фізики реальної поверхні напівпровідників (моноатомних — непрямоzonних кристалів типу Ge і Si — та двокомпонентних —  $A_2B_6$ , CdS, CuO). Зокрема, було експериментально доведено існування поверхневих електронних станів (ПЕС) і встановлено їхній енергетичний спектр (для деяких він є дискретним, для інших — неперервним). У результаті було пояснено основні закономірності люмінесцентних та фотоелектричних явищ (фотопровідність, фото-е.р.с., фотоємність та ін.) у наближенні квазірівноваги в ОПЗ (сталість квазірівнів Фермі в ОПЗ за умови, що дифузійна довжина нерівноважних носіїв заряду суттєво перевищує дебаївську довжину екранування) (Дмитрук, 1970; Zuev, 1973; Lytovchenko, 2011).

Науковий колектив, сформований В.І. Ляшенком в Інституті фізики, став базою для створення двох наукових відділів в Інституті напівпровідників. Крім 10-го відділу, який очолював О.В. Снітко, вивченням поверхневих явищ у напівпровідниках займалися співробітники 9-го відділу під керівництвом В.І. Ляшенка. Цей відділ спочатку мав назву відділу електроніки поверхні напівпровідників, а згодом був перейменований на відділ фізичних основ інтегральної електроніки, керівником якого став В.Г. Литовченко.

### **Зі спогадів Ю.М. Шишова, доктора фізико-математичних наук**

*Цей час дипломної практики був часом знайомства з наукою, відвідування семінарів. У нас був об'єднаний семінар відділів поверхні 9 і 10, керівником якого був Василь Іванович Ляшенко — наш шановний патріарх. Якщо я правильно пам'ятаю, досить відомою була стаття Лашкар'єва і Ляшенка з електронних рівнів на поверхні напівпровідників. Також пам'ятаю, що В.І. Ляшенко разом з Ніною Степанівною Чорною опублікували роботу, де вперше виявили експериментально ці самі поверхневі рівні. Стаття викликала великий резонанс, причому дехто відгукувався критично. Але все одно до поверхневої тематики було повернуто увагу наукової громадськості.*

Не можна обійти увагою ще одного із засновників наукової школи фізики поверхні — академіка О.В. Снітка, який своєю науковою та науково-організаційною діяльністю продовжив закладання демократичних засад в Інституті напівпровідників АН УРСР. Докладну розповідь про О.В. Снітка зробив його учень А.В. Саченко (Глебова, 2011). У цій праці показано шлях ученого від початку роботи з видатним фізиком В.І. Ляшенком, його професійне становлення під ретельним наглядом В.Є. Лашкар'єва, якого О.В. Снітко змінив на посаді директора у 1970 р., розквіт його наукового і організаційного таланту, який припав на період 1970—1990 рр. Повну бібліографію академіка О.В. Снітка наведено у книзі із серії «Бібліографія вчених України» (Олег, 2008). Основні досягнення Олега В'ячеславовича у вихованні плеяди талановитих науковців показано на схемі наукової шко-

ли фізики поверхні, цілком репрезентативним у цьому плані є і перелік вибраних праць, поданий наприкінці розділу. Варто також згадати досить широке висвітлення ролі і місця Олега В'ячеславовича у становленні школи поверхні напівпровідників у виданні, присвяченому 50-річчю Інституту фізики напівпровідників ім. В.Є. Лашкарьова (Інститут, 2010). У ньому розповідається також про багатьох науковців — фундаторів школи фізики поверхні, таких як Ю.О. Тхорик, В.Є. Косенко, В.А. Тягай, В.Є. Примаченко, В.С. Лисенко, Б.О. Нестеренко та ін.

Слід відзначити великий цикл робіт, виконаний під керівництвом В.Г. Литовченка в групі Д.В. Корбутяка, присвячений систематичному дослідженню поверхнево чутливої фотолюмінесценції для різних напівпровідників і тонкоплівкових структур у домішкочовій і екситонній ділянках спектра з використанням широкого діапазону інтенсивностей оптичного збудження (Zuev, 1973; Korbutyak, 1996; Litovchenko, 1997; Lytovchenko, 2011). У результаті було розвинуто й обґрунтовано уявлення про механізми формування та умови прояву в оптичних спектрах поверхневих екситонів, вперше використано методіку фотолюмінесценції для систематичного дослідження фундаментальних характеристик поверхні і меж поділу напівпровідникових шаруватих структур, запропоновано способи поліпшення кристалічної структури приповерхневої ділянки напівпровідників, зниження безвипромінювальних втрат, оптимізації технологічних режимів отримання тонких напівпровідникових плівок із заданими властивостями. Вивчалися нерівноважні процеси у квантово-розмірних напівпровідникових структурах. Встановлено особливості випромінювальної рекомбінації в квантових ямах, квантових нитках та квантових точках. Проведено систематичні дослідження спектрів низькотемпературної фотолюмінесценції квантових надґраток GaAs/AlAs, у тому числі кінетики фотолюмінесценції з пікосекундною часовою роздільною здатністю, на основі яких отримано низку важливих наукових результатів, зокрема встановлено, що перехід від квазіпрямозонних до прямозонних надґраток завдяки зменшенню товщини бар'єра супроводжується значним зростанням інтегральної інтенсивності фотолюмінесценції.

У працях В.Г. Литовченка, Д.В. Корбутяка та Ю.В. Крюченка (Литовченко, 1981; Litovchenko, 1981; Litovchenko, 2001; Korbutyak, 2018) вперше встановлено важливі закономірності колективної взаємодії в системі приповерхневих екситонів великої густини. Проаналізовано особливості формування і визначено параметри двовимірного електронно-діркового конденсату на поверхні ZnO, на яку діяли низькодозовим іонно-аргонним бомбардуванням. Вперше встановлено, що нерівноважна квазидвовимірна електронно-діркова плазма (ЕДП), створена на межі поділу  $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ -GaAs потужним лазерним збудженням, характеризується істотно нижчим (приблизно на два порядки величини) порогом накачування, за якого виникає



стимульоване випромінювання, і більшим (приблизно в 2,5 раза) коефіцієнтом оптичного підсилення, ніж тривимірна (об'ємна) ЕДП, створена в GaAs за таких самих рівнів збудження.

Сьогодні відділ фізики поверхні та напівпровідникової нанофотоники очолює д-р фіз.-мат. наук, проф. Д.В. Корбутяк.

Останніми роками у відділі розроблено і запатентовано способи синтезу нанокристалів (НК) CdTe у колоїдних розчинах і полімерних матрицях та вібраційно стійких НК CdTe у желатиновій матриці на скляній підкладці. Виготовлені НК характеризуються високим (~30%) квантовим виходом люмінесценції, їх використовують для розроблення експериментальних зразків низькоенергозатратних світлотехнічних приладів нового типу — НК-люмінофорів, НК-оптронів тощо. Розроблено ефективний і недорогий спосіб підвищення стабільності та інтенсивності фотолюмінесценції (ФЛ) нанокристалів CdTe шляхом їх інкорпорування в захисну матрицю NaCl, в результаті чого виявлено збільшення інтенсивності ФЛ, яка протягом тривалого часу практично не змінювалася, що пояснюється пасивацією поверхні НК іонами хлору. Розроблено модель випромінювання гібридної наносистеми, що складається зі сферичної напівпровідникової квантової точки та сферичної металевої наночастинки у випадку напівпровідника кубічної модифікації з чотирикратно виродженою валентною зоною  $\Gamma_8$ . Розраховано характеристичні часи випромінювальної і безвипромінювальної рекомбінації та визначено оптимальні параметри, які забезпечують максимальний квантовий вихід екситонного випромінювання в таких наносистемах.

До відділу фізики поверхні та нанофотоники входять три лабораторії (станом на 2020 р.).

**Лабораторія фізико-технічних основ напівпровідникової фотоелектроніки** (завідувач — д-р фіз.-мат. наук В.П. Костильов). У лабораторії встановлено домінуючі механізми генерації, рекомбінації і збирання нерівноважних носіїв заряду в кремнієвих шаруватих фоточутливих структурах; розроблено шляхи мінімізації оптичних і рекомбінаційних втрат у кремнієвих багатобар'єрних сонячних елементах (СЕ) з комбінованими дифузійно-польовими, тильовими бар'єрами, а також НІТ-СЕ на основі гетероструктур  $p^+ - \alpha\text{-Si:H} / n - c\text{-Si} / n^+ - \alpha\text{-Si:H}$ .

Розроблено, виготовлено і метрологічно атестовано еталонні СЕ; розроблено, виготовлено та впроваджено на ПАТ «Квазар» контрольно-перевірне устаткування для проведення приймально-здавальних випробувань сонячних фотоелектричних модулів. Розроблено мобільні сонячні фотоелектричні станції для живлення і заряджання малопотужної апаратури в польових умовах потужністю 20 і 40 Вт, а також мобільні комбіновані фотоелектрично-вітрові електростанції піковою потужністю до 80 Вт для автономного електроживлення електронного обладнання в екстремальних (польових) умовах. Розроблено конструктивно-технологічні рішення зі

створення сонячної фотоелектричної станції потужністю 280 Вт для забезпечення автономного живлення електрообладнання різного призначення.

**Лабораторія нетрадиційних та відновлюваних джерел енергії** (завідувач — д-р фіз.-мат. наук, проф. М.І. Клуй). В останні роки в лабораторії оптимізовано технологію виготовлення біоморфної карбідокремніевої кераміки з різних порід деревини та модернізовано відповідні технологічні установки. Відпрацьовано технологію осадження біосумісних покриттів на основі біоінертних та біоактивних матеріалів з використанням методу газодетонаційного осадження. Проведені дослідження *in vivo* та *in vitro* дозволяють зробити висновки, що біоморфна кераміка на основі SiC за своїми характеристиками найбільш споріднена до кісткової тканини. На основі проведених медико-біологічних випробувань розроблених імплантів з біосумісними покриттями показано перспективність їх використання для заміщення великих дефектів трубчастих кісток і суглобів та отримано патент на відповідну корисну модель.

**Лабораторія фізичних основ електронних напівпровідникових мікро- та нанотехнологій** (завідувач — д-р фіз.-мат. наук, проф. А.А. Євтух). У лабораторії розроблено економічні наноструктуровані каталізатори на основі перехідних металів (W, Ni, Mo, Cu, Pd) та їх оксидів, інкорпорованих у порувату матрицю кремнію, з частково заповненими *d*-орбіталами та підвищеною активністю до адсорбції і до розкладання водневмісних молекул (сірководень  $H_2S$ , горючі гази (бутан  $C_4H_{10}$ , метан  $CH_4$ ), водень  $H_2$ ). Розроблено технологію формування нанодротів кремнію методом метал-каталітичного хімічного травлення та створено на їх основі фотоелектричні перетворювачі з радіальними *p-n*-переходами. Виявлено ефекти від'ємної та від'ємної диференційної ємності в структурах з нанокompозитними плівками, що містять нанокристали кремнію та кремнію і заліза. Встановлено особливості ефективної польової та фотопольової емісії з квантових катодів на основі напівпровідникових наноструктур.

Варто згадати ще один науковий напрям — поляритоніку. Ще на початку 1960-х років М.Л. Дмитрук під керівництвом проф. В.І. Ляшенка розпочав дослідження електронних явищ на поверхні полярних напівпровідникових сполук, що за своєю структурою, хімічними зв'язками та об'ємними властивостями значно відрізняються від моноатомних ковалентних Ge та Si, для яких основи фізики поверхні на той час були в основному сформовані. Паралельно з електронними явищами на поверхні М.Л. Дмитрук розпочав систематичні дослідження поляритонних (фононних, плазмонних) поверхневих явищ у полярних напівпровідниках. У 70-ті роки було проведено піонерні дослідження поверхневих фононів у мікрористалах полярних сполук  $A^3B^5$ ,  $A^2B^6$ , згодом було встановлено кореляцію між загасанням цих коливань і мікротвердістю кристалів. Разом з учнями М.Л. Дмитрук отримав такі результати:

- було розвинуто теорію нерівноважної області просторового заряду (ОПЗ), поверхневої фото-е.р.с. змішаного типу, флукуаційну модель вен-

тильної е.р.с., аномального струму внутрішньої фотоемісії, плазмонного і фононного (екситонного) електровідбиття світла у приповерхневому полі ОПЗ, інтерференції в ОПЗ, а також спектрів збудження фотолюмінесценції та катодолюмінесценції на поверхні і в ОПЗ та впливу поверхні на екситонні параметри (М.Л. Дмитрук);

- було узагальнено закон Снелліуса для дисипативних ізотропних середовищ та пояснено збільшення пропускання світла крізь нанорельєфні провідні плівки, зумовлене нерезонансним збудженням поверхневих плазмонних поляритонів тощо (М.Л. Дмитрук, О.В. Коровін);

- було досліджено поверхневі фоони в мікрокристалах полярних напівпровідників  $A^3B^5$ ,  $A^2B^5$  і поверхневі поляритони в анізотропних (дво-вісних) кристалах, твердих розчинах, на розупорядкованих поверхнях, розщеплення спектра шорсткою поверхнею і дифракційною ґраткою (М.Л. Дмитрук, Т.М. Ніколаєва, Т.Р. Барлас), спектри поверхневих і інтерфейсних фононних поляритонів у гетероструктурах на основі напівпровідників  $A^3B^5$  та їх твердих розчинів, напружених напівпровідникових надґратках, взаємодію поверхневих плазмонів та інтерференційних мод у наноструктурах, що призводить до підсилення поглинання світла в системі (М.Л. Дмитрук, В.Р. Романюк);

- вперше спостережено поверхнево посилене поглинання світла фрактальною поверхнею, зумовлене андерсонівською локалізацією, здійснено розрахунок ділянки локалізації (М.Л. Дмитрук, Т.Р. Барлас, Є.В. Підлісний);

- виявлено особливості збудження локальних плазмонних і плазмон-поляритонних мод у спектрах екстинкції періодичних систем нанодротів, запропоновано оптичні сенсори на їх основі (М.Л. Дмитрук, О.В. Коровін, М.В. Соснова, О.І. Маєва, С.В. Мамакін);

- виявлено підсилену збудженням поверхневих плазмон-поляритонних хвиль внутрішню фотоемісію та фотострум (зумовлений зона-зонними переходами) у поверхнево-бар'єрних гетероструктурах типу діодів Шотткі з упорядкованим та квазівпорядкованим мікрорельєфним інтерфейсом (М.Л. Дмитрук, О.В. Коровін, М.В. Соснова, С.В. Мамакін);

- виявлено вплив ефекту електропоглинання (ефекту Франца—Келдиша) на фотоелектричні характеристики бар'єра Шотткі, внаслідок чого узагальнено відому методику визначення дифузійної довжини неосновних носіїв струму (М.Л. Дмитрук, О.Ю. Борковська, С.В. Мамакін);

- виявлено ефект підсилення пропускання світла у фотоактивну область періодично-профільованих поверхнево-бар'єрних гетероструктур типу діодів Шотткі зі спеціальним «антикорельованим» рельєфом металевої плівки, що дозволило вдвічі поліпшити резонансні характеристики плазмон-поляритонних фотодетекторів на їх основі (М.Л. Дмитрук, О.В. Коровін, М.В. Соснова, С.В. Мамакін).

Результати досліджень у напрямі електронно-поляритонних явищ у твердотільних структурах було узагальнено у монографії (Дмитрук, 1989). У 1990-х роках цей напрям набув подальшого розвитку, переважно в прикладному плані, у роботах Ю.М. Ширшова, В.І. Чегеля, Ю.В. Ушеніна, Є.Ф. Венгера та А.В. Гончаренка (Венгер, 1999).

## 6.1. Структура і розвиток наукової школи фізики поверхні напівпровідників

Для наочності структуру наукової школи фізики поверхні напівпровідників подано на схемі (див. вклейку). Прізвища основних учнів школи В.І. Ляшенка, академіка О.В. Снітка та члена-кореспондента В.Г. Литовченка наведено окремо, а послідовників та учнів послідовників — списком у великих рамках.

### Характеристика наукової школи В.І. Ляшенка, О.В. Снітка та В.Г. Литовченка

*Засновники школи* — В.І. Ляшенко, О.В. Снітко, В.Г. Литовченко.

*Послідовники* — В.С. Лисенко, Б.О. Нестеренко, Є.Ф. Венгер, Ю.О. Тхорик, В.А. Тягай, М.Л. Дмитрук, В.О. Зуєв, А.П. Горбань, В.Є. Примаченко, А.В. Саченко, Т.М. Ситенко, Ю.М. Ширшов, А.І. Клімовська, Д.В. Корбутяк, Б.М. Романюк, І.П. Лісовський, А.А. Євтух, Ю.А. Пасічник та ін.

*Учні послідовників* — Г.Я. Колбасов, Г.О. Сукач, В.П. Костильов, А.П. Клименко, Л.О. Матвеева, В.П. Мельник, О.М. Гецько, В.А. Стерлігов, А.Й. Шкрібтій, В.І. Чегель, Ю.В. Субота, О.Л. Кукла, О.М. Назаров, Т.О. Руденко, А.В. Васін, В.П. Таргачник, Ю.М. Шварц, М.І. Ключ, Ю.Ю. Бачеріков, О.В. Коровін, С.З. Малинич, О.В. Мельничук, В.П. Маслов, Ю.В. Крюченко, С.Г. Крилюк, О.Г. Лашкевич, А.І. Берча та ін.

*Наукова продуктивність і потенціал школи*: понад 27 монографій та підручників, більш як 1100 статей, понад 60 патентів України, а.с. СРСР, один академік НАН України, чотири члени-кореспонденти НАН України, два академіки інших академій, більш як 36 докторів наук, понад 140 кандидатів наук.

*Проблемно-тематична широта*: розроблення комплексу методів дослідження фізичних властивостей поверхні напівпровідників; отримання фундаментальних даних про фізичний механізм електронних та інших явищ на поверхні; розроблення нових методів обробки поверхні і нових типів поверхнево чутливих приладів.

*Географічна широта*: Україна, США, Велика Британія, Франція, Канада, Іспанія, Ізраїль, Фінляндія, Японія, Німеччина, Китай.

*Офіційне визнання важливості досліджень наукової школи*: 13 Державних премій України, 11 інших премій.

**Хронологія наукової школи В.І. Ляшенка,  
О.В. Снітка та В.Г. Литовченка**

- 1960** Створено лабораторію електроніки поверхні напівпровідників (керівник — В.І. Ляшенко)  
Організовано лабораторію фізики захисту поверхні напівпровідників (керівник — В.Є. Примаченко)  
Створено лабораторію напівпровідникової металургії (керівник — В.Є. Косенко)
- 1961** Організовано відділ поверхневих явищ у напівпровідниках (керівник — О.В. Снітко)  
Створено відділ електроніки поверхні напівпровідників (керівник — В.І. Ляшенко)
- 1964** Відділ електроніки поверхні напівпровідників реорганізовано у відділ фізичних основ інтегральної електроніки (керівник — В.І. Ляшенко)
- 1970** Державна премія УРСР в галузі науки і техніки за монографію «Электронные явления на поверхности полупроводников» (В.Г. Литовченко, В.І. Ляшенко, І.І. Степко)
- 1973** О.В. Снітка обрано членом-кореспондентом АН УРСР за спеціальністю  
**27.12.1973** «Фізика напівпровідників»
- 1974** Створено сектор поверхневих і контактних явищ у напівпровідниках (керівник — О.В. Снітко)  
Організовано відділ фізикохімії поверхні напівпровідників (керівник — В.А. Тягай)  
Створено лабораторію напівпровідникових гетеропереходів (керівник — Ю.О. Тхорик)
- 1979** Новий керівник відділу фізикохімії поверхні напівпровідників — Б.О. Нестеренко
- 1981** Державна премія УРСР в галузі науки і техніки за комплексне дослідження оптичних та фотоелектричних властивостей напівпровідникових сполук елементів другої та шостої груп періодичної системи (О.В. Снітко спільно з Г.А. Федорусом, М.К. Шейнкманом, І.Б. Мізецькою, С.І. Пекарем, М.П. Лисицею, В.Є. Лашкарьовим, Є.А. Сальковим)
- 1982** Створено лабораторію фізико-технічних проблем іонно-легованих шаруватих структур (керівник — В.С. Лисенко)  
Організовано відділ напівпровідникових гетеропереходів (керівник — Ю.О. Тхорик)
- 1983** Лабораторію фізико-технічних проблем іонно-легованих шаруватих структур перетворено на відділ (керівник — В.С. Лисенко)
- 1984** Державна премія УРСР за роботу в галузі радіоелектроніки (М.Л. Дмитрук, Р.В. Конакова, В.С. Лисенко, В.І. Файнберг разом з А.В. Прохоровичем)



- Премія імені К.Д. Синельникова АН УРСР за монографію «Электроотражение света в полупроводниках» (О.В. Снітко, В.А. Тягай)  
Створено лабораторію фотоелектричних та оптичних явищ на поверхні напівпровідників (керівник — А.В. Саченко)
- 1985** В.Г. Литовченка обрано членом-кореспондентом АН УРСР за спеціальністю «НВЧ-електроніка»
- 28.03.1985** Створено лабораторію молекулярної електроніки (керівник — Ю.М. Ширшов)
- 1986** Створено лабораторію НВЧ-електроніки (керівник — Р.В. Конакова)
- 1987** Державна премія УРСР в галузі науки і техніки за цикл робіт «Розробка фізичних основ міцності ковалентних кристалів і оптимізація на цій основі технологій виготовлення напівпровідникових структур мікроелектроніки» (Б.М. Романюк разом з П.І. Баранським)
- 1988** Державна премія УРСР в галузі науки і техніки за роботу «Фізичне обґрунтування і промислове освоєння діагностики технології напівпровідникових матеріалів  $A^3B^5$ , їх твердих розчинів та розробка функціональних пристроїв на їх основі» (І.П. Тягульський разом з П.С. Смертенком)
- Премія імені К.Д. Синельникова АН УРСР за монографію «Перенос електронів і дірок біля поверхні напівпровідників» (В.М. Добровольський, В.Г. Литовченко)  
Створено лабораторію МДП-фотоелектричних перетворювачів (керівник — А.П. Горбань)
- 1989** Створено лабораторію розмірних явищ у напівпровідниках (керівник — А.І. Клімовська)
- 1990** Новий керівник відділу фізики поверхні напівпровідників — А.В. Саченко
- 1991** Відділ напівпровідникових гетеропереходів реорганізовано у відділ напівпровідникових гетероструктур (керівник — Є.Ф. Венгер)  
Створено лабораторію гетероепітаксійних вимірювальних перетворювачів (керівник — Ю.М. Шварц)
- 1992** В.С. Лисенка обрано членом-кореспондентом НАН України за спеціальністю «Обчислювальна техніка»
- 25.11.1992** Б.О. Нестеренка обрано членом-кореспондентом НАН України за спеціальністю «Атомна фізика, електроніка»  
Створено лабораторію оптоелектронних та мікроелектронних біосенсорів (керівник — Ю.М. Ширшов)  
Створено лабораторію оптоелектронних молекулярно-напівпровідникових систем (керівник — О.М. Гецько)
- 1993** Державна премія України в галузі науки і техніки за цикл робіт «Комплексне дослідження фізичних властивостей карбиду кремнію і розробка

на його основі напівпровідникових приладів, що працюють в екстремальних умовах» (Є.Ф. Венгер разом з Л.Й. Бережинським, М.Я. Валахом, С.І. Власкіною, О.Т. Сергєєвим)

- 1995** Державна премія України в галузі науки і техніки за роботу в галузі радіоелектроніки (Р.В. Конакова, В.В. Міленін, І.В. Прокопенко, Ю.О. Тхорик)  
Лабораторію оптоелектронних та мікроелектронних біосенсорів перетворено на відділ (керівник — Ю.М. Ширшов)  
Лабораторію оптоелектронних молекулярно-напівпровідникових систем перетворено на відділ (керівник — О.М. Гецко)
- 1996** Премія президентів академій наук України, Білорусі і Молдови за виконання науково-дослідної роботи «Напівпровідникові надрешітки з напруженими шарами: електронні та коливальні стани» (Є.Ф. Венгер, М.Л. Дмитрук)  
Премія імені К.Д. Синельникова НАН України за монографію «Поверхностные поляритоны в полупроводниках и диэлектриках» (М.Л. Дмитрук)
- 1997** Державна премія України в галузі науки і техніки за цикл наукових праць «Процеси переносу заряду і маси та електронні кінетичні явища на поверхнях і у приповерхневих шарах твердих тіл» (В.Г. Литовченко, Д.В. Корбутяк)
- 04.12.1997** Є.Ф. Венгера обрано членом-кореспондентом НАН України за спеціальністю «Електронне приладобудування»
- 2003** Премія імені С.О. Лебедева НАН України за цикл наукових робіт «Розробка і створення компонентів, пристроїв і систем захисту і обробки інформації» (В.С. Лисенко)
- 2004** Премія президентів академій наук України, Білорусі і Молдови за роботу «Міжфазні взаємодії і механізми деградації в структурах метал—InP та метал—GaAs» (І.В. Прокопенко, Р.В. Конакова, В.В. Міленін)
- 2005** Премія імені В.Є. Лашкарьова НАН України за роботу «Формування високостабільних контактних і поверхнево-бар'єрних структур в приладах високотемпературної НВЧ-електроніки на основі широкозонних напівпровідників» (Р.В. Конакова, В.С. Лисенко разом з О.Є. Беляєвим)  
Новий керівник відділу оптоелектронних та мікроелектронних біосенсорів — О.Л. Кукла
- 2006** Державна премія України в галузі науки і техніки за роботу в галузі радіоелектроніки (О.М. Назаров, Т.О. Руденко разом з О.Є. Беляєвим, В.О. Кочелапом, І.Б. Єрмолович)
- 2007** Державна премія України в галузі науки і техніки за роботу в галузі створення новітніх матеріалів (А.П. Горбань разом з О.І. Власенком, І.З. Індутним, В.П. Кладьком, В.М. Комащенком)

- 2009** Державна премія України в галузі науки і техніки за розробку високо-ефективних технологій оптоелектроніки і комунікаційних систем на їх основі (Г.О. Сукач)
- 2011** Державна премія України в галузі науки і техніки за роботу «Мікроелектронні датчики нового покоління для інтелектуальних систем» (А.А. Євтух)  
Державна премія України в галузі науки і техніки за цикл робіт зі створення нових функціональних матеріалів і розробки конструкторсько-технологічних рішень для спеціального приладобудування (М.М. Локшин, В.П. Маслов разом з Г.С. Пекарем, О.Ф. Сингаївським)
- 2012** Державна премія України в галузі науки і техніки за роботу «Ключові технології виробництва кремнієвих сонячних елементів та енергетичних систем на їх основі» (М.І. Ключ, В.П. Костильов, А.В. Макаров, А.В. Саченко)  
Премія академій наук України, Білорусі та Молдови за спільні дослідження «Фазові і структурні модифікації поверхневих шарів і плівок у технології напівпровідникових приладів і надвеликих інтегральних схем» (Я.Я. Кудрик разом з О.Є. Беляєвим)  
Новий керівник відділу оптоелектронних молекулярно-напівпровідникових систем — В.З. Лозовський
- 2013** Премія імені Н.Д. Моргуліса НАН України за цикл робіт «Функціональні властивості та діагностика новітніх НВЧ-приладів» (Р.В. Конакова, А.В. Саченко разом з О.Є. Беляєвим)
- 2014** Премія академій наук України, Білорусі і Молдови за виконання спільних наукових досліджень «Напівпровідникові матеріали і наноструктури для фотоніки і сенсорики» (Д.В. Корбутяк разом з М.Я. Валахом)  
Премія імені В.Є. Лашкарьова НАН України за цикл робіт «Фотоелектричні ефекти в нанорозмірних структурах, створених іонно-променевою технологією» (В.Г. Литовченко, Б.М. Романюк, В.П. Мельник)
- 2016** Премія Кабінету Міністрів України за виконання науково-дослідної роботи «Розроблення та впровадження сенсорних контрольно-інформаційних технологій» (Є.Ф. Венгер, В.І. Дунаєвський, Н.В. Качур, В.П. Маслов)  
Новий керівник відділу оптоелектронних молекулярно-напівпровідникових систем — Є.Г. Борщагівський
- 2019** Відділ оптоелектронних молекулярно-напівпровідникових систем реорганізовано в лабораторію (керівник — Є.Г. Борщагівський)
- 2019** Премія імені Н.Д. Моргуліса НАН України за цикл робіт «Фізичні механізми електронної, іонної та молекулярної чутливості наноструктурованих матеріалів до складних багатокомпонентних середовищ» (В.І. Чегель, О.Л. Кукла разом з В.А. Сминтиною).

## 6.2. Наукові досягнення школи фізики поверхні напівпровідників

У відділі В.І. Ляшенка було створено прилади, дія яких ґрунтувалася на так званих поверхневих ефектах, а саме: координатно-чутливий кремнієвий фотоприймач та сонячний елемент на основі нової конструкції поверхневого (комбінованого)  $p-n$ -переходу на контактні метал—напівпровідник, сенсор газового середовища (А.П. Горбань, О.А. Серб, В.П. Костильов та ін.).

Під керівництвом В.І. Ляшенка було також розроблено корисні методи визначення електронних параметрів поверхні полярних напівпровідників (а також параметрів меж поділу метал—діелектрик та напівпровідник—діелектрик), а саме: визначення поверхневих бар'єрів методом Кельвіна; рухливості; поверхневого потенціалу (тобто поверхневого вигину зон). Видано одну з перших монографій з фізики поверхні напівпровідників (Ляшенко, 1968). Створено таблицю енергетичних спектрів поверхневих рівнів, встановлено локальні властивості тощо (Ляшенко, 1957; Ляшенко, 1958а; Ляшенко, 1958b; Лашкар'єв, 1950; Литовченко, 1962; Литовченко, 1972).

Результати численних досліджень, виконаних представниками наукової школи В.І. Ляшенка, знайшли широке практичне застосування і були узагальнені у першій в СРСР монографії з фізики поверхні (Ляшенко, 1968). Зокрема, це стосується відкриття поверхневої люмінесценції та дослідження поверхневих екситонів, їх конденсації та поверхневої рідкої плазми (В.Г. Литовченко, В.О. Зуєв, Д.В. Корбут'як, Г.О. Сукач), відкриття прискореного планарного гетерування та інженерії ефективних каталізаторів на основі кластерів оксидів перехідних металів (Б.М. Романюк, В.М. Попов, Т.І. Горбанюк), керованої самоорганізації при формуванні нанорозмірного матеріалу (В.П. Мельник, І.П. Лісовський).

Останній цикл робіт В.І. Ляшенка був присвячений дослідженню фотоелектричних явищ прямозонних напівпровідників зі змішаним іонно-ковалентним типом хімічного зв'язку (GaAs, CdS та ін.), впливу на їхні властивості приповерхневої е.р.с. Ці роботи було виконано на складних, двокомпонентних (III—V та ін.) напівпровідниках разом із групою співробітників (М.Л. Дмитрук, Т.М. Ситенко, О.Ю. Борковська та ін.). У результаті було пояснено основні закономірності фотоелектричних явищ (фотопровідність, фото-е.р.с., фотоємність тощо) у наближенні квазірівноваги в області просторового заряду (ОПЗ) (сталість квазірівнів Фермі в ОПЗ за умови, що дифузійна довжина нерівноважних носіїв заряду суттєво перевищує дебаївську довжину екранування) (Дмитрук, 1970; Глебова, 2011).

На особливу увагу заслугоує освітня та наукова діяльність В.І. Ляшенка у Київському державному університеті. Починаючи з 1957 р., він читає в університеті основний курс зі спеціалізації «Фізика напівпровідників».

Під його керівництвом (або з його консультативною допомогою) захистили кандидатські дисертації кілька молодих учених: В.І. Стріха (з проблеми впливу поверхні на параметри точкових діодних структур), В.М. Добровольський (процеси розсіювання вільних електронів у тонкоплівкових та поверхневих шарах), В.А. Бродов (вплив поверхні на характеристики багатокомпонентних напівпровідників) та ін. В.І. Ляшенко навіть запропонував Віталію Іларіоновичу Стрісі написати за матеріалами, отриманими в очолюваній ним науковій школі, окремий розділ до монографії (Ляшенко, 1968) про особливості електричних процесів у діодних структурах з реальною поверхнею. Оригінальність здобутих В.І. Стріхою результатів полягала в узагальненні моделі контакту Шотткі метал—напівпровідник, а саме:

- 1) у введенні проміжного тунельнопрозорого квазідіелектричного шару;
- 2) у врахуванні поверхневих локальних рівнів та їх перезарядження;
- 3) у врахуванні поляризаційних сил на межах метал—діелектрик та діелектрик—напівпровідник у точковому контакті;
- 4) у врахуванні впливу розмірного квантування в полі приконтактного просторового заряду.

Врахування цих ефектів створює додаткові можливості для формування нових характеристик НВЧ-приладів: приладів енергонезалежної пам'яті, газочутливих сенсорів, надчутливих НВЧ-сенсорів та ін.

Олег В'ячеславович Снітко став головним помічником В.І. Ляшенка в Інституті фізики, і йому було доручено актуальні на той час дослідження фотоелектричних процесів на поверхні напівпровідників та в тонких плівках. На базі цих досліджень у 1957 р. Олег В'ячеславович захистив кандидатську дисертацію на тему «Вплив адсорбції молекул та зовнішнього електричного поля на фотопровідність напівпровідників».

О.В. Снітко розробив оригінальні електрофізичні та оптичні методи дослідження поверхні напівпровідників; розвинув на якісно новому рівні фізичні уявлення про механізм електронних явищ на поверхні напівпровідників; встановив математичні залежності фізичних властивостей поверхні від її фізико-хімічного стану; запропонував електронні моделі меж поділу напівпровідник—вакуум, напівпровідник — реальний чи термічний оксид, які дали змогу пояснити основні механізми впливу поверхні на електронні явища в напівпровідниках. Під керівництвом О.В. Снітка проведено фундаментальні та прикладні дослідження, які дали можливість відкрити й дослідити низку принципово нових явищ на поверхні, важливих для науки і практики (розмірне перезаселення долин та поперечна анізотропія магнітопровідності в електронному кремнії, ефект фотоелектричної пам'яті та залишкової фотопровідності в арсеніді галію, явище глибокого нерівноважного виснаження в структурах метал—діелектрик—кремній, явище охолодження гарячих електронів на поверхні напівпровідників, ефект взаємодії поверхневих домішок тощо). Знайдено перспективні шляхи формування тонкошарових структур з



унікальними параметрами, які становлять значний інтерес для електронної промисловості. Запропоновано, розроблено і впроваджено оригінальні напівпровідникові датчики фізичних параметрів різного призначення для визначення магнітних полів, тиску, складу газових середовищ тощо.

Слід згадати кілька яскравих результатів, отриманих у 70-х роках ХХ ст. В.А. Тягаєм з учнями:

- інтерференція світла на ділянці просторового заряду в кристалах сульфїду кадмію. Виявилось, що під дією сильного поля змінюється показник заломлення в тонкому шарі поблизу поверхні зразка і виникає ситуація, коли на кристалі ніби з'являється тонка плівка, здатна створювати інтерференційне забарвлення;

- вплив складу твердих розчинів подвійних напівпровідникових сполук на фундаментальне поглинання кристалів;

- залучення шумів струму для ідентифікації механізмів перенесення заряду при електрохімічних реакціях;

- дослідження та розроблення штучного напівпровідникового аналізатора для контролю важколетких небезпечних/вибухових речовин;

- створення голографічних ґраток на поверхні сульфїду/селенїду кадмію;

- створення сенсора для визначення спирту у видихуваному повітрі;

- створення електрохімічних технологій обробки поверхні та різання кристалів напівпровідникових сполук;

- розроблення приладу «електронний язик» на базі масиву сенсорів «кремній—електроліт»;

- розроблення та реалізація приладу «електронний ніс» на основі адсорбції молекул у полімерних матеріалах.

Ці роботи тривають в Інституті й понині. Наукові здобутки школи фізики поверхні напівпровідників сьогодні активно примножують дослідники Інституту фізики напівпровідників НАН України та їхні академічні й університетські колеги.

Діяльність наукової школи фізики поверхні напівпровідників після 2012 р. ознаменувалася такими досягненнями.

Показано, що процеси збудження поверхневого плазмон-поляритонного резонансу в оптоелектронних сенсорах з конфігурацією Кречмана добре описуються в рамках моделі ізотропної багат шарової системи на базі матриці ефективних оптичних констант, у якій враховано ефективні оптичні константи і геометрію перехідних шарів. Запропоновано новий підхід, що дозволяє на додаток до загальноприйнятої оцінки ефективних значень товщини і коефіцієнта заломлення молекулярного шару давати кількісну оцінку поляризованості і концентрації молекул на чутливій поверхні сенсора (Ю.М. Ширшов, Ю.В. Субота, Є.П. Мацас, В.І. Чегель).

Створено універсальний прилад на поверхневому плазмонному резонансі «Плазмон», який має важливі переваги перед наявними приладами,

такі як можливість широкодіапазонного варіювання кута падіння лазерного променя, ретрорефлекторний принцип відображення і автоматизована система калібрування в повному діапазоні кутів падіння, що дозволяє за допомогою математичного аналізу кривої відбиття світла отримувати кількісні характеристики діелектричних констант і геометрії середовища в зоні загасаючого електричного поля поверхневого плазмон-поляритона для широкого спектра досліджуваних матеріалів (Ю.М. Ширшов, Ю.В. Субота, Є.П. Мацас, В.І. Чегель, Ю.В. Ушенін, А.В. Самойлов).

Створено наногратки в результаті сильної взаємодії світла з твердим тілом в умовах збудження поверхневих плазмонів під час проходження надпотужного фемтосекундного лазерного імпульсу крізь прозоре середовище та досліджено одно- і двовимірні періодичні ансамблі плазмон-активних наночастинок на напівпровідникових підкладках (плазмонні 2D-кристали) для створення активних елементів плазмоніки (М.Л. Дмитрук, О.В. Корвін, М.В. Соснова, С.В. Мамикін).

Виявлено гігантський голубий зсув спектрів фотолюмінесценції (зумовлений квантово-розмірним ефектом) і формування нанокластерів германієвої фази (за даними еліпсометрії) у кремній-германієвих гетероструктурах при опроміненні наносекундними лазерними імпульсами (М.Л. Дмитрук, Н.І. Березовська, О.С. Кондратенко).

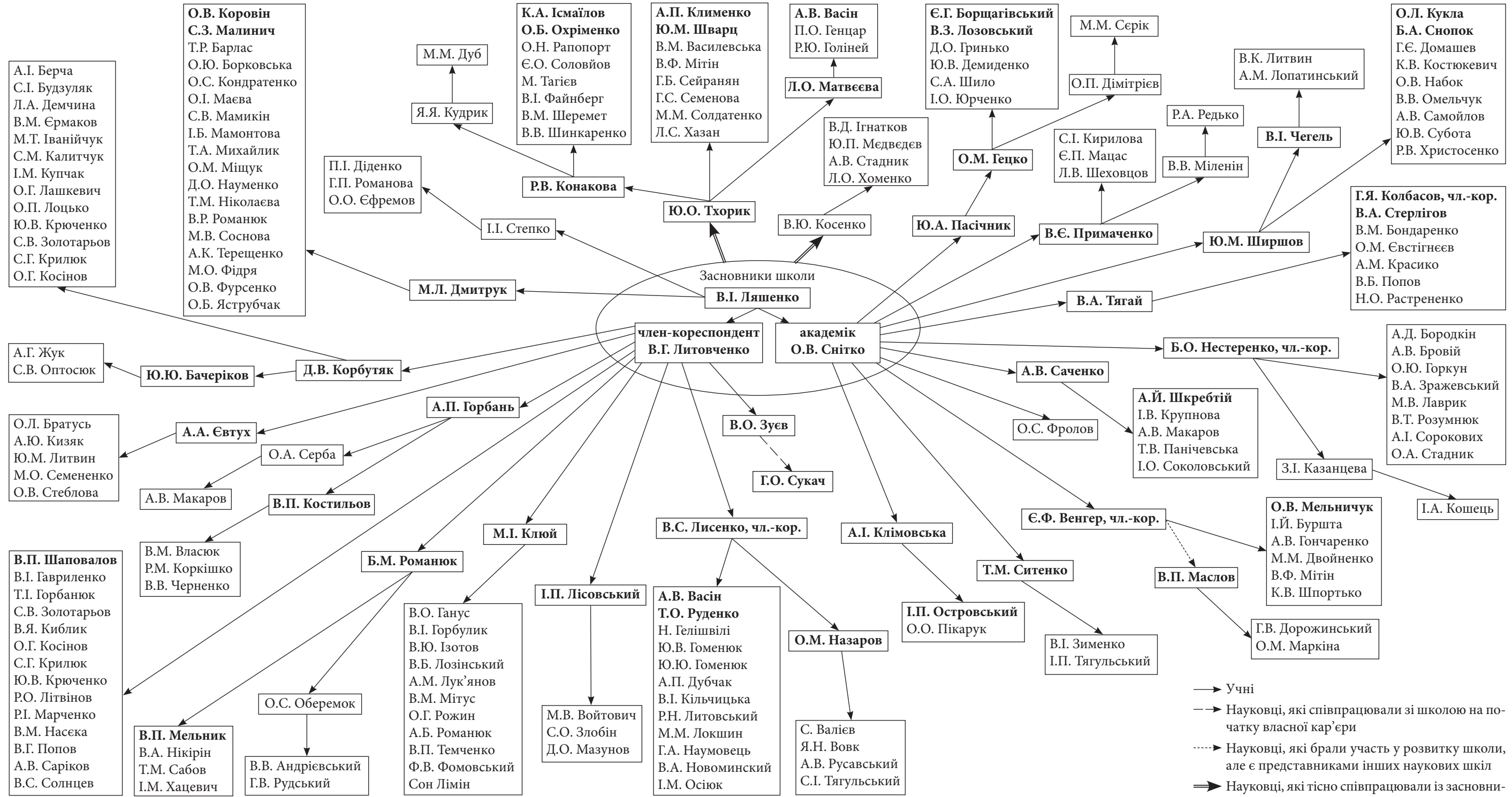
Виявлено вплив взаємодії *p*-поляризованої поверхневої хвилі з діелектричними частинками на умови збудження поверхневого плазмон-поляритонного резонансу. Показано, що взаємодія призводить до розщеплення дисперсійних кривих поверхневого плазмон-поляритона для вільної поверхні внаслідок анізотропії поляризованості частинок. Досліджено «поведінку» законів дисперсії залежно від форми та концентрації частинок. Розроблено новий підхід, який дозволяє визначати вплив форми та орієнтації біомолекули на положення кута поверхневого плазмон-поляритонного резонансу (Ю.М. Ширшов, В.З. Лозовський, В.І. Чегель).

Дослідження вирощених ниткоподібних кристалів кремнію показали потенційну можливість їх використання у сонячних елементах для підвищення ефективності (А.І. Клімовська).

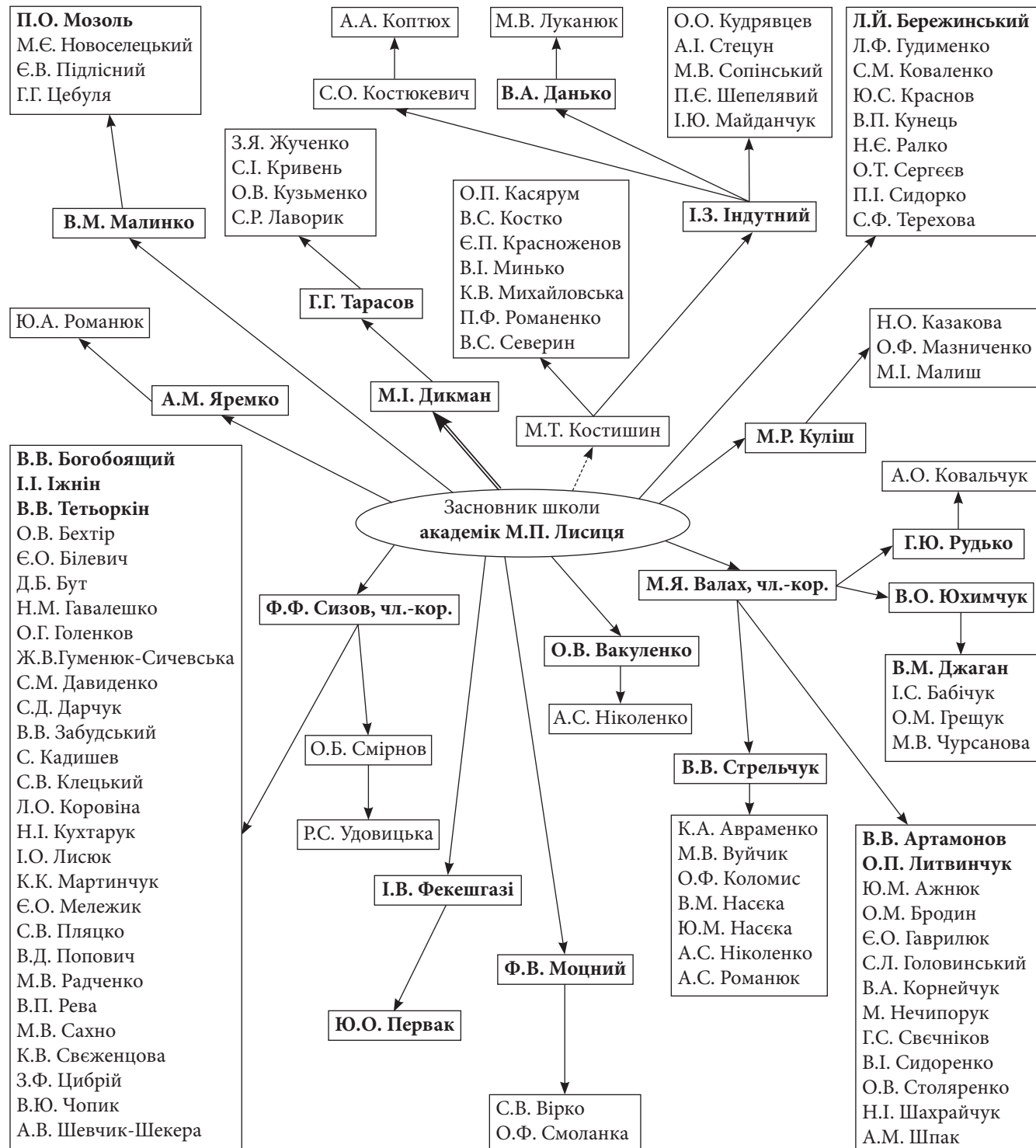
Показано вплив зовнішньої електричної різниці потенціалів, прикладеної до сенсорного інтерфейсу золото—електроліт, на оптичні властивості цього інтерфейсу і наведено теоретичне обґрунтування цього впливу. Теоретично розраховано вплив величини прикладеної різниці потенціалів на зсув положення кута поверхневого плазмон-поляритонного резонансу (В.І. Чегель, А.М. Лопатинський).

Відкрито ефект резонансного тунелювання при електронній польовій емісії з квантових катодів (А.А. Євтух, В.Г. Литовченко).

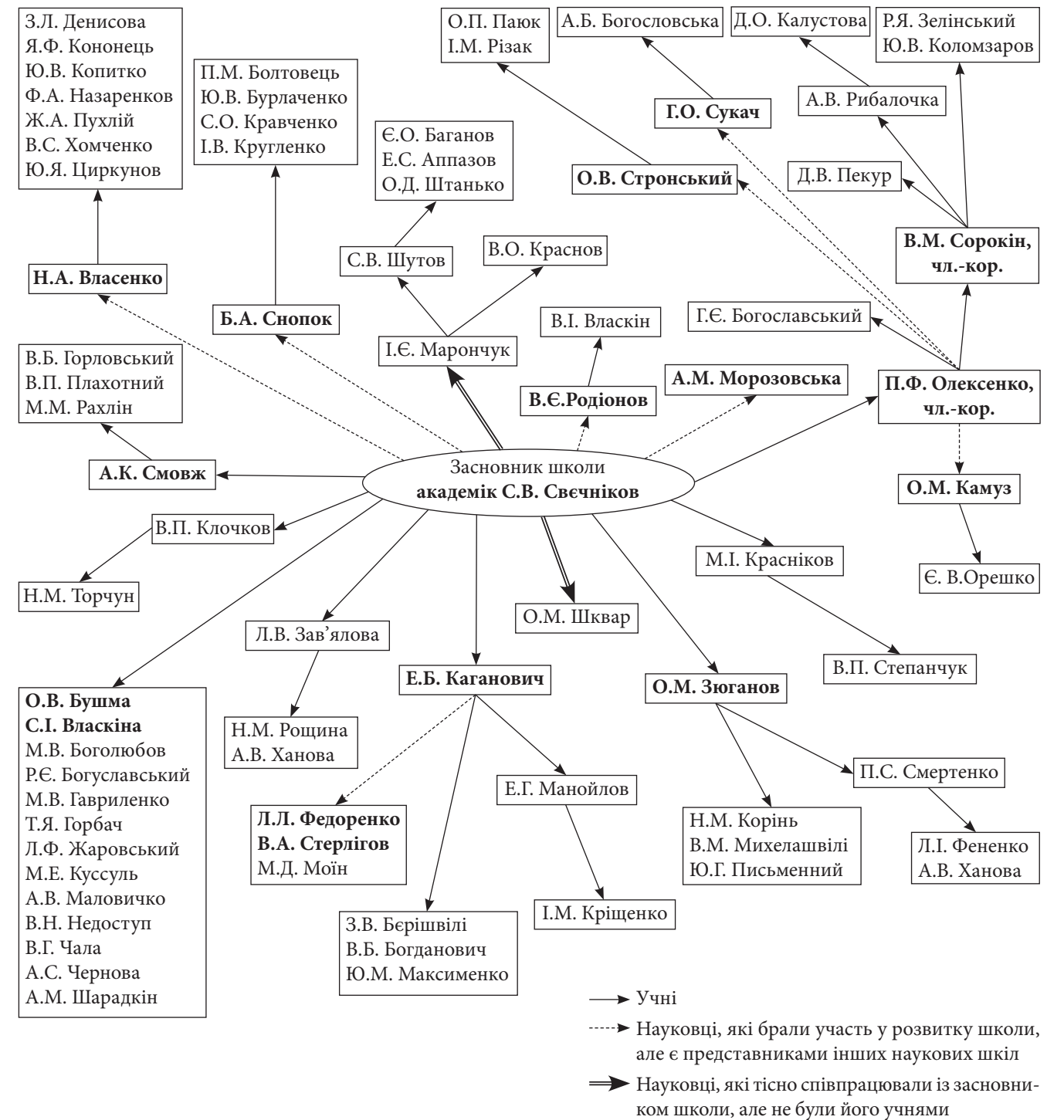
Виявлено аномально сильну електрон-фононну взаємодію для короткоперіодних квантових надґраток (GaAs—AlAs) в умовах косих X—Г-переходів,



Школа фізики поверхні напівпровідників (напівгрубим шрифтом виділено докторів, світлим — кандидатів наук)



Школа оптики та спектроскопії (напівгрубим шрифтом виділено докторів, світлим — кандидатів наук)



Школа оптоелектроніки (напівгрубим шрифтом виділено докторів, світлим — кандидатів наук)



що має принципове значення для таких явищ, як надпровідність, мульти-модовість спектрів випромінювання і поглинання, колективних ефектів, характерних для надвисоких рівнів збудження (В.Г. Литовченко, Д.В. Корбутяк, В.І. Гавриленко, А.І. Берча).

Розроблено методику для вимірювання біомолекулярних взаємодій з використанням масивів наночастинок високопровідних металів великої площі на твердотільних підкладках (плазмонних наночипів) як чутливих елементів. Продемонстровано здатність масивів наноструктур золота до детектування адсорбції біомолекул різної молекулярної маси в реальному режимі часу. Розроблено і запатентовано біосенсорний прилад на локалізованому поверхневому плазмонному резонансі для вимірювань з використанням плазмонних наночипів (В.І. Чегель, А.М. Лопатинський, В.К. Литвин).

Розроблено ефективну технологію мікропрофілювання поверхонь підкладок GaAs та InP і впровадження золотих і срібних наночастинок у бар'єрну зону для виготовлення плазмонних сонячних елементів. Технологія створення рельєфу типу квазіґратки суттєво зменшує відбиття світла і в такий спосіб підвищує фотострум у 2—3 рази, нанесення золотих і срібних наночастинок додатково збільшує фотострум завдяки збудженню поверхневих плазмонів і зменшенню послідовного опору, отже, сумарний ефект збільшення становить 4—6 разів. Розроблена технологія створення пористих шарів GaAs та InP також дає змогу істотно зменшити відбиття світла від поверхонь сонячних елементів на їх основі. А введення золотих наночастинок у пори збільшує поглинання світла, поліпшує бар'єрні властивості і зменшує послідовний опір (М.Л. Дмитрук, О.Ю. Борковська, Н.В. Котова, Т.Р. Барлас, С.В. Мамикін).

Показано, що в системі наночастинок — діелектричне покриття — флуорофор, у якій чітко виражені плазмові резонансні процеси на наночастинках, спостерігається підсилення флуоресценції органічних барвників, що підтверджує можливість використання методу локалізованого поверхневого плазмонного резонансу для підсилення та реєстрації слабо виражених сигналів флуоресценції у біохімічних застосуваннях. Розроблено і запатентовано флуориметр для вимірювань з використанням поверхневого підсилення (В.І. Чегель, А.М. Лопатинський, В.К. Литвин).

Розроблено концепцію створення каталітично активних електродів для сенсорів токсичних газів на основі напівпровідникової наноструктурованої матриці з вбудованими в пори кластерами перехідних металів та їх оксидів і виготовлено прототип мікроелектронного сенсора на низькі концентрації сірководню у повітрі (1—100 ppm) на основі каталітично активної нанопористої напівпровідникової (Si) матриці нового типу з інкорпорованими наночастинами перехідних металів (міді, вольфраму та їх оксидів). До складу прототипу входять первинний чутливий елемент та електронний блок. Розроблений прототип має такі функції: індексація на електронному табло рівня концентрації  $\text{H}_2\text{S}$  у повітрі; світлова та звукова попереджувальна сигналізація



у разі перевищення допустимої безпечної концентрації, розніми для підключення вольтметра та/або ПЕОМ для контролю вихідного сигналу (напруги); калібрування датчика в трьох діапазонах концентрацій  $\text{H}_2\text{S}$ : 1) перевищення концентрації в 10 ppm; 2) перевищення концентрації в 50 ppm; 3) перевищення концентрації в 100 ppm (В.Г. Литовченко, Т.І. Горбанюк, В.С. Солнцев).

Вперше систематизовано теоретичні та експериментальні підходи у новітньому науковому напрямі «Молекулярна плазмоніка», що вивчає в реальному часі взаємодії між молекулами та поверхневими плазмонами і надає широкі можливості для виявлення, візуалізації та керування переміщенням молекул. Збудження поверхневих плазмонів у металевих плівках та наночастинках дає змогу досліджувати фізичні властивості традиційних матеріалів і метаматеріалів, створювати нові матеріали, оперувати підсиленням локальних світлових полів (В.І. Чегель, А.М. Лопатинський).

## Основні роботи школи

### Монографії

Ляшенко, В.И., Литовченко, В.Г., Стриха, В.И., Ляшенко, Л.В., Степко, И.И. (1968). Электронные явления на поверхности полупроводников. Киев: Наук. думка, 288 с.

Зуев, В.А., Саченко, А.В., Толпыго, К.Б. (1977). Неравновесные приповерхностные процессы в полупроводниках и полупроводниковых приборах. Москва: Сов. радио, 256 с.

Снитко, О.В., Тягай, В.А. (1980). Электроотражение света в полупроводниках. Киев: Наук. думка, 302 с.

Снитко, О.В., Саченко, А.В., Примаченко, В.Е и др. (1981). Проблемы физики поверхности полупроводников. Киев: Наук. думка, 332 с.

Саченко, А.В., Снитко, О.В. (1984). Фотоэффекты в приповерхностных слоях полупроводников. Киев: Наук. думка, 231 с.

Гавриленко, В.И., Грехов, А.М., Корбутяк, Д.В., Литовченко, В.Г. (1987). Оптические свойства полупроводников. Справочник. Киев: Наук. думка, 608 с.

Gavrilenko, V.I., Grekhov, A.M., Korbutyak, D.V., Litovchenko, V.G. (1987). Optical Properties of Semiconductors: A Handbook. Kyiv: Naukova Dumka, 608 p.

Дмитрук, Н.Л., Литовченко, В.Г., Стрижевский, В.Л. (1989). Поверхностные поляритоны в полупроводниках и диэлектриках. Киев: Наук. думка, 375 с.

Нестеренко, Б.А., Ляпин, В.Г. (1990). Фазовые переходы на свободных гранях и межфазных границах в полупроводниках. Киев: Наук. думка, 151 с.

Венгер, Е.Ф., Грендел, М., Прокопенко, И.В и др. (1994). Структурная релаксация в полупроводниковых кристаллах и приборных структурах. Киев: Феникс, 244 с.

Корбутяк, Д.В., Мельничук, С.В., Корбут, Є.В., Борисюк, М.М. (2000). Телурид кадмію: домішково-дефектні стани та детекторні властивості. Київ: Вид-во «Іван Федоров», 198 с.

Кладько, В.П., Мачулін, В.Ф., Григор'єв, Д.О., Прокопенко, І.В. (2006). Рентгенооптичні ефекти в багатошарових періодичних квантових структурах. Київ: Наук. думка, 287 с.

## Статті

Омельяновська, Н.М., Литовченко, В.Г., Стріха, В.І., Бондаренко, Р.М. (1957). Довгочасові інерційні явища на точковому германієвому контакті. *Науковий щорічник за 1956 рік*. Вид-во Київ. ун-ту.

Лашкарёв, В.Е., Литовченко, В.Г., Омельяновская, Н.М., Бондаренко, Р.Н., Стріха, В.И. (1957). Зависимость времени жизни сторонних носителей тока от концентрации примеси сурьмы в германии. *ЖТФ*. Т. 27, вып. 11. С. 2437—2439.

Стріха, В.І., Бондаренко, Р.М., Омельяновська, Н.М., Литовченко, В.Г. (1958). Вплив питомого опору і об'ємного часу життя носіїв струму матеріалу на струмову чутливість детекторів сантиметрового діапазону. *Вісник Київського університету. Серія «Фізика та хімія»*. № 1.

Лашкарёв, В.Е., Литовченко, В.Г., Омельяновська, Н.М., Бондаренко, Р.М., Стріха, В.И. (1958). Залежність часу життя сторонніх носіїв струму від концентрації домішки сурми в германії. *Вісник Київського університету. Серія «Фізика та хімія»*. № 1.

Ляшенко, В.И., Литовченко, В.Г. (1958). Влияние адсорбции молекул на работу выхода и проводимости германия (1. Амплитудные характеристики. 2. Кинетика процесса). *ЖТФ*. Т. 20, вып. 3.

Лашкарёв, В.Е., Бондаренко, Р.М., Добровольський, В.М., Зубрін, Г.П., Литовченко, В.Г., Стріха, В.И. (1959). Властивості германію з домішкою берилію. *УФЖ*. Т. 4, № 3. С. 372—375.

Лашкарёв, В.Е., Бондаренко, Р.Н., Добровольский, В.Н., Зубрин, Г.П., Литовченко, В.Г., Стріха, В.И. (1959). Электрические и рекомбинационные свойства германия с примесью бериллия. *ФТТ*. Т. 2. С. 39—46.

Литовченко, В.Г. (1959). Розрахунок швидкості поверхневої рекомбінації та об'ємного часу життя носіїв струму у випадку несиметричних граничних умов. *УФЖ*. Т. 4, № 3.

Литовченко, В.Г. (1959). Исследование быстрых поверхностных состояний кремния. *ФТТ*. Отдельный выпуск.

Литовченко, В.Г., Снитко, О.В. (1960). Длинновременные изменения эффекта поля в кремнии. *ФТТ*. Т. 2, вып. 5.

Литовченко, В.Г., Снитко, О.В. (1960). Поверхностные свойства кремния. *ФТТ*. Т. 2, вып. 4. С. 591—604.

Litovchenko, V.G. (1964). The kinetics and amplitude characteristics of the small field effect at semiconductor surfaces during steady state illumination. *Surface Science*. V. 1, N 3. P. 291—317.

Buimistrov, V.M., Gorban, A.P., Litovchenko, V.G. (1965). Photo-voltage induced by capture of photo-carriers by surface traps. Surface photo-voltage on silicon under flat band conditions. *Surface Science*. V. 3, N 5. P. 445—460.

Zuev, V.A., Litovchenko, V.G. (1966). Theory of the Photovoltaic Effect in Semiconductors. *Phys. St. Sol. (b)*. V. 16, N 2. P. 751—760.

Матвеева, Л.А. (1971). Деформационное расщепление примесной полосы поглощения в плёнках германия *p*-типа. *ФТП*. Т. 5, № 11. С. 2207—2209.

Тягай, В.А., Евстигнеев, А.М., Снитко, О.В. (1972). Электроотражение системы электролит — двуокись кремния — кремний в сильных приповерхностных электрических полях. *ФТП*. Т. 6, № 12. С. 2341—2346.

Клименко, А.П., Матвеева, Л.А., Тхорик, Ю.А. (1972). Полупроводниковые гетеропереходы. *Полупроводниковая техника и микроэлектроника*. Вып. 10. С. 90—115.

Vasilevskaya, V.N., Datsenko, L.I., Osadchaya, N.V. Prokopenko, I.V. (1974). Structural perfection of the Ge-Si and Si-Ge heteroepitaxial system. *Thin Solid Films*. V. 22. P. 221—229.

Пасечник, Ю.А., Снитко, О.В. (1975). Спектры ИК отражения карбида кремния в области остаточных лучей. *УФЖ*. Т. 20, № 4. С. 672—676.

Datsenko, L.I., Klimenko, A.P., Matveeva, L.A., Prokopenko, I.V. (1976). Mechanical stresses in the heterosystem germanium-gallium arsenide. *Thin Solid Films*. V. 33. P. 275—280.

Миленин, В.В., Примаченко, В.Е., Снитко, О.В., Попов, В.Г. (1979). Исследование электронных свойств поверхности кремния, легированной металлами с отрицательным электрохимическим потенциалом. *ФТП*. Т. 13, № 8. С. 1532—1538.

Габриелян, К.Т., Кисловский, Е.Н., Чуховский, Ф.Н., Прокопенко, И.В. (1986). Экспериментальное и теоретическое исследование брэгговского отражения рентгеновских лучей от упругоизогнутых кристаллов кремния. *ФТТ*. Т. 28, № 10. С. 3215—3222.

Burshta, I.I., Venger, E.F., Pasechnik, Yu.A., Snitko, O.V. (1988). Simplest Properties of Guided Wave Polaritons in Three-layered Structures. *Phys. St. Sol. (b)*. V. 146, N 2. P. 517—524.

Gavrilenko, V.I., Klyui, N.I., Litovchenko, V.G., Strelnitskii, V.E. (1988). Characteristic Features of the Electronic Structure of Carbon Films. *Phys. St. Sol. (b)*. V. 145, N 1. P. 209—217.

Gavrilenko, V.I., Postnikov, A.V., Klyui, N.I., Litovchenko, V.G. (1990). Energy Band Structure and Optical Properties of Wurtzite-Structure Silicon Carbide Crystals. *Phys. St. Sol. (b)*. V. 162, N 2. P. 477—487.

Торчинская, Т.В., Карабаев, А.Г., Корсунская, Н.Е., Прокопенко, И.В. (1990). Трансформация спектров экситонной и ДА-люминесценции *p* слоев GaP:N светолучающих структур при введении дислокаций. *ЖПС*. Т. 53, № 5. С. 761—767.

Lisovskii, I.P., Litovchenko, V.G., Lozinskii, V.G., Steblovskii, G.I. (1992). IR spectroscopic investigation of SiO<sub>2</sub> film structure. *Thin Solid Films*. V. 213, N 2. P. 164—169.

Lisovskii, I.P., Litovchenko, V.G., Lozinskii, V.B., Fussel, W., Schmidt, E.G. (1995). IR study of short-range and local order in SiO<sub>2</sub> and SiO<sub>x</sub> films. *J. Non-Cryst. Solids*. V. 187. P. 91—95.

Евстигнеев, А.М., Исмаилов, К.А., Конакова, Р.В., Прокопенко, И.В. (1995). Оптические и рентгенодифракционные методы контроля параметров полупроводниковых структур GaAs (обзор). Часть 1. *Узб. физ. журн.* № 1. С. 12—42.

Семенова, Г.М., Криштаб, Т.Г., Мазин, М.О., Прокопенко, И.В. (1996). Роль дислокаций невідповідності епітаксійних структур GaAs в дефектоутворенні при нейтронному опроміненні. *УФЖ*. Т. 41, № 1. С. 103—106.

Ермолович, И.Б., Миленин, В.В., Применко, Л.Н., Прокопенко, И.В. (1997). Влияние ультразвуковой обработки на деформационные эффекты и структуру локальных центров в подложке и приконтактных областях структур M/n—n<sup>+</sup>-GaAs (M = Pt, Cr, W). *ФТП*. Т. 31, № 4. С. 503—508.

Litovchenko, V.G., Evtukh, A.A., Marchenko, R.I., Klyui, N.I., Semenovich, V.A. (1997). Enhancement of field emission from cathodes with superthin diamond-like carbon films. *Appl. Surf. Sci.* V. 11. P. 213—217.

Litovchenko, V.G., Evtukh, A.A., Litvin, Yu.M., Goncharuk, N.M., Chayka, V.G. (1999). Observation of the resonance tunneling in field emission structures. *J. Vac. Sci. Technol. B*. V. 17. N 2. P. 655—658.

Венгер, Е.Ф., Горбач, Т.Я., Матвеева, Л.А., Свечников, С.В. (1999). Спектроскопия электроотражения, зонная структура и механизм видимой фотолюминесценции анизотропно травленного кремния. *ЖЭТФ*. Т. 116, вып. 5(11). С. 1750—1761.

Litovchenko, V.G., Evtukh, A.A. (1999). Effects of electron field emission enhancement in structures with quantum well. *Phys. Low-Dim. Struct.* V. 3, N 4. P. 227—242.

Kryshtab, T.G., Lytvyn, O.S., Lytvyn, P.M., Prokopenko, I.V. (2000). Relaxation processes in Au-TiB<sub>2</sub>/GaAs structures under short-term thermal annealing. *Appl. Surf. Sci.* V. 166. P. 130—136.

Raitman, O., Katz, E., Willner, I., Chegel, V., Popova, G. (2001). Photonic Transduction of a Three-State Electronic Memory and of Electrochemical Sensing of NADH Using Surface Plasmon Resonance Spectroscopy. *Angewandte Chemie*. V. 40, N 19. P. 3649—3652.

Gnatyuk, V.A., Mozol, P.O., Vlasenko, A.I., Prokopenko, I.V. (2001). Laser-induced changes in photoelectric properties of Mn<sub>x</sub>Hg<sub>1-x</sub>Te crystals. *Infrared Physics & Technology*. V. 42. P. 69—75.

Chegel, V., Raitman, O., Katz, E., Gabai, R., Willner, I. (2001). Photonic transduction of electrochemically-triggered redox-functions of polyaniline films using surface plasmon resonance spectroscopy. *Chem. Commun.* V. 10. P. 883—884.

Litovchenko, V.G., Klyui, N.I. (2001). Solar cells based on DLC film — Si structures for space application. *Solar Energy Materials and Solar Cells*. V. 68, N 1. P. 55—70.

Gabai, R., Sallacan, N., Chegel, V., Bourenko, T., Katz, E., Willner, I. (2001). Characterization of swelling of acrylamidophenylboronic acid-acrylamide hydrogels upon interaction with glucose by Faradaic impedance spectroscopy, chronopotentiometry, quartz-crystal microbalance (QCM) and surface plasmon resonance (SPR) experiments. *J. Phys.Chem. B*. V. 105. P. 8196—8202.

Klimovskaya, A.I., Svechnikov, S.V., Ostrovskii, I.P., Prokopenko, I.V. (2002). Nanoporous wire-like superstructure of silicon and silicon/germanium solid solution. *Materials Science and Engineering C*. V. 19. P. 205—208.

Chegel, V., Shirshov, Yu., Avilov, S., Demchenko, M., Mustafaev, M. (2002). A novel aldehyde dextran sulfonate matrix for affinity biosensors. *J. Biochem. Biophys. Methods*. V. 50. P. 201—216.

Dovbeshko, G.I., Chegel, V.I., Gridina, N.Y., Repnytska, O.P., Shirshov, Y.M., Tryndiak, V.P., Todor, I.M., Solyanik, G.I. (2002). Surface enhanced infrared absorption of nucleic acids from tumour cells: an FTIR reflectance study. *Biospectroscopy*. V. 67, N 6. P. 470—486.

Хомченко, В.С., Завьялова, Л.В., Свечников, Г.С., Прокопенко, И.В. и др. (2002). Структура, свойства и механизм электролюминесценции пленок ZnS:Cu, полученных химическим методом. *ЖТФ*. Т. 72, № 8. С. 44—48.

Zayats, M., Raitman, O., Chegel, V., Haritonov, A., Willner, I. (2002). Probing Antigen-Antibody Binding Processes by Impedance Measurements on ISFET Devices and Complementary Surface Plasmon Resonance Analyses: The Development of Cholera Toxin Sensors. *Anal. Chem.* V. 74. P. 4763—4773.

Chegel, V., Raitman, O., Lioubashevski, O., Shirshov, Yu., Katz, E., Willner, I. (2002). Redox-Switching of Electrorefractive, Electrochromic and Conductivity Functions of

Cu<sup>2+</sup>/Polyacrylic Acid Films Associated with Electrodes. *Advanced Materials*. V. 14, N 21. P. 1549—1553.

Litovchenko, V., Evtukh, A., Kryuchenko, Y., Goncharuk, N., Hartnagel, H., Yilmazoglu, O., Mutamba, C., Pavlidis, D. (2004). Quantum-size resonance tunneling in the field emission phenomenon. *J. Appl. Phys.* V. 96, N 1. P. 867—877.

Lioubashevsky, O., Chegel, V., Patolsky, F., Katz, E., Willner, I. (2004). Enzyme-Catalyzed Bio-Pumping of Electrons into Au-Nanoparticles: A Surface Plasmon Resonance and Electrochemical Study. *J. Am. Chem. Soc.* V. 126, N 22. P. 7133—7143.

Litovchenko, V.G., Gorbanyuk, T.I., Solntsev, V.S., Evtukh, A.A. (2004). Mechanism of hydrogen, oxygen and humidity sensing by Cu/Pd-porous silicon-silicon structures. *Appl. Surf. Sci.* V. 234, N 1—4. P. 262—267.

Raitman, O., Chegel, V., Kharitonov, A., Zayats, M., Katz, E., Willner, I. (2004). Analysis of NAD(P)<sup>+</sup> and NAD(P)H Cofactors by Means of Imprinted Polymers Associated with Au-Surfaces: Surface Plasmon Resonance (SPR) Study. *Anal. Chim. Acta*. V. 504. P. 101—111.

Lisovskyy, I.P., Litovchenko, V.G., Mazunov, D.O., Koprinarova, J., Dmitriev, S.N. et al. (2005). Infrared spectroscopy study of Si-SiO<sub>2</sub> structures irradiated with high-energy electrons. *J. Optoelectron. Adv. M.* V. 7, N 1. P. 325—328.

Lytvyn, P.M., Strelchuk, V.V., Mazur, Yu.I., Wang, Zh.M., Salamo, G.J., Prokopenko, I.V. (2005). Microsize defects in InGaAs/GaAs (N11)A/B multilayers quantum dot stacks. *J. Cryst. Growth*. V. 284. P. 47—56.

Gorbanyuk, T.I., Evtukh, A.A., Litovchenko, V.G., Solntsev, V.S., Pakhlov, E.M. (2006). Porous silicon microstructure and composition characterization depending on the formation conditions. *Thin Solid Films*. V. 495, N 1—2. P. 134—138.

Gavrilenko, V.I., Klyui, N.I., Litovchenko, V.G., Romanyuk, B.N. (2006). Investigation of Ion Implanted Silicon by Electroreflectance Spectroscopy. *Phys. St. Sol. (a)*. V. 112, N 2. P. 805—810.

Riskin, M., Basnar, B., Chegel, V., Katz, E., Willner, I., Shi, F., Zhang, X. (2006). Switchable Surface Properties through the Electrochemical or Biocatalytic Generation of Ag<sup>0</sup> Nanoclusters on Monolayer-Functionalized Electrodes. *J. Am. Chem. Soc.* V. 128, N 4. P. 1253—1260.

Lytvyn, P.M., Strelchuk, V.V., Kolomys, O.F., Mazur, Yu.I. et al. (2007). Two-dimensional ordering of (In, Ga)As quantum dots in vertical multilayers grown on GaAs (100) and (n11). *Appl. Phys. Letters*. V. 91. P. 173118-1.

Kaganovich, E.B., Manoilov, E.G., Begun, E.V., Lytvyn, O.S. et al. (2007). The Structure and Photoluminescence of SiO<sub>2</sub> Films with Ge Nanocrystals Obtained by Pulsed Laser Deposition. *Ukr. J. Phys.* V. 52, N 3. P. 271—275.

Gorbanyuk, T.I., Evtukh, A.A., Litovchenko, V.G., Solntsev, V.S. (2008). Modified MIS-structure based on nanoporous silicon with enhanced sensitivity to hydrogen containing gases. *Phys. St. Sol. (c)*. V. 5, N 12. P. 3655—3657.

Litovchenko, V.G., Solntsev, V.S. (2008). Sensing effects in the nanostructured systems. *NATO Science for Peace and Security. Series B: Physics and Biophysics*. P. 373—382.

Chegel, V., Demidenko, Yu., Lozovski, V., Tsykhonya, A. (2008). Influence of the shape of the particles covering the metal surface on the dispersion relations of surface plasmons. *Surf. Sci.* V. 602. P. 1540—1546.



Chegel, V., Whitcombe, M., Turner, N., Piletsky, S. (2009). Deposition of Functionalized Polymer Layers in Surface Plasmon Resonance Immunosensors by In-Situ Polymerization in the Evanescent Wave Field. *Biosensors and Bioelectronics*. V. 24. P. 1270—1275.

Lopatynskiy, A., Lopatynska, O., Guo J., Chegel, V. (2011). Localized Surface Plasmon Resonance Biosensor: Theoretical Study of Sensitivity — Extended Mie Approach. Part I. *IEEE Sensors*. V. 11. P. 361—369.

Litovchenko, V.G., Gorbanyuk, T.I., Solntsev, V.S. (2012). New adsorption active nano-clusters for ecological monitoring. *Nanodevices and Nanomaterials for Ecological Security. NATO Science for Peace and Security. Series B: Physics and Biophysics*. P. 297—306.

Венгер, Е.Ф., Литвин, П.М., Матвеева, Л.А., Митин, В.Ф., Холевичук, В.В. (2014). Получение, свойства и применение тонких неоднородных плёнок Ge на GaAs подложках. *Технология и конструирование в электронной аппаратуре*. № 4. С. 39—44.

Lopatynskiy, A.M., Lytvyn, V.K., Nazarenko, V.I., Guo, L.J., Lucas, B.D., Chegel, V.I. (2015). Au nanostructure arrays for plasmonic applications: annealed island films versus nanoimprint lithography. *Nanoscale Research Letters*. V. 10. P. 99.

Synhaiska, O.I., Lytvyn, P.M., Yaremy, I.P., Kozub, V.V., Solntsev, V.S., Prokopenko, I.V. (2016). Microanalysis of magnetic structure of yttrium-iron garnet films by using the scanning probe microscopy methods. *Semicond. Phys. Quantum Electron. Optoelectron*. V. 19, N 1. P. 90—97.

Matveeva, L.A., Venger, E.F., Kolyadina, E.Yu., Neluba, P.L. (2017). Quantum-size effects in semiconductor heterosystems. *Semicond. Phys. Quantum Electron. Optoelectron*. V. 20, N 2. P. 224—230.

Литовченко, В.Г., Горбанюк, Т.І., Солнцев, В.С. (2017). Механізм адсорб-каталітичної активності наноструктурованої поверхні кремнію, легованої кластерами перехідних металів та їх оксидами. *УФЖ*. Т. 62, № 7. С. 601—610.

Matveeva, L.A., Venger, E.F., Kolyadina, E.Yu., Neluba, P.L. (2017). Quantum-size effects in semiconductor heterosystems. *Semicond. Phys. Quantum Electron. Optoelectron*. V. 20, N 2. P. 224—230.

Трунов, М.Л., Литвин, П.М., Стерлигов, В.А., Лофай, Ф. (F. Lofaj), Прокопенко, И.В. (2018). Формирование наноразмерных структур при фотовозбуждении поверхностного плазмонного резонанса в нанокompозитах на основе текстурированных пленок золота и халькогенидного стекла. *ТЭХ*. Т. 54, № 2. С. 98—103.

Goncharenko, N.A., Pavlenko, O.L., Dmytrenko, O.P., Kulish, M.P., Lopatynskiy, A.M., Chegel, V.I. (2018). Gold nanoparticles as a factor of influence on doxorubicin—bovine serum albumin complex. *Appl. Nanosci*. V. 9, N 5. P. 825—833.

### Патенти

А.с. СРСР № 1255906. (1986). Способ контроля структурного совершенства монокристаллов. Даценко, Л.И., Гуреев, А.Н., Хрупа, В.И., Прокопенко, И.В.

А.с. СРСР № 1313036. (1987). Способ наращивания эпитаксиальных слоёв твердых растворов на основе халькогенидов ртути. Савицкий, В.Г., Мансуров, Л.Г., Даценко, Л.И., Прокопенко, И.В.

А.с. СРСР № 148435 (1989). Способ контроля характеристик источника рентгеновского излучения. Габриелян, К.Т., Чуховский, Ф.Н., Кисловский, Е.Н., Прокопенко И.В.

А.с. СРСР № 1481445 (1990). Способ определения толщины нарушенного слоя в монокристаллах. Даценко, Л.И., Кисловский, Е.Н., Хрупа, В.И., Прокопенко, И.В.

А.с. СРСР № 1739750. (1990). Способ контроля структурного совершенства полупроводниковых монокристаллов. Конакова, Р.В., Осадчая, Н.В., Сухина, Ю.Е., Прокопенко, И.В.

Патент України № 46018 (2002). Спосіб детектування та визначення концентрації біомолекул та молекулярних комплексів та пристрій для його здійснення. Ширшов, Ю.М., Венгер, Є.Ф., Прохорович, А.В., Ушенін, Ю.В., Мацас, Є.П., Чегель, В.І., Самойлов, А.В.

Patent Great Britain WO 2008/012560 A1 (2008). Photo-activation by surface plasmon resonance. Piletsky, S., Chegel, V., Whitcombe, M.

Patent US 2010/179242 A1 (2010). Photo-activation by surface plasmon resonance. Piletsky, S., Chegel, V., Whitcombe, M.

Патент України № 65947 (2011). Біосенсор на основі локалізованого поверхневого плазмонного резонансу. Чегель, В.І., Беляєв, О.Є., Гуо, Дж., Лопатинський, А.М., Лукас, Б., Кукла, О.Л., Павлюченко, О.С.

Патент України № 67348 (2012). Спосіб визначення товщини нанометрових шарів засобами атомно-силової мікроскопії. Литвин, П.М., Литвин, О.С., Прокопенко, І.В.

Патент України № 6833 (2015). Газовий сенсор на основі наноструктурованого оксиду вольфраму. Солнцев, В.С., Горбанюк, Т.І., Литовченко, В.Г.

## Засновники наукової школи «Фізика поверхні напівпровідників»



В.І. Ляшенко

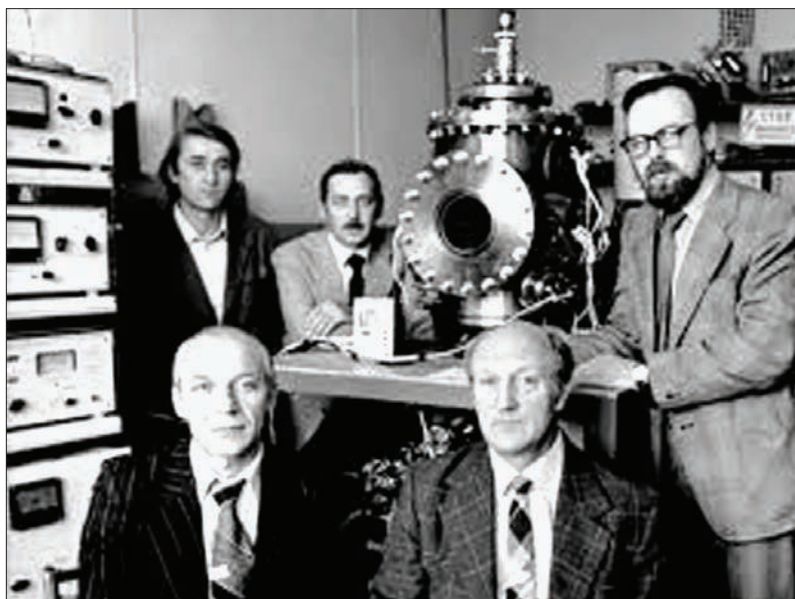


О.В. Снітко



В.Г. Литовченко

## Представники наукової школи «Фізика поверхні напівпровідників»



Зліва направо, сидять: Б.О. Нестеренко, О.В. Снітко; стоять: А.В. Бровій, В.М. Ткаченко, В.В. Міленін. 1972 р.



В.Г. Литовченко читає лекцію. 1978 р.



Зліва направо: В.І. Гавриленко, В.О. Зуєв та В.Г. Литовченко. 1978 р.





Зліва направо: А.П. Горбань, О.А. Серба, А.В. Макаров, Г.П. Романова та В.Г. Литовченко. 1980 р.



Зліва направо: В.П. Костильов, А.П. Горбань та Б.М. Романюк. 1980 р.





Зліва направо: Ф.Ф. Сизов, А.М. Красико, О.В. Снітко, Н.Б. Лук'яничова, В.І. Сидоренко, В.М. Комащенко, А.І. Марченко та А.В. Прохорович. 1982 р.



Зліва направо, сидять: А.В. Саченко, А.І. Клімовська, О.В. Снітко, В.Є. Примаченко; стоять: Ю.А. Пасічник, Н.Г. Фролова, Е.І. Яшин, Н.О. Петрова, І.П. Тягульський, Н.О. Растрєненко, І.О. Юрченко. 1982 р.



Зліва направо: І.П. Тягульський, В.І. Кільчицька, В.С. Лисенко, В.М. Торбін, Т.О. Руденко, В.Г. Степанов, В.І. Турчаніков, Ю.В. Гоме-нюк та О.М. Назаров. 1990 р.



І.Б. Мамонтова, О.Ю. Борковська, Р.В. Конакова, К.А. Ісмаїлов на конференції в Ташкенті. 2004 р.



Учасники II Української наукової конференції з фізики напівпровідників. Зліва направо: В.С. Солнцев, В.Г. Литовченко, А.А. Євтух. Чернівці—Вижниця, 2004 р.



Мартін Грін (Martin Green) і В.П. Костильов. 2005 р.





Родина О.В. Снітка на відзначенні 80-річчя від дня його народження.  
2008 р.



Виступ О.Є. Беляєва з нагоди 80-річчя від дня народження О.В. Снітка. 2008 р.



Є.А. Сальков, В.С. Лисенко, А.В. Саченко (перший ряд) та інші на вшануванні пам'яті свого вчителя О.В. Снітка. 2008 р.



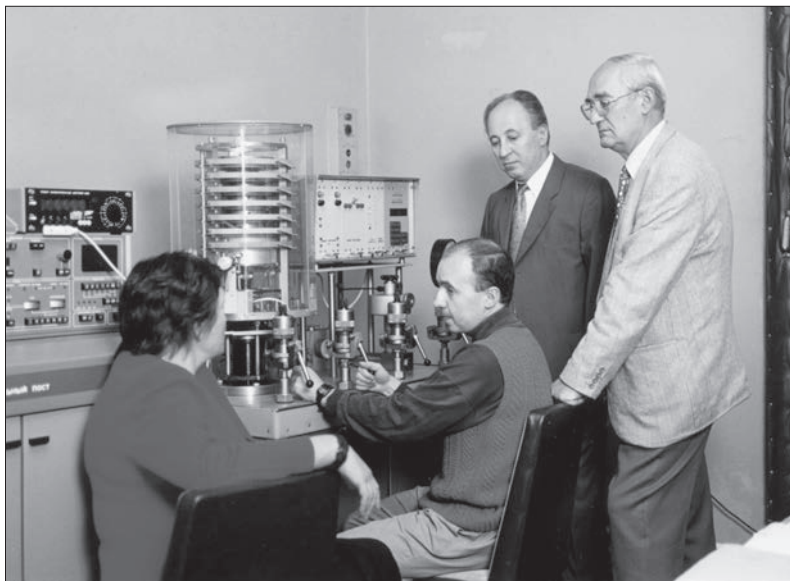
М.Л. Дмитрук на Лашкарівських читаннях. 2009 р.



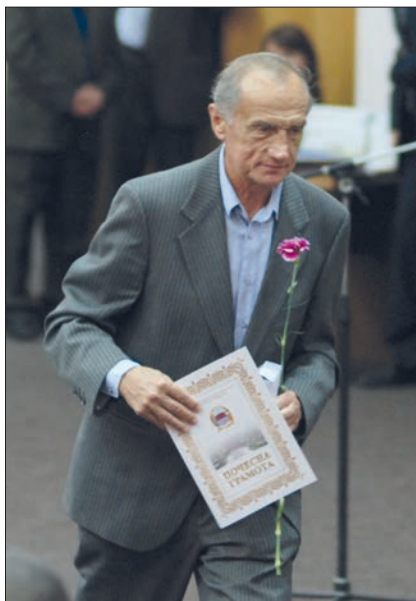
А.А. Євтух на Лашкарьовських читаннях. 2009 р.



О.Л. Кукла на Лашкарьовських читаннях. 2009 р.



Зліва направо: Р.В. Конакова, В.В. Холєвчук, Є.Ф. Венгер, А.В. Прохорович. 2010 р.



В.С. Лисенко на святкуванні 50-річчя Інституту. 2010 р.

---

---

## Розділ 7

# НАУКОВА ШКОЛА «ОПТИКА ТА СПЕКТРОСКОПІЯ НАПІВПРОВІДНИКІВ» ІНСТИТУТУ ФІЗИКИ НАПІВПРОВІДНИКІВ ІМ. В.Є. ЛАШКАРЬОВА НАН УКРАЇНИ

Історія школи оптики та спектроскопії напівпровідників в Інституті напівпровідників розпочалася зі створення в 1961 р. доктором фізико-математичних наук, професором М.П. Лисицею (з 1982 р. — академік АН УРСР) відділу оптики напівпровідників. Михайло Павлович керував відділом понад 30 років. Пізніше відділ очолював його учень — член-кореспондент НАН України М.Я. Валах. Згодом відділ увійшов до складу відділення оптики під керівництвом М.П. Лисиці, а потім М.Я. Валаха. Наразі завідувачем відділу є професор В.О. Юхимчук.

Нинішнє відділення оптики неодноразово змінювалося як структурно, так і кількісно. Тематичні наукові групи відділу розширювалися, обсяг і рівень робіт зростали, і після захистів співробітниками кандидатських і докторських дисертацій групи перетворювалися на лабораторії та самостійні відділи. Так, у 1966 р. зі складу відділу оптики виокремився відділ електролюмінесценції під керівництвом д-ра фіз.-мат. наук, проф. Н.А. Власенко, який згодом перейшов до відділення оптоелектроніки. У 1984 р. у відділі оптики було створено лабораторію лазерної спектроскопії напівпровідників і діелектриків під керівництвом д-ра фіз.-мат. наук, проф. М.Я. Валаха, яку згодом було перетворено на відділ.

На початку 90-х років до складу відділення оптики та спектроскопії напівпровідників входили 4 відділи і 3 лабораторії: відділ оптики (чл.-кор. НАН України, д-р фіз.-мат. наук, проф. М.Я. Валах); відділ лазерної спектроскопії напівпровідників і діелектриків (д-р фіз.-мат. наук, проф. Г.Г. Тарасов); відділ нелінійних оптичних систем (д-р фіз.-мат. наук, проф. І.В. Фекешгазі), лабораторія оптичних методів обробки інформації (канд. фіз.-мат. наук О.В. Столяренко), лабораторія магнетооптики напівпровідників (д-р фіз.-мат. наук Ф.Ф. Сизов) та ін. На початку 2000-х років лабораторію магнетооптики напівпровідників було реорганізовано у відділ фізики й технології низькорозмірних систем (чл.-кор. НАН України, д-р фіз.-мат. наук, проф. Ф.Ф. Сизов). До його складу увійшла лабораторія епітаксійних структур (канд. техн. наук Г.І. Жовнір). Згодом на базі відділу фізики та технології низькорозмірних систем було створено нове відділення фізико-

технологічних проблем напівпровідникової ІЧ-техніки, яке очолив чл.-кор. НАН України Ф.Ф. Сизов. До складу відділення увійшли відділи № 20 (д-р техн. наук Л.А. Карачевцева) та № 22 (д-р фіз.-мат. наук В.В. Тетьоркін).

У 1997 р. для оптимізації структури Інституту невелику лабораторію О.В. Столяренка було ліквідовано, а відділ оптики істотно укрупнився завдяки переведенню до його складу значної частини (11 співробітників, у тому числі 3 доктори і 7 кандидатів фізико-математичних наук) колишнього відділу радіоспектроскопії.

У 2009 р. у складі відділення оптики та спектроскопії було створено науково-дослідну лабораторію раманівсько-люмінесцентної субмікронної спектроскопії Центру колективного користування приладами ІФН НАН України під керівництвом д-ра фіз.-мат. наук, проф. В.В. Стрельчука. До науково-експериментальної бази лабораторії належить унікальний багатоцільовий оптичний комплекс конфокальної раманівської і люмінесцентної мікроспектроскопії на базі потрійного спектрометра Horiba Jobin Yon T64000 та інфрачервоний вакуумний фур'є-спектрометр Bruker Vertex 70V.

Одними з перших співробітників відділу оптики були кандидати фізико-математичних наук Н.А. Власенко, В.М. Малинко, Л.Ф. Гудименко, М.Р. Куліш, а також В.В. Андрющенко, В.П. Старченко. У 1962 р. відділ поповнився відразу кількома молодими фахівцями — Л.Й. Бережинським, М.Я. Валахом, А.Ф. Мазниченком, А.М. Яремком, а потім І.В. Фекешгазі. Вчені активно долучилися до розгортання експериментальної бази відділу на площах нового, щойно введеного в дію корпусу Інституту.

На відміну від інших базових експериментальних відділів Інституту, що постали на основі великого відділу фізики напівпровідників Інституту фізики АН УРСР, а тому вже мали деяке обладнання, відділ оптики створював свою експериментальну базу «з чистого аркуша». З одного боку, це давало деяку перевагу, оскільки відділ комплектувався сучасним, не застарілим морально й технічно обладнанням, а з іншого боку, вимагало напруженої роботи із замовлення, встановлення та запуску численого обладнання, що надходило одночасно. Серед такого обладнання була як стандартна спектральна апаратура на діапазони від УФ до ІЧ на зразок ДМР-3, ІСП-51, СФ-4, ІКС-12, так і досить висококласна на той період: ДФС-12, ДФС-13, СФ-10, PGS-2. Встановлювали оптичне устаткування і під майбутні роботи з контролю матеріалів — інтерферометри (Лінника, Релея, Жамена) і прецизійні гоніометри. Групи відділу, що планували займатися технологією та оптикою тонкоплівкових систем (електролюмінесцентних і багатошарових інтерференційних), запускали сучасні технологічні вакуумні установки з наповнення, водночас модернізуючи їхні системи контролю товщини шарів напівпровідників, діелектриків і металів, що осаджуються. Оснащували оптико-механічну майстерню відділу, де згодом виконувалися замовлення всього Інституту.

Організація відділу оптики збіглася в часі з однією з найважливіших подій у розвитку оптики ХХ ст. — винаходом лазерів. М.П. Лисиця одразу ж оцінив історичне значення й перспективи цього відкриття. Тому основний науковий напрям відділу, пов'язаний з вивченням енергетичної структури напівпровідникових сполук оптичними спектроскопічними методами, було негайно доповнено дослідженнями з оптичної квантової електроніки і нелінійної оптики.

Під керівництвом М.Р. Куліша група співробітників приєдналася до неоголошеного змагання кількох академічних і університетських колективів України за перший запуск власного лазера на рубіні. Для його оптичної накачки використовували ксенонові імпульсні лампи, що живилися розрядом громіздких батарей великої ємності. Звуковий ефект під час їх розряду не поступався пострілу гаубиці середнього калібру. У «лазерній гонитві» Інститут виявився лідером в Україні. Потужний на той час лазер було створено і запущено М.Р. Кулішем уже в 1962 р., майже одночасно з групою його університетського однокурсника М. Прокопюка, який працював в Інституті фізики у лабораторії В.Л. Броуде. Це було помітною подією в житті Інституту. Співробітники інших відділів вважали мало не своїм обов'язком побачити діючий лазер, а головне — переконатися в можливості пробити мікроотвір у лезі безпечної бритви фокусуванням одного світлового імпульсу тривалістю лише кілька мікросекунд.

Резонанс серед учених у зв'язку з відкриттям і створенням лазерів був настільки великий, а перспективи їх практичного використання настільки очевидні, що в Академії наук України було створено нову Наукову раду з проблеми «Квантова електроніка». З огляду на важливість проблеми керував нею сам президент Академії наук УРСР Б.Є. Патон, призначивши своїм заступником М.П. Лисицю. З ініціативи останнього було засновано регулярний науковий збірник «Квантова електроніка», головним редактором якого став М.П. Лисиця, а відповідальним секретарем — М.Я. Валах (згодом — І.В. Фекашгазі та В.В. Тетьоркін). Всесоюзний журнал під аналогічною назвою, що редагувався академіком О.М. Прохоровим, з'явився у Москві пізніше.

## **7.1. Структура і розвиток наукової школи оптики та спектроскопії напівпровідників**

Для наочності структуру наукової школи фізики напівпровідників подано на схемі (див. вклейку). Прізвища основних учнів школи академіка М.П. Лисиці наведено окремо, а послідовників та учнів послідовників — списком у великих рамках.



## Характеристика наукової школи М.П. Лисиці

*Засновник школи* — М.П. Лисиця.

*Послідовники* — М.Я. Валах, Ф.Ф. Сизов, А.М. Яремко, Г.Г. Тарасов, І.В. Фекешгазі, М.Р. Куліш, Ф.В. Моцний, Л.Й. Бережинський, О.В. Вакуленко, Г.Ю. Рудько, В.М. Малинко, О.Т. Сергєєв, П.О. Мозоль, В.П. Кунець, Л.Ф. Гудименко, С.Ф. Терехова, Ю.С. Краснов, П.І. Сидорко та ін.

*Учні послідовників* — В.В. Артамонов, О.П. Литвинчук, В.О. Юхимчук, В.В. Стрельчук, Ю.М. Ажнюк, В.М. Джаган, В.А. Корнейчук, Є.В. Підлісний, В.І. Сидоренко, О.М. Бродин, А.М. Шпак, А.Ф. Мазниченко, Н.О. Казакова, Н.І. Шахрайчук, Б.Д. Нечипорук, З.Я. Жученко, О.Ф. Коломис, С.Р. Лаворик, О.В. Кузьменко та ін.

*Наукова продуктивність і потенціал школи*: понад 20 монографій, більш як 1500 статей, понад 50 патентів України, а.с. СРСР, один академік НАН України, два члени-кореспонденти НАН України, п'ять академіків інших академій, понад 25 докторів наук, більш як 80 кандидатів наук.

*Проблемно-тематична широта*: дослідження енергетичної структури напівпровідникових сполук різного хімічного складу та кристалічної структури методами оптичної спектроскопії; розроблення методів спектроскопічного аналізу; дослідження ефектів лазерностимульованого насичення міжзонного поглинання та перемикання в режим індукованої прозорості в стеклах з інкорпорованими нанокристалітами напівпровідників; дослідження склоподібних та тонкоплівкових систем; нелінійні оптичні явища у напівпровідниках і діелектриках; дослідження елементарних і колективних збуджень; фізика екситонів великого та малого радіусів; фізика фононів; фотолюмінесценція напівпровідників; магнетооптика; явища переносу, генерації когерентного випромінювання; резонансні явища у фотонних та поляритонних спектрах напівпровідників; ТГц- та ІЧ-функціональна напівпровідникова мікро- та нанофотоелектроніка; квантоворозмірні явища і оптика наноструктур на основі нанокристалів.

*Географічна широта*: Україна, Росія, Білорусь, Молдова, Франція, Швеція, Австрія, Німеччина, США, Велика Британія, Канада, Китай, Бразилія, Іспанія.

*Офіційне визнання важливості досліджень наукової школи*: шість Державних премій України, дві премії академій наук України, Білорусі та Молдови, найвища наукова відзнака НАН України — Золота медаль ім. В.І. Вернадського за видатні досягнення в галузі оптики і спектроскопії (М.П. Лисиця), медаль Йоганеса Маркуса Марці від АН Чехословаччини, присуджена М.П. Лисиці як видатному спектроскопісту.

## Хронологія наукової школи М.П. Лисиці

- 1954** М.П. Лисиця захистив кандидатську дисертацію (керівник — проф. О.А. Шишловський)
- 1961** М.П. Лисиця захистив докторську дисертацію  
Організовано відділ оптики в Інституті напівпровідників АН УРСР (керівник — М.П. Лисиця)

- 1966** Створено відділ електролюмінесценції (керівник — Н.А. Власенко)
- 1981** Державна премія УРСР у галузі науки і техніки за комплексне дослідження оптичних та фотоелектричних властивостей напівпровідникових сполук елементів другої та шостої груп періодичної системи (М.П. Лисиця спільно з Г.А. Федорусом, М.К. Шейнкманом, І.Б. Мізецькою, С.І. Пекарем, О.В. Снітком, В.Є. Лашкарьовим, Є.А. Сальковим)
- 1982** М.П. Лисицю обрано академіком АН УРСР за спеціальністю «Фізика твердого тіла, спектроскопія, оптоелектроніка»
- 01.04.1982** Організовано лабораторію фізики і технології низьковимірних систем (керівник — Ф.Ф. Сизов)
- 1984** Організовано лабораторію лазерної спектроскопії напівпровідників і діелектриків (керівник — М.Я. Валах)
- 1986** Державна премія УРСР у галузі науки і техніки за цикл робіт «Фізичні дослідження і метрика напівпровідникових твердих розчинів кадмій-ртуть-телур та свинець-олово-телур, спрямованих на освоєння їх промислового виробництва для ІЧ-фотоелектроніки» (М.П. Лисиця разом з Є.А. Сальковим, Ф.Ф. Сизовим, Г.А. Шепельським)
- 1990** Організовано лабораторію епітаксійних структур (керівник — Г.І. Жовнір)
- 1991** Новий керівник відділу оптики — М.Я. Валах
- 1992** М.Я. Валаха обрано членом-кореспондентом НАН України за спеціальністю «Фізика напівпровідників та діелектриків»
- 15.11.1992** Організовано відділ на базі лабораторії фізики і технології низьковимірних систем (керівник — Ф.Ф. Сизов)
- Створено відділ на базі лабораторії лазерної спектроскопії напівпровідників і діелектриків (керівник — Г.Г. Тарасов)
- Організовано лабораторію оптичних методів обробки інформації (керівник — О.В. Столяренко)
- 1993** Державна премія України в галузі науки і техніки за цикл робіт «Комплексне дослідження фізичних властивостей карбіду кремнію і розробка на його основі напівпровідникових приладів, що працюють в екстремальних умовах» (Л.Й. Бережинський, М.Я. Валах, О.Т. Сергєєв разом з С.І. Власкіною, Є.Ф. Венгером)
- 1994** Організовано відділ нелінійних оптичних систем (керівник — І.В. Фекешгазі)
- 1995** Державна премія України в галузі науки і техніки за цикл робіт «Фізичні механізми деградації та шляхи підвищення надійності оптоелектронних приладів» (Г.С. Свечніков спільно з М.К. Шейнкманом, Т.В. Торчинською, Н.Б. Лук'янчиковою)
- 1997** Премія президентів Академій наук України, Білорусі та Молдови за видатні результати, отримані при виконанні спільного наукового дослідження (І.В. Фекешгазі)

- Початок досліджень у галузі фізики і оптики квантоворозмірних наноструктур
- 1998** Відділ оптики реорганізовано у відділ оптики і спектроскопії, до якого ввійшла значна частина відділу радіоспектроскопії, який у 1960 р. створив М.Ф. Дейген
- 2000** Ф.Ф. Сизова обрано членом-кореспондентом НАН України за спеціальністю «Фізика низьковимірних систем»
- 07.04.2000**
- 2001** Державна премія України в галузі науки і техніки за роботу «Нові фізичні ефекти в сильноанізотропних напівпровідниках і приладах на їх основі» (А.М. Яремко, Ф.М. Моцний, С.С. Іщенко)
- 2011** Новий керівник відділу оптики та спектроскопії напівпровідників — В.О. Юхимчук
- 2012** Організовано лабораторію оптичної субмікронної спектроскопії (керівник — В.В. Стрельчук)
- 2014** Премія академій наук України, Білорусі та Молдови (М.Я. Валах разом з Д.В. Корбутяком)
- 2017** Державна премія України в галузі науки і техніки за роботу «Фотоніка напівпровідникових та діелектричних наноструктур» (В.О. Юхимчук, Г.Г. Тарасов, В.М. Джаган)
- 2019** Організовано лабораторію радіоспектроскопії (керівник — В.Я. Братусь)  
У зв'язку зі зміною основних напрямів діяльності Інституту відділ оптики і спектроскопії змінив назву на «Оптики і спектроскопії напівпровідникових і діелектричних матеріалів».

## 7.2.

### Наукові досягнення школи оптики та спектроскопії напівпровідників

У 60-ті роки минулого століття розвиток квантової електроніки став додатковим стимулом для активізації робіт з фізики напівпровідників. Річ у тім, що наявні на той час дані з оптики та фотоелектрики напівпровідників не викликали сумнівів щодо їх перспективності як активних середовищ для генерації, керування та реєстрації лазерного випромінювання. Як найбільш реальні розглядали сполуки  $A_2B_6$ , в отриманні та дослідженні яких Інститут напівпровідників Академії наук УРСР мав вагомі досягнення і великий авторитет у країні. Тому не дивно, що Інститут був залучений як співвиконавець декількох тем, які виконувалися на підставі постанов Державного комітету з науки і техніки СРСР і головними організаціями в яких були МДУ (кафедра акад. Р.В. Хохлова), ФІАН ім. П.М. Лебедева (лабораторія акад. М.Г. Басова) і НДІ прикладної фізики (чл.-кор. АН СРСР Л.М. Курбатов). Відділ оптики виконував необхідні для створення електрооптичних модуляторів прецизійні спектральні дослідження дисперсії по-

казника заломлення й подвійного променезаломлення кристалів  $\text{CdS}_x\text{Se}_{1-x}$  різного компонентного складу (М.П. Лисиця, Л.Ф. Гудименко, В.М. Малинко, С.Ф. Терехова). Було також обґрунтовано можливість істотного збільшення точності інтерферометричного контролю оптичної однорідності напівпровідникових і діелектричних пластин з використанням запропонованого варіанта одночасного освітлення об'єкта набором близьких спектральних ліній (Л.Й. Бережинський, М.Я. Валах).

Ці роботи, стимульовані прикладними завданнями, було доповнено фундаментальними дисперсійними дослідженнями екситонних явищ з використанням класичної оптичної методики гаків Рождественського (М.П. Лисиця, Н.А. Онищенко, О.В. Столярченко, С.Ф. Терехова). Унікальність їх полягала в тому, що експерименти було реалізовано на рекордному за лінійною дисперсією спектрографі ДФС-13, що давало змогу досить докладно простежити хід показника заломлення усередині смуг екситонних переходів за різних інтенсивностей лазерного випромінювання. У результаті наочно було продемонстровано ефект зникнення екситонів у разі високої концентрації фотогенерованих носіїв і виникнення електронно-діркової плазми.

Це був далеко не єдиний виявлений і досліджений ефект трансформації оптичних властивостей напівпровідників за високоінтенсивних рівнів оптичного збудження. Важливе значення мав відкритий відділом і досліджений у 60—70-ті роки ефект насичення міжзонного поглинання та різкого перемикання в режим індукованої прозорості, що спостерігався в кольорових скляних фільтрах під час лазерного впливу (М.П. Лисиця, М.Р. Куліш, А.Ф. Мазниченко). У разі випромінювання рубінового лазера ефект найяскравіше проявлявся для фільтрів ГОІ марки КС-19 (аналогічні фільтри за кордоном виробляла всесвітньо відома фірма Shott). Це явище мало подвійне значення. По-перше, вміщена всередині лазерного резонатора пластинка такого фільтра відіграла роль досить ефективного модулятора добротності, забезпечуючи найпростіший шлях отримання гігантських лазерних імпульсів і самосинхронізації мод когерентного випромінювання. Цей метод пасивної модуляції добротності став популярним у нелінійно-оптичних дослідженнях.

По-друге, ці роботи більш ніж на 20 років передбачили бум досліджень з оптики нульвимірних напівпровідникових систем. Річ у тім, що такі фільтри — це скляна матриця з інкорпорованими в неї кристалітами напівпровідників  $\text{A}_2\text{B}_6$  ( $\text{CdSe-CdS}$ ). Залежно від технології отримання фільтрів (тривалості відпалу) середній розмір кристалітів може становити кілька нанометрів, що сумірно з типовим екситонним радіусом напівпровідників  $\text{A}_2\text{B}_6$ . Згодом, наприкінці 80-х років, саме на цих об'єктах було виконано відому серію робіт О.І. Єкімова та О.Л. Ефроса (ФТІ ім. А.Ф. Йоффе), що започаткували в усьому світі широкі дослідження екситонних явищ в умо-

вах квантоворозмірного обмеження. Такі дослідження успішно велися й у нашому відділі (М.П. Лисиця, М.Р. Куліш, В.П. Кунець, М.І. Малиш).

Освоєння у другій половині 1960-х років різних методів отримання гігантських лазерних імпульсів дало можливість у цей період розпочати у відділі роботи зі з'ясування природи й домінуючих механізмів оптичного руйнування поверхні та об'єму прозорих діелектриків і напівпровідників. Було встановлено пороги руйнування для лужно-галогідних кристалів і напівпровідників типу  $A_2B_6$ ,  $A_2B_5$  і  $A_3B_6$ . У світінні факелів, що виникають у разі ушкодження поверхонь, домінують лінії випромінювання нейтральних і одноразово іонізованих елементів, які входять до складу пошкоджених тіл. На цій основі було запропоновано лазерний метод спектроскопічного аналізу (М.П. Лисиця, І.В. Фекешгазі).

Використання пасивної модуляції добротності лазерного резонатора при внесенні в нього нелінійного оптичного елемента сприяло ізоформному подовженню імпульсів більш ніж на порядок, що є важливим для техніки оптичного зв'язку. Мав практичне значення і запропонований на основі дослідження двофотонного поглинання й поляризаційних ефектів у різних кристалах метод використання нелінійно-поглинальних і оптично активних напівпровідникових пластинок для обмеження потужності, стабілізації й корекції просторово-часового розподілу інтенсивності лазерних пучків (М.П. Лисиця, І.В. Фекешгазі, П.О. Мозоль). Крім того, на основі вивчення кутової залежності нелінійної поляризації й генерації другої гармоніки негативними кристалами тетрагональної сингонії було розроблено методику одночасного визначення абсолютних і відносних значень компонентів тензора нелінійної сприйнятливості (М.П. Лисиця, І.В. Фекешгазі).

Зазначені дослідження з квантової електроніки та взаємодії лазерного випромінювання з напівпровідниками становили тільки один напрям наукової тематики відділу. Більша частина його співробітників займалася оптикою й спектроскопією напівпровідників і діелектриків для встановлення особливостей їхньої енергетичної структури, зумовленої різними типами елементарних і колективних збуджень. Цілком природно, що на постановку цих досліджень і їх спрямованість впливав попередній науковий досвід керівника відділу. Річ у тім, що В.Є. Лашкарьов запросив М.П. Лисицю у створений ІН АН УРСР, коли Михайло Павлович був уже відомим у країні фахівцем у галузі інфрачервоної молекулярної спектроскопії й оптики тонких шарів. За кілька років до його переходу в Інститут його університетські аспіранти й дипломники (Г.А. Холодар, О.В. Вакуленко, В.М. Корсунський, М.Я. Валах) уже почали використання інфрачервоної спектроскопії в дослідженні напівпровідників. Тому не дивно, що однією з перших дослідницьких груп у відділі стала група інфрачервоної спектроскопії, оснащена спочатку спектрометром ІКС-12, а потім і двопроменевими приладами, у тому числі й непоганим, як на той час, німецьким приладом UR-10. Групу



очолив В.М. Малинко, а потім до неї увійшли М.Я. Валах, Г.Г. Цебуля та Є.В. Підлісний. Це були одні з перших у країні інфрачервоних досліджень напівпровідникових кристалів.

Інший напрям досліджень, що проводилися в той період у групі інфрачервоної спектроскопії, був пов'язаний з впливом ефектів розупорядкування й легування на фундаментальні оптичні характеристики напівпровідників. З важливістю цих факторів пов'язувалася суперечливість багатьох експериментальних даних, отриманих на однакових напівпровідниках у різних лабораторіях світу. Особливо критичними в цьому напрямі були важливі для кожного напівпровідника дані з крайового поглинання, що відображали особливості його енергетичної структури. Виконані Г.Г. Цебулею і В.М. Малинком дослідження з цього питання підтвердили можливість істотної модифікації спектральної залежності крайового поглинання монокристала за рахунок навіть дуже тонкого (на рівні мікронів) розупорядкованого приповерхневого шару напівпровідника, створеного порушеннями, внесеними на етапі механічного полірування зразка. В діапазоні малого поглинання край набував експоненціального (так званого «урбахівського») характеру.

Дослідження сильнолегованих кристалів CdS (М.П. Лисиця, М.Я. Валах, С.Ф. Терехова, М.І. Витрихівський) зняли суперечності між численними результатами з крайового поглинання сильнолегованих напівпровідників. Було показано, що в цьому випадку висока концентрація вільних носіїв заряду потребує врахування не тільки добре відомого оптичного ефекту Бурштейна—Мосса, а й розглянутої теоретично В.Л. Бонч-Бруєвичем обмінної взаємодії носіїв. Оскільки останнє, на відміну від ефекту Бурштейна—Мосса, спричиняє ефективне зменшення, а не збільшення енергій міжзонних переходів, то результуючий ефект зсуву краю поглинання може змінювати знак зі зміною легування.

Було розвинено квантово-механічну теорію результуючого резонансу, що дістав назву комбінованого резонансу Фермі—Давидова (М.П. Лисиця, А.М. Яремко). Теорію було багаторазово апробовано при інтерпретації експериментальних коливальних спектрів поглинання цілого ряду молекулярних кристалів, досліджених співробітницею відділу Н.Є. Ралко, і узгацьовано в монографії М.П. Лисиці та А.М. Яремка.

Л.Й. Бережинський виконав температурні дослідження ширини коливних смуг різних молекулярних домішок у багатьох лужно-галогідних кристалах. Теоретичний аналіз великого обсягу цих експериментальних результатів виконали М.П. Лисиця, Л.Й. Бережинський і Г.Г. Тарасов.

Що ж до локальних коливань домішок у напівпровідникових кристалах, то об'єктами досліджень М.Я. Валаха були кристали  $A_2B_6$  (CdSe, CdTe, ZnSe) з ізоелектронними домішками заміщення (зазвичай — атоми сірки). Інтерес до цих об'єктів визначався кількома причинами. По-перше, через

складність хімічного розділення речовин, утворених ізоелектронними атомами (наприклад, сіркою та селеном) у вихідних компонентах, що використовувалися при вирощуванні напівпровідникових монокристалів, відносно великий вміст електрично неактивних «споріднених» атомів домішки (~1%) є типовим явищем для халькогенідів. По-друге, зі збільшенням вмісту такої домішки проблема її впливу на коливний спектр основного кристала переходить у важливу в теоретичному й прикладному аспектах проблему перебудови фононного спектра напівпровідникового твердого розчину. І, нарешті, по-третє — перші ж експерименти на кристалах CdSe:S показали, що ні концентраційні, ні температурні зміни смуги локального коливання атомів сірки не узгоджуються з теоретичними моделями, розвиненими для локальних коливань. Остання інтрига знайшла своє пояснення завдяки використанню уявлень про ангармонійний резонанс Фермі, який традиційно вважався актуальним тільки в спектроскопії молекулярних сполук у разі близькості частот будь-якого внутрішньомолекулярного коливання і обертона іншого коливання. Справа в тому, що для більшості ізоелектронних домішок заміщення у всіх актуальних напівпровідникових кристалах частоти локальних коливань домішки, що виникають, потрапляють в область двофононних збуджень основної ґратки кристала, і ступінь ангармонійного змішування обох типів коливальних збуджень виявляється істотно залежним від спектральних особливостей двофононного спектра.

Актуальність ангармонійних резонансів у динаміці ґратки напівпровідникових кристалів було згодом підтверджено у великій серії робіт з дослідження фононних спектрів напівпровідникових твердих розчинів, виконаних методом комбінаційного розсіювання світла (КРС). КРС з використанням лазерних джерел збудження опанували одними з перших в Україні М.Я. Валах, Л.Й. Бережинський і В.В. Артамонов. Вони ж іще на початку 70-х років для підвищення чутливості експериментальної установки при реєстрації слабких ефектів розсіювання використали традиційну сьогодні в спектроскопії КРС-реєстрацію в режимі підрахунку одиничних фотонів охолодженими ФЕП. У результаті цього у відділі розпочалися систематичні дослідження компонентної перебудови фононних спектрів у напівпровідникових твердих розчинах, які на той час ставали основними функціональними матеріалами оптоелектроніки. Було показано (М.П. Лисиця, М.Я. Валах, В.В. Артамонов, О.П. Литвинчук, А.М. Яремко), що передбачувані теорією одно-, дво- або тримодові типи перебудови фононного спектра в разі зміни компонентного складу можуть бути ускладнені ангармонійним резонансом одно- і двофононних збуджень. На відміну від класичного внутрішньомолекулярного резонансу Фермі для дискретних станів у цьому випадку зонний характер фононних спектрів кристалів спричиняє прояв резонансного змішування у вигляді типового резонансу Фано з можливим характерним антирезонансним спектральним провалом, що спостерігався

раніше в автоіонізаційних атомних спектрах, а задовго до цього був теоретично обґрунтований Брейтом і Вігнером у ядерній фізиці. Усі експериментальні прояви взаємодії в спектрах КРС ряду напівпровідників, отримані у цих дослідженнях, були кількісно описані розвинутою теорією, що враховує одночасно механічний і електрооптичний ангармонізми.

Резонансна взаємодія виявилася ще більш типовим явищем у спектроскопії фононних поляритонів. Частота їх, як відомо, варіюється в широкому діапазоні при зміні хвильового вектора. Саме це спричинює більшу ймовірність перетину і резонансу їх із зонами великої щільності двофононних збуджень. Теоретично це явище було розглянуто в роботах В.М. Аграновича, М.П. Лисиці і А.М. Яремка, а стосовно напівпровідникових кристалів уперше експериментально вивчено на селеніді цинку та карбіді кремнію в роботах М.Я. Валаха, В.В. Артамонова і Ю.М. Ажнюка. Це стало можливим завдяки розробленій ними оригінальній методиці вимірювання спектрів комбінаційного розсіювання під дуже малими апертурними кутами, які варіювалися.

Високий експериментальний рівень організації робіт з КРС у відділі оптики, підкріплений найкращим у країні рівнем постановки в Інституті робіт з технології вирощування кристалів  $A_2B_6$  (М.І. Витрихівський, Б.М. Булах, Г.С. Пекар), дав змогу вперше експериментально й теоретично досліджувати фононні спектри чотирикомпонентних систем на основі цих напівпровідників і виконати детальні дослідження резонансного комбінаційного розсіювання у твердих розчинах  $A_2B_6$  (М.Я. Валах, О.П. Литвинчук, Г.Г. Тарасов). У результаті було встановлено та інтерпретовано загальні властивості спектрів резонансного розсіювання: залежність інтенсивності багатофононних ліній розсіювання не тільки від компонентного складу кристала, а й від поляронних констант його компонентів; домінуючу роль багатофононних процесів розсіювання за участю різних поздовжніх оптичних фононів твердого розчину. Встановлені закономірності згодом було використано в дослідженнях резонансного розсіювання в короткоперіодних напівпровідникових надґратках  $A_3B_5$ . При цьому було наочно продемонстровано ефект тунелювання електронних збуджень.

Привнесення в оптику й спектроскопію напівпровідників уявлень, які традиційно використовувалися в інших розділах спектроскопії, та їх модифікація з урахуванням особливостей хімічного зв'язку й структури напівпровідникових кристалів виявилися плідними і в дослідженні широкого класу так званих шаруватих напівпровідників. Багато з цих сполук є перспективними для використання в голографічному записі інформації, для створення електрооптичних конденсаторів і батарей, в інтеркаляційних пристроях.

На підставі виконаних у відділі досліджень коливних спектрів таких кристалів, як GaSe, InSe,  $As_2S_3$ ,  $PbI_2$ ,  $SbI_3$ ,  $BiI_3$ , було розвинено загальний під-

хід до динаміки їхньої ґратки, що враховує істотну різницю між силами внутрішньошарових і міжшарових взаємодій (останні мають переважно вандер-ваальсовий характер). Було проаналізовано умови експериментального спостереження резонансної міжшарової взаємодії коливних збуджень, якісно аналогічної давидівському розщепленню в спектрах френкелівських екситонів у молекулярних кристалах. Вона характерна для багатшарових ( $n \geq 2$ ) політипів шаруватих кристалів. При такому підході в ролі молекули виступає квазіплоский шар, міжатомні взаємодії в якому і формують в основному фононний спектр кристала. Цікаво, що цей підхід було запропоновано і викладено у статті в «Українському фізичному журналі» М.П. Лисицею, М.Я. Валахом, Л.Й. Бережинським і В.В. Артамоновим практично одночасно з публікацією американських авторів у *Physical Review*.

Отриманню більшості зазначених вище результатів і розвитку нетрадиційних для напівпровідників підходів до їх інтерпретації сприяла задана М.П. Лисицею від самого початку існування відділу широта тематики робіт у частині як досліджуваних явищ, так і застосовуваних методик, а також обраних для вивчення матеріалів. Останні, як видно з наведених результатів, не обмежувалися лише класичними на той час напівпровідниковими кремнієм і германієм та головними для багатьох відділів Інституту сполуками  $A_2B_6$ . М.П. Лисиця вважав важливим і перспективним для майбутньої електроніки і карбід кремнію. У відділі було організовано групу з його вивчення, яку очолив ентузіаст дослідження цього матеріалу О.Т. Сергеев. Група здійснювала фундаментальні оптичні дослідження, а також прикладні технологічні розробки.

У результаті дослідження карбиду кремнію різних політипних модифікацій було отримано нові дані про екситонні стани, енергетичні рівні характерних домішок азоту, алюмінію і бору та про світіння донорно-акцепторних пар (М.П. Лисиця, О.Т. Сергеев, В.Ф. Романенко, Ю.С. Краснов). На основі цих результатів було розроблено ефективні, стабільні в часі, хімічно, механічно й радіаційно стійкі світлодіоди. Їх було використано в спеціальних пристроях військового призначення, а також як цифрові і знакові індикатори у міні-ЕОМ, розробленій Інститутом кібернетики АН УРСР.

На гетеропереходах, утворених політипними зростками SiC, було виявлено новий тип фото-е.р.с. і створено приймач випромінювання, який одночасно виконував функції аналізатора поляризованого випромінювання (М.П. Лисиця, Ю.С. Краснов).

Крім описаного поляризованого розсіювання світла принципове значення для вирішення загальних проблем динаміки кристалічної ґратки мали отримані дані з фононних спектрів КРС різних політипів (М.Я. Валах, В.В. Артамонов, Ю.М. Ажнюк). Оскільки різні політипи відрізняються уздовж оптичної осі тільки кількістю однакових за структурою шарів SiC,

атоми яких входять в елементарну комірку, то інтерпретація отриманих спектрів здійснювалася на основі уявлення про однакову дисперсію фононних гілок у великій зоні Бріллюена, що задається структурою одного шару, але різного розміру мінізони Бріллюена (так званої складеної зони) для кожного конкретного політипу. У результаті такого зигзагоподібного складання для кожного політипу в центрі зони Бріллюена виникають свої характеристичні частоти коливань, активні в спектрі КРС.

Карбід кремнію виявився цікавим об'єктом у вивченні ще одного ефекту, характерного для різних політипів речовини. Через різне розвертання навколо оптичної осі сусідніх структурних шарів у різних політипах неоднаковою є просторова координація найближчого атомного оточення тих самих атомних вузлів. Відповідно, однакові домішки заміщення в різних політипах (наприклад, донорна домішка азоту) мають різне, характерне для кожного політипу число нееквівалентних положень у кристалічній ґратці і, як результат, можуть утворювати в забороненій зоні різні системи донорних рівнів. Доволі наочне підтвердження такої ситуації було отримане М.Я. Валахом, В.В. Артамоновим, Ю.М. Ажнюком в експериментах з електронного КРС в різних політипах SiC. За низьких температур у спектрах КРС, легованих азотом кристалів, крім фононних ліній розсіювання виявилися додаткові лінії, пов'язані зі збудженням електронів з основних станів донорів. Число й частоти фононних ліній кожного зразка ідентифікували його політип, а кількість електронних ліній розсіювання точно відповідала числу нееквівалентних позицій, що передбачається теорією донорів.

Особливо інформативною діагностикою SiC стає у разі використання на вході спектрометра КРС високоякісного мікроскопа, через який здійснюється лазерне збудження зразка і реєстрація розсіяного випромінювання (так звана мікрораманівська технологія). У цьому випадку, на відміну, наприклад, від рентгенівської діагностики, можна не тільки ідентифікувати політипний склад зростка SiC, а й з мікронною точністю встановити просторове положення гетеропереходів на межах політипів (М.Я. Валах, В.В. Артамонов).

Широта досліджень і обсяг фундаментальних і прикладних результатів карбиду кремнію були настільки значними, що в 1993 р. Інститут висунув відповідний цикл робіт на здобуття Державної премії України в галузі науки і техніки. Серед лауреатів премії були співробітники відділу — Л.Й. Бережинський, М.Я. Валах і О.Т. Сергєєв.

У відділі досліджували й інші цікаві у прикладному й фундаментальному аспектах матеріали. Так, за участю фізика-стажиста з Польщі І. Косацького було виконано цикл робіт з динаміки ґратки сполук, що виявляють явище суперіонної провідності. З експериментально встановлених фононних спектрів було отримано дані про процеси температурного розупорядкування ґратки, що визначає перехід у суперіонний стан. Принциповий результат



цих досліджень полягає у виявленні кореляції аномалій в електричних властивостях та фононних спектрах. Практично важливим результатом є встановлена можливість зменшення температури переходу в суперіонний стан завдяки статистичному розупорядкуванню кристалічної ґратки у твердому розчині. Всі ці результати було узагальнено в огляді М.Я. Валаха, І. Косацького та О.П. Литвинчука, замовленому редколегією журналу *Physica Status Solidi*.

Для реєстрації слабких сигналів використовували методи синхронного детектування і стробування, реалізовані одним з найдосвідченіших в Інституті методистів люмінесцентних вимірювань — Є.Г. Гуле.

Один із перших виконаних у відділі циклів люмінесцентних досліджень був пов'язаний з вивченням фотолюмінесценції сульфур кадмію з домішками рідкісноземельних елементів європію та ербію (М.П. Лисиця, Л.Ф. Гудименко). Тоді ж М.П. Лисиця й Л.Ф. Гудименко показали, що під час такого збудження рідкісноземельна домішка дуже слабо перехоплює енергію збудження основної ґратки і випромінювання відбувається за участю екситонних станів. Проте було визначено всі компоненти штарківського розщеплення ліній і з'ясовано вплив на спектри співактиватора та локальної симетрії центра.

Іншим великим циклом люмінесцентних досліджень були роботи з вивчення світіння шаруватих кристалів (М.П. Лисиця, Ф.В. Моцний). Крім дослідження низькотемпературних спектрів фотолюмінесценції  $\text{BiI}_3$  вчені використовували також свої експериментальні дані зі спектрів поглинання не тільки  $\text{BiI}_3$ , а й близького йому  $\text{SbI}_3$ . У результаті було показано, що в цьому випадку спектр пов'язаний не з біелектроном, а з квантовими переходами за участю домішкових станів. Ці результати, а також дані оригінальних радіоспектроскопічних досліджень дефектних та домішкових центрів у шаруватих кристалах разом з результатами теоретичних досліджень резонансів у цих сполуках увійшли до циклу робіт, який у 2001 р. було відзначено Державною премією України в галузі науки і техніки (серед лауреатів — співробітники відділу Ф.В. Моцний та А.М. Яремко).

Вивчення ролі домішкових станів у спектрах світіння було також одним із напрямів досліджень у галузі екситонно-домішкової люмінесценції в монокристалах кремнію (М.Я. Валах, Г.Ю. Рудько, М.І. Шахрайчук). Було отримано спектри екситонної люмінесценції чистого Si на рівні найкращих опублікованих у літературі даних. Це дозволило цілеспрямовано дослідити зміни спектрів світіння екситонно-домішкових комплексів (за участю фононів) залежно від домішково-дефектного складу кристалів.

Ще одним типом напівпровідникових сполук, оригінальні оптичні властивості яких вивчали в кількох групах відділу оптики в 1970-ті роки, були кристали дифосфіду цинку й кадмію. Атоми фосфору в них формують спіральну ланцюжкову структуру, й аналогічно розглянутим вище кристалам із шаруватою структурою їх експериментально встановлені фононні спектри було інтерпретовано з використанням уявлень про давидівський

резонанс унаслідок міжланцюжкової взаємодії (М.П. Лисиця, М.Я. Валах, Л.Й. Бережинський, В.В. Артамонов). Інша їх властивість, що виявилася при дослідженні нелінійного поглинання, була пов'язана з гіротропією, яка проявляється в обертанні площини поляризації лінійно поляризованого випромінювання під час поширення його вздовж напрямку фосфорних ланцюгів. Крім дослідження стандартної гіротропії на цих об'єктах уперше експериментально виявлено передбачену раніше теоретично С.О. Ахмановим і В.І. Жариковим з МДУ нелінійну оптичну активність, яка залежить від інтенсивності лазерних пучків великої потужності (М.П. Лисиця, В.В. Борщ, П.О. Мозоль, І.В. Фекешгазі). Малоінерційність ефекту дала змогу розробити коректори часового розподілу інтенсивності лазерних пучків, що уможливають стабілізацію їх інтенсивності.

Інший принципово новий клас поляризаційних явищ було передбачено в Інституті в результаті спільних робіт теоретичного відділу та відділу оптики під час теоретичних досліджень особливостей релаксації вроджених локалізованих фононних та електронних збуджень у резонансному електромагнітному полі (М.І. Дикман, Г.Г. Тарасов). Виявилось, що анізотропна оптична нелінійність може виникати у високосиметричних середовищах. Це було експериментально підтверджено виявленням і дослідженням явища самоіндукованого обертання площини поляризації лінійно поляризованого випромінювання в кубічних кристалах у разі резонансного збудження анізотропних тунельно переорієнтованих домішкових центрів. Експерименти було виконано на кристалах КСІ з літєвими й натрієвими  $F_A$ -центрами (М.П. Лисиця, М.Я. Валах, Г.Ю. Рудько, В.І. Сидоренко). Через резонансний характер ефектів для отримання кутів обертання площини поляризації, що становлять кілька десятків градусів, виявилось достатньо густин потужності, що не перевищували  $10 \text{ мВт/см}^2$ . Отже, було виявлено новий тип гігантської нелінійної оптичної активності.

Аналогічні ефекти перетворення поляризації характерні і для еліптично поляризованого випромінювання, де можливе обертання еліпса та зміна його ексцентриситету аж до лінеаризації. За певних умов може виникати нове явище поляризаційної бістабільності (М.Я. Валах, Г.Г. Тарасов, О.М. Бродин, А.М. Шпак). Виявлені явища можна використовувати в керованих оптичних елементах і перетворювачах поляризованого випромінювання.

І.В. Фекешгазі і Ю.О. Первак розвинули нові чисельні матричні методи синтезу багаточарових нерівнотовщинних інтерференційних систем і реалізували технологію їх вакуумного осадження. Було виготовлено стійкі дзеркала з широкими й вузькими смугами високого відбиття для лазерів зі змінюваною довжиною хвилі генерації; великогабаритні (до 240 мм) меніски для телескопів; прояснені оптичні елементи для інфрачервоної техніки; інтерференційні фільтри на різні спектральні діапазони; просторово-поляризаційні розділювачі або з'єднувачі світлових пучків.

У результаті досліджень фотолюмінесценції кремнієвих матеріалів зі зниженою розмірністю виявлено два нових типи світловипромінювальних кремнієвих матеріалів: анізотропно хімічно травлений кремній та ниткоподібні кристали кремнію, а також визначено центри безвипромінювальної рекомбінації в композитних плівках оксиду кремнію з нановключеннями аморфного та кристалічного кремнію (Г.Ю. Рудько спільно з Т.Я. Горбач, П.С. Смертенком, А.І. Клімовською та Є.Г. Гуле).

Починаючи з 2000-х років, одним з основних напрямів діяльності відділення оптики стали дослідження напівпровідникових наноструктур: самоорганізовані наноструктури CdSe/ZnSe із квантових точок (КТ) та наноострівцеві структури Ge/Si. Було отримано такі результати:

- встановлено, що принципове значення для процесів самоорганізованого росту таких структур має факт інтенсивної інтердифузії й сегрегації атомів, що формують структуру. Таким чином, було показано, що загальноприйнята модель росту острівцевих структур Странського—Крастанова може розглядатися тільки як перше наближення (М.Я. Валах, В.О. Юхимчук, В.М. Джаган);

- загальність явища гігантської інтердифузії в наноструктурах, пов'язаної з роллю поверхні і стимульованої характерними для наноструктур величезними градієнтами напружень, було підтверджено на наноструктурах типу  $A_3B_5$  (М.Я. Валах, В.В. Стрельчук, О.Ф. Коломис), а також системах квантових точок, отриманих методами колоїдної хімії (М.Я. Валах, В.М. Джаган, С.Я. Кучмій, А.Н. Строук);

- експериментально виявлено високоефективну антистоксову люмінесценцію в структурах з наноострівцями і встановлено особливості процесу резонансного КРС у системах з неоднорідними за розміром і компонентним складом острівцями (М.П. Лисиця, М.Я. Валах, В.В. Стрельчук, О.Ф. Коломис). Прикладне значення цих результатів полягає в обґрунтуванні нових можливостей оптичних методів для діагностики наноструктур, у тому числі з номінальними товщинами напівпровідників, що становлять усього кілька молекулярних шарів (М.Я. Валах, В.О. Юхимчук, В.М. Джаган).

Широкий спектр важливих наукових результатів отримано у відділі лазерної спектроскопії напівпровідників та діелектриків (завідувач — проф. Г.Г. Тарасов). Проведено детальні експериментальні й теоретичні дослідження динаміки ґратки та фотолюмінесценції багатокомпонентних твердих розчинів, які містять магнітну компоненту (напівмагнітних напівпровідників HgCdMnTe, HgCdMnSe) (Ю.І. Мазур, С.І. Кривень, С.Р. Лаворик, О.В. Кузьменко, Г.Г. Тарасов). Доведено, що спінове легування твердих розчинів потрійних сполук HgCdTe, HgCdSe призводить до стабілізації їх кристалічної ґратки і сприяє релаксації внутрішніх структурних дефектів. У результаті екситонна люмінесценція впевнено спостерігається навіть у вузькощілинних напівпровідниках. Теоретично досліджено магнітополя-

ронний ефект і встановлено умови, за яких такі квазічастинки стабілізуються у напівмагнітних напівпровідниках (А. Ракітін, Г.Г. Тарасов).

Спільно з Університетом Tor Vergata (Рим, Італія) проведено дослідження спектрів двофотонного збудження кристалів кубічних перовскітів, легованих іонами Європію, і показано, що додаткові лінії в спектрах збудження виникають унаслідок некубічного збурення 4f-станів Європію. Побудована теорія спектрів двофотонного збудження рідкісноземельних іонів з урахуванням тонких спінових взаємодій дала змогу пояснити поляризаційні властивості спектрів поглинання цих систем (У. Грассано, Р. Франчіні, С.А. Бойко, Г.Г. Тарасов). За підсумками досліджень спектрів фотолюмінесценції рідкісноземельних іонів (єрбію, ітербію) у фосфатних стеклах та нанокристалах цирконію встановлено нові механізми розширення смуг фотолюмінесценції, що є важливим для визначення придатності системи для ліній оптичного зв'язку.

Проведено дослідження властивостей низьковимірних квантових систем, зокрема легованих квантових ям, у співпраці з лабораторією проф. В.Т. Масселінка в Університеті ім. Гумбольдта (Берлін, Німеччина). Основними результатами проведених досліджень є встановлення зміни механізму фотолюмінесценції (ФЛ) зі зміною ширини квантової ями поблизу значення, що відповідає критичному значенню товщини для модульовано-легованих псевдоморфних напружених шарів  $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}/\text{In}_y\text{Ga}_{1-y}\text{As}/\text{GaAs}$ : від екситонного для ширини квантової ями  $d = 20$  нм до зона-зонних переходів у розупорядкованих квантових ямах з  $d = 12$  нм; розроблення методу детектування квантових осциляцій інтенсивності ФЛ у магнітному полі для встановлення характеру локалізації важких дірок. Показано, що локалізація спричинена флуктуаціями сплаву, зокрема неоднорідністю розподілу вмісту індію в площині шару  $\text{In}_y\text{Ga}_{1-y}\text{As}$ . У спектрах ФЛ сильнолегованих гетероструктур  $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}/\text{In}_y\text{Ga}_{1-y}\text{As}/\text{GaAs}$  досліджено багаточастинкові екситони (фермівські крайові сингулярності) та встановлено умови їх існування за скінченних температур і в магнітних полях; виявлено інтенсивні фононні бічні смуги для безфононних переходів між рівнями Ландау в магнітному полі з боку низьких енергій хвоста у спектрі ФЛ, що є результатом підсиленої фреліхівської взаємодії в системах з просторовим обмеженням (З.Я. Жученко, Ю.І. Мазур, В.Т. Масселінк, Х. Кісель, Г.Г. Тарасов).

Спільно з Університетом ім. Гумбольдта та Інститутом ім. Макса Борна в Берліні встановлено, що розподіл самоорганізованих квантових точок (КТ) InAs за розмірами, який має бімодальний характер за більш високої температури GaAs-підкладки ( $T = 505$  °C), впродовж росту трансформується в мультимодальний за нижчої температури вирощування ( $T = 420$  °C) і використання переривання росту. Вперше продемонстровано сильний зв'язок між КТ, що належать до різних мод. Виявлене тунельне перенесення збудження і заряду в системі зв'язаних КТ формує нові вимоги щодо

створення лазерів на гетероструктурах InAs/GaAs (М.П. Лисиця, Г.Г. Тарасов, Ю.І. Мазур, З.Я. Жученко, В.П. Кунець, Й. Томм, В.Т. Масселінк).

Діяльність наукової школи оптики та спектроскопії напівпровідників після 2012 р. ознаменована низкою нових здобутків:

- уперше встановлено спектральну залежність часів переносу збудження між основними станами КТ InAs/GaAs. Показано, що великі за розміром КТ утворюють додатковий канал релаксації збудження в системі зв'язаних КТ, що насичується і є особливо ефективним за високих температур;

- спільно з Арканзаським університетом, США (лабораторія проф. Г. Саламо), встановлено екситонну природу переходів у гетероструктурах із КТ InAs-InP та ідентифіковано екситони, що формуються за участю важких і легких діркових станів валентної зони. Показано, що поява ступінчастого поглинання та наявність двох енергій активації в спектрах ФЛ з підвищенням температури в системі взаємодіючих КТ є свідченням переходу до двовимірних станів у InAs-InP-квантових точках. Підмішування станів важких і легких дірок визначає ступінь анізотропії оптичних властивостей гетероструктури (Ю.І. Мазур, Г. Саламо, Г.Г. Тарасов, В.Г. Дорогань, З.Я. Жученко);

- виконано цикл фотолюмінесцентних досліджень кільцеподібних наноструктур GaAs із КТ InAs, отриманими методом крапельної епітаксії. За допомогою статистичного аналізу низькотемпературних спектрів ФЛ доведено, що геометричне розміщення та міжточкова відстань для непокритих пар КТ визначають оптичні характеристики системи. Отримано кількісну інформацію про енергетику обмежених екситонних станів у таких парах. Відмінні оптичні можливості крапельної епітаксії дають змогу встановити нові закономірності утворення молекулярних екситонних станів та визначити особливості складної динаміки дипольної взаємодії в масивах КТ контрольованої геометрії, що є винятково важливим для створення спін-контрольованих квантових біт (Ю.І. Мазур, Г. Саламо, К. Лінау, Г.Г. Тарасов);

- встановлено особливості латерального транспорту в системах з КТ  $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}/\text{GaAs}$ , анізотропія якого пов'язана з еліптичною формою квантових точок і залежна від їх густини (Ю.І. Мазур, Г. Саламо, В.П. Кунець, Г.Г. Тарасов);

- відкрито новий механізм переносу носіїв (екситонний перенос) зі станів квантової ями (КЯ) до станів КТ у структурах  $\text{InAs}:\text{In}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{As}/\text{GaAs}$ , що являють собою систему КТ, зв'язаних з КЯ. Цей перенос є особливо ефективним за малих інтенсивностей оптичного збудження та низьких температур. При цьому спостерігаються різкий резонанс у діапазоні екситонних переходів у спектрах збудження ФЛ, немонотонна температурна залежність сигналу ФЛ від КЯ та сильна залежність від інтенсивності збудження сигналу ФЛ квантової ями, які спостерігаються тільки для зв'язаних систем КТ/КЯ. Відкритий механізм є важливим з точки зору створення ефективних лазерних систем на КТ. Досліджено кінетику ФЛ наноструктур, що є



системою КТ, зв'язаних із КЯ. Її особливості пояснено ефективним тунелюванням носіїв зі станів КЯ до станів КТ, яке контролюється густиною носіїв у КЯ. Таке тунелювання інжектує носії в КТ і підтримує незмінною заселеність станів КТ протягом значного часу. Подовження часу спаду ФЛ квантових точок зменшує пороги генерації для лазерів на КТ і робить більш однорідним їх помпування. В результаті система КТ, зв'язаних із КЯ, є значно ефективнішою, ніж система лише КТ в лазерних системах (Ю.І. Мазур, Г. Саламо, Г.Г. Тарасов, В.Г. Дорогань, З.Я. Жученко).

Експериментально встановлено можливість ефективного використання металізованих SiGe-наноструктур з КТ як підсилювальних підкладок у методиці гігантського поверхнево підсиленого розсіяння світла (М.Я. Валах, В.О. Юхимчук, В.М. Джаган).

В.О. Юхимчук, В.М. Джаган та Г.Г. Тарасов здобули Державну премію України в галузі науки і техніки за 2017 р. за з'ясування механізмів самоіндукованого формування напівпровідникових ( $A^4$ ,  $A^3B^5$ ) наноструктур, встановлення механізмів взаємодії між квантоворозмірними структурами та їх впливу на процеси випромінювальної рекомбінації, дослідження характеристик, гібридних як за складом, так і за квантовим обмеженням наногетероструктур, вивчення особливостей зовнішніх впливів на різні типи наноструктур.

Продемонстровано можливість отримання графену та шарів на його основі за допомогою ультразвукової обробки піролітичного графіту в розчині N-methylpyrrolidone (NMP). Варіюванням часу ультразвукової обробки піролітичного графіту в розчині NMP встановлено оптимальні режими отримання графенових флейків з різною кількістю шарів. Зокрема показано, що УЗ-обробка протягом 5 год достатня для отримання колоїдного розчину графенових флейків, більшість з яких є одношаровими. Оцінено середні відстані між дефектами за різної тривалості УЗ-обробки (чл.-кор. НАН України М.Я. Валах, В.О. Юхимчук спільно з О. Рожиним з Астонського університету, Велика Британія).

В останні кілька років тематика відділу оптики і спектроскопії з дослідження люмінесцентних і раманівських спектрів напівпровідників зазнала деякої модифікації. Більшу увагу почали приділяти таким напрямам: а) фізика квантоворозмірних явищ у наноструктурах на основі нанокристалів (НК), отриманих методами колоїдної хімії; б) напівпровідникові сполуки на основі багатокомпонентних халькогенідів металів; в) GaN/AlN-наногетероструктури та ZnO-наноструктури; г) масиви латерально впорядкованих та неупорядкованих золотих і срібних наноструктур як основи SERS-підкладок для ефективного підсилення раманівського сигналу.

Нанокристали халькогенідів металів, отримані відносно дешевими і значно продуктивнішими (порівняно з епітаксійними молекулярно-променевими) методами колоїдного синтезу, характеризуються істотним впливом квантоворозмірних ефектів на їхні електронні властивості, що відкриває

широкі можливості керування їхніми оптичними, електричними, хімічними та фотохімічними властивостями за допомогою варіювання їхніх розмірів. Водночас фононні спектри та взаємодію між фононними й електронними збудженнями в колоїдних НК систематично не досліджували. Виконані у відділі спільно з технологами з Інституту фізичної хімії ім. Л.В. Писаржевського НАН України (С.Я. Кучмій, О.Л. Стрюк, О.Є. Раєвська) і колегами з Німеччини (Д. Цан) експериментальні й теоретичні дослідження цих проблем дали змогу вперше дістати відповідь на багато питань щодо нанокристалів  $A^2B^6$  малих розмірів (менш як 5 нм). Так, уперше:

- продемонстровано розмірну селективність процесу резонансного КРС колоїдних напівпровідникових НК за наявності суттєвої дисперсії їхніх розмірів, коли за конкретної довжини хвилі лазерного променя, що збуджує КРС, резонансно підсилювався сигнал непружного фононного розсіювання тільки від КТ певного розміру з близькою шириною забороненої зони (В.М. Джаган, М.Я. Валах);

- встановлено факт суттєвого компонентного перемішування (інтердифузії) на інтерфейсі ядро—оболонка, в тому числі за відносно низьких температур синтезу НК (менш як 100 °С), що стимулюється механічними напруженнями в ядрі й оболонці, які виникають через відмінність їх сталих ґратки (В.М. Джаган, М.Я. Валах);

- виявлено якісні відмінності фононних і електронних спектрів колоїдних НК ультрамалих розмірів (менш як 2 нм) порівняно з НК більших розмірів унаслідок значної частки атомів поверхневого шару з відмінною від об'єму координатією (М.Я. Валах, В.М. Джаган);

- виявлено якісні відмінності фононних спектрів двовимірних колоїдних НК порівняно з нульвимірними НК, а саме їх анізотропний характер та якісно інший тип перебудови спектра зі збільшенням товщини оболонки (В.М. Джаган, М.Я. Валах);

- методом оптично детектованого магнітного резонансу (ОДМР) досліджено композити, що складаються з наночастинок CdS в ПВС (полівініловий спирт) матриці. Встановлено залежність інтегральної інтенсивності ОДМР-сигналів від довжини хвилі люмінесцентного випромінювання та від величини діаметра квантових ям, розміщених у ПВС. Визначено природу і параметри парамагнітних центрів, що беруть участь у процесах рекомбінації фотозбуджених носіїв у композитах CdS/ПВС (Б.Д. Шаніна, І.П. Ворона, Г.Ю. Рудько, Є.Г. Гуле);

- методом часово-роздільної спектроскопії вивчено процеси передачі оптичного збудження в нанокompозиті на основі полімеру (полівініловий спирт) з напівпровідниковими наночастинками CdS. Унаслідок дискримінації різних каналів передачі збудження між полімерною матрицею композиту та наночастинками (НЧ), що досягалася підбором типу збудження, встановлено, що характер затухання люмінесценції критично залежить від

останнього. На основі отриманих результатів доведено, що випромінювання світла композитом відбувається переважно завдяки рекомбінаційним процесам у НЧ, тоді як у процесах збудження люмінесценції беруть участь обидві складові нанокompозиту: збудження може відбуватися і безпосередньо в НЧ, і в результаті збудження полімерної матриці з наступною передачею енергії збудження до НЧ (Г.Ю. Рудько, Є.Г. Гуле спільно з Буковинським державним медичним університетом);

- проведено оптичні дослідження (Г.Ю. Рудько спільно з Університетом м. Лінчепінг, Швеція) спінових процесів у напівпровідникових матеріалах і структурах спінтроніки, а саме — енергетичної та спінової релаксації екситонів у  $A^2B^6$ -структурах із шарами, легованими магнітною домішкою, в результаті яких виявлено вплив спінового розщеплення на спінову релаксацію  $hh$ -екситонів у  $ZnMnSe/CdSe$ -надґратці, наявність двох каскадів релаксації гарячих екситонів у межах спін-розщеплених екситонних підзон, резонансне пригнічення екситонної спінової релаксації в надґратках  $ZnMnSe/CdSe$ ;

- на основі оптичних досліджень чистих і легованих спін-паєрлсівських кристалів з'ясовано природу електронних переходів у таких кристалах та вплив ізовалентного легування на електронні переходи і міжспінову обмінну та суперобмінну взаємодію (Г.Ю. Рудько спільно з Університетом штату Нью-Йорк у Бінгемтоні, США);

- розкрито механізм формування титанатних ( $Fe/TiO_2$ ,  $Mn/TiO_2$ ,  $Zn/TiO_2$ ,  $Cd/TiO_2$  і  $TiO_2$ ) нанотрубок. З'ясовано, що ці титанати синтезуються у вигляді нанотрубок зі структурою типу  $Na_2Ti_2O_4(OH)_2$ . Вперше встановлено, що метали  $Fe$ ,  $Mn$ ,  $Zn$ ,  $Cd$ ,  $Ni$  не утворюють твердого розчину з  $TiO_2$ . Показано, що ці метали розміщені в міжшаровому просторі (М.Р. Куліш);

- для захисту сонячних панелей від згубної дії космічної радіації (протони, нейтрони, електрони, рентгенівські промені) найчастіше використовують стекла завтовшки 0,1—0,7 мм. Для зменшення ваги захисних покриттів запропоновано використовувати поліамідні плівки, леговані наночастинками  $CdSe$  із захисною  $ZnS$ -оболонкою. Встановлено, що значні зміни в пропусканні цих плівок починаються за дози понад  $10^{14}$  протон/см<sup>2</sup>, тоді як у стеклах такі зміни починаються вже за дози  $\sim 10^{12}$  протон/см<sup>2</sup> (М.Р. Куліш);

- розроблено теоретичну модель для опису експериментальних спектрів КРС змішаних шаруватих кристалів  $MoS_2/MoSe_2$  та 2D-структур з 2—6 шарами  $MoS_2$  або  $MoSe_2$ , яка враховує міжшарову взаємодію та вплив ангармонізму (А.М. Яремко, Ю.А. Романюк);

- для кристалів з водневими зв'язками, які мають ангармонічні стелі, більші за частоти фононів ґратки, розроблено теорію мультифермідавидівського резонансу. Теорія дає змогу описати інтенсивності та структуру смуг, що пов'язані з  $O-H$ -коливаннями, зокрема, її використання дало змогу з'ясувати експериментальні особливості спектрів кристалів адипінової кислоти в діапазоні частот водневих зв'язків (А.М. Яремко);

- пояснено природу зміни типу оптичних зона-зонних переходів у разі ізовалентного легування GaP азотом (кросовер від непрямозонного кристала до прямозонного) на основі експериментальних результатів з випромінювальної рекомбінації та крайового поглинання, а також з температурної поведінки забороненої зони цього матеріалу в діапазоні кросоверу (Г.Ю. Рудько спільно з Університетом м. Лінчепінг, Швеція).

Що стосується напівпровідників багатокомпонентних халькогенідів металів, то зростання інтересу до них останнім часом зумовлене перспективністю їх використання у багатьох галузях, зокрема у фотовольтаїці, на заміну традиційним сполукам. Найбільш досліджуваними в цьому напрямі є сполуки сімейства  $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$  (CZTS). Ширина прямої забороненої зони цих сполук може варіюватися заміною S на Se або Sn на Ge чи Si. Досягнутий на сьогодні ККД для фотоперетворювачів на CZTS(Se) вже перевищив 13%. Перспективними є і НК цих сполук, які отримують методами колоїдної хімії. Завдяки своїй екологічності такі багатокомпонентні халькогеніди інтенсивно досліджують у багатьох сферах за рамками фотовольтаїки, зокрема в нелінійній оптиці. Кращою альтернативою відомим потрійним  $\text{AgGaS}_2$  та  $\text{AgGaSe}_2$  можуть бути змішані четверні сполуки  $\text{Ag}_x\text{Ga}_x\text{Ge}_{1-x}\text{S}_2$  та  $\text{Ag}_x\text{Ga}_x\text{Ge}_{1-x}\text{Se}_2$ . Вони мають значно вищий поріг променевої стійкості, більші ширину забороненої зони та коефіцієнт подвійного променезаломлення і, як результат, більше різних можливих реалізацій схем узгодження фаз взаємодіючих променів. У відділі оптики і спектроскопії отримано нові результати за обома цими напрямками:

- вперше експериментально встановлено всі частоти смуг оптичних фононів CZTS у спектрах раманівського розсіювання і показано можливість діагностики структурної досконалості CZTS за допомогою раманівської спектроскопії (М.Я. Валах, В.О. Юхимчук спільно з колегами з Університету Барселони);

- вперше всі експериментально отримані смуги поляризаційного раманівського розсіювання четверних халькогенідів  $\text{Cu}_2\text{ZnSiS}_4$  зіставлено з розрахованими методом теорії функціоналу густини (DFT) теоретичними значеннями і віднесено до конкретних типів власних коливань ґратки. Встановлено особливості перебудови фононного спектра за варіювання компонентного складу для сімейства змішаних кристалів  $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$ — $\text{Cu}_2\text{ZnGeS}_4$  (CZTGS) і вперше показано, що, на відміну від класичних бінарних ( $\text{A}^2\text{B}^6$ ,  $\text{A}^3\text{B}^5$ ) напівпровідників, у матеріалах складних халькогенідів із багатоатомною елементарною коміркою можливий одночасний прояв одно- та двошовного типів перебудови фононного спектра. Це зумовлено суттєво різною дисперсією високо- і низькочастотних оптичних коливань ґратки таких сполук (М.Я. Валах, В.М. Джаган, В.О. Юхимчук, Є.О. Гаврилук);

- уперше використаний для сполук сімейства CZTS підхід з фракціонуванням НК за розмірами дав змогу встановити нестандартну залежність частот оптичних фононів CZTS від розмірів НК в діапазоні 2—3 нм. На від-

міну від типового для класичних напівпровідників низькочастотного зсуву фононних смуг і їх асиметричного розширення зі зменшенням розмірів нанокристалітів для НК CZTS в раманівському спектрі спостерігається високочастотний зсув і звуження смуги, що пов'язано з «позитивною» дисперсією високочастотної фононної гілки поблизу центра зони Бріллюена (М.Я. Валах, Є.О. Гаврилюк, В.М. Джаган, В.О. Юхимчук);

- показано, що фононний спектр змішаної сполуки  $Ag_xGa_xGe_{1-x}Se_2$  являє собою одночасний прояв смуг, характерних для обох кінцевих сполук —  $AgGaSe_2$  та  $GeSe_2$ . При цьому перебудова спектра зі зміною компонентного складу є двомодовою, подібно до випадку молекулярних кристалів (М.Я. Валах, Є.О. Гаврилюк, В.М. Джаган, В.О. Юхимчук).

Досліджено коливні та випромінювальні властивості багатошарових GaN/AlN-наноструктур залежно від кількості періодів і товщини квантової ями та визначено їх структурні й деформаційні параметри. На основі отриманих даних виконано моделювання енергетичної структури GaN/AlN-наноструктур (В.В. Стрельчук, О.Ф. Коломис, А.С. Ніколенко, Ю.М. Насека).

Методами сканувальної конфокальної резонансної раманівської мікроспектроскопії, інфрачервоної фур'є- та фотолюмінесцентної спектроскопії досліджено ефекти просторового розподілу легувальної  $3d$ -домішки, пружних деформацій, якості кристалічної структури в ZnO макро- і мікροструктурах залежно від концентрації і технологічних режимів. Встановлено закономірності просторового розподілу структурних, магнітних та фононних характеристик ZnO:M $3d$ -наноструктур методами атомно(магнітно)-силової мікроскопії, раманівської та інфрачервоної фур'є-спектроскопії. Проаналізовано двовимірні карти намагніченості і деформацій як для масивів, так і для індивідуальних ZnO: $3d$ -нанониток (В.В. Стрельчук, О.Ф. Коломис, А.С. Ніколенко, Ю.М. Насека).

На основі дослідження інфрачервоних фур'є-спектрів відбиття і поглинання епітаксійних  $n$ -GaN-шарів, вирощених на сапфірі, та багатошарових  $n + /n0/n +$ -GaN-структур здійснено моделювання експериментальних спектрів та визначено концентрацію і рухливість носіїв заряду. Отримані результати добре узгоджуються з SIMS-даними. Досліджено вплив ефекту компенсації неконтрольованих акцепторів на концентрацію носіїв заряду (В.В. Стрельчук, О.Ф. Коломис, А.С. Ніколенко, Ю.М. Насека).

Методами раманівської, фотолюмінесцентної та інфрачервоної фур'є-спектроскопії досліджено гетероструктури з GaN- та AlGaN-епітаксійними шарами, легованими домішками Mn і Mg. Встановлено особливості вбудовування домішки Mn в GaN- та AlGaN-шарах у разі співлегуювання домішкою Mg та проаналізовано зміну спектрів внутрішньоцентривої люмінесценції при зміні зарядового ( $3+/4+$ )Mn-стану. Методом резонансного раманівського розсіяння в GaN(Mn, Mg) досліджено локальні коливні моди, зумовлені домішками Mn і Mg, та електрон-фононну взаємодію. Отримано



та змодельовано спектри ІЧ-відбиття GaN(Mn,Mg)-структур (В.В. Стрельчук, О.Ф. Коломис, А.С. Ніколенко, Ю.М. Насека).

В останні роки оптичні властивості металевих НЧ стали об'єктом численних досліджень. Підвищений інтерес до них у світі пов'язаний як зі змінною фундаментальних властивостей металів у разі зменшення розмірів, так і з можливістю використання їх на практиці, зокрема для реалізації поверхнево підсиленого, або так званого гігантського, комбінаційного розсіювання світла (англ. surface-enhanced Raman scattering, SERS). На сьогодні SERS-спектроскопія є ефективним аналітичним методом, який дає можливість з високою чутливістю ідентифікувати компонентний склад і структуру речовин з надзвичайно низькою концентрацією, до того ж цей метод є неруйнівним і не потребує спеціальної попередньої обробки досліджуваних зразків.

У результаті комплексних досліджень властивостей наноструктурованих SERS-підкладок спільно з колегами з Інституту монокристалів НАН України (Н.А. Матвеевська) продемонстровано, що морфологія наноструктур типу ядро—оболонка  $\text{SiO}_2\text{—Au}$  дає змогу підсилювати електричне поле випромінювального диполя до п'яти-шести порядків не лише налаштуванням у резонанс частот смуги плазмонного поглинання та збуджувального лазерного випромінювання, а й завдяки так званим «гарячим точкам» (В.О. Юхимчук, В.М. Джаган, О.М. Грещук).

Досліджено взаємозв'язок між морфологічними й оптичними властивостями та SERS-ефективністю плазмонних «нанозірок», які дають можливість підсилити раманівський сигнал до шести порядків. Встановлено, що фізичний механізм підсилення має як електромагнітну, так і хімічну складову. Спільно з лабораторією інтерференційної фотолітографії нашого Інституту (завідувач — В.А. Данько) відпрацьовано технологію і встановлено взаємозв'язок між морфологічними, оптичними та підсилювальними властивостями SERS-підкладок, виготовлених методом інтерференційної літографії. Виявлено істотне збільшення ефективності раманівського розсіювання молекулами аналіту в результаті відпаду таких наноструктур з попередньо осадженими на них молекулами (в межах температурної стабільності останніх) (О.М. Грещук, В.О. Юхимчук, В.М. Джаган).

## Основні роботи школи

### Монографії

Лисица, М.П., Бережинский, Л.И., Валах, М.Я. (1968). Волоконная оптика. Киев: Техника, 279 с.

Лисица, М.П., Яремко, А.М. (1984). Резонанс Ферми. Киев: Наук. думка, 261 с.

Лисица, М.П., Валах, М.Я. (2002—2012). Занимательная оптика. Киев: Логос. Т. 1—5.

*Стаммі*

Lisitsa, M.P., Maznichenko, A.F., Kulish, N.R. (1974). Determination of the relationship between components of the polarizability tensor for a fully symmetrical oscillation  $A_{1g}$  in calcite on the basis of stimulated Raman scattering data. *J. Appl. Spectrosc.* V. 21. P. 549—551.

Valakh, M.Ya., Dykman, M.I., Lisitsa, M.P., Rudko, G.Yu., Tarasov, G.G. (1979). Self-induced resonant optical rotation in crystals KCl:Li. *Solid State Communications.* V. 30. P. 133—136.

Valakh, M.Ya., Lisitsa, M.P., Pekar, G.S., Polysskii, G.N., Sidorenko, V.I., Yaremko, A.M. (1982). Anharmonic Coupling of Phonon Modes in Mixed  $Zn_xCd_{1-x}$ Se Crystals. *Phys. St. Sol. (b)*. V. 113. P. 635—645.

Kochelap, V.A., Kulish, N.R., Lisitsa, M.P. et al. (1988). Band Edge Absorption Saturation Dynamics of Semiconductors. *Phys. St. Sol. (b)*. V. 146. P. 319—327.

Akopyan, I.Kh., Klochikhin, A.A., Novikov, B.V., Valakh, M.Ya., Litvinchuk, A.P., Kosazkii, I. (1990). Optical Spectroscopy of the Superionic Crystals. *Phys. St. Sol. (a)*. V. 119. P. 363—415.

Mlayah, A., Brugman, A.M., Carles, R., Renucci, J.B., Valakh, M.Ya., Pogorelov, A.V. (1994). Surface phonons and alloying effects in  $(CdS)_x(CdSe)_{1-x}$  nanospheres. *Solid State Communications.* V. 90. P. 567—570.

Gorbach, T.Ya., Rudko, G.Yu., Smertenko, P.S., Svechnikov, S.V., Valakh, M.Ya., Bondarenko, V.P., Dorofeev, A.M. (1996). Simultaneous changes in the photoluminescence, infrared absorption and morphology of porous silicon during etching by HF. *Semiconductor Science and Technology.* V. 11, N 2. P. 601—606.

Kulish, N.R., Kunets, V.P. (1997). Determination of semiconductor quantum dot parameters by optical methods. *Superlattices and Microstructures.* V. 22. P. 341—351.

Valakh, M.Ya., Yukhimchuk, V.A., Bratus, V.Ya., Konchits, A.A., Hemment, P.L.F., Komoda, T. (1999). Optical and electron paramagnetic resonance study of light emitting  $Si^+$  ion implanted silicon dioxide layers. *J. Appl. Phys.* V. 85. P. 168—173.

Kissel, H., Mazur, Yu.I., Tarasov, G.G., Lisitsa, M.P. et al. (2000). Size distribution in self-assembled InAs quantum dots on GaAs (001) for intermediate InAs coverage. *Phys. Rev. B.* V. 62. P. 7213—7218.

Tarasov, G.G., Mazur, Yu.I., Zhuchenko, Z.Ya., Maaßdorf, A. et al. (2000). Carrier transfer in self-assembled coupled InAs/GaAs quantum dots. *J. Appl. Phys.* V. 88. P. 7162—7170.

Kissel, H., Mazur, Yu.I., Tarasov, G.G., Rud'ko, G.Yu. et al. (2000). Intensity dependence of the Fermi edge singularity in photoluminescence from modulation-doped  $Al_xGa_{1-x}As/In_yGa_{1-y}As/GaAs$  heterostructures. *Phys. Rev. B.* V. 61. P. 8359—8362.

Buyanova, I.A., Rudko, G.Yu., Chen, W.M., Xin, H.P., Tu, C.W. (2002). Radiative recombination mechanism in  $GaN_xP_{1-x}$  alloys. *Appl. Phys. Lett.* V. 80. P. 1740—1742.

Gomonnai, A.V., Azhniuk, Yu.M., Yukhymchuk, V.O., Kranjčec, M., Lopushansky, V.V. (2003). Confinement-, surface- and disorder-related effects in the resonant Raman spectra of nanometric  $CdS_{1-x}Se_x$  crystals. *Phys. St. Sol. (b)*. V. 239. P. 490—499.

Buyanova, I.A., Rudko, G.Yu., Chen, W. et al. (2003). Control of spin functionality in ZnMnSe-based structures: Spin switching versus spin alignment. *Appl. Phys. Lett.* V. 82. P. 1700—1702.

Druz, B., Zaritskiy, I., Valakh, M., Shanina, B. et al. (2004). Diamond-like carbon films: electron spin resonance (ESR) and Raman spectroscopy. *Diamond and Related Materials*. V. 13. P. 1592—1602.

Yaremko, A.M., Ratajczak, H., Baran, J., Barnes, A.J., Mozdor, E.V., Silvi, B. (2004). Theory of profiles of hydrogen bond stretching vibrations: Fermi—Davydov resonances in hydrogen-bonded crystals. *Chem. Phys.* V. 306. P. 57—70.

Mazur, Yu.I., Wang, Zh.M., Tarasov, G.G., Wen, H. et al. (2005). Strong optical non-linearity in strain-induced laterally ordered  $\text{In}_{0.4}\text{Ga}_{0.6}\text{As}$  quantum wires on GaAs (311)A substrate. *J. Appl. Phys.* V. 98, N 5. P. 53711-1—7.

Dzhagan, V.M., Valakh, M.Ya., Raevskaya, A.E., Stroyuk, A.L., Kuchmiy, S.Ya., Zahn, D.R.T. (2007). Resonant Raman scattering study of CdSe nanocrystals passivated with CdS and ZnS. *Nanotechnology*. V. 18. P. 285701.

Dzhagan, V.M., Valakh, M.Ya., Raevskaya, A.E., Stroyuk, A.L., Kuchmiy, S.Ya., Zahn, D.R.T. (2008). Size effects on Raman spectra of small CdSe nanoparticles in polymer film. *Nanotechnology*. V. 19. P. 305707.

Kladko, V.P., Kolomys, A.F., Slobodian, M.V., Strelchuk, V.V. et al. (2009). Internal strains and crystal structure of the layers in AlGaIn/GaN heterostructures grown on a sapphire substrate. *J. Appl. Phys.* V. 105. P. 063515.

Dzhagan, V., Rayevskaya, O., Stroyuk, O., Kuchmiy, S., Zahn, D.R.T., Valakh, M.Y. (2009). Resonant Raman spectroscopy of confined and surface phonons in CdSe-capped CdS nanoparticles. *Phys. St. Sol. (c)*. V. 6, N 9. P. 2043—2046.

Valakh, M.Ya., Lytvyn, P.M., Nikolenko, A.S., Strelchuk, V.V. et al. (2010). Gigantic uphill diffusion during self-assembled growth of Ge quantum dots on strained SiGe sublayers. *Appl. Phys. Lett.* V. 96. P. 141909.

Chursanova, M.V., Dzhagan, V.M., Yukhymchuk, V.O., Lytvyn, O.S. et al. (2010). Nanostructured silver substrates with stable and universal SERS properties: application to organic molecules and semiconductor nanoparticles. *Nanoscale Res. Lett.* V. 5. P. 403.

Fontané, X., Izquierdo-Roca, V., Saucedo, E., Schorr, S., Yukhymchuk, V.O., Valakh, M.Ya., Pérez-Rodríguez, A., Morante, J.P. (2012). Vibrational properties of stannite and kesterite type compounds: Raman scattering analysis of  $\text{Cu}_2(\text{Fe}, \text{Zn})\text{SnS}_4$ . *J. Alloy Compd.* V. 539. P. 190—194.

Valakh, M.Ya., Kolomys, O.F., Ponomaryov, S.S., Yukhymchuk, V.O. et al. (2013). Raman scattering and disorder effect in  $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$ . *Phys. St. Sol. (Rapid Research Letters)*. V. 7. P. 258—261.

Golovina, I.S., Bryksa, V.P., Strelchuk, V.V., Geifman, I.N., Andriiko, A.A. (2013). Size effects in the temperatures of phase transitions in  $\text{KNbO}_3$  nanopowder. *J. Appl. Phys.* V. 113. P. 144103.

Valakh, M.Y., Kolomys, O.F., Ponomaryov, S.S., Yukhymchuk, V.O., Babichuk, I.S. (2013). Raman scattering and disorder effect in  $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$ . *Phys. St. Sol. (Rapid Research Letters)*. V. 7, N 4. P. 258—261.

Guc, M., Valakh, M. et al. (2013). Polarized Raman scattering analysis of  $\text{Cu}_2\text{ZnSnSe}_4$  and  $\text{Cu}_2\text{ZnGeSe}_4$  single crystals. *J. Appl. Phys.* V. 114, N 19. P. 193514.

Valakh, M.Y., Dzhagan, V.M., Babichuk, I.S., Fontane, X., Perez-Rodriguez, A. (2014). Optically induced structural transformation in disordered kesterite  $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$ . *JETP Letters*. V. 98, N 5. P. 255—258.

Placidi, M., Dimitrievska, M., Yaremko, A. et al. (2015). Multiwavelength excitation Raman scattering analysis of bulk and two-dimensional MoS<sub>2</sub>: vibrational properties of atomically thin MoS<sub>2</sub> layers. *2D Mater.* V. 2, P. 035006.

Valakh, M.Y., Litvinchuk, A.P., Dzhagan, V.M., Yukhymchuk, V.O., Yaremko, A.M. (2015). Fermi resonance in the phonon spectra of quaternary chalcogenides of the type Cu<sub>2</sub>ZnGeS<sub>4</sub>. *J. Phys. Condens. Matt.* V. 28, N 6. P. 065401.

Dzhagan, V., Milekhin, A.G., Valakh, M.Y. et al. (2016). Morphology-induced phonon spectra of CdSe/CdS nanoplatelets: core/shell vs. core—crown. *Nanoscale.* V. 8, N 39. P. 17204—17212.

Valakh, M.Y., Litvinchuk, A.P., Dzhagan, V.M., Yukhymchuk, V.O., Havryliuk, Y.O. (2016). Optical properties of quaternary kesterite-type Cu<sub>2</sub>Zn(Sn<sub>1-x</sub>Ge<sub>x</sub>)S<sub>4</sub> crystalline alloys: Raman scattering, photoluminescence and first-principle calculations. *RSC Advances.* V. 6, N 72. P. 67756—67763.

## 7.3.

### М.П. Лисиця — засновник школи оптики та спектроскопії напівпровідників

Академік НАН України, заслужений діяч науки і техніки України Михайло Павлович Лисиця (1921—2012) — видатний вчений-фізик, фахівець у галузі оптики і спектроскопії. Йому належать визначні здобутки на ниві дослідження молекулярної спектроскопії рідин і твердих тіл, оптики тонких шарів і багатошарових оптичних систем, фізики і оптики напівпровідників, нелінійної оптики і квантової електроніки.

У 1961 р. він організував в Інституті напівпровідників АН УРСР відділ оптики, яким керував понад 30 років. Серед учнів Михайла Павловича — два члени-кореспонденти НАН України, 24 доктори і 50 кандидатів наук.

М.П. Лисиця виконав фундаментальні експериментальні і теоретичні роботи з внутрішньомолекулярного резонансу Фермі та міжмолекулярного резонансу Давидова, що потім наблизило його до відкриття комбінованого резонансу Фермі—Давидова у спектроскопії кристалів. Він розробив точну теорію багатошарових систем, яка стала основою для створення важливих систем прояснення оптики, багатошарових поляризаторів і відбивачів світла. В очолюваному ним відділі оптики було створено діючі зразки твердотільних лазерів, досліджено механізми генерації когерентного випромінювання та явища нелінійної оптики. Вперше у світовій практиці було використано напівпровідникові квантові точки в скляних матрицях для модуляції добротності резонатора та отримання потужних світлових імпульсів. Великий резонанс серед фахівців спричинило експериментальне відкриття М.П. Лисицею з учнями нового нелінійного оптичного явища — гігантської оптичної активності у негіротропних кубічних кристалах з домішковими тунельними центрами. В останні роки життя він разом зі своїми учнями дуже результативно долучився до наукових програм, спрямованих на роз-

виток нанофізики напівпровідників і наноелектроніки. До кола інтересів Михайла Павловича входили також проблеми фізики живого. Він обґрунтував резонансний характер взаємодії електромагнітних хвиль міліметрового діапазону з живими організмами.

М.П. Лисиця — автор понад 500 наукових праць і близько 40 авторських свідоцтв на винаходи. Спільно зі своїми учнями він видав шість монографій, у тому числі «Волоконную оптику» — першу монографічну роботу з цього питання у світі, яку було перевидано за кордоном англійською мовою, а також 5-томне видання «Занимательная оптика».

Свідченням міжнародного визнання наукового авторитету М.П. Лисиці є присудження йому Академією наук Чехословаччини як видатному спектроскопісту медалі Йоганеса Маркуса Марці. Він є лауреатом двох Державних премій України в галузі науки і техніки. У 2011 р. Михайла Павловича було удостоєно найвищої нагороди НАН України — Золотої медалі імені В.І. Вернадського за видатні наукові досягнення в галузі оптики і спектроскопії.



Організатор і керівник відділення оптики та наукової школи з оптики і спектроскопії академік НАН України М.П. Лисиця



### Представники наукової школи «Оптика та спектроскопія напівпровідників»



Обговорення планів нової тематики у відділенні оптики. Зліва направо: М.П. Лисиця, М.Я. Валах, Г.Г. Тарасов, Ю.О. Первак, А.М. Яремко, В.О. Юхимчук. 2001 р.



В.В. Артамонов за роботою на комп'ютері. 2001 р.



На теплоході під час конференції «Нанофотоніка»: М.М. Мельник, М.Я. Валах та В.О. Юхимчук. 2004 р.



І.В. Фекешгазі (ліворуч) та М.Л. Дмитрук на Лашкарьовських читаннях. 2004 р.



Г.О. Пучковська, В.О. Юхимчук, Н.О. Давидова, К.В. Шпортко серед учасників VIII International Conference on Molecular Spectroscopy (Wroclaw—Ladek Zdroj). 2005 р.



В.М. Джуган та А.М. Яремко на конференції EMRS в м. Ніцца. 2006 р.



У лабораторії ЦККП «Раманівсько-люмінесцентна субмікронна спектроскопія». Справа наліво: В.В. Стрельчук, В.П. Брикса, А.С. Ніколенко, К. Авраменко, О.Ф. Коломис. 2009 р.

Зліва направо: І.Б. Янчук,  
В.О. Юхимчук, В.Г. Дорогань,  
С.В. Вірко, О.Ф. Смо-  
ланка, М.В. Вуйчик. 2009 р.



Вручення пам'ятного адреса від НАН  
України з нагоди 90-річчя М.П. Лисиці.  
Зліва направо: М.П. Лисиця, А.Г. Наумо-  
вець, С.В. Свечніков, Б.Є. Патон. 2011 р.



А.М. Яремко. 2013 р.

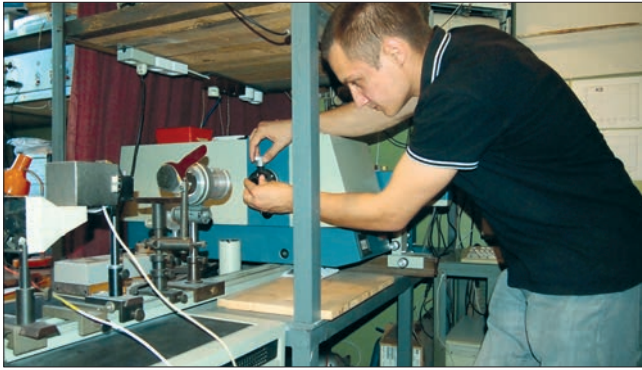


Г.Ю. Рудько. 2014 р.

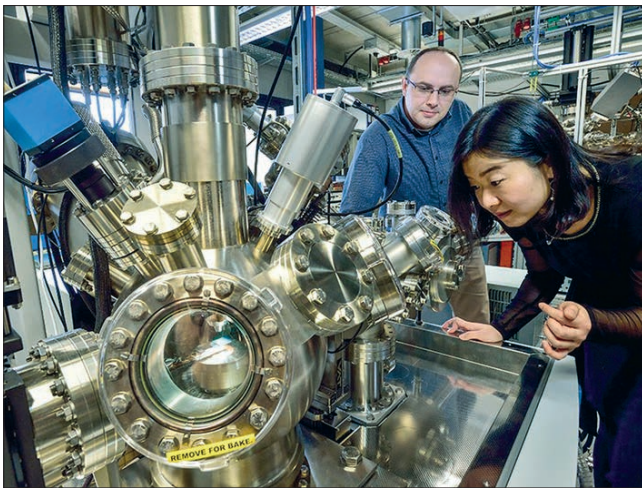


І.З. Індутний та В.І. Минько. 2014 р.





О.М. Грищук. 2014 р.



В.М. Джаган на стажуванні  
у Хемніці. 2018 р.



В.А. Янчук (ліворуч) та  
Є.Г. Гуле. 2019 р.

---

---

## Розділ 8

# НАУКОВА ШКОЛА «ОПТОЕЛЕКТРОНІКА» ІНСТИТУТУ ФІЗИКИ НАПІВПРОВІДНИКІВ ім. В.Є. ЛАШКАРЬОВА НАН УКРАЇНИ

Основні відомості про наукову школу оптоелектроніки викладено у книзі, присвяченій 50-річчю Інституту фізики напівпровідників ім. В.Є. Лашкарьова (Інститут, 2010).

Організація і становлення відділення оптоелектроніки Інституту фізики напівпровідників ім. В.Є. Лашкарьова тісно пов'язані із зародженням і розвитком оптоелектроніки як науково-технічного напрямку та інноваційної hi-tech (високої технології). Відділення було організовано на базі відділу фізики радіотехнічних приладів (пізніше — відділ мікрофотоперетворювачів), створеного у 1961 р. за ініціативою В.Є. Лашкарьова. Керувати відділом було запрошено завідувача кафедри електроніки Київського політехнічного інституту, канд. техн. наук С.В. Свечнікова.

Ще у 1950-ті роки С.В. Свечніков одним з перших у світі звернув увагу на інформаційний дуалізм фотоприймачів, який проявляється у збереженні адекватності інформації при перетворюванні енергії з однієї форми в іншу, що відкривало нові функціональні можливості порівняно з іншими наявними на той час елементами електронної техніки. Вже у своїх ранніх працях (Свечников, 1952; Свечников, 1953; Свечников, 1955; Свечников, 1956; Свечников, 1957; Свечников, 1959) він показав, що оптоелектронні елементи функціонують у двох вимірах параметрів — оптичних і електричних, між якими існують чітко визначені зв'язки. Такий багатопараметризм приводить до широкого різноманіття властивостей і можливостей, у сукупності яких учений побачив фундаментальний фізичний базис як для нових принципів побудови елементів і функціональних вузлів електронної техніки, так і для нових принципів організації зв'язків між ними.

Широке коло фізичних явищ оптики, електрооптики, електролюмінесценції, залучених оптоелектронікою в інформатику, потребувало організації та проведення цілеспрямованих досліджень зі створення фізико-технічних основ її елементного базису, розвідування нових шляхів і підходів у технологіях приладобудування, зв'язку, обчислювальної і вимірювальної техніки.

Для кращого розуміння динаміки розвитку оптоелектроніки слід звернути увагу на те, що в Інституті в цілому утворилося унікальне наукове середовище для становлення і розвитку цього напрямку. Зокрема, крім від-



ділення оптоелектроніки проблемами фотопровідності та оптики твердих тіл і їх структурних і приладових модифікацій займалися ще багато підрозділів під керівництвом таких відомих учених, як В.Є. Лашкар'єв, С.І. Пекар, М.П. Лисиця, В.І. Ляшенко. Така інтеграція знань у науковому колективі Інституту значною мірою сприяла формуванню оптоелектроніки, її наукових засад і можливостей як науково-технічного напрямку.

Результати науково-дослідних робіт у цих напрямках вже на початку 60-х років привели до розроблення і створення елементів і пристроїв зовсім нового типу, ефективність яких у системах радіоелектроніки підтверджувалася їх практичним використанням (Свечников, 1963; Свечников, 1965; Зюганов, 1965; Красников, 1965; Олексенко, 1967а; Олексенко, 1967б; А.с. СССР, 1965; А.с. СССР, 1967).

У цей період було розроблено і досліджено спеціалізовані оптрони для підвищення завадостійкості інформаційно-вимірювальних і керуючих систем в екстремальних умовах (ядерний вибух, ядерна силова установка); оптрони для управління електролюмінесцентними індикаторами і табло, для перетворення сигналів у високочутливих підсилювачах, для розв'язки і комутації схем транзисторної електроніки; регенеративні оптрони для дискретної техніки; спеціалізовані оптрони з наднизьким рівнем нелінійних перекручень для управління та комутації сигналів у аналогових колах (Кретулис, 1969; Богуславский, 1970; Красников, 1971; Богуславский, 1971; А.с. СССР, 1971; Гаприндашвили, 1972).

Разом з цим розроблялися фізико-технічні та фізико-технологічні основи створення елементів оптоелектроніки: теоретично й експериментально досліджувалися властивості напівпровідникових матеріалів і структур (Свечников, 1962; Свечников, 1966а; Свечников, 1968; Каганович, 1969; Svechnikov, 1982), створювалися нові технології, у тому числі тонкоплівкові (Каганович, 1966; Красников, 1968а; Богданович, 1981; Горбач, 1982), розвивалися нові підходи до оптоелектронних систем (Петренко, 1961; Свечников, 1966б; Красников, 1968б; Красников, 1969; Маловичко, 1969; Гаприндашвили, 1969; Богданович, 1980; Молчанов, 1981; Боголюбов, 1982а; Гаприндашвили, 1982; Боголюбов, 1982б; Зюганов, 1982; Богуславский, 1982). Ці результати було узагальнено в ґрунтовних статтях і перших в СРСР монографіях з оптоелектроніки (Свечников, 1966б; 1968; 1980; 1981а; 1981б; Зюганов, 1968; Свечников, 1968).

Вирішення цих завдань потребувало розширення робіт як в організаційному, так і в тематичному плані, тому в 1963 р. під керівництвом С.В. Свечнікова було створено сектор мікроелектроніки, в який крім відділу мікрофотоперетворювачів (фізики радіотехнічних приладів), очолюваного С.В. Свечниковим, входив ще й відділ тонких плівок (керівник — В.Є. Косенко). У 1966 р. до сектору ввійшов відділ електролюмінесценції, який очолила Н.А. Власенко. Це дало можливість розпочати широке коло цілеспрямованих фундаментальних досліджень з фізики фотопровідності та генерації випромінювання в твердому тілі для вирішення завдань оптоелектроніки.

У рамках сектору значного розвитку набув новий науковий напрям — електролюмінесценція (ЕЛ) тонких плівок широкозонних напівпровідників, який започаткувала і розвинула Н.А. Власенко. Було розроблено фізико-технологічні основи цього напрямку, з'ясовано механізми ЕЛ у тонких плівках як на стадії збудження (ударне збудження люмінесцентних центрів), так і на стадії випромінювання (Власенко, 1965; Vlasenko, 1984; Vlasenko, 1990; Кононец, 1998; Vlasenko, 2002).

Роботи Н.А. Власенко у напрямі електролюмінесценції тонких плівок були піонерними. Тому на дослідження, опубліковані нею та її співробітниками, посилалися у світовій літературі. Так, у книзі (Schulze, 1996) наведено інтерв'ю з Н.А. Власенко та В.С. Хомченко (втім, ініціали Вікторії Сергіївни було переплутано). Епіграфом до книги стали слова Наталії Андріївни Власенко: «Und plötzlich — wie durch ein Wunder — strahlten die Dünnsfilme wie Glühlampen ein helles Licht aus. Es war wunderbar...» (І раптом — ніби якимось дивом — тонкі плівки, як лампа розжарювання, випромінювали яскраве світло. Це було дивовижно...).

Стало зрозуміло, що оптоелектроніка є одним зі стратегічних напрямів науково-технічного прогресу, успіхи якого тісно пов'язані з побудовою інформаційного суспільства. Досягнуті в секторі мікроелектроніки ІН АН УРСР наукові та практичні результати привернули до себе увагу державних органів СРСР. У 1969 р. С.В. Свечнікова та П.Ф. Олексенка було запрошено на засідання бюро Науково-технічної ради Міністерства електронної промисловості СРСР, присвячене розгляду стану і перспективам робіт з оптоелектроніки та в електронній промисловості. С.В. Свечнікову було запропоновано зробити доповідь «Оптоелектроніка: новий напрям розвитку електронної техніки», назва якої повністю характеризувала стан і рівень робіт з оптоелектроніки в ІН АН УРСР.

Рішення бюро НТР Мінелектропрому, засідання якого проходило під головуванням міністра О.І. Шокіна, мало важливе значення для визнання та розвитку оптоелектроніки як у науковому, так і в техніко-технологічному плані. У низці галузевих інститутів і підприємств було організовано спеціалізовані підрозділи, тематика яких охоплювала широке коло питань розвитку оптоелектроніки: від елементної бази до впливу оптоелектроніки на параметри великих систем керування та інформаційно-вимірювальних систем. Крім того, в багатьох вишах країни було відкрито спеціалізовані кафедри (в Україні — у Вінниці, Чернівцях, Львові та інших містах).

Видавництво «Советское радио» (Москва) запропонувало С.В. Свечнікову написати монографію, яка була видана у 1971 р. під назвою «Элементы оптоэлектроники».

У 1973 р. вченим ІН АН УРСР — С.В. Свечнікову, Н.А. Власенко, П.Ф. Олексенку, О.М. Зюганову, А.К. Смовжу разом з представниками промисловості і АН Грузинської РСР за розроблення фізико-технічних основ

некогерентної оптоелектроніки було присуджено Державну премію УРСР в галузі науки і техніки. Цікаво, що це була перша державна нагорода за розвиток оптоелектроніки на теренах Радянського Союзу.

У 1974 р. відбулася надзвичайно важлива подія, яка посприяла подальшому розвитку Інституту напівпровідників на довгі роки: з метою розвитку робіт з оптоелектроніки було виділено кошти та земельну ділянку (у районі Теремків, поруч з ділянкою для нових корпусів Інституту кібернетики АН УРСР) під будівництво спеціального приміщення для проведення відповідних робіт. За домовленістю з директором Інституту кібернетики АН УРСР В.М. Глушковым і за підтримки президента АН УРСР Б.Є. Патона ділянку та кошти було передано Інституту кібернетики з тим, щоб після завершення будівництва його нових корпусів, старі корпуси біля Інституту напівпровідників на проспекті Науки та вул. Лисогірській, було передано у розпорядження ІН УРСР. Процес передання розпочався у 1988 р. і завершився у 1995 р.

Важливим кроком було створення в Науковій раді з фізики і хімії напівпровідників АН СРСР секції фізичних основ некогерентної оптоелектроніки, яку багато років очолював представник АН УРСР С.В. Свечніков.

Внесок вчених ІН АН УРСР у становлення оптоелектроніки був широко визнаний у наукових колах Радянського Союзу. Доречно навести кілька висновків відомих учених.

*В.М. Глушков (1923—1982), академік АН СРСР, академік АН УРСР, директор Інституту кібернетики АН УРСР: «Створено науковий фундамент нового напрямку в електроніці, розрахованого як на далеку перспективу, так і на вирішення багатьох науково-технічних завдань, які гостро стоять перед обчислювальною технікою, приладобудуванням, радіоелектронікою вже зараз».*

*В.М. Тучкевич (1904—1997), академік АН СРСР, директор Фізико-технічного інституту ім. А.Ф. Йоффе АН СРСР: «Велика теоретична робота, виконана авторами, дозволила чітко сформулювати основні ідеї оптоелектроніки, виявити її можливості і переваги перед наявними способами обробки інформації».*

Важливим етапом на шляху розвитку оптоелектроніки стало створення сектору (в подальшому — відділення) оптоелектроніки Інституту напівпровідників АН УРСР відповідно до Постанови Президії АН УРСР від 26 березня 1980 р. № 129. Згідно з цією Постановою, основними напрямками наукової діяльності відділення слід вважати:

- фундаментальні дослідження взаємодії випромінювання з речовиною та процесів, пов'язаних з генерацією і рекомбінацією носіїв заряду;
- теоретичні та експериментальні дослідження механізмів оптоелектронного перетворення.

Постановою було також передбачено значне розширення повноважень відділення оптоелектроніки як науково-організаційної структури (фінансу-

вання окремим рядком, ліміт на кількість аспірантів, підпорядкування вченої ради безпосередньо Відділенню фізики і астрономії АН УРСР, керівник відділення за посадою є заступником директора Інституту та ін.). Замість періодичного збірника «Полупроводниковая техника и микроэлектроника», який виходив в Інституті з 1966 р., було засновано збірник «Оптоэлектроника и полупроводниковая техника», перший номер якого з'явився у 1982 р.

Дослідження, які проводилися у відділенні, відповідали найвищим вимогам свого часу, тому відділення працювало в тісній співдружності з підприємствами Радянського Союзу і брало активну участь у становленні оптоелектроніки не тільки як наукового напрямку, а й як галузі народного господарства. Оскільки ідейний потенціал оптоелектроніки міг бути використаний багатьма галузями народного господарства, вчені відділення запропонували спеціальні форми співпраці з промисловістю — міжгалузеві лабораторії, які створювалися на кошти відповідних міністерств і мали забезпечити вирішення таких завдань:

- розроблення нових видів продукції з вищими якісно-технологічними параметрами, ніж у наявних функціональних аналогів;
- якнайшвидше впровадження дослідних зразків у виробництво (проект з перших кроків свого виконання був орієнтований на технологічний комплекс конкретного підприємства і тому набагато легше сприймався виробництвом).

Важливу роль відігривала також унікальна можливість динамічної концентрації зусиль фахівців різного профілю. Це була нова і досить ефективна форма співпраці з промисловістю. Першим таким творчим об'єднанням стала лабораторія оптоелектроніки Інституту напівпровідників АН УРСР та НВО «Точелектроприлад» Мінприладпрому (керівник — П.Ф. Олександрко), основним завданням якої було створення принципово нових аналогових електровимірювальних приладів без механічно рухомих деталей.

Цілоком зрозуміло, що для приладобудування це було принциповим, оскільки відкривало нові технологічні можливості в напрямі використання високоефективних інтегральних технологій твердотільної електроніки та оптоелектроніки у сфері електровимірювальних приладів. Завдання було успішно виконано, і в серійне виробництво було впроваджено перші в колишньому Радянському Союзі аналогові вимірювальні прилади — мілівольтметр Ф5090 і міліамперметр Ф5033 та їх аналоги.

Було організовано лабораторії з ВО «Електроприлад» Мінприладпрому (керівник — А.К. Смовж); з установами Мінелектропрому СРСР — НДІ «Сапфір», м. Москва (керівник — М.І. Сипко) та НДІ «Волга», м. Саратов (керівник — В.М. Сорочкін), а також відділ з Мінавіапромом (керівник — В.Є. Родіонов). Ці підрозділи вирішували актуальні проблеми приладобудування, технології рідкокристалічних засобів відображення інформації, оптимізації параметрів світлодіодів, розроблення новітньої дисплейної техніки.

**Зі спогадів С.І. Власкіної (нар. 1949),  
доктора технічних наук, співробітника відділення оптоелектроніки,  
з 1995 р. працює у Республіці Корея**

На 2-му курсі інституту [КПІ], коли В.Г. Сидякін на лекції з фізики запросив студентів, що бажують займатися наукою, у свою проблемну лабораторію, я вперше «куснула» матеріал, який за твердістю не поступається алмазу (це тяжче, ніж гризти звичайний «граніт науки», матеріал SiC твердіший). І ось до цих пір гостро свої мізки, витрачаю свої сили та свій час, із задоволенням витрачаю, на цей дивовижний матеріал. Першу свою статтю я опублікувала в 19 років. Це був фотоефект у кубічному карбіді кремнію. Роботу ту зробила зі співробітником проблемної лабораторії Алтайського, згодом співробітником нашого Інституту, В.С. Кісельовим (В.С. Кісельов останніми роками працював у О.Є. Беляєва). У 1972 р. після закінчення з відзнакою КПІ була направлена на роботу молодим фахівцем до НДІ радіоелектроніки «Квант». Тоді директор цього величезного підприємства (близько 40 000 чоловік на різних майданчиках) знайшов час особисто поговорити зі мною й направити мене туди, де могли згодитися мої знання та досвід роботи в проблемних лабораторіях КПІ, а саме, в лабораторію О.Т. Сергєєва (відділ засобів відображення інформації). У 1980 р. була переведена разом з лабораторією О.Т. Сергєєва у новостворений НДІ радіотехнічної апаратури (з 1981 року — це Київський науково-дослідний інститут радіотехнічних матеріалів — КНДІ РТМ виробничого об'єднання ім. С.П. Корольова), який був містком між АН УРСР та підприємствами галузі (Міністерство промисловості засобів зв'язку — МПЗЗ). У 1987 р. переведена до відділення оптоелектроніки ІН АН УРСР. У 1982 р. захистила кандидатську дисертацію (керівники — С.В. Свечніков і О.Т. Сергєєв), у 2004 р. — докторську. У 1994 р. отримала Державну премію в галузі науки і техніки. З 1995 року читаю лекції в різних університетах Південної Кореї з фізики, технологій тонких плівок, математики, англійської і російської мов. Ось начебто і все життя... про карбід кремнію.

Проведений комплекс науково-дослідних та дослідно-конструкторських робіт переконливо довів, що використання елементів і засобів оптоелектроніки дає змогу підвищити рівень технічних характеристик приладів і поліпшити їх техніко-економічні показники завдяки оригінальним принципам побудови та використанню сучасних інтегральних технологій при їх виробництві.

За безпосередньої участі відділення оптоелектроніки ІН АН УРСР було розроблено і впроваджено у виробництво цілу низку оптоелектронних приладів, більшість з яких були не тільки першими у своєму класі (наприклад, електровимірвальні), а й взагалі родоначальниками нового класу приладів електронної техніки і радіоелектроніки. Назвемо деякі з них:

- перші вітчизняні оптрони ТОП-52, ОЭП-1, ОЭП-2, ОР201А, ОР202А, ОР203А, ОР202Б, перші вітчизняні вимірвальні прилади з оптоелектронними шкалами Ф5090, Ф5033, 43 302, 43 103;
- перший вітчизняний високовольтний вимірвач з волоконно-оптичним роздільним трансформатором Ф4372;
- перший вітчизняний цифровий нановольтметр з оптоелектронним перетворювачем В2-38.



Тут розглянуто лише частину розробок — засоби відображення інформації, позиційно-чутливі фотоприймачі та інші технологічні розробки.

***Зі спогадів П.С. Смертенка (нар. 1948),  
старшого наукового співробітника ІФН ім. В.Є. Лашкарьова***

*На початку сімдесятих років в Інститут напівпровідників завітав Володимир Чупринін [1933—2002], український кінооператор-документаліст, з проханням створити точковий світлочутливий датчик для фотоекспонетра, вбудованого в об'єктив кіноапарата. Особливістю такого датчика була необхідність суміщення з максимумом спектральної чутливості ока,  $\lambda = 555$  нм при денному та  $\lambda = 507$  нм при нічному освітленні. Наша група під керівництвом Анатолія Георгійовича Синицина досліджувала та виготовляла дослідні партії фоторезисторів на основі твердих розчинів CdS та CdSe. Тому питання було тільки у мікромініатюризації фоторезистора. Після кількох спроб нам вдалося зробити фоторезистор розміром  $1,5 \times 1,5$  мм. На жаль, ця робота закінчилася тільки статтею, авторським свідоцтвом на винахід та одним експериментальним зразком кіноапарата (А.с. СРСР, 1975; Богданович, 1975).*

Науковий потенціал новоствореного відділення оптоелектроніки зріс завдяки приєднанню нових наукових підрозділів, зокрема відділу плазмових явищ у напівпровідниках під керівництвом В.К. Малютенка.

У 1986 р. С.В. Свечнікову разом з іншими науковцями було присуджено Державну премію СРСР в галузі науки і техніки «За розроблення приладів некогерентної оптоелектроніки з високими техніко-економічними показниками, їх промислове освоєння та широке впровадження у народне господарство».

Значне розширення відділення оптоелектроніки відбулося у 1991 р. внаслідок приєднання підрозділів В.С. Лисенка, О.І. Власенка та ін.

Подальший розвиток оптоелектроніки не тільки цілком виправдав очікування щодо перспектив цієї сфери, а й значно розширив коло її ідей у науковому, технологічному і соціальному планах. Сучасна оптоелектроніка у всьому світі вважається стратегічним напрямом науково-технічного прогресу, її здобутки входять до загальних надбань людства: сонячна енергетика, Інтернет, оптичний зв'язок, мобільний зв'язок, засоби відображення інформації, прилади для забезпечення завадостійкості і високої чутливості засобів обробки і передачі інформації. Це віхи, які визначають рівень розвитку сучасного інформаційного суспільства.

Зараз людство стоїть на порозі використання ще одного видатного досягнення оптоелектроніки — нової технології генерації світла, яка в кілька разів ефективніша за традиційні. Це спричинить революцію у сфері освітлення, на яке людство витрачає близько 30 % електроенергії, що виробляється. Неважко уявити собі позитивний вплив цієї технології на вирішення соціальних, екологічних і енергетичних проблем людства.

Співробітники відділення оптоелектроніки не стояли осторонь цього наукового напряму.

Глобалізація проблем і, відповідно, масштабність і кількість завдань зробили оптоелектроніку найактуальнішим і одночасно масовим напрямом досліджень. Над її розвитком у всьому світі працюють тисячі фірм, видаються десятки фахових журналів, випускаються тисячі найменувань продукції, кількість якої вимірюється мільярдами одиниць. В таких умовах тільки вузька спеціалізація дає змогу досягти успіху. Відповідно змінився кількісний склад і структура відділення оптоелектроніки. Зокрема, крім традиційних напрямів (фізика оптоелектронних приладів, засоби відображення інформації), з'явилися нові — фізика проблем дефектоутворення і нерівноважних процесів у складних напівпровідниках, біосенсорика для медико-біологічних завдань та ін. У першому випадку утворення напряму пов'язане з тим, що більшість оптоелектронних приладів побудована на бінарних і складніших сполуках, фізика деградаційних явищ у яких вивчена недостатньо. У біосенсорах однією з найпривабливіших рис є висока чутливість, буквально на молекулярному рівні.

## 8.1. Структура і розвиток наукової школи оптоелектроніки

Для наочності структуру наукової школи оптоелектроніки зображено на схемі (див. вклейку).

### Характеристика наукової школи С.В. Свечнікова

*Засновник школи* — С.В. Свечніков.

*Послідовники* — П.Ф. Олексенко, О.М. Зюганов, Е.Б. Каганович, А.К. Смовж, В.Б. Богданович, М.І. Красніков, Л.В. Зав'ялова, В.Г. Чала, Т.Я. Горбач, А.М. Шарадкін.

*Учні послідовників* — В.М. Сорокін, Р.Я. Зелінський, Ю.В. Коломзаров, Ю. Письменний, В.М. Міхелашвілі, П.С. Смертенко, Н.М. Корінь, З.В. Берішвілі, Е.Г. Манойлов, А.М. Ханова, Л.І. Фененко, Н.М. Рощина, В.Б. Горловський, М.М. Рахлін та ін.

*Наукова продуктивність і потенціал школи*: понад 30 монографій, більш як 800 статей, понад 250 патентів України, а.с. СРСР; один академік НАН України, два члени-кореспонденти НАН України, чотири академіки інших академій, понад 25 докторів наук, більш як 60 кандидатів наук.

*Проблемно-тематична широта*: фізико-технічні і прикладні розробки з основ некогерентної оптоелектроніки; прилади некогерентної оптоелектроніки з високими техніко-економічними показниками та їх широке впровадження у народне господарство; оптичні та оптоелектронні реєструвальні середовища і голографія; оптоелектронне приладобудування; фізика оптоелектронних приладів, у тому числі інжекційно-контактні явища; рідкі кристали; фізико-технічні проблеми іонно-легованих напівпровідників і багатошарових структур на їх основі; оптоелектронні функціональні перетворювачі; дефектоутворення та нерівноважні процеси в склад-

них напівпровідниках; плазмові явища в напівпровідниках; оптоелектроніка напівпровідникових молекулярних структур; поляритонна оптоелектроніка; тонкоплівкові електролюмінесцентні пристрої відображення інформації; органічна електроніка.

*Географічна широта:* Україна, США, Ізраїль, Японія, Швеція, Південна Корея, Німеччина.

*Офіційне визнання важливості досліджень наукової школи:* одна Державна премія СРСР, сім Державних премій України, три інші премії.

### **Хронологія наукової школи С.В. Свечнікова**

- 1961** Організовано відділ фізики радіотехнічних приладів, згодом — відділ мікрофотоперетворювачів (керівник — С.В. Свечніков)
- 1963** Створено сектор мікроелектроніки, в який, крім відділу мікрофотоперетворювачів, входив відділ тонких плівок під керівництвом В.Є. Косенка
- 1966** До сектору мікроелектроніки увійшов відділ електролюмінесценції (керівник — Н.А. Власенко)
- 1967** Створено першу міжвідомчу лабораторію із заводом «Точелектроприлад» (керівник лабораторії від Інституту — П.Ф. Олексенко)
- 1971** Видано монографію С.В. Свечнікова «Элементы оптоэлектроники»
- 1973** Створено другу міжвідомчу лабораторію із заводом «Точелектроприлад» (керівник лабораторії від Інституту — А.К. Смовж)
- 27.12.1973** С.В. Свечнікова обрано членом-кореспондентом АН УРСР за спеціальністю «Оптоелектроніка»  
Державна премія УРСР в галузі науки і техніки за розроблення фізико-технічних основ некогерентної оптоелектроніки (С.В. Свечніков, Н.А. Власенко, П.Ф. Олексенко, О.М. Зюганов, А.К. Смовж разом з представниками промисловості і АН Грузинської РСР)
- 1974** Виділено кошти та земельну ділянку для розвитку робіт з оптоелектроніки
- 1979** Створено секцію фізичних основ некогерентної оптоелектроніки в Науковій раді з фізики і хімії напівпровідників АН СРСР (керівник — С.В. Свечніков)  
Організовано відділ оптоелектронного приладобудування (керівник — П.Ф. Олексенко)
- 1980** Створено сектор (у подальшому — відділення) оптоелектроніки Інституту напівпровідників АН УРСР відповідно до Постанови Президії АН УРСР від 26 березня 1980 р. № 129  
Організовано відділ оптоелектронних функціональних перетворювачів (керівник — А.К. Смовж)  
Розширено відділення оптоелектроніки внаслідок приєднання відділу фізичних основ інтегральної електроніки (керівник — В.Г. Литовченко) та відділу плазмових явищ у напівпровідниках (керівник — В.К. Малютенко)
- 1982** Збірник «Полупроводниковая техника и микроэлектроника» реорганізовано у збірник «Оптоэлектроника и полупроводниковая техника»

- 1983** Премія Ради Міністрів СРСР за розроблення нових технологій (Г.Є. Богославський разом з Ф.М. Воробкалом, Л.Й. Зарубіним, В.К. Малютенком, О.Г. Миселюком, І.Ю. Немішем, І.Ф. Полетаєвою, В.І. Чуприною, Л.Т. Яценком)  
Державна премія УРСР у галузі науки і техніки за розроблення та дослідження матеріалів і структур електронної техніки (С.В. Свечніков разом з К.Д. Глинчуком, Л.І. Даценком, Ю.О. Тхориком)
- 1984** Створено лабораторію електролюмінесцентних індикаторів (керівник — В.Є. Родіонов)  
Створено лабораторію фізичних основ оптоелектронного матеріалознавства (керівник — М.Л. Дмитрук)
- 1985** Організовано міжвідомчу лабораторію з НДІ «Сапфір» Мінелектропрому СРСР, м. Москва (керівник — М.І. Сипко)
- 1986** Державна премія СРСР в галузі науки і техніки «За розроблення приладів некогерентної оптоелектроніки з високими техніко-економічними показниками, їх промислове освоєння та широке впровадження у народне господарство» (С.В. Свечніков разом з іншими науковцями СРСР)  
Організовано міжвідомчу лабораторію з НДІ «Волга» Мінелектропрому СРСР, м. Саратов (керівник — В.М. Сорокін)
- 1987** Державна премія УРСР в галузі науки і техніки за цикл робіт «Розробка і впровадження елементів і пристроїв оптичної обробки інформації в ІЧ-діапазоні» (В.К. Малютенко, С.С. Болгов, А.І. Ліптуга, Г.І. Тесленко, Є.І. Яблоновський)  
Організовано відділ з Мінавіапромом (керівник — В.Є. Родіонов)
- 1988** С.В. Свечнікова обрано академіком АН УРСР за спеціальністю «Оптоелектроніка»
- 15.01.1988** Державна премія УРСР в галузі науки і техніки за роботу «Фізичне обґрунтування і промислове освоєння діагностики технології напівпровідникових матеріалів  $A^3B^5$ , їх твердих розчинів та розробка функціональних пристроїв на їх основі» (П.С. Смертенко разом з І.П. Тягульським)
- 1989** організовано Херсонський відділ технології матеріалів для оптоелектроніки (керівник — І.Є. Марончук)
- 1991** Розширено відділення оптоелектроніки, зокрема приєднано:
- відділ фізико-технічних проблем іонно-легованих шаруватих структур (керівник — В.С. Лисенко)
  - відділ фізичних проблем ретроспективної дозиметрії (прикладні застосування радіоспектроскопії) (керівник — О.А. Бугай)
  - лабораторію фізики оптоелектронних приладів (керівник — С.О. Костюкевич)
  - лабораторію оптоелектронних та мікроелектронних біосенсорів (керівник — Ю.М. Ширшов)
  - лабораторію оптоелектронних молекулярно-напівпровідникових систем (керівник — О.М. Гецько)

- лабораторію фізико-хімічних проблем надійності (керівник — О.І. Власенко)
  - лабораторію гетероепітаксійних вимірювальних перетворювачів (керівник — Ю.М. Шварц)
- 1993** Державна премія України в галузі науки і техніки за цикл праць «Комплексне дослідження фізичних властивостей карбиду кремнію і розробка на його основі напівпровідникових приладів, що працюють в екстремальних умовах» (С.І. Власкіна разом з Л.Й. Бережинським, М.Я. Валахом, Є.Ф. Венгером, О.Т. Сергєєвим)  
новий керівник Херсонського відділу технології матеріалів для оптоелектроніки — С.В. Шутов
- 1995** П.Ф. Олексенка обрано членом-кореспондентом НАН України за спеціальністю «Експериментальна фізика»
- 14.04.1995** Лабораторію оптоелектронних та мікроелектронних біосенсорів перетворено на відділ (керівник — Ю.М. Ширшов)  
Лабораторію оптоелектронних молекулярно-напівпровідникових систем перетворено на відділ (керівник — О.М. Гецько)
- 1996** Лабораторію фізичних основ оптоелектронного матеріалознавства перетворено на відділ (керівник — М.Л. Дмитрук)
- 1997—1999** Співпраця з С. Накамурую (Shuji Nakamura), який у 2014 р. став лауреатом Нобелівської премії
- 2003** Премія ім. В.Є. Лашкарьова НАН України за роботу «Фізичні механізми і роль дефектів в самоорганізації та бістабільності тонкоплівкових електролюмінесцентних структур на основі напівпровідників  $A^{II}B^{VI}$ » (Н.А. Власенко, З.Л. Денисова, Я.Ф. Кононець)
- 2005—2007** Співпраця з Ч. Адачі (Chihaya Adachi), Японія
- 2009** Державна премія України в галузі науки і техніки за розроблення вискоєфективних технологій оптоелектроніки і комунікаційних систем на їх основі (Г.О. Сукач)
- 2015** В.М. Сорокіна обрано членом-кореспондентом НАН України за спеціальністю «Матеріалознавство, світлотехнічні матеріали»
- 06.03.2015**
- 2016** Державна премія України в галузі науки і техніки за роботу «Енергоєфективні світлодіодні освітлювальні системи» (В.М. Сорокін, А.В. Рибалочка, В.І. Корнага).

## 8.2. Наукові досягнення школи оптоелектроніки

Наукові дослідження школи оптоелектроніки проводилися в кількох напрямках:

- розроблення технологій створення структур та приладів оптоелектроніки;
- дослідження фізичних характеристик матеріалів, структур та приладів оптоелектроніки;



- розроблення нових приладів оптоелектроніки;
- розроблення нових ідей побудови оптоелектронних приладів і систем.

Дослідження проводили в основному на плівкових структурах, що було цікаво як з боку особливостей фізики процесів, так і в плані їх практичного використання. Саме використання плівкових фоточутливих та випромінювальних структур відкривало нові можливості в побудові оптоелектронних приладів, в основу функціонування яких було покладено принцип геометрично-просторової модуляції випромінювання (прилади відображення інформації, перетворювачі переміщення в код, фотопотенціометри, позиційно чутливі фотоприймачі тощо) (С.В. Свечніков, П.Ф. Олексенко, О.М. Зюганов, М. Красніков, А.К. Смовж, В.Б. Богданович).

Було досліджено і розвинуто наукові уявлення про процеси, відповідальні за фотоелектричні явища в плівкових фоторезисторних структурах на основі широкозонних напівпровідників  $A^{IV}B^{VI}$ . Створено методологію формування таких структур з огляду на практичні вимоги розвитку елементної бази оптоелектроніки і з метою підвищення ефективності їх використання (С.В. Свечніков, Е.Б. Каганович, В.Г. Чала, Т.Я. Горбач).

Значних успіхів було досягнуто в технології отримання тонких плівкових структур і опрацьовано методи вакуумного напорошення в квазізамкненому об'ємі, іонно-плазмового розпилення, хімічного осадження з водного розчину з наступною активацією (С.В. Свечніков, Е.Б. Каганович, В.Г. Чала, О.Л. Штрум, А. Тимченко, В. Островська).

Вперше було запропоновано і відпрацьовано методи фотолітографічних технологій ( $A^{IV}B^{VI}$ ) для формування просторової структури приладоконтактних груп (С.В. Свечніков, В.М. Міхелашвілі).

Розвинуто систему електрофізичної діагностики напівпровідникових структур та приладів на основі теорії інжекційно-контактних явищ, що дало змогу створити методики визначення параметрів нерівноважних носіїв заряду, енергії та концентрації локальних центрів забороненої зони у напівпровідниках, способи контролю стабільності та якості польового транзистора, а також спосіб перевірки вимірювачів інтегральних величин, які захищено авторськими свідоцтвами СРСР та патентами України (С.В. Свечніков, О.М. Зюганов, П.С. Смертенко, Л.Л. Федоренко, А.І. Іванов). Це дало можливість вперше, в 1979 р. експериментально довести існування електролюмінесценції в оксидних напівпровідниках РbО (спільно з М.К. Шейнкманом та І. Городецьким) та дослідити механізм електропровідності у світловипромінювальному діоді на основі GaN (спільно з В.М. Міхелашвілі).

Встановлено закономірності в кінетиці згасання ЕЛ у плівках ZnS:Mn залежно від концентрації Mn, змін температури, умов збудження і технологічних факторів. Виявлено наявність кількох Mn-центрів з різним часом існування в збудженому стані та ідентифіковано їх природу. Було пояснено фізичні процеси, що зумовлюють бістабільність електричних і випромінювальних характе-

ристик тонкоплівкових електролюмінесцентних структур (ТПЕЛС) на основі ZnS:Mn, а також механізм власної пам'яті в цих ТПЕЛС. Показано, що основним процесом, який відповідає за ці явища, є формування просторового позитивного заряду внаслідок ударної іонізації ізовалентних марганцевих пасток. Це зумовлює зворотний позитивний зв'язок між процесами генерації вільних електронів і підсилення поля в ЕЛ-плівці, а отже, і ударного збудження люмінесцентних центрів (Н.А. Власенко, В.С. Хомченко, С.А. Зиньо, А. Гергель).

Вперше у світінні бістабільних ТПЕЛС виявлено самоорганізацію, що полягає в спонтанному формуванні, за певних умов збудження, різних динамічних, просторово неоднорідних картин: доменів, шнурів, автосолітонів, періодичних або тригерних автохвиль. З'ясовано роль умов виготовлення ТПЕЛС збудження ЕЛ, а також вплив різних дефектів і зовнішніх факторів на типи та властивості цих картин. Визначено фізичні процеси, які відіграють роль активатора та інгібітора самоорганізації в цьому дисипативному середовищі. Отримані результати значно розширили сучасні уявлення про механізми бістабільності ТПЕЛС та явища самоорганізації в їх світінні і є дуже цікавими з точки зору створення нових оптоелектронних пристроїв і структур нейроподібного типу. Ці здобутки було відзначено премією ім. В.Є. Лашкарьова НАН України (Н.А. Власенко, З.Л. Денисова, Я.Ф. Кононець).

Розвиток матрично-групових принципів формування зображень у пристроях відображення інформації дав змогу вперше створити твердотільні екрани і аналого-дискретні шкальні індикатори для вимірювальних пристроїв (С.В. Свечніков, Г.Є. Богославський, Р.Є. Богуславський, П.Ф. Олексенко, А.М. Шарадкін).

Показано перспективність і запропоновано практичні рішення з використання волоконно-оптичних елементів і масивів як важливих конструктивних і функціональних елементів в оптоелектроніці, зокрема, в сенсоріці, пристроях обробки відображень, упорядкування зв'язків (С.В. Свечніков, Н. Гаприндашвілі, Р.П. Джангобегов).

З'явилася потреба в розробленні методів аналізу і синтезу оптоелектронних приладів, аналітичного опису їхніх функцій, теорії оптоелектронних кіл, методів розрахунку і проектування в оптоелектроніці (С.В. Свечніков, П.Ф. Олексенко, В.М. Сорокін).

На той час було вже зрозуміло, що оптоелектроніка потребує більш високого рівня узагальнення на шляху моделювання процесів і приладів, оскільки їхній фізичний базис набагато ширший, а природа сигналів має адекватний хвильовий і електричний дуалізм. Для подолання цих труднощів було запропоновано кілька методик.

Перша заснована на розробленні узагальнених матрично-векторних та матрично-топологічних параметрів оптоелектронних систем, які пов'язують в одне ціле їхні зовнішні характеристики з параметрами компонент і структурою електричних та оптичних зв'язків між ними (П.Ф. Олексенко,

В.С. Кретулiс, В.М. Сорокін). Друга побудована на єдиній методології запису рiвнянь стану оптоелектронних систем на основі закону збереження енергії в узагальненому вигляді і тому однаково ефективна для адекватних напрацювань з простором параметрів як у хвильовому координатному базисі — енергія, коефіцієнти передачі і рефракції, так і в електричному — струм, напруга, заряд, провідність (П.Ф. Олексенко).

Розвиток аналітичних методів відкрив нові шляхи в дослідженні системних аспектів оптоелектронного перетворювання, які привели до розроблення принципово нових алгоритмів функціонування і структурної організації інформаційно-обчислювальних систем. Вперше було показано, що характеристичні властивості оптоелектронних перетворювачів — односпрямованість передачі, відсутність трансформації імпедансу або самоузгодженість, можливість паралельно обробляти велику кількість сигналів — роблять їх ідеальним середовищем для практичної реалізації біологічних та нейротехнічних принципів організації систем обробки інформації. Було запропоновано нові методи побудови просторових фільтрів і підсилення зображень (С.В. Свечніков, О.М. Шквар).

Упродовж 1990—2010 рр. було досягнуто вагомих наукових і науково-технічних результатів.

Методом імпульсного лазерного осадження здійснено формування КТ Si з фотолюмінесценцією у видимому діапазоні спектра за кімнатної температури. Контроль за фотолюмінесцентними властивостями плівок з Si КТ ґрунтується на встановленій структурній моделі, що містить квантоворозмірні нанокристали Si в SiO<sub>2</sub>-матриці та моделі екситонної ФЛ (С.В. Свечніков, Е.Б. Каганович, Е.Г. Манойлов).

Методом гетерогенного піролізу МОС отримано плівки моносольфiду самарію кубічної модифікації, визначено рекомбінаційні параметри та механізми струмопроходження в полікристалічних напівпровідникових плівках моносольфiду самарію. Показано, що рекомбінаційний бар'єр у полікристалічних плівках SmS зумовлений рекомбінаційними рiвнями  $E_1 = 0,23$  еВ,  $E_2 = 0,17$  еВ з концентраціями дозаповнення  $N_1 = 10^{15}$  см<sup>-3</sup>,  $N_2 = 10^{17}$  см<sup>-3</sup>, перерізами захоплення  $g_1 = 10^{-11}$  см<sup>3</sup>/с,  $g_2 = 10^{-13}$  см<sup>3</sup>/с та часом життя неосновних носіїв на них  $t_1 = 10^{-8}$  с,  $t_2 = 10^{-10}$  с. При цьому в моносольфiді самарію реалізується режим подвійної інжекції носіїв заряду з бі- та мономолекулярною рекомбінацією. Показано, що застосування двошарової металізації (Cr+Co; Ti+Ni) контакту до SmS реалізує стабільний, відтворюваний, з низьким опором омичний контакт при Ti+Ni та інжектувальний контакт при Cr+Co (С.В. Свечніков, А.В. Ханова, Л.В. Зав'ялова, П.С. Смертенко).

Показано, що просторовий розподіл світла, яке виникло при розсіянні поверхневих хвиль наночастинок олова, характеризується двома потужними максимумами: одним у напрямі поширення поверхневої хвилі, другим — у протилежному напрямі. Для наночастинок галію такий розподіл характе-

ризується одним максимумом у попутному напрямку. Така розбіжність пояснюється впливом бімодального розподілу розмірів наночастинок олова.

Дослідження польової емісії наноструктурованої поверхні 6H-SiC:N показали, що створювані лазерним опроміненням нановістря є ефективними джерелами емісійного струму (С.В. Свечніков, С.І. Власкіна).

Встановлено, що електричні поля, прикладені нормально до поверхні високотемпературних надпровідникових керамічних зразків, впливають на фундаментальні параметри надпровідності (критичну температуру надпровідникового переходу, критичну густину струму тощо).

Виявлено, що патерни  $As_2O_3$  —  $rpn^+GaAs$ -системи, отримані методом анізотропного хімічного травлення в розчині  $(10-15)n HNO_3$  верхньої поверхні  $p$ -типу  $rpn^+GaAs$ -структури, мають скелетно-дендритну морфологію з розміром кластера близько 5—10 мкм та розміром окремих елементів до 50 нм. Вони вкриті хемісорбованими нанорозмірними нестехіометричними шарами  $As_2O_3$  з Ga-вакансіями і вільним As в інтерфейсі GaAs завтовшки 1—10 нм. Завдяки наявності таких нанорозмірних мультишарів спостерігається збільшення напруги холостого ходу  $V_{oc}$  в півтора рази і струму короткого замикання  $I_{sc}$  до двох порядків у фотовольтаїчному режимі (С.В. Свечніков, Т.Я. Горбач, П.С. Смертенко).

Розроблено підходи до створення композитів на основі плівок  $V_2O_5$  та полімерів — поліепоксипропілкарбазолу (ПЕПК) і 3,6-ди-Br-ПЕПК. Виявлено взаємозв'язок між морфологією поверхні і структурою полімерних композитних плівок та їх електрофізичними й оптичними властивостями. Люмінесцентні властивості композитних плівок зумовлені наявністю комплексів з переносом заряду; провідність полімерів підвищується на кілька порядків у разі введення в них  $V_2O_5$  (С.В. Свечніков, П.С. Смертенко, Л.І. Фененко).

Показано, що механічні напруження порядку  $10^9$  дн/см<sup>2</sup> уже впливають на показання діодних сенсорів температури; деформація пластин кремнію, орієнтованих у напрямках, відмінних від [001], повністю знімає потрійне виродження частоти оптичного фонона в кристалах типу алмазу; захисні покриття  $SiO_2$  та  $Si_3N_4$  спричиняють механічні напруження у верхньому шарі кремнію протилежного характеру; величина цих напружень досягає значень, здатних впливати на електричні характеристики кремнієвих структур.

Проведено аналітико-чисельне моделювання процесів росту тонких епітаксійних плівок GaN при нітридизації монокристалічних підкладок GaAs та отримано і проаналізовано профілі розподілу атомів основних хімічних елементів, що входять до складу сполук епітаксійних плівок GaN та підкладки GaAs. Виявлено вплив параметрів відпалу в радикалах азоту на люмінесцентні властивості епітаксійних плівок GaN:Zn, отриманих методом МОС-гідридної епітаксії. За температур відпалу 500—700 °C виявлено і досліджено нові смуги з енергіями в максимумах 3,27 і 3,42 еВ, інтенсивність яких збільшується зі зростанням температури відпалу, що пов'язано з рекомбінацією донорно-акцепторних пар.

Розраховано особливості проходження світла крізь межі поділу дисипативних середовищ, нанорельєфні провідні півки та періодично профільовані шари в напівпровідникову підкладку. Виявлено нерезонансне збудження поверхневих електромагнітних хвиль у дисипативних середовищах і показано позитивну роль поверхневих плазмонів у проходженні світла крізь нанорельєфні інтерфейси з різним ступенем кореляції.

Визначено домінуючі механізми рекомбінації носіїв заряду і струмоперенесення у вузькощілинних напівпровідниках (зокрема, HgCdTe) і встановлено особливості цих процесів у неоднорідних кристалах. Виявлено механізми деградації, пов'язані з розшаруванням компонент у залишкових пружних полях і пружних полях протяжних дефектів. На основі гетеросистем HgCdTe—CdTe, в тому числі варізонних, створено широкопasmові і селективні, фоточутливі в діапазоні 2—15 мкм, фоторезистивні та малоінерційні фотовольтаїчні елементи.

Встановлено домінуючі механізми трансформації систем дефектів під дією зовнішніх полів різної фізичної природи (імпульсне лазерне опромінення,  $\gamma$ -опромінення, ультразвук, механічні навантаження, термоцикування тощо) на кристали CdTe, CdHgTe та їх вплив на функціональні параметри цих матеріалів і приладових структур на їх основі.

Визначено фізичні умови і механізми дії потужного імпульсного лазерного випромінювання на кристали  $A_2B_6$ ,  $A_3B_5$  і на їх основі створено низку лазерних методів формування квазівпорядкованих поверхневих наноструктур, а також бар'єрних, в тому числі гомо- і гетероструктур різного призначення, зокрема ІЧ-фотоприймачів, спектрометричних детекторів радіаційного випромінювання тощо.

Розроблено акустоемісійний метод виявлення і дослідження початкових стадій природної та індукованої зовнішніми впливами деградації напівпровідникових матеріалів і структур, зокрема світловипромінювальних структур на основі Ga(N,P,As), CdTe та ін.

Уперше теоретично й експериментально доведено, що ефект «current crowding» призводить до неоднорідного розподілу світловипромінювання, провокує локальні перегриви в активних елементах ІЧ-світлодіодів (планарна конструкція) і гігантські температурні градієнти (30000 °C/см) у випромінювальних структурах, які знижують ефективність випромінювачів, прискорюють деградацію та руйнування приладу.

Досліджено оптичні та електрооптичні властивості нових бістабільних холестеричних рідкокристалічних сумішей і розроблено технологічні методи керування орієнтаційними параметрами таких матеріалів. На основі моделювання оптичних характеристик холестеричних рідкокристалічних структур знайдено взаємозв'язок між орієнтаційною впорядкованістю структур та їх оптичними властивостями, що дало змогу оптимізувати функції простору параметрів дисплеїв: оптичних, технологічних, матеріалознавчих, електричних.



Доведено можливість створення волоконно-оптичного протяжного сенсора акустичних і механічних коливань, а також волоконно-оптичної охоронної системи периметра на його основі.

З'ясовано і вивчено механізми збудження випромінювання світла різного типу наноструктурами на основі Ge і Si та світловипромінювальними домішками рідкісноземельних елементів (Er, Tb, Gd) в ізоляторних матрицях SiO<sub>2</sub> та гідрогенізованого Si в гетероструктурах Si—SiO<sub>2</sub> (Ge, Si, Er та ін.) і Si—SiH (Er) за високих рівнів інжекції носіїв, що дало можливість розробити ефективні електролюмінесцентні джерела світла в інтервалі довжин хвиль від видимого до ближнього інфрачервоного.

Найбільш вагомими науково-технічними розробками є такі.

Розроблено способи підвищення інтенсивності та стабільності видимої ФЛ плівок Si з КТ за допомогою легування плівок під час їх формування атомами золота і вуглецю.

Отримано нанокристаліти на поверхні 6H-SiC:N під дією N<sub>2</sub>-лазера. Встановлено пороги незворотних змін на поверхні 6H-SiC:N під дією N<sub>2</sub>-лазера: утворення нанокристалітів I<sub>пн</sub>; I<sub>пн</sub> ~5,65 Дж/см<sup>2</sup> на поверхні 0001 та 5 Дж/см<sup>2</sup> на поверхні 000і, які не залежать від навколишнього середовища (повітря, вакуум, інертний газ).

Отримано і досліджено нові композитні структури зі світінням яскравого синьо-зеленого кольору, що містять нанорозмірні частинки ZnS і CdS. У результаті відпрацювання технологічних режимів отримано плівки ZnS:Cu з яскравою фотолюмінесценцією. Розроблено тонкоплівковий електролюмінофор зі світінням синього кольору ( $\lambda_{\max} = 455$  нм), з яскравістю 10 кд/м<sup>2</sup> при збудженні синусоїдальною напругою частотою 5 кГц, 60 В. Характер деградації отриманого електролюмінофора такий самий, як для промислових люмінофорів (наприклад, Zn:Mn) (Л.В. Зав'ялова, В.С. Хомченко, Н.М. Рощина).

Виготовлено лабораторні зразки позаосьових кільцевих лінз Френеля. Розроблено технологію запису лінз на основі нанокристалітів халькогенідних стекол, що відповідає вимогам сучасних цифрових каналів зв'язку і може бути прийнята як базова для розроблення та створення промислової технології запису лінз для багатоканальних оптичних обертючих з'єднувачів. Виготовлено ТПЕЛС на основі ZnS(Se):Cr і ZnS:Er,F. З'ясовано умови отримання ближнього (БЧ) ІЧ-випромінювання в цих ТПЕЛС. Для ZnS(Se):Cr оптимальним є МНДМ-тип структури з напівізолювальним Д-шаром (SiO<sub>x</sub>) і температурою відпалення ЕЛ плівки ~500 °С. Для ZnS:Er,F ТПЕЛС найкращі параметри БЧ-смуг випромінювання, особливо смуги 1,53 мкм, отримано в структурах МДНДМ-типу при  $T_{\text{відп}} = 300\text{—}350$  °С. Найдоцільнішим є застосування їх у спектроскопічній хімічній сенсоріці та системах налагодження і контролю систем, що детектують БЧ-випромінювання.

Запропоновано нову, просту у використанні, екологічно чисту технологію формування КТ та дротів у напівпровідникових підкладках, яка не має світових аналогів.

Створено і впроваджено широкий асортимент світлодіодних освітлювальних систем на автомагістралях, об'єктах житлово-комунального господарства та інших соціально значущих сфер (заклади Міністерства охорони здоров'я, Міністерства освіти і науки). Впроваджено у виробництво енергоощадні світлодіодні освітлювальні системи для освітлення вулиць, об'єктів ЖКГ, бюджетних установ, промислових підприємств, транспорту. Дослідні партії таких систем інстальовано на натурних об'єктах Києва, Харкова, Донецька. Впроваджено комплексні системи освітлення на об'єктах Мінінфраструктури, в тому числі на аварійно небезпечних ділянках магістральних автомобільних шляхів державного значення (В.М. Сорокін, А.В. Рибалочка, Ю.В. Коломзаров).

Розроблено і відпрацьовано технологію нанесення композиційних електролюмінофорів на основі електролюмінесцентних електропровідних полімерів (PFD, PFO) та комплексів лантанодів (Eu, Tb) з органічними лігандами ( $W_3$ ,  $W_3$ Phen) прецизійної товщини з наперед заданими параметрами. Ця технологія дає змогу виготовляти однорідні плівкові зразки завтовшки від 50 до 1000 мкм з фотолюмінофорних суспензій на основі епоксидних смол та силікону. Використовуючи отримані однорідні зразки, вдалося зменшити похибку обчислення методу визначення коефіцієнта поглинання люмінофорних суспензій до 3%. Запропоновано метод, за яким, використовуючи один плівковий зразок із фотолюмінофорної суспензії, можна передбачити діапазон можливих корельованих колірних температур під час створення білого світлодіода. Попередньо встановлено високу стійкість таких люмінофорів до деградації і показано, що їх доцільно використовувати при створенні білих світлодіодів з джерелом збудження 400 нм.

Запропоновано і реалізовано аналітичний метод синтезу білого світла на основі комбінації випромінювання RGB та білих (W) світлодіодів, заснований на використанні перехідної матриці RGBW-параметрів, які визначаються XYZ-хроматичними координатами результуючого світла, що дало змогу суттєво підвищити індекс кольоропередачі (понад 85) і розширити діапазон колірних температур освітлювальної системи (від 2700 до 8000 K).

Розроблено і створено макет інтелектуальної системи освітлення (ICO) на основі RGBW-світлодіодів, яка дає змогу, на відміну від багатьох аналогів, створювати штучне освітлення з параметрами, максимально наближеними до природного, а саме: забезпечує близькість колірних координат відтінків штучного білого світла на хроматичній діаграмі  $x$  $y$  до колірних координат випромінювання абсолютно чорного тіла; високі значення індексу кольоропередачі (85 і вище); можливість відтворення широкого діапазону корельованих колірних температур (від 3000 до 7000 K); порівнянність параметрів циркадного впливу на організм людини з природним освітленням. В ICO

реалізовано можливість задання задовільної динаміки зміни інтенсивності випромінювання як для відтінків білого світла, так і для окремих кольорних RGB-складових ІСО для створення, за потреби, комфортного психоемоційного впливу на людину.

Розроблено інноваційні адаптивні аналізатори типу «електронний ніс», профіль яких може бути змінений шляхом спектрально-селективного освітлення з використанням світлодіодних матриць. Побудовано алгоритми ідентифікації зі збільшеною інформативною ємністю за рахунок формування масивів віртуальних сенсорів (Б.А. Снопко, І.В. Кругленко, Ю.В. Бурлаченко, П.М. Болтовець, С.О. Кравченко).

Створено нові функціональні наноструктуровані матеріали для оптоелектроніки, фотоакустики та екстремальної електроніки (сенсорні системи, перетворювачі сонячного випромінювання, УФ-конвертори, SERS-підкладки тощо); розроблено фізико-хімічні методи аналізу (біо)хімічних процесів для потреб біології, медицини, захисту навколишнього середовища та ін. з використанням елементів і систем оптоплазмоніки та акустоелектроніки (Е.Б. Каганович, Е.Г. Манойлов, І.М. Кріщенко).

Вперше отримано нанокompозитні плівки з розподільними масивами Au(Ag)-наночастинок. Встановлено, що в 3D-масивах Au-наночастинок наявні локалізовані і делокалізовані розповсюджені моди, для яких характерний нелокальний діелектричний відгук на електромагнітне збудження, що зумовлено просторовою дисперсією діелектричної функції. На основі визначення взаємозв'язків між фізико-технологічними умовами та їх структурними властивостями продемонстровано практичне застосування цих матеріалів для поверхневого підсилення раманівського розсіювання світла. Започатковано новий напрям теоретичних досліджень процесів формування та еволюції організованих і самоорганізованих поверхневих структур методами молекулярної динаміки.

Розроблено методику отримання методом імпульсного лазерного осадження у вакуумі пористих композитних плівок з фотолюмінесцентними КТ кремнію (германію) або плазмонними НЧ золота (срібла) для сенсорних та плазмонних наноструктур оптоелектроніки. Отримано наногібридні (органонеорганічні) матеріали для формування функціональних поверхонь чутливих шарів сенсорних елементів новітнього покоління.

Практично апробовано нову концепцію динамічних методів аналізу, що ґрунтується на кінетичних проявах ініційованого аналітом перерозподілу сукупності мікроскопічних процесів у складних (біо)хімічних сумішах. Розроблено принципи динамічної паспортизації та формалізації сенсорного відгуку, що є важливим внеском у вирішення загальнофізичної проблеми пошуку унікальних маркерів нелінійних статистичних ансамблів, еволюція яких зумовлена потоком рідкісних подій у складних мультипараметричних системах різного походження.

Розроблено технологію створення гібридів органіки на кремнії з органічною плівкою гетероциклічних амінів з високою ефективністю перетворення сонячної енергії (ККД — 8%) за допомогою фоточутливого інтерфейсу. Гібриди сформовані хімічним осадженням за кімнатної температури в результаті хемосорбції функціональних амінних, амідних, карбоксильних, тіольних, галогенних та фосфорних груп на патерн-поверхню кремнію. Ефективність перетворення сонячної енергії органічно-неорганічними гібридами залежить від складу розчинника й морфології поверхні та інтерфейсу, оптимізована морфологія поверхні гібриду має квазірівноважну самоорганізацію у вигляді квадратної, ромбічної сітки або у формі кола (Т.Я. Горбач, П.С. Смертенко, Н.М. Рощина).

Зі здобуттям Україною незалежності вектор співпраці співробітників школи оптоелектроніки було спрямовано на Захід. Це полягало як у роботі за кордоном, так і у виконанні міжнародних проєктів в Україні. Так, за кордоном працювали С.І. Власкіна (Південна Корея), В.К. Малютенко (США), Л.І. Фененко (Японія, Швеція), О.В. Фурсенко (Німеччина), Т.Я. Горбач (Польща), П.С. Смертенко (Польща, Німеччина), М.Я. Рахлін (Німеччина) та ін.

Представники школи оптоелектроніки брали участь у міжнародних проєктах, які виконувалися у рамках різних програм. **Український науково-технологічний центр, УНТЦ (Science & Technology Center in Ukraine, STCU)** профінансував такі проєкти:

Проєкт № 156 «Нетрадиційні світловипромінюючі діоди» (1996—1998), керівник — В.К. Малютенко.

Партнерський проєкт № Р-044 «Перетворювач випромінювання з динамічним управлінням» (2000—2002), керівник — В.К. Малютенко.

Регулярний проєкт № 1556 «Технології та обладнання для контролю за впливом екологічних факторів на здоров'я населення, екологічну безпеку та біологічну продуктивність в Україні» (2001—2004), керівник — П.С. Смертенко, учасники — Т.Я. Горбач, Ю.М. Ширшов.

Партнерський проєкт № Р-080 «Багатоканальний точковий ІЧ-випромінювач» (2003—2005), керівник — В.К. Малютенко.

Регулярний проєкт № 2680 «Український науково-технічний журнал» (2003—2004), керівник — П.С. Смертенко.

Регулярний проєкт № 3746 «Гібридні структури органіки-неорганіки для фотовольтаїчних приладів» (2006—2008), керівник — О.П. Дімітрієв, учасники — П.С. Смертенко, Т.Я. Горбач, Е.Г. Манойлов.

Регулярний проєкт № 3927 «Нові функціональні матеріали на основі нано- та мікрокомполітів» (2008—2011), учасник — П.С. Смертенко.

**Наукові програми НАТО** підтримали такі проєкти:

Проєкт НАТО «Наука заради миру» (NATO SfP) № 971829 «Використання передових технологій створення сонячних батарей для космосу в земних умовах в Україні» (2001—2004), учасник — П.С. Смертенко.

Проведення наукового семінару (Advanced Research Workshop — NATO ARW), проєкт № 980139 «Біологія клітини та апаратура: ультрафіолетове випромінювання, окис азоту та програмована загибель клітини» (2004), співдиректор — П.С. Смертенко.

**Американський фонд розвитку цивільних досліджень (Civil Research Development Foundation, CRDF)** підтримав такі проєкти:

Проєкт UKЕ2-7035-KV-11 «Двофункціональні перетворювачі енергії на основі вертикально орієнтованих нанокристалів», керівник — О.П. Дімітрів, учасники — Д. Гринько, П.С. Смертенко.

## Основні роботи школи

### Монографії

Свечников, С.В., Смозж, А.К., Каганович, Э.Б. (1978). Фотопотенциометры и функциональные фоторезисторы. Москва: Сов. радио, 184 с.

Зюганов, А.Н., Свечников, С.В. (1981). Инжекционно-контактные явления в полупроводниках. Киев: Наук. думка, 256 с.

Свечников, С.В., Шквар, А.М. (1983). Нейротехнические системы обработки информации. Киев: Наук. думка, 221 с.

Blume, Y., Durzan, D.J., Smertenko, P. (2006). Cell Biology and Instrumentation: UV Radiation, Nitric Oxide and Cell Death in Plants. V. 371. NATO Science Series: Life and Behavioural Sciences, 340 p.

Принципи EUREKA та інших європейських країн як чинники інноваційного розвитку України. (2009). Київ: ФОП Т.А. Кінько, 76 с.

Гармонізація та синхронізація європейських та українських інноваційних програм. (2011). Київ: ТОВ «Сінта Захід», 84 с.

### Статті

Зюганов, А.Н., Михелашвили, В.М., Свечников, С.В. (1975). Влияние контактной инъекции на чувствительность и быстродействие фоторезисторов. *Радиотехника и электроника*. Т. 20, № 9. С. 1924—1933.

Васильев, А.Д., Горбач, Т.Я., Котова, Н.В., Свечников, С.В. (1975). Метод спрямованого мікропрофілювання кремнію в напівпровідниковій електроніці. *ДАН УРСР. Сер. А. Фіз.-мат. та техн. науки*. № 4. С. 367—372.

Свечников, С.В., Грекул, В.И., Шквар, А.М. (1975). Об одном подходе к проблеме обучения в многослойных нейроподобных структурах. *Микроэлектроника*. Т. 4, вып. 6. С. 561—567.

Богданович, В.Б., Каганович, Э.Б., Свечников, С.В., Синицын, А.Г., Чупрынин, В.А. (1975). Тонкопленочные фоторезисторы для экспонетрических приборов. *Техника кино и телевидения*. № 10. С. 11—12.

Горбач, Т.Я., Свечников, С.В. (1977). Профилированный лавинный фотодиод. *Електр. промисленность*. Т. 61, № 20.

Zyuganov, A.N., Svechnikov, S.V., Smertenko, P.S. (1977). Effect of Integrally Weak Diffusion on the Parameters of Current-Voltage Characteristics of Quasi-Monopolar Semiconductors. *Phys. St. Sol. (a)*. V. 43, N 1. P. 333—341.



Свечников, С.В., Попов, М.А., Шквар, А.М., Чусь, Д.И. (1979). Минимизация обобщенного спектрального анализа изображений на основе линейно-пороговых функций. *Микроэлектроника*. Т. 8, вып. 4. С. 362—371.

Городецкий, И.Я., Зюганов, А.Н., Смертенко, П.С., Чистякова, Н.Я., Шейнкман, М.К. (1979). Вольт-амперные характеристики и электролюминесценция монокристаллов РbО. *УФЖ*. Т. 24, № 9. С. 1264—1271.

Свечников, С.В. (1980). Нова форма творчої співдружності вчених і виробників. *Вісник АН УРСР*. № 9. С. 78—82.

Зюганов, А.Н., Зориков, В.В., Михелашвили, В.М., Смертенко, П.С., Чиковани, Р.И. (1980). Исследование механизма электропроводности светоизлучающих приборов на основе нитрида галлия. *Сообщения АН Гр. ССР*. Т. 101, № 2. С. 317—320.

Зюганов, А.Н., Свечников, С.В. (1981). Безмодельная теория инжекционно-контактных явлений и некоторые ее применения. *Микроэлектроника*. Т. 10, вып. 2. С. 101—116.

Nikolaenko, V.V., Svechnikov, S.V., Sushkov, V.P., Sypko, N.I. (1982). Investigation of Current Voltage and Current Luminosity Characteristics of GaAs<sub>0.4</sub>P<sub>0.4</sub> Light Emitting Diodes. *Phys. St. Sol. (a)*. V. 74, N 2. P. 621—630.

Власкина, С.И., Зюганов, А.Н., Романенко, В.Ф., Свечников, С.В., Сергеев, О.Т., Смертенко, П.С. (1982). Определение параметров карбидкремниевых светодиодов по вольт-амперным характеристикам. *Техника средств связи. Сер. общетехн.* Вып. 5. С. 85—93.

Шквар, А.М., Свечников, С.В. (1983). Динамическая классификация образов в многослойных нейрореподобных структурах. *Микроэлектроника*. Т. 12, вып. 6. С. 573—579.

Завьялова, Л.В., Иванов, А.М., Свечников, С.В., Смертенко, П.С., Чони, В.Г. (1984). Исследование процесса токопрохождения в сернистокадмиевых продольных фотоприемниках, полученных химическим методом. *УФЖ*. Т. 29, № 11. С. 1686—1691.

Свечников, С.В., Власенко, Н.А., Завьялова, Л.В., Савин, А.К. (1985). Электролюминесцентные излучатели на основе пленок ZnS, полученных из хелатных металлоорганических соединений. *ЖТФ*. Т. 55, вып. 12. С. 2406—2407.

Свечников, С.В. (1985). Перспективи застосування матеріалів А<sup>IV</sup>В<sup>VI</sup> в оптоелектроніці. *Вісник АН УРСР*. № 4. С. 8—17.

Горбач, Т.Я., Котова, Н.В., Пидлисний, Е.В., Свечников, С.В. (1987). Отражение света микрорельефной поверхностью антимолида индия. *Поверхность. Физика, химия, механика*. № 8. С. 147—148.

Свечников, С.В., Власенко, Н.А., Завьялова, Л.В., Савин, А.К., Смовж, А.К. (1987). Электролюминесцентные пленки ZnS:Mn, полученные из хелатных металлоорганических соединений с легированием в процессе роста. *ЖТФ*. Т. 57, вып. 9. С. 1861—1864.

Свечников, С.В. (1987). Функціональна електроніка, її структура та завдання. *Вісник АН УРСР*. № 8. С. 23—26.

Berezhinsky, L.I., Vlaskina, S.I., Rodionov, V.E., Shamuratov, Kh.A. (1989). Initial Stages of the Epitaxial Silicon Film Growth on Silicon Substrates. *Phys. St. Sol. (b)*. V. 116. P. 169—174.

Vlaskina, S.I., Zuganov, A.N., Smertenko, P.S., Sobolevsky, V.P. (1989). Influence of structure on electrophysical properties of SiC films on Si substrates. *Ukr. J. Phys.* V. 34, N 4. P. 612—615.

Володин, Н.М., Серова, Е.А., Смертенко, П.С., Ханова, А.В. (1991). Процессы рекомбинации в тонкопленочных структурах металл—моносльфид самария. *ФТТ*. Т. 33, № 9. С. 2767—2770.

Кириллова, С.И., Моин, М.Д., Примаченко, В.Е., Свечников, С.В., Чорнобай, В.А., Дубров, И.Н. (1992). Изменение электронных свойств системы Si-SiO<sub>2</sub> при лазерном облучении. *ФТП*. Т. 26, вып. 8. С. 1399—1403.

Венгер, Е.Ф., Горбач, Т.Я., Матвеева, Л.А., Свечников, С.В. (1994). Расщепление пиков в спектрах электроотражения гетеросистемы полупроводник-собственный оксид. *Письма в ЖТФ*. Т. 20, вып. 7. С. 60—61.

Gorbach, T.Ya., Kuzma, M., Sheregii, E., Smertenko, P.S., Svechnikov, S.V., Wisz, G. (1996). Deposition of HgCdTe epitaxial layers on anisotropically etched silicon surfaces by laser evaporation. *Appl. Surf. Sci.* V. 96—98. P. 881—886.

Vlaskina, S.I., Kim, K.W., Kim, Y.W., Lee, Y.P. (1997). Optoelectronics Devices on Silicon Carbide. *J. Korean Phys. Soc.* V. 31, N 1. P. 117—121.

Володин, Н.М., Федоренко, Л.Л., Смертенко, П.С., Ханова, А.В. (1998). Особенности вольт-амперных характеристик длинных полупроводниковых структур на сверхвысоких уровнях двойной инжекции. *ФТП*. Т. 32, № 12. С. 1476—1481.

Vlaskina, S.I., Shin, D.H. (1999). 6H to 3C polytype Transformation in Silicon Carbide. *Jpn. J. Appl. Phys.* V. 38. P. 27—29.

Sukach, G.A., Smertenko, P.S., Oleksenko, P.F., Nakamura, S. (2001). Analysis of the Active Region of Overheating Temperature in Green LEDs Based on Group III Nitrides. *Tech. Phys.* V. 46, N 4. P. 438—441.

Ciach, R., Dotsenko, Yu.P., Naumov, V.V., Shmyryeva, A.N., Smertenko, P.S. (2003). Injection Technique for Study of Solar Cells Test Structures. *Solar Energy Materials & Solar Cells.* V. 76, N 4. P. 613—624.

Vlaskin, V.I., Berezhinsky, L.I., Vlaskina, S.I., Shin, D.H., Kwon, K.H. (2003). Efficiency of Photoconductivity in Amorphous Silicon Carbide Films. *J. Korean Phys. Soc.* V. 42, N 3. P. 391—393.

Smertenko, P., Fenenko, L., Brehmer, L., Schrader, S. (2005). Differential approach to the study of integral characteristics in polymer films. *Advances in Colloid and Interface Science.* V. 116, N 1—3. P. 255—261.

Fenenko, L., Adachi, Ch., Nakanishi, Y., Smertenko, P., Svechnikov, S. (2007). Features of Electroconductivity and Electroluminescence of New Poly (9,9-Dioctylfluorenyl-2,7-Diyl) — End Capped With Polyhedral Oligomeric Silsesquioxanes. *Mol. Cryst. Liq. Cryst.* V. 467. P. 303—309.

Fenenko, L., Mao, G., Orita, A., Otera, J., Smertenko, P., Svechnikov, G., Nishide, J., Sasabe, H., Adachi, Ch. (2007). 1,4-bis(2,2-diphenylethenyl)benzene as an efficient emitting material for organic light emitting diodes. *Semicond. Phys. Quantum Electron. Optoelectron.* V. 10, N 1. P. 77—83.

Luka, G., Kopalko, K., Lusakowska, E., Nittler, L., Lisowski, W., Sobczak, J.W., Jablonski, A., Smertenko, P.S. (2015). Charge injection in metal/organic/metal structures with ZnO:Al/organic interface modified by Zn<sub>1-x</sub>Mg<sub>x</sub>O:Al layer. *Org. Electron.* V. 25. P. 135—142.

Luka, G., Nittler, L., Lusakowska, E., Smertenko, P. (2017). Electrical properties of zinc oxide — tetracene heterostructures with different n-type ZnO films. *Org. Electron.* V. 45. P. 240—246.

### Патенти

А.с. СССР № 408335 (1973). Свечников, С.В., Олексенко, П.Ф., Сыпко, Н.И., Шарадкин, А.М. Оптоэлектронное интегрирующее устройство.

А.с. СССР № 495006 (1974). Горбач, Т.Я., Свечников, С.В. Лавинный фотодиод.

А.с. СССР № 667941 (1975). Синицын, А.Г., Олексенко, П.Ф., Свечников, С.В., Кретулис, В.С., Сорокин, В.М., Чупрынин, В.А. Устройство для определения экспозиции при съемке и печати на светочувствительные фотоматериалы.

А.с. СССР № 557700 (1977). Жаровский, Л.Ф., Завьялова, Л.В., Свечников, С.В., Рахлин, М.Я. Способ получения слоев полупроводниковых материалов.

А.с. СССР № 988117 (1980). Горбач, Т.Я., Котова, Н.В., Свечников, С.В. Способ обработки поверхности полупроводников.

А.с. СССР № 989987 (1980). Свечников, С.В., Смвж, А.К., Горловский, В.Б., Евдокимов, Л.Б., Рахлин, М.Я. Оптоэлектронный функциональный преобразователь.

А.с. СССР № 854214 (1980). Богданович, В.Б., Зориков, В.В., Свечников, С.В., Михелашвили, В.М., Чармакадзе, Р.А., Чиковани, Р.И., Чхаидзе М.А. Способ изготовления быстродействующего оптрона и его конструкция.

А.с. СССР № 1237005 (1982). Горбач, Т.Я., Матвеева, Л.А., Рубан, М.А., Свечников С.В. Полупроводниковый фотоприемник.

А.с. СССР № 1225214 (1983). Жаровский, О.Ф., Рахлин, М.В., Свечников, С.В., Соколова, Т.Г. Способ получения оксидных покрытий.

А.с. СССР № 1302919 (1984). Свечников, С.В., Кривутенко, А.И., Сафарян, К.А. Матричный индикатор.

А.с. СССР № 1389454 (1986). Свечников, С.В., Сушков, В.П., Сукач, Г.А., Сыпко, Н.И., Николаенко, В.В. Способ определения температуры излучающих  $p-n$ -переходов.

А.с. СССР № 1468031 (1986). Свечников, С.В., Власенко, Н.А., Смвж, А.К., Завьялова, Л.В., Савин, А.К. Способ получения электролюминесцентных пленок сульфида цинка, легированного марганцем.

А.с. СССР № 1570564 (1988). Гусев, М.Ю., Зюганов, А.Н., Иванов, А.М., Свечников, С.В., Смертенко, П.С. Способ определения энергии и концентрации локальных центров запрещенной зоны полупроводника.

А.с. СССР № 1574123 (1988). Свечников, С.В., Зыков, Г.А., Смвж, А.И., Завьялова, Л.В., Чони, В.Г. Способ изготовления фоторезисторных сендвич-структур.

А.с. СССР № 1569769 (1990). Свечников, С.В., Шапарь, В.Н., Ильин, А.Ф., Шевелев, В.И., Бондаренко, В.Н., Гогин, Н.Н., Карапетян, К.О., Джангобегов, Р.П., Чигорко, А.Б. Волоконно-оптический преобразователь угловой скорости вращения пучка лучей.

А.с. СССР № 1696869 (1991). Бушма, А.В., Гринберг, И.П., Кушнеров, И.Д., Свечников, С.В., Сыпко, Н.И. Устройство для регистрации информации.

Патент РФ № 2043698 (1995). Свечников, С.В., Богданович, В.Б., Паламарчук, А.Л., Кияновский, А.П., Ушенин, Ю.В. Фотоэлектрический преобразователь перемещений в код.

Патент РФ № 2069241 (1995). Володин, Н.М., Завьялова, Л.В., Ханова, А.В., Суворова, О.Н., Серова, Е.А., Щупак, Е.А. Способ получения слоев полупроводникового халькогенида.

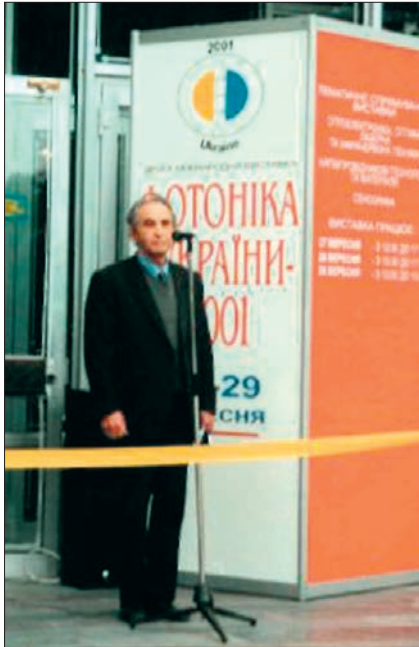
Патент РФ № 2089972 (1995). Володин, Н.М., Смертенко, П.С., Костюкевич, Е.В., Ханова, А.В., Ханов, Ю.А. Способ изготовления инжектирующего контакта к моносульфиду самария.

Патент України № 85003 (2013). Горбач, Т.Я., Смертенко, П.С. Спосіб виготовлення органічно-неорганічної гібридної структури сонячного елемента.

Патент України № 125122 (2017). Власенко, В.І., Кучеренко, В.І., Березненко, С.М., Смертенко, П.С. Спосіб одержання модифікованого текстильного матеріалу.

Патент України № 141084 (2020). Блюм, Я.Б., Пірко, Я.В., Круподьорова, Т.А., Даниленко, І.А., Ємець, А.І., Власенко, В.І., Березненко, С.М., Кучеренко, В.І., Арабулі, С.І., Смертенко, П.С., Наумов, В.В. Спосіб одержання текстильного матеріалу з наночастинками срібла.

## Представники наукової школи «Оптоелектроніка»



В.С. Хомченко і Ж.А. Пухлій під час наукового стажування для молодих вчених АН України. Гори Гарц, Німеччина. 1968 р.

◀ Академік С.В. Свечніков відкриває виставку «Фотоніка України — 2001»

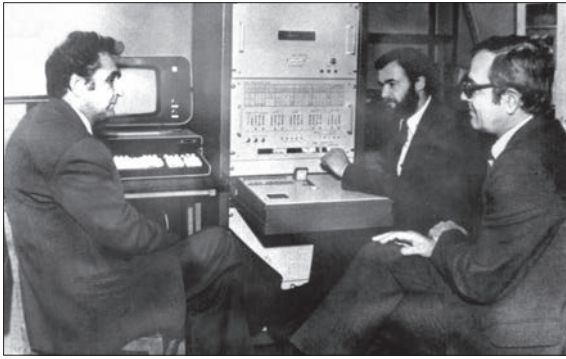


Зліва направо: О.М. Зюганов, С.В. Свечніков та П.Ф. Олексенко. 1974 р.

Космонавт Г.М. Гречко цікавиться досягненнями відділення оптоелектроніки. 1978 р.







Обговорення завдання. Зліва направо: С.В. Свечніков, П.С. Смертенко, О.М. Зюганов. 1983 р.



Чоловіча команда відділу Н.А. Власенко. Зліва направо: сидять — Я.Ф. Кононець, Є.Ф. Рибалко, А.І. Дяденко; стоять — О. Позніхіренко, Л.Ю. Денисов, Ю.В. Копитко, А.К. Савін, Ф.О. Назаренков; лежить С.М. Гур'янов. 1988 р.



В.К. Малютенко і С.С. Болгов за вимірюванням характеристик ІЧ-світлодіодів. 2008 р.





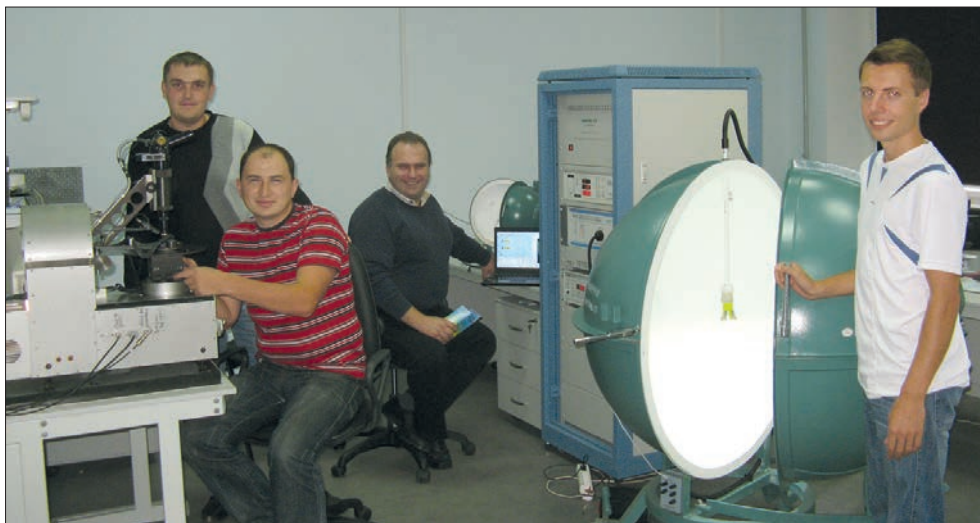
О.І. Власенко зі співробітниками відділу. 2009 р.



Обговорення технологічних проблем.  
Зліва направо: П.О. Титаренко, В.М. Со-  
рокін та Р.Я. Зелінський. 2010 р.



П.С. Смертенко і Г.В. Лашкаръов на кон-  
ференції EMRS у Варшаві. 2012 р.



У лабораторії випробувань освітлювальної техніки. 2014 р.



Обговорення майбутніх проєктів. Зліва направо: А.І. Стегній, заступник Генерального конструктора з льотно-конструкторських випробувань і льотної експлуатації КБ «Південне» А.В. Агарков, А.Ф. Юкін, П.С. Смертенко. 2017 р.



В.М. Сорокін на офіційній зустрічі з делегацією провінції Шандунь. Китай, 2019 р.

---

---

# Розділ 9

## ПРИКЛАДНІ НАПРЯМИ РОБОТИ ІНСТИТУТУ ФІЗИКИ НАПІВПРОВІДНИКІВ ім. В.Є. ЛАШКАРЬОВА НАН УКРАЇНИ

Інститут напівпровідників було створено насамперед для вирішення прикладних завдань. Дослідження в Інституті проводилися в кількох напрямках: металургія напівпровідників, напівпровідникові прилади, зовнішній вплив на характеристики та параметри напівпровідників, оптичні явища у напівпровідниках. Ці роботи дали змогу створити продукцію, до якої належать технологічні розробки (передусім з вирощування кристалів), сенсори та прилади, сонячні елементи, освітлювальні системи, а також сервісні послуги.

Докладний опис прикладних розробок за 50 років діяльності Інституту фізики напівпровідників ім. В.Є. Лашкарьова подано у книзі (Інститут, 2010).

У цьому розділі наведено кілька прикладів практичної реалізації наукових досягнень. Здебільшого ці результати опубліковано у наукових міжнародних журналах, представлено на фахових конференціях та захищено патентами України.

### 9.1. Технологічні розробки

#### ТЕХНОЛОГІЯ ВИРОБНИЦТВА ВЕЛИКИХ КРИСТАЛІЧНИХ ПЛАСТИН З ЛЕГОВАНОГО НАТРІЄМ ОПТИЧНОГО ГЕРМАНІЮ GE:NA

Г.С. Пекарь, М.М. Локшин, О.Ф. Сингаївський



Зразки оптичного германію



Танк «Оплот» з ІЧ захисним екраном

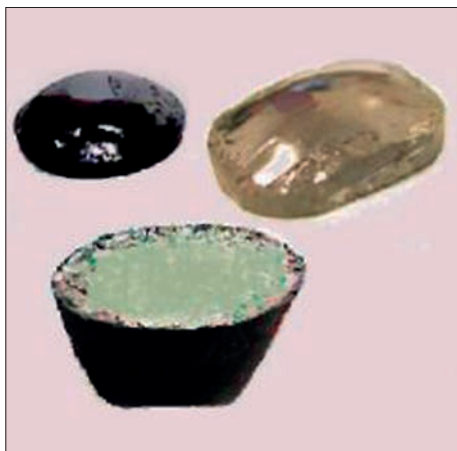
Розроблена технологія характеризується більшими величинами оптичного пропускання та спрямованого оптичного пропускання кристалів у діапазоні довжин хвиль 2—11 мкм, а також підвищеним ступенем однорідності розподілу оптичного пропускання по об'єму кристала. Вирощування проводиться у промисловій установці типу «Редмет-10М» витягуванням з розплаву на монокристалічну затравку. Швидкість витягування кристала з розплаву на монокристалічну затравку становить 1,5 мм/хв.

Створено вироби у формі циліндрів діаметром до 250 мм та прямокутних паралелепіпедів і пластин розміром до 450 × 160 × 60 мм (АГЕ 275 427 014, АГЕ 275 427 015, АГЕ 275 480 119, АГЕ 275 480 120). Їх використовують для виробництва захисних екранів тепловізійних систем інфрачервоної техніки різного призначення, наприклад, військової, космічної та медичної техніки.

Впродовж останнього десятиріччя загальний обсяг поставок перевищив 1,5 т кристалів та виробів з них. Крім угод з вітчизняними підприємствами виконуються міжнародні контракти з фірмами США, Австрії, Німеччини, Росії, Латвії, Швейцарії та ін.

### ТЕХНОЛОГІЯ ВИРОЩУВАННЯ КРИСТАЛІВ SiC ЮВЕЛІРНОЇ ЯКОСТІ

С.Ф. Авраменко, В.С. Кісельов



Кристали карбіду кремнію ювелірної якості

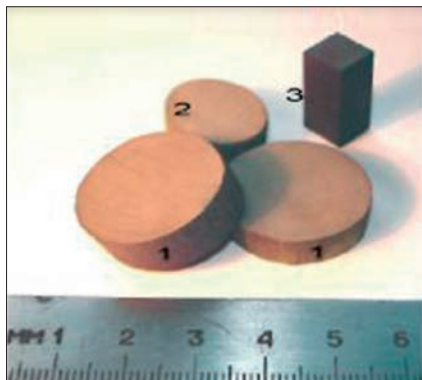
Розроблена технологія вирощування монокристалів карбіду кремнію 6H-політипу дає змогу створити кристали розміром більш як дюйм у діаметрі. Вирощування кристалів проводиться у модернізованій промисловій печі з резистивним нагрівом «Редмет-30» модифікованим сублімаційним методом за  $T = 2600$  °С зі швидкістю росту кілька міліметрів за годину.

Вирощені підкладки монокристалів 6H-політипу використовують для виробництва високотемпературних приладів, таких як терморезистори, лавинопролітні світлодіоди.



## ТЕХНОЛОГІЯ БІОМОРФНОЇ КАРБІДОКРЕМНІЄВОЇ КЕРАМІКИ

С.Ф. Авраменко, В.С. Кісельов



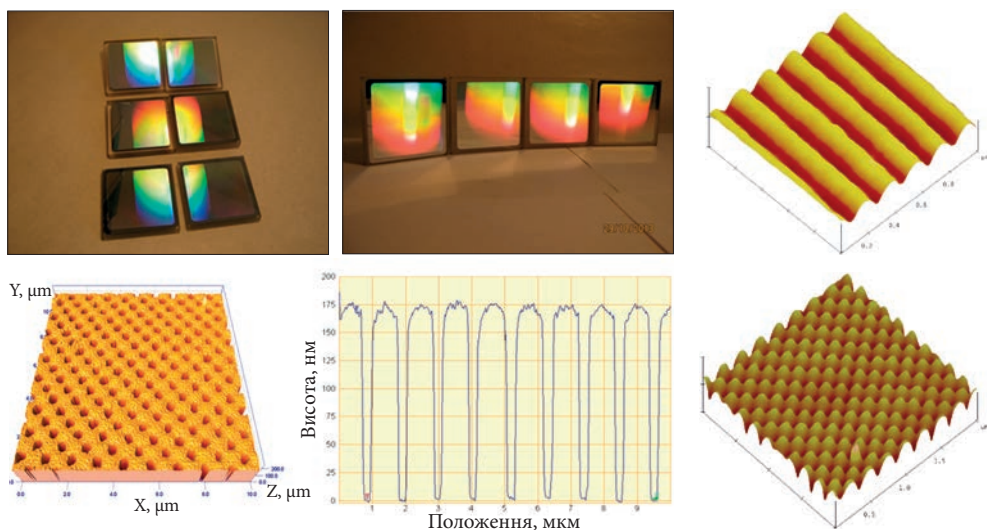
Зразки біоморфної кераміки на різних основах: 1 — деревина горіха; 2 — деревина бука, 3 — деревина груші

Технологія отримання біоморфної кераміки на основі SiC полягає у піролізі (обугленні) різних сортів деревини і складається з кількох етапів: 1) підготовка заготовки із сухої деревини, розмір якої на 20—25 % перевищує розмір майбутнього виробу для компенсації усадки заготовки при піролізі; 2) процес піролізу, який проводять у потоці інертного газу (аргону, азоту); 3) формування виробу з вуглецевої матриці; 4) процес примусового просочування вуглецевої матриці рідким кремнієм та синтез SiC у вакуумі за температур, які перевищують температуру плавлення кремнію (1420 °C).

Біоморфна кераміка на основі карбіду кремнію має перспективи використання у космонавтиці, автомобіле- та авіабудуванні і медицині як матеріал для виробництва імплантів.

## ТЕХНОЛОГІЯ ІНТЕРФЕРЕНЦІЙНОЇ НАНОЛІТОГРАФІЇ З ВИКОРИСТАННЯМ ВИСОКОРОЗДІЛЬНИХ ХАЛЬКОГЕНІДНИХ ФОТОРЕЗИСТІВ

І.З. Індутний, В.І. Минько, К.В. Михайловська, П.Є. Шепелявий

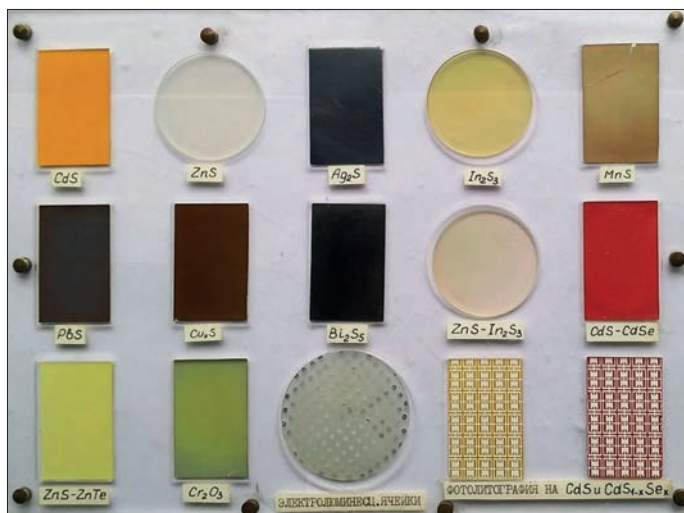




Розроблена технологія ґрунтується на осаджуваних у вакуумі халькогенідних фоторезистах. Ці фоторезисти характеризуються високою роздільною здатністю, широкою спектральною областю світлочутливості і можливістю нанесення на підкладки складної форми, мають високий показник заломлення (від 2,3 до 3,0 і навіть вище в ультрафіолетовій ділянці спектра), термічно і хімічно стійкі. Поєднання інтерференційної літографії з оригінальними вакуумними фоторезистами дало змогу розробити ефективну технологію формування періодичних наноструктур з просторовими частотами до 8000 мм (мінімальні розміри елементів — менш як 100 нм), зокрема, дифракційних ґраток, елементів уведення-виведення випромінювання, поляризаторів, фільтрів, сенсорних структур, електронноемісійних структур та ін.

### ХІМІЧНА БЕЗВАКУУМНА ТЕХНОЛОГІЯ (CVD-МЕТОД) ОТРИМАННЯ ПЛІВОК ЗА ДОПОМОГОЮ ПРОЛІЗУ МЕТАЛОКОМПЛЕКСІВ ДИТІОКАРБАМАТІВ

Л.Ф. Жаровський, Л.В. Зав'ялова, С.В. Свечніков, А.К. Смовж



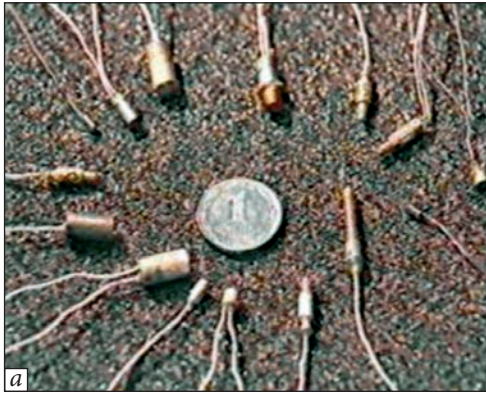
Плівки, отримані розпиленням розчинів сірковмісних внутрішньокмплесних сполук

Характерні особливості методу: 1) отримання плівок бінарних сполук з одного, а не кількох прекурсорів; 2) вирощування якісних плівок у звичайній атмосфері; 3) порівняно низькі (200—350 °С) температури; 4) високі швидкості нанесення (1—20 нм/с); 5) широкий діапазон товщини (від 50 нм до 10 мкм). Цим методом отримано напівпровідникові сполуки типу  $A^{I-VIII}B^{VI}$ . Технологію використано для серійного виробництва оптоелектронного пристрою УФІНО-1.

## 9.2. Сенсори та прилади

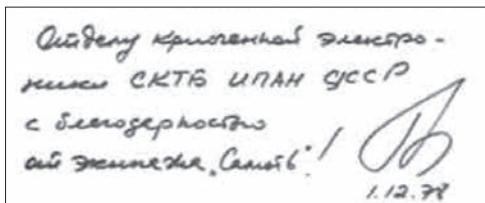
### ГЕРМАНІЄВІ ТЕРМОМЕТРИ ОПОРУ ДЛЯ КРИОГЕННИХ ТЕМПЕРАТУР

Т.М. Власова, В.П. Дениско, П.І. Денисюк,  
Л.Й. Зарубін, І.Ю. Неміш, Н.Є. Новожилова



Зовнішній вигляд корпусних (а) і без-  
корпусних (б) термометрів

Екіпаж космічної орбітальної станції  
«Салют-6»



Термометри характеризуються монотонною функцією  $R$  проти  $T$  у температурному діапазоні 1,5—300 К, кращою за 1 мК відтворюваністю за температури гелію та малим магнітоопором. Їх широко застосовують як в апаратурі для наукових досліджень, так і в роботах з космічної тематики. У НВО «Кріогенмаш», НВО «Оріон», НВО «Мікрокриогенна техніка» їх було використано для вимірювання і контролю температури приймачів ГЧ-випромінювання. Термометр конструкції К-01 на гелієвий діапазон витримав механічні впливи під час запуску на орбіту станції «Салют-6», за

його допомогою успішно проведено необхідні температурні вимірювання під час проведення криогенного експерименту в космосі.

Технічні параметри термометрів:

вимірювання температури в діапазонах, К: 0,35—4,2; 1,5—20; 4—273; 4—100; 70—300;

межа допустимої похибки не перевищує  $\pm 1\%$  вимірюваної температури.

### **Зі спогадів доктора фізико-математичних наук Ю.М. Ширшова (нар. 1940)**

*З практичних прикладів мені запам'яталися германієві термометри, які вдалося створити в групі Л.Й. Зарубіна. Наскільки я розумію, це був невеличкий кубик спеціально легованого германію, до якого припаювалися два дроти. І це все! Але до кожного кубика додавався сертифікат з графіком і таблицею, де наведено залежність опору від температури в діапазоні від  $-273$  К до кімнатної температури. Кожному, хто знайомий з фізикою напівпровідників, відомо, що в таких діапазонах опір має змінюватися в мільйони разів. Але не в термометрах ІНАН! Завдяки спеціальному легуванню германію двома чи трьома донорами авторам вдалося виготовляти прецизійні термометри з лінійною шкалою у виділених інтервалах температури. Для космічної техніки це те, що треба. Саме ці термометри встановлювали в космічних кораблях, і вони дозволяли виводити на орбіту потрібні вантажі! На мою думку, це є найкращим практичним досягненням Інституту напівпровідників. Цікаво, що в подальшому цю тематику підхопили Ю.О. Тхорик і Ю.М. Шварц, але вже не на об'ємному германії, а на епітаксіальних плівках германію. І не на ефекті домішкової провідності, а на іншому, більш складному механізмі, пов'язаному з електронним спектром станів, які перекриваються у сильно легованому матеріалі (якщо я правильно це зрозумів). Ключову роль у цих приладах відіграла близькість кристалграфічних параметрів поверхні арсеніду галію і об'ємного германію. За практичним значенням ці прилади виявилися близькими до термометрів Зарубіна—Неміша.*

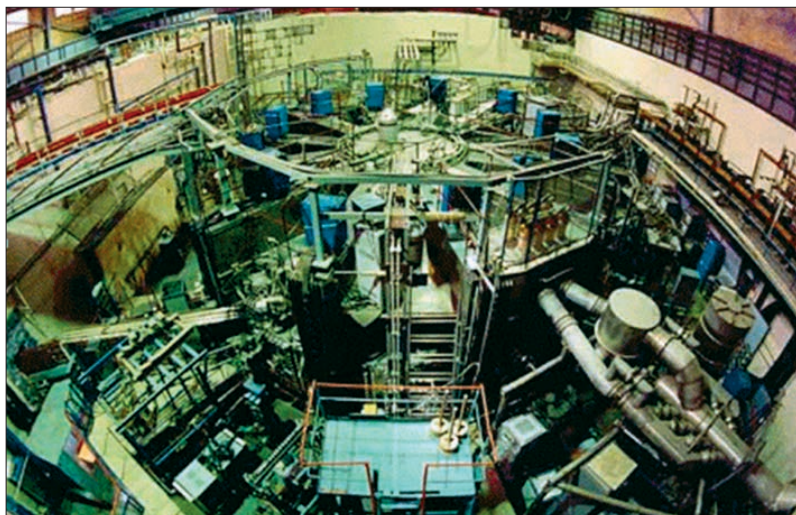
### **МІКРОЕЛЕКТРОННІ ДІОДНІ ТЕМПЕРАТУРНІ СЕНСОРИ**

Ю.О. Тхорик, Ю.М. Шварц, М.М. Шварц



Мікроелектронні термодіодні сенсори різного конструктивного виконання для екстремальної електроніки





Діагностика великих надпровідникових магнітних систем (НМС) установки термоядерного синтезу «Токамак-15» в ІАЕ ім. І.В. Курчатова



Сенсори, встановлені на Чорнобильській атомній станції



Морський старт української ракети, оснащеної термодіодними сенсорами

Мікроелектронні діодні температурні сенсори — це вдосконалені пристрої з мінімізованим впливом самонагрівання та шуму для вимірювання температури, з підвищеною чутливістю в діапазоні низьких температур, точністю та відтворюваністю.

### Технічні характеристики

Температурний діапазон, К .....	70—450
Чутливість (типова), мВ/К .....	1,35 за 70 К; —2 за 450 К
Точність (калібрована), мК .....	±50
Короткотривала стабільність, мК .....	±23 або > (70—373 К)
Довготривала (на рік) стабільність, мК/рік .....	±23 за 77,4 К
Розмір, мм .....	2 × 2 × 1,5
Маса, мг .....	40

Датчики успішно застосовують для моніторингу температури об'єкта «Укриття» в умовах високого опромінення та для контролю в криогенних температурних режимах під час заправлення ракети «Зеніт-3SL».

### ПРИЙМАЧІ мм/ТГц-ВИПРОМІНЮВАННЯ

Ф.Ф. Сизов, О.Б. Смирнов, В.В. Тетьоркін, З.Ф. Цибрій

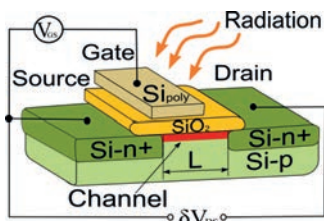
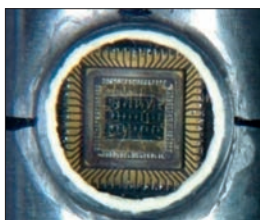
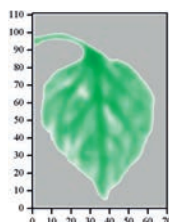


Схема кремнієвого польового транзистора (FET)



Приймач мм/ТГц-випромінювання



Зображення листка в діапазоні 150 ТГц та видимому діапазоні



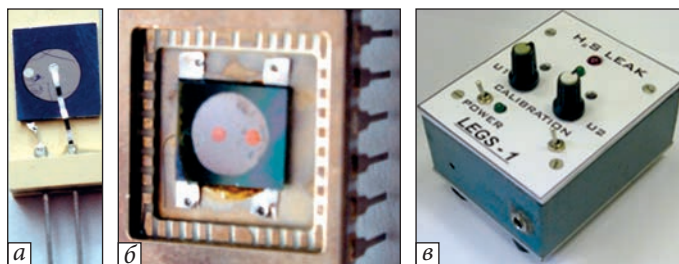
Приймачі розроблено на базі польових транзисторів (FET) і болометрів на гарячих електронах на основі вузькощілинних напівпровідників.



## ПЕРВИННІ ГАЗОЧУТЛИВІ ЕЛЕМЕНТИ ТА СЕНСОР ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ І ВИМІРЮВАННЯ НИЗЬКИХ КОНЦЕНТРАЦІЙ $H_2S$

Т.І. Горбанюк, А.А. Євтух, В.Г. Литовченко, В.С. Солнцев

Зовнішній вигляд газочутливих елементів (а, б) та сенсора для визначення і вимірювання низьких концентрацій  $H_2S$  (в)



Прилади призначені для реєстрації витоків сірководню або газових сумішей інертних газів: 1) за атмосферного тиску; 2) за зниженого тиску (10—380 мм рт. ст.).

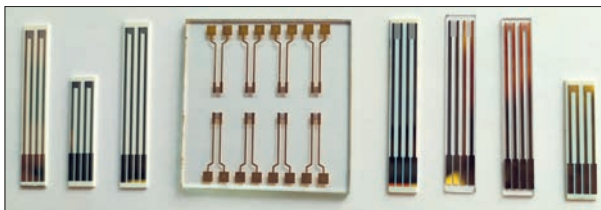
### Технічні характеристики

Діапазон вимірювань $H_2S$ у повітрі, об.%	0— $10^{-4}$
Кінцева чутливість, об.%	$1^{-5}$ — $10^{-6}$
Температура датчика, °C	$20 \pm 10$
Довжина лінії зв'язку, м	1
Режим роботи	Безперервний
Габаритні розміри, мм	$80 \times 100 \times 45$
Напруга живлення, В	9
Максимальний струм живлення, мА	100
Довжина кабелю від вимірювального блока до датчика, м	$\leq 300$
Вага (максимум), кг: датчик	0,1
Вимірювальний блок	0,6

### МІКРОЕЛЕКТРОННІ ХЕМОРЕЗИСТИВНІ ДАТЧИКИ НА ОСНОВІ ДИФЕРЕНЦІЙНИХ РАСТРОВИХ СИСТЕМ МЕТАЛЕВИХ МІКРОЕЛЕКТРОДІВ

О.Л. Кукла, О.С. Павлюченко

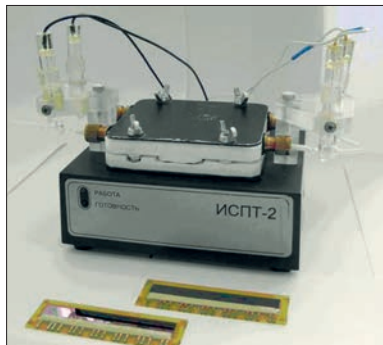
Приклади хеморезистивних сенсорів



Хеморезистивні (кондуктометричні) датчики на основі диференційних растрових систем металевих (Au, Ni, Cr, Mo, Fe) мікроелектродів на діелектричних підкладках (скло, кварц, ситал) з типовими розмірами растрового елемента від 10 до 100 мкм призначені для газової і рідинної кондуктометрії та імпедансметрії.

## МУЛЬТИБІОСЕНСОРНИЙ ПРИЛАД ІСПТ

О.Л. Кукла, С.В. Лозовий, Є.П. Мацас, О.С. Павлюченко



Багатоканальний біохімічний аналізатор ІСПТ-2



Портативний біохімічний аналізатор ІСПТ-3

Мультибіосенсорний прилад ІСПТ (іонселективний польовий транзистор) призначений для експресного визначення токсичних речовин (іонів важких металів і органічних пестицидів у водних розчинах, стероїдних глікоалкалоїдів у овочах і фруктах, метаболітів людини в біологічних рідинах).

### Технічні характеристики

Число каналів .....	2—16
Робочий об'єм кювети, мл .....	0,5—5
Час однократного вимірювання, с .....	0,1
Діапазон робочої температури, °С .....	0—40
Час, потрібний для біохімічного аналізу, хв .....	≤15
Послідовний інтерфейс .....	RS 232
Програмне забезпечення .....	Win 9X
Живлення .....	12 В/0,2 А

## ЦИФРОВИЙ СЕНСОР КУТА ПОВОРОТУ

В.Б. Богданович, Ю.В. Коломзаров, Л.М. Матвієнко, С.В. Свечніков,  
Ю.В. Ушенін, О.О. Сіренко, Ю.А. Циркунов (1985 р.)



Основними перевагами таких сенсорів є: 1) відсутність тертя в контактній системі, що забезпечує тривалий термін експлуатації та стабільність метрологічних характеристик; 2) можливість вимірювання абсолютних значень кутів повороту робочих механізмів; 3) стійкість до механічних і кліматичних впливів; 4) відносна простота організації

резервних каналів для підвищення надійності; 5) можливість повної гальванічної ізоляції високоточної вимірювальної ланки від високоенергетичного приводу. Сенсори можна використовувати у верстато- і приладобудуванні, виробництві шляхових машин, сільськогосподарській техніці тощо.

#### Технічні характеристики безконтактного двоканального датчика з можливістю роздільного живлення

Живлення .....	6 В постійного струму
Вихідний сигнал .....	Послідовний код або аналоговий сигнал
Вимірюваний кут повороту (робочий) .....	+/-90°
Нелінійність, % .....	+/-0,5
Габаритні розміри, мм .....	39,5 × 41
Маса, кг .....	0,16
Робоча температура, °С .....	-60—+85

#### НАНОСЕКУНДНИЙ ХАРАКТЕРІОГРАФ «ІМПУЛЬС»

Р.В. Конакова, В.І. Файнберг, О.Н. Рапопорт (1990 р.)



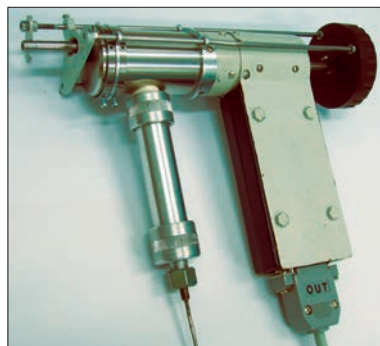
Характеріограф призначений для вимірювання вольт-амперних, вхідних, вихідних, прохідних і перехідних характеристик напівпровідникових приладів у наносекундному діапазоні тривалостей імпульсів. Використовувався на НВО «Пульсар» (м. Москва), ВНДІ «Електронстандарт» (м. Санкт-Петербург), НВО «Исток» (м. Фрязіно). На основі запропонованих методів розроблено галузевий методичний документ РД11 0845.2-91 «Транзисторні структури НВЧ на арсеніді галію. Отримання епітаксійних шарів. Параметри і методи контролю» (метод 12).

Отримання епітаксійних шарів. Параметри і методи контролю» (метод 12).

#### ПОРТАТИВНИЙ ГАЗОАНАЛІЗАТОР ЕПН-1 («ЕЛЕКТРОННИЙ НІС»)

О.Л. Кукла, О.С. Павлюченко (2008 р.)

Портативний газоаналізатор ЕПН-1 на основі масиву електрополімерних хеморезисторів призначений для швидкого детектування летких випарів, газів та газових сумішей (у тому числі екологічно шкідливих) в атмосферному повітрі.



### ПОРТАТИВНИЙ КОЛОРИМЕТРИЧНИЙ АНАЛІЗАТОР КД-2

В.Ю. Хоруженко, О.А. Вахула (2010 р.)



Оптоелектронний колориметричний газоаналізатор КД-2 універсального типу призначений для детектування газів та газових сумішей за інтерференційною зміною кольору тонких органічних чутливих шарів.

### СПЕЦІАЛІЗОВАНИЙ КОЛОРИМЕТРИЧНИЙ ГАЗОАНАЛІЗАТОР-ТЕЧОШУКАЧ ЛЕТКИХ ГАЗІВ КД-3

О.М. Федченко, О.Л. Кукла (2015 р.)

Спеціалізований колориметричний газоаналізаторний блок КД-3 до течошукача летких газів (аміак, аміл, гептил) призначений для визначення місць розгерметизації промислового обладнання.

Сенсорний елемент — високочутливий стрічковий колірний індикатор кислотно-лужного типу.



### АНАЛІЗАТОР ЯКОСТІ МОЛОКА АМВ-1-03

М.Ф. Гелескул, О.Л. Кукла, А.В. Мамикін, Є.П. Мацас (2013 р.)

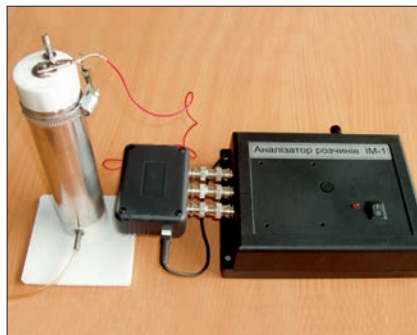


Комерційний прилад для контролю якості незбираного молока за допомогою визначення кількості соматичних клітин у молоці. Призначений для лабораторій і підприємств з виробництва та переробки молока.

### ПОРТАТИВНИЙ ІМПЕДАНСНИЙ ВИМІРЮВАЧ ІМ-2

О.Л. Кукла, А.В. Мамикін, О.С. Павлюченко (2016 р.)

Прилад призначений для дослідження електрофізичних характеристик слабководянистих рідин з питомим опором до  $10^{12}$ — $10^{13}$  Ом·см та матеріалів з малими значеннями діелектричної сталості (бензини та бензанольні суміші, нафта, технічні масла). Прилад вимірює повний імпеданс і фазовий зсув у діапазоні від 0,5 Гц до 150 кГц з кроком 1 Гц за допомогою цифрової Фур'є-фільтрації.



### Прилади на основі поверхневого плазмонного резонансу

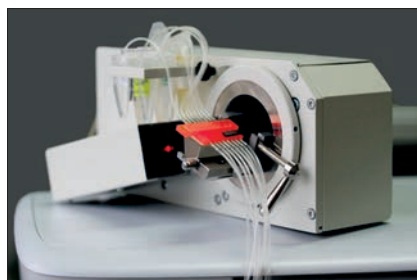
«Плазмон-3» — перший прилад із серії Плазмон, який почали продавати за кордон. До групи розробників входили Ю.М. Ширшов, Є.П. Мацас, Ю. Субота та В.І. Чегель. Прилад захищений патентом України № 46018. Ширшов Ю.М., Венгер Є.Ф., Прохорович А.В., Ушенін Ю.В., Мацас Є.П., Чегель В.І., Самойлов А.В. Спосіб детектування та визначення концентрації біомолекул та молекулярних комплексів та пристрій для його здійснення. Бюл. № 5; Заявл. 22.10.1997. Опубл. 15.05.2002.

Пізніше до групи приєднався Ю.В. Ушенін, який став основним розробником моделей 4, 5, 6, 7, 8, 9. На 4-й моделі до роботи долучився А.В. Самойлов. Згодом В.І. Чегель почав розробляти прилади на локалізованому поверхневому плазмонному резонансі (ЛППР), такі як «НаноПлазмон» та «Флуоротест-Нано».

### БАГАТОКАНАЛЬНИЙ ОПТОЕЛЕКТРОННИЙ СПЕКТРОМЕТР НА ОСНОВІ ПОВЕРХНЕВОГО ПЛАЗМОННОГО РЕЗОНАНСУ PLASMON-8

Є.П. Мацас, А.В. Самойлов, Ю.В. Ушенін, В.І. Чегель, Ю.М. Ширшов

Багатоканальний оптоелектронний спектрометр Plasmon-8 призначений для визначення оптичних властивостей нанорозмірних діелектричних структур та змін цих властивостей, спричинених біомолекулярними взаємодіями під час зміни хімічного складу середовища.





Сфери застосування: медицина, ветеринарна медицина, біотехнологія, харчова промисловість, екологічний моніторинг. Приклади найважливіших застосувань:

- раннє діагностування та індивідуальне визначення доз лікарських препаратів при лікуванні гліоми головного мозку за інноваційною методикою аналізу крові на приладі «Плазмон»;
- експрес-спосіб діагностування захворювання на лейкоз великої рогатої худоби.

### ПРИЛАДИ НА ЛОКАЛІЗОВАНОМУ ПОВЕРХНЕВОМУ ПЛАЗМОННОМУ РЕЗОНАНСІ (ЛППР)

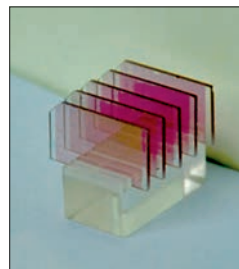
В.К. Литвин, А.М. Лопатинський, В.І. Чегель



«НаноПлазмон-3» — один з перших у світі спектрометрів-біосенсорів на локалізованому поверхневому плазмонному резонансі (2012 р.)



«Флюоротест-Нано» — перший у світі лазерний флуориметр для роботи з плазмонними наночипами (2013 р.)



Наночипи для лазерного флуориметра

Оптоелектронний ЛППР-біосенсор розрахований на роботу з наночипами різної конструкції та різних геометричних розмірів, що значно розширює сферу його можливого застосування. Змінено тепловий режим приладу, що дає змогу вимірювати біомолекулярні реакції як у газовому, так і в рідинному середовищах в умовах нестабільних зовнішніх факторів. Прилад можна застосовувати для розробок у галузі нанотехнологій, а також для підготовки фахівців у закладах вищої освіти.

## 9.3. Сонячні елементи

### СОНЯЧНА БАТАРЕЯ ДЛЯ МОБІЛЬНИХ ТЕЛЕФОНІВ СБМТ-С-8.0-0.24

А.В. Макаров, О.І. Швірст

#### Технічні характеристики

Зарядний струм*, А . . . . .	0,24
Напруга холостого ходу*, В . . . . .	8,0
Габаритні розміри, мм:	
у робочому положенні . . . . .	75,0 × 270,0 × 3,8
у транспортному положенні . . . . .	75,0 × 55,0 × 15,0
Маса, г . . . . .	90

\* АМ (1,5), 1000 Вт/м<sup>2</sup>, 25 ± 2 °С



### КОМПАКТНИЙ МОДУЛЬ ФОТОЕЛЕКТРИЧНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ СОНЯЧНОЇ ЕНЕРГІЇ

В.Г. Литовченко, В.П. Мельник, Б.М. Романюк



а



б

Сонячний модуль у складеному (а) і робочому (б) стані. Підключено мобільний телефон, 4 акумулятори та комп'ютер



Демонстрація модулів сонячних фотоперетворювачів. Зліва направо: Б.М. Романюк, О.Є. Беляєв, В.Г. Литовченко, В.П. Мельник



Бійці добровольчого батальйону з перетворювачем сонячної енергії

Модуль призначений для використання у польових умовах (зокрема, в зоні ООС, геологічних експедиціях та ін.) для живлення і заряджання низьковольтної електронної апаратури (радіостанцій, мобільних телефонів, тепловізорів, планшетів тощо). Частину модулів було передано військовим підрозділам у зону ООС.

## 9.4.

### Освітлювальні системи

#### КОМПЛЕКСНІ СИСТЕМИ ОСВІТЛЕННЯ

В.І. Корнага, О.С. Олійник, В.М. Сорокін



Станція метро «Либідська» (Київ)



Автомобільна траса Київ—Бориспіль

Комплексні системи освітлення впроваджено на важливих соціальних об'єктах: автомобільних дорогах Київ—Бориспіль (15 км), Київ—Одеса (ділянка Київ—Чабани), Київ—Вишгород, в аудиторіях Київського національного університету імені Тараса Шевченка, НТУУ «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Харківського національного університету міського господарства ім. О.М. Бекетова, у Національній дитячій спеціалізованій лікарні «Охматдит». Тільки за період 2012—2014 рр. економія електроенергії від впровадження світлодіодних освітлювальних систем різної номенклатури становила близько 50 млн кВт·год.

## 9.5. Сервісні послуги

При Інституті фізики напівпровідників ім. В.Є. Лашкарьова НАН України діють кілька сервісних центрів:

- ЦККП «Діагностика напівпровідникових матеріалів, структур та приладних систем»;
- «Високороздільна рентгенівська дифрактометрія»;
- «Комплекс скануючої зондової мікроскопії»;
- «Вимірювальний комплекс для експресного контролю напівпровідникових матеріалів і нанорозмірних приладів»;
- «Центр випробувань фотоперетворювачів та батарей фотоелектричних (ЦВФБФ)»;
- «Мікрораманівський спектрометр».

За час існування центрів у них проводили дослідження співробітники установ НАН України — Інституту фізики, Інституту проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича, Інституту металофізики ім. Г.В. Курдюмова, Інституту проблем реєстрації інформації, Інституту надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля, Інституту фізичної хімії ім. Л.В. Писаржевського, Фізико-технічного інституту низьких температур ім. Б.І. Веркіна, Інституту хімії поверхні ім. О.О. Чуйка, Інституту мікробіології і вірусології ім. Д.К. Заболотного, а також працівники деяких закладів вищої освіти Києва та інших регіонів України.

### **Центр випробувань фотоперетворювачів та батарей фотоелектричних (ЦВФБФ)**

ЦВФБФ створено при лабораторії фізико-технічних основ напівпровідникової фотоенергетики і внесено до Державного реєстру наукових об'єктів, що становлять національне надбання, відповідно до розпорядження Кабінету Міністрів України від 28.08.2013 р. № 650. Цей Центр є єдиною в Україні атестованою уповноваженими органами Держспоживстандарту на підставі Закону України «Про метрологію і метрологічну діяльність» вимірювальною лабораторією, акредитованою на технічну компетентність і незалежність з правом проведення вимірювань низки важливих фотоелектричних, фотоенергетичних, фототехнічних і спектральних характеристик сонячних елементів, модулів і батарей.

---

---

## Розділ 10

# ІНШІ ВИДИ ДІЯЛЬНОСТІ ІНСТИТУТУ

### 10.1.

#### Науково-організаційна діяльність

Науково-організаційна діяльність Інституту охоплює такі напрями: діяльність вченої ради; підготовка висококваліфікованих кадрів; захист прав інтелектуальної власності; діяльність ради молодих дослідників; співпраця з українськими та закордонними партнерами; комунікаційно-інформаційна діяльність; виставкова діяльність; делегування представників до вищих органів влади та міжнародних організацій; видавнича діяльність.

**Вчена рада Інституту** — це головний орган, який вирішує наукові, інфраструктурні, фінансові, кадрові, представницькі питання внутрішньої та зовнішньої діяльності установи.

Одним з перших наказів по Інституту напівпровідників за № 18 у 1960 р. було створено наукову (вчену) раду ІН АН УРСР у такому складі: В.Є. Лашкар'юв — академік АН УРСР, в.о. директора ІН АН УРСР; В.І. Ляшенко — д-р фіз.-мат. наук, зав. лабораторії ІН АН УРСР; С.І. Пекар — д-р фіз.-мат. наук, зав. відділу ІН АН УРСР; М.Ф. Дейген; П.Г. Борзяк; О.Г. Мислюк; О.В. Снітко; Е.Й. Рашба; Г.А. Федорус; І.Б. Мізецька; К.Б. Толпиго; С.В. Свечніков; секретар партійної організації; голова місцевого комітету [профспілки].

Членами вченої ради ІФН були і є провідні науковці. Кількість членів ради у різні роки змінювалася і на початок 2020 р. становила 25 осіб.

Головами вченої ради були: В.Є. Лашкар'юв, О.В. Снітко, С.В. Свечніков, В.Ф. Мачулін. Зараз її очолює академік НАН України О.Є. Беляєв. Вченими секретарями ради були: О.В. Снітко, Ю.І. Горкун, Ю.О. Тхорик, Л.І. Даценко, Ю.П. Городничий, А.В. Прохорович та В.М. Томашик. Після створення у 1980 р. відділення оптоелектроніки його вчену раду очолювали С.В. Свечніков (до 2006 р.) та П.Ф. Олексенко. Вченими секретарями були А.К. Смовж, П.С. Смертенко та Л.В. Зав'ялова (до 2017 р.).

**Підготовка висококваліфікованих кадрів** здійснюється переважно через аспірантуру та докторантуру, працюють спеціалізовані вчені ради із захисту дисертацій на здобуття наукового ступеня доктора наук (за спеціальностями: 01.04.10 — фізика напівпровідників і діелектриків; 01.04.18 — фізика і хімія поверхні; 05.12.20 — оптоелектронні системи) і кандидата наук (01.04.01 — фізика приладів, елементів і систем; 01.04.07 — фізика твердого тіла; 05.27.01 — твердотільна електроніка; 05.27.06 — технологія,



обладнання та виробництво електронної техніки), здійснюється підготовка кадрів через аспірантуру (01.04.07 — фізика твердого тіла; 01.04.10 — фізика напівпровідників і діелектриків; 05.12.20 — оптоелектронні системи; 05.27.01 — твердотільна електроніка; 05.27.06 — технологія, обладнання та виробництво електронної техніки) та докторантуру (01.04.10 — фізика напівпровідників і діелектриків). Зараз Інститут має Ліцензію на провадження освітньої діяльності у сфері вищої освіти за третім (освітньо-науковим) рівнем за спеціальностями: 104 — фізика і астрономія, 105 — прикладна фізика та наноматеріали, 172 — телекомунікації та радіотехніка.

Важливе значення для підвищення кваліфікації науковців ІФН мають наукові збори, на яких заслуховують наукові доповіді провідних вітчизняних і зарубіжних учених, а також матеріали докторських дисертацій. Для молодих дослідників організовують наукові читання, курси лекцій, які читають провідні українські вчені. Практику наукових зборів в Інституті напівпровідників започаткували ще у середині 1960-х років.

### ***Зі спогадів доктора фізико-математичних наук Ю.М. Ширшова (нар. 1940)***

*Крім семінарів, в Інституті регулярно проводилися наукові збори. Привід для цього був поважний — йшлося про відкрите обговорення матеріалів докторських дисертацій, про проблеми сучасної науки. Мені особисто дуже добре запам'яталася доповідь за матеріалами докторської дисертації Н.А. Власенко, де вона показувала, немов кіно, картинки з епідіаскопа (епідіаскоп мав загрозливі розміри), однак єдиним, що я запам'ятав, була демонстрація лінійності характеристик світності різних електролюмінофорів у якихось спеціальних координатах. Заповітною метою цього напряму було створення плоского екрана (нехай навіть чорно-білого).*

*Прекрасну лекцію з оптоволоконної оптики зробив Сергій Васильович Свєчніков. Тут уже використовувалася техніка «прозрачок» на проекторі «Лектор». Особисто для мене це було перше справжнє знайомство з передачею інформації на великі відстані практично без втрат. І особливо пожваплювали лекцію зауваження про те, як він їздив до прикордонників знайомити їх з методами охорони кордону шляхом використання волоконних ліній як датчиків вібрацій.*

*Та особливо відзначу лекцію Соломона Ісаковича Пекаря про сучасний стан астрономії і космології. Тоді я вперше дізнався про розширення Всесвіту і про фізичні проблеми в розумінні цього явища. Адже тоді ще поняття темної енергії, темної матерії і гравітаційних хвиль були відсутні (я точно про них нічого не знав). Була сила-силенна питань, зал був набитий по саму зав'язку, зі «стоячими місцями». Це було десь у 1966 році, якщо не помиляюся.*

**Захист прав інтелектуальної власності.** Вже на початку 60-х років ХХ ст. в Інституті велася активна винахідницька робота. Сплеск винахідництва став можливим завдяки плідній науковій діяльності. Вчені Інституту працювали над багатьма науковими темами, з'явилися результати, які необхідно було захистити охоронними документами.

У 1960 р. наказом № 15 було створено експертну комісію Інституту напівпровідників у такому складі: зав. лабораторії, д-р фіз.-мат. наук Василь Іванович Ляшенко — голова комісії; ст. наук. співр., канд. фіз.-мат. наук Григорій Аврамович Федорус — заст. голови комісії; заступник директора ІН АН УРСР з наукової частини Омелян Гервасійович Миселюк — член комісії; ст. наук. співр., канд. фіз.-мат. наук Еммануїл Йосипович Рашба — заст. голови комісії; мол. наук. співр. Костянтин Давидович Глинчук — секретар комісії.

У 1967 р. в Інституті було створено бюро науково-технічної інформації, у жовтні 1974 р. його було перетворено на відділ, який проіснував до 01.06.1986 р. З 1986 по 2007 р. працював відділ патентно-ліцензійної, винахідницької та раціоналізаторської діяльності, робота в якому велася за чотирма напрямками: винахідницька і раціоналізаторська діяльність; виставкова діяльність; копіювання матеріалів на розмножувальній техніці; робота у фотолaboratorії. Заявки на отримання авторських свідоцтв (АС) СРСР на винаходи почали надходити від Інституту в червні 1962 р. Першу заявку, зафіксовану в журналі реєстрації, було подано 09.06.1962 р. Активними винахідниками на той час були С.В. Свечніков, П.Ф. Олексенко, В.Г. Чала, Е.Й. Рашба, В.О. Романов, І.П. Жадько, В.В. Андрющенко. Процедура отримання АС була складною і тривалою. Заявки подавалися до Всесоюзного науково-дослідного інституту державної патентної експертизи в Москві. До заявки необхідно було додати довідку про проведений патентний пошук. Автори заявки на винахід проводили пошук здебільшого у патентному фонді Інституту. Вся література була передплатною. Патентний фонд Інституту був дуже ґрунтовним і налічував кілька тисяч примірників АС. У ньому зберігалися всі редакції і всі розділи МПК; іменні, нумераційні і систематичні покажчики, які стосувалися поданих патентних заявок, винахідників і охоронних документів; офіційні патентні бюлетені провідних країн світу; офіційні бюлетені «Изобретения стран мира» за різними розділами і випусками (1972—1995 рр.); інформаційно-методична література.

На виконання розпорядження Президії НАН України від 16.01.2008 р. № 15 відділ патентно-ліцензійної, винахідницької і раціоналізаторської роботи було реорганізовано у відділ з питань трансферу технологій, інноваційної діяльності та інтелектуальної власності. Він складався з трьох груп: 1) охорони прав на об'єкти права інтелектуальної власності, патентних досліджень, трансферу технологій та ліцензійної діяльності; 2) інноваційної, маркетингової та рекламно-виставкової діяльності; 3) зведеного планування НДР.

У травні 2016 р. відділ було ліквідовано. Замість нього створено групу патентно-винахідницької діяльності та супроводу і обліку результатів НДР, яка зараз входить до складу науково-організаційного відділу Інституту.

З жовтня 1974 р. по березень 2003 р. відділом керувала Галина Дорофіївна Чепіль, яка була одним з ініціаторів його створення. У 1993 р. Г.Д. Чепіль було удостоєно звання «Кращий винахідник НАН України». У відділі

завжди працювали досвідчені патентознавці, які допомагали винахідникам в оформленні заявок на АС і проведенні патентного пошуку. Усі вони мали крім фахової освіти другу вищу освіту в галузі патентознавства, яку здобували, навчаючись заочно в Центральному інституті підвищення кваліфікації керівних працівників (м. Москва).

З 2003 по 2016 р. відділом керувала Юлія Петрівна Кияк. Протягом багатьох років відділ посідав призові місця у конкурсі установ НАН України по Відділенню фізики і астрономії за досягнення найкращих показників у винахідницькій роботі. У різні часи у відділі працювали: Г.Д. Чепіль, С.В. Ільчишина, В.Г. Зорник, М.Ф. Зиньо, Л.А. Ілюшина, О.Ю. Тараненко, Т.К. Серета, Н.Ф. Короткевич, Т.А. Солопиченко, Н.Я. Кригіна, Ю.П. Кияк, Н.В. Уварова, С.І. Пестич, Л.І. Бутович, Н.І. Полішвайко, Є.Й. Крушевський, О.Е. Медведева, В.Д. Яриновський. Нині з названих співробітників відділу в Інституті працюють тільки Н.Я. Кригіна, Ю.П. Кияк і Л.В. Добровольська.

За активну винахідницьку роботу звання «Кращий винахідник НАН України» були удостоєні співробітники Інституту: Г.Д. Чепіль, П.Ф. Олексенко, Є.Ф. Венгер, Ю.В. Коломзаров, Е.Г. Манойлов, Р.В. Конакова, Я.Я. Кудрик, Г.В. Дорожинський, О.А. Капуш.

**Рада молодих дослідників** була створена на підставі Постанови Президії НАН України від 23.06.1999 № 206 «Про перелік заходів щодо поповнення установ НАН України науковою молоддю та посилення роботи з молодими вченими і спеціалістами НАН України», діє згідно з чинним законодавством, статутом Інституту та положенням про раду молодих дослідників.

Діяльність ради сприяє виконанню статутних завдань Інституту і, відповідно, зосереджена на таких пріоритетних напрямках:

- проведення заходів (семінарів, зборів, обговорень) з наукових і соціально-побутових питань для об'єднання зусиль та творчого обміну думками молодих учених Інституту;
- організація зустрічей, спільних семінарів, «круглих столів» наукової молоді Інституту з представниками рад молодих учених інших установ для обміну досвідом у вирішенні актуальних наукових та соціально-побутових проблем;
- проведення конференції «Лашкарьовські читання», а також конкурсів на найкращу публікацію за напрямками діяльності Інституту;
- організація та спрямування молоді Інституту для участі в різноманітних конкурсах, а також для подання заявок на отримання грантів, стипендій;
- обговорення та висування кандидатур на здобуття національних і міжнародних молодіжних премій, стипендій та грантів;
- організація тісної взаємодії з профспілковим комітетом.

З цією метою, а також для обміну науковим досвідом та знаннями здійснюється низка заходів, зокрема щорічна конференція для молодих учених з фізики напівпровідників «Лашкарьовські читання» з міжнародною участю,

яка проводиться в ІФН ім. В.Є. Лашкарьова НАН України. Основні напрями роботи конференції відповідають напрямам діяльності Інституту, а саме:

- напівпровідникове матеріалознавство;
- фотovoltaїка та енергозаощадження;
- сенсорні системи;
- напівпровідникова ІЧ- і НВЧ-техніка;
- перспективні та інноваційні розробки.

У конференції щороку беруть участь понад 120 дослідників як з України, так і з близького зарубіжжя.

Рада проводить регулярні семінари для молоді Інституту з метою популяризації науки, а також обміну досвідом провідних і молодих науковців.

Склад Ради молодих дослідників у 2016—2019 рр. був таким: С.М. Левицький, канд. техн. наук, наук. співроб. (голова); А.С. Станецька, канд. хім. наук, старш. наук. співроб. (заступник голови); І.С. Бабічук, канд. фіз.-мат. наук, мол. наук. співроб. (заступник голови); М.В. Луканюк, мол. наук. співроб. (секретар); О.С. Олійник, наук. співроб.; В.О. Ганус, аспірант; А.М. Лопатинський, канд. фіз.-мат. наук, наук. співроб.; В.В. Носенко, канд. фіз.-мат. наук, наук. співроб.; С.Б. Кривий, наук. співроб.; О.П. Лоцько, канд. техн. наук, мол. наук. співроб.; Злобін Сергій Олександрович, канд. фіз.-мат. наук, старш. наук. співроб.; Г.В. Дорожинський, старш. наук. співроб.; Т.М. Сабов, аспірант; П.О. Сай, аспірант; І.В. Левченко, аспірант.

Попередній склад Ради молодих дослідників: І.Б. Стратійчук, канд. хім. наук, старш. наук. співроб. (голова); Р.А. Редько, канд. фіз.-мат. наук, старш. наук. співроб. (заступник голови); Ю.В. Бурлаченко, канд. фіз.-мат. наук, наук. співроб.; П.М. Болтовець, канд. біол. наук, старш. наук. співроб.; С.І. Тягульський, канд. фіз.-мат. наук, наук. співроб.; А.В. Наумов, канд. фіз.-мат. наук, наук. співроб.; М.І. Бойко, канд. техн. наук, мол. наук. співроб.; О.П. Лоцько, канд. техн. наук, мол. наук. співроб.; К.С. Авраменко, канд. фіз.-мат. наук, старш. наук. співроб.; М.Д. Тимочко, канд. фіз.-мат. наук, старш. наук. співроб.

**Співпраця з українськими та закордонними партнерами.** До розпаду колишнього СРСР співпраця науковців ІФН і самого Інституту переважно обмежувалася його теренами і ґрунтувалася на виконанні так званих господарських договорів та договорів про науково-технічне співробітництво.

Основними партнерами у часи СРСР були підприємства та інститути центральних міст республік:

Москва, РРФСР: НВО ім. С.О. Лавочкина (Хімки), НДІ молекулярної електроніки (Зеленоград), НДІ «Платан» (Фрязіно), НДІ «Гиредмет», Інститут атомної енергії ім. І.В. Курчатова;

Ленінград, РРФСР: НВО «Електрон», НВО «Позитрон», Ленінградське оптико-механічне об'єднання (ЛОМО), Фізико-технічний інститут ім. А.Ф. Йоффе;

Мінськ, БРСР: ВО «Інтеграл», Інститут радіоелектроніки та інформатики; Тбілісі, ГрРСР: НДІ «МІОН», Тбіліський політехнічний інститут; Ташкент, УзРСР: Фізико-технічний інститут, НВО «Фізика-Сонце» АН УзРСР.

Водночас співпраця відбувалася і в Україні: завод та НДІ напівпровідникових приладів, НВО «Оріон», НВО «Київський радіозавод», НВО «Меридіан ім. С.П. Корольова» (Київ); Південмаш (Дніпропетровськ); НВО «Карат» (Львів); завод «Кварц» (Чернівці); ВО «Жовтень», НДІ «Гелій» (Вінниця) та ін.

Одним з основних досягнень на той час було створення низькотемпературного датчика на германії (Л.Й. Зарубін, І.Ю. Неміш), який використовували у космічній техніці. Радянський космонавт Г.М. Гречко відвідував ІФН та Спеціальне конструкторсько-технологічне бюро (СКТБ) при ІФН у 1978 р.

Стратегія ІФН у питанні інтернаціоналізації наукової діяльності ґрунтується впродовж останніх десятиліть на досягненні синергії в результаті співпраці з міжнародними науковими та освітніми установами для підвищення ефективності використання наукового обладнання та наукових розробок з метою зростання конкурентоспроможності вітчизняної економіки, переведення її на інноваційний шлях розвитку, перетворення міжнародної наукової співпраці на реальний інструмент стабілізації і зміцнення вітчизняної науки та нарощування науково-технічного потенціалу України в умовах глобалізації, формування ринкової економіки та демократизації суспільства.

Основними пріоритетами є:

- обмін науково-технічною інформацією;
- обмін науковими кадрами;
- використання обладнання та послуг партнерів;
- спільні фундаментальні та прикладні дослідження й розробки;
- створення спільних дослідницьких лабораторій;
- підвищення ролі та питомої ваги наукових знань в інноваційній продукції.

Після розпаду СРСР партнерами Інституту стали такі іноземні підприємства й установи: Technological Educational Institute of Halkis, Institute of Nuclear Physics of National Center for Scientific Research «Demokritos», Greek Atomic Energy Commission (Греція); Memorial University of Newfoundland (Канада); Незалежний університет, м. Мадрид (Іспанія); Національний інститут (Tyndall National Institute), м. Тиндал (Ірландія); Інститут матеріалознавства (Istituto Officina dei Materiali), м. Трієст (Італія); Латвійський університет, Ризький технічний університет (Латвія); Інститут субатомної фізики (Нідерланди); технічні університети м. Хемніц та м. Дармштадт, Університет Альберта Людвіга, м. Фрайбург, Інститут оптики, інформатики і фотоніки, м. Ерланген (Німеччина); Університет Каліфорнії (США); Institute of Atomic and Molecular Sciences, Academia Sinica (Тайвань); Bilkent University (Туреччина); Інститут технічної фізики та матеріалознавства (Угорщина); OY Ajat LTD



(Фінляндія); Національний науково-дослідницький центр (Centre National de la Recherche Scientifique, CNRS), м. Орсе, Інститут мікроелектроніки та нанотехнологій в Університеті м. Лілль, Університет м. Монпельє (Франція); Інститут фотоніки та електроніки (Чехія); Університет префектури Шідзуока (Research Institute of Electronics, Shizuoka University) (Японія) та ін.

Реальна інтеграція ІФН та його науковців підтверджується: 1. Публікаціями у міжнародних журналах, наприклад, за період 2010—2015 рр. опубліковано понад 1300 статей з новими важливими результатами у журналах, що індексуються провідними базами публікацій (Web of Science, Scopus, Google Scholar та ін.):

- Nature Physics (імпакт-фактор — 22,806);
- Nano Letters (імпакт-фактор — 12,712);
- Nature Communications (імпакт-фактор — 12,124);
- Physical Review B (імпакт-фактор — 3,836);
- Applied Physics Letters (імпакт-фактор — 3,411) та ін.

2. Участю у міжнародних конференціях, наприклад:

- European Materials Research Symposium (EMRS);
- Photovoltaic Conference;
- International Conference on Microelectronics (MIEL);
- International Congress on Advanced Electromagnetic Materials in Micro-waves and Optics (METAMATERIALS);
- IEEE Nuclear Science Symposium;
- International Conference on Oxide Materials for Electronic Engineering (OMEE) та ін.

У рамках міжнародного наукового співробітництва Інститут відвідують учені та наукові делегації таких країн, як Австрія, Бельгія, Білорусь, Болгарія, Велика Британія, Греція, Ірландія, Іспанія, Італія, Казахстан, Канада, Китай, Латвія, Литва, Мексика, Молдова, Нідерланди, Німеччина, Нова Зеландія, Південна Корея, Польща, Словаччина, США, Туреччина, Угорщина, Фінляндія, Франція, Чехія, Швейцарія, Швеція, Узбекистан, Японія та ін., тобто ІФН співпрацює практично з усім світом.

Останнім часом науковці ІФН брали участь у таких міжнародних проектах:

**проекти УНТЦ:** #4570 (керівник — К.П. Гриценко); #4591 (керівник — О.Л. Кукла);

**проекти програми НАТО «Наука заради миру та безпеки»:** #984544 (керівник — Ф.Ф. Сизов); #984617 (керівник — М.Л. Дмитрук); #984735 (керівник — В.В. Стрельчук);

**проекти на проведення міжнародного семінару НАТО:** NATO ARW 984602 (співдиректор семінару — О.М. Назаров); NATO Advanced Research Workshop on THz Diagnostics of CBRN effects and Detection of Explosives & CBRN (учасник семінару — А. Шевчик-Шекера);

**проекти Рамкової програми ЄС:** FP7-COCAE #218000 (керівник — О.І. Власенко); FP7-SECURE-R2I #609534 (керівник — О.В. Стронський); FP7-PEOPLE-2011-MCA-IRSES #294949 (керівник — Б.А. Снопко);

**проект Програми наукового співробітництва між Східною Європою та Швейцарією (SCOPES) Швейцарського національного наукового фонду,** аспірант М.В. Луканюк (2016);

**проект COST Action MP1302 «Nanospectroscopy»** (керівник — Є.Г. Борщаківський);

**білатеральні проекти МОН України** з Австрією, Німеччиною, Польщею, Угорщиною, Францією, Японією та ін.;

**проект CRDF** (США) #34-4 (керівник — Г.С. Пекар);

**проект фонду Фулбрайта** (США), О.П. Дімітрів;

**проекти фонду DAAD** (Німеччина), А.В. Наумов, С.В. Лемішко;

**проект фонду Гумбольдта** (Німеччина), М.Я. Валах;

**проект фонду VISBY** (Швеція), В.О. Юхимчук та ін.

Це далеко не повний перелік міжнародних проектів ІФН.

Слід також згадати про участь учених Інституту в міжнародних наукових спілках і товариствах:

проф. І.В. Прокопенко — дійсний член (академік) Міжнародної академії комп'ютерних наук та систем;

проф. М.Л. Дмитрук — член Американського фізичного товариства (з 1996 р.);

проф. О.М. Назаров — дійсний член Міжнародного товариства інженерів електронної техніки (IEEE); член Електрохімічного товариства США;

проф. І.В. Фекешгазі — член Зовнішньої колегії Угорської академії наук та Фізичного товариства ім. Лоранда Етвеша;

А.М. Яремко — член-кореспондент Європейської академії наук та мистецтв.

**Комунікаційно-інформаційна діяльність** Інституту зосереджена на двох напрямках: бібліотечна діяльність та інтернет-комунікації.

Бібліотеку Інституту фізики напівпровідників ім. В.Є. Лашкарьова НАН України було організовано в 1960 р. на базі бібліотеки Інституту фізики АН УРСР з виділенням частини профільної літератури з фонду Інституту фізики. Першою завідувачкою була Ірина Григорівна Рябічко — чудовий спеціаліст і ентузіаст бібліотечної справи. Ірина Григорівна працювала до 1982 р., її змінила на цій посаді Віра Іванівна Мірошниченко (1982—1986), потім — Юлія Миколаївна Федоренко (1986—1995). З 1995 р. і дотепер бібліотекою завідує Олена Василівна Тарасенко.

Зараз фонд бібліотеки налічує 174 413 примірників: з них книги — 23 369, вітчизняні періодичні видання — 67 575, зарубіжні періодичні видання — 55 780, автореферати — 8 029, дисертації — 279.

У 2017 р. Інформаційно-бібліотечна рада НАН України нагородила колектив бібліотеки Інституту фізики напівпровідників ім. В.Є. Лашкарьова НАН України грамотою за плідну працю та вагомі професійні здобутки у справі бібліотечно-інформаційного забезпечення.

### ***Зі спогадів доктора фізико-математичних наук Ю.М. Шириова***

*З 1965 року, коли в Інституті з'явився В.А. Тягай, на його пропозицію було запроваджено так зване реферування наукових статей. Від кожного з провідних наукових напрямів до бібліотеки відрядили досить ерудованих фахівців, які були зобов'язані щомісяця приходити до бібліотеки і за особливим столом продивлятися всю свіжу літературу, роблячи позначки біля назви кожної статті, яка могла б зацікавити представників певного наукового напрямку. Від відділу поверхні напівпровідників до групи експертів входили В.А. Тягай, А.В. Саченко, М.Л. Дмитрук та ін. Після цього друкувався відповідний бюлетень і вивіщувався на дошці оголошень. Особисто мені читати ці бюлетені дуже подобалося, принаймні я міг знати, якими ідеями цікавляться мої знайомі в інших відділах, в інших містах Союзу і країнах світу.*

Якщо говорити сучасною мовою, то діджиталізація ІФН розпочалася у 80-ті роки (див. розд. 2). На сьогодні в Інституті забезпечено як роботу внутрішньої мережі, так і доступ до зовнішнього Інтернету.

**Виставкова діяльність.** Інститут приділяє достатньо уваги виставковій діяльності і в останні десятиліття регулярно брав участь у наукових та промислових виставкових заходах. Назвемо кілька виставок, на яких ІФН здобув дипломи та інші нагороди:

- «СЕВІТ» (м. Ганновер, Німеччина);
- «Hannover Messe» (м. Ганновер, Німеччина);
- Міжнародна виставка «ЕКСПО-2012» (м. Йосу, Південна Корея);
- Перша національна виставка України в Республіці Казахстан (м. Астана);
- Міжнародна виставка систем та засобів безпеки «Безпека» (м. Київ);
- Міжнародна виставка «Нанотехнології» (м. Київ);
- Міжнародна виставка «Високі технології» (м. Київ);
- «Наука — виробництву» (м. Київ) та багато інших.

Одним із важливих виставкових заходів є щорічний Всеукраїнський фестиваль науки. В його рамках проводяться дні відкритих дверей для керівництва і науковців інститутів ВФА НАН України, для студентів київських закладів вищої освіти.

У 2006 р. на другому поверсі корпусу № 5 було створено постійно діючу виставку науково-технічних розробок та здобутків Інституту. На виставці представлено розробки за такими напрямками:

- елементи для систем безпеки (напівпровідниковий охолоджуваний інфрачервоний фотоприймач, неохолоджуваний фотоприймач інфрачервоного випромінювання, оптико-електронний комутатор високої напруги, фотоприймач лазерного випромінювання, перетворювачі для вимірювання

ударно-хвильових змін тиску газів амплітудою до 800 атм, фотоприймальний пристрій для тепловізорів довгохвильового інфрачервоного діапазону спектра, багатоканальний оптичний обертовий з'єднувач);

- енергетика та енергетична безпека (вуличні світлодіодні світильники, електронні системи керування світлодіодними освітлювальними приладами, енергоощадні світлодіодні лампи на заміну ламп розжарювання, енергоощадні світлодіодні стельові світильники, світлодіодна блоково-модульна ілюмінаційна система, мобільні сонячні електростанції для використання в польових умовах, кремнієві датчики тиску типу ІПТ, кремнієві датчики тиску з розділювальною мембраною);

- медицина та біотехнології (спектрометри на поверхневому плазмонному резонансі «Плазмон СПР-6», «Плазмон СПР-8», сенсор, чутливий до кута падіння, довжини хвилі падаючого світла або показника заломлення, медичні імпланти з біоактивними газодетонаційними композитними покриттями, тепловізор, розроблення та впровадження у виробництво напівпровідникових лінійних сенсорів для багатфункціональних малодозових рентгенівських апаратів);

- агропромисловий комплекс (аналізатор соматичних клітин у молоці АСК-1, біосенсор «Лейкоплазм-2», інтелектуальна система контролю якості зерна);

- екологія та захист навколишнього середовища (індивідуальний професійний дозиметр  $\gamma$ - та  $X$ -випромінювання ДКС-02К «Кадмій», прилад для визначення та вимірювання низьких концентрацій  $H_2S$ , аналізатори іонного складу рідких сумішей ІСПТ-2 та ІСПТ-3, аналізатори водно-спиртових розчинів ІМ-1 та ІМ-2, колориметричний детектор газових сумішей КД, портативний біохімічний аналізатор МЕС-5, аналізатор газових сумішей ГАЗ-2У, оптоелектронні блоки до течешукачів аміаку, багатоелементний оптоелектронний газоаналізатор);

- методи та нанотехнології (метод лазерно-індукованого легування і формування електричних бар'єрів у кристалах  $CdTe$ , експрес-метод акустоемісійного контролю надійності напівпровідникових світловопромінювальних структур, моделювання процесів росту нанониток, стимульованого частинками каталізатора, двовимірні фотонні кремнієві структури, фосфідіндієвий діод Ганна, чутливі шари хімічних сенсорів на основі золотих наночастинок, технологія виготовлення світловопромінювальних кремнієвих наноструктур).

**Делегування представників до вищих органів влади та міжнародних організацій.** Багато співробітників ІФН було делеговано на різні посади у системі НАН України та до інших державних і недержавних інституцій. Це, зокрема, представництво у Президії НАН України, здійснювати яке були уповноважені: О.П. Городничий, д-р фіз.-мат. наук; В.К. Малютенко, д-р фіз.-мат. наук, проф.; В.С. Лисенко, д-р фіз.-мат. наук, проф., чл.-кор. НАН України, Голова державного інноваційного та інвестиційного фонду України (1992—1995 рр.); Б.К. Сердега, д-р фіз.-мат. наук, проф.; О.І. Федоров, канд. фіз.-мат. наук; В.В. Байдаков, канд.фіз.-мат. наук; В.Ф. Мачулін, д-р фіз.-мат.

наук, проф., академік НАН України, директор ІФН (2003—2014 рр.), голова ВАК України (2003—2010 рр.), Головний учений секретар НАН України (2011—2014 рр.); В.І. Сидоренко, канд. фіз.-мат. наук; В.Є. Родіонов, д-р техн. наук, проф.; О.І. Власенко, д-р фіз.-мат. наук, проф.; О.М. Гецко, д-р фіз.-мат. наук, проф.; Ю.П. Доценко, канд. фіз.-мат. наук, згодом перший заступник Міністра України у справах науки і технологій; І.З. Індутний, д-р фіз.-мат. наук, проф.; Н.О. Казакова, канд. фіз.-мат. наук; І.П. Лісовський, д-р фіз.-мат. наук; О.О. Литвиненко, канд. фіз.-мат. наук; О.М. Міщук, канд. фіз.-мат. наук; С.А. Коваленко, канд. фіз.-мат. наук, М.І. Бойко, канд. техн. наук; М.В. Стріха, д-р фіз.-мат. наук, проф., заступник міністра освіти і науки України.

Головами Українського фізичного товариства як представники ІФН НАН України були В.Г. Литовченко (2004—2013) та М.В. Стріха (2013—2016). Заступником міністра у справах науки і технологій України був Ю.П. Доценко. Головою Вищої атестаційної комісії (ВАК) України був В.Ф. Мачулін. Головами Українського відділення Міжнародного оптичного товариства (SPIE) були М.Я. Валах та С.О. Костюкевич.

Головою Українського відділення Міжнародного товариства дисплеїв (SID) є В.М. Сорокін (інформацію про SID див. на сайті <https://www.sid.org/chapters/europe/ukraine.aspx>). Українське відділення товариства засновано у 1995 р. як професійне об'єднання і майданчик для презентацій, обміну та збереження ідей і технологій у галузі відображення інформації.

Національним координатором європейської інноваційної науково-технічної програми EUREKA (European Research Coordination Agency) були Ю.П. Медведєв (1993—1998) та П.С. Смертенко (1999—2011) (інформацію про програму EUREKA див. на сайті <https://www.eurekanetwork.org>). EUREKA є інноваційною науково-технічною програмою, яка сприяє виходу наукових розробок на ринок Європи. Її засновано у 1985 р. З 1993 р. Україна є асоційованим членом, а з 9 червня 2006 р. — постійним членом програми, що ратифіковано Верховною Радою України 1 жовтня 2008 р. EUREKA разом з «Горизонт-2020», COST, EUROSTARS, COSME, CIP та іншими програмами є одним з механізмів інноваційного розвитку економіки європейських країн.

Слід відзначити надання указами Президента України першого рангу державного службовця (найвищий ранг державних цивільних службовців України; встановлено Законами України від 16 грудня 1993 р. № 3723-ХІІ «Про державну службу» та від 10 грудня 2015 р. № 889-VIII «Про державну службу») двом співробітникам ІФН:

- 6 лютого 1999 р., № 132/99 — Доценку Юрію Павловичу, першому заступнику міністра у справах науки і технологій України;
- 29 вересня 2003 р., № 1111/2003 — Мачуліну Володимирі Федоровичу, голові Вищої атестаційної комісії України.





Патентознавці ІФН. Зліва направо, сидять: Т.К. Середа, Т.В. Лисюк, Н.Я. Кригіна, О.Ю. Тараненко; стоять: Н.В. Уварова, Ю.П. Кияк, Р.І. Костаниця, Л.А. Ілюшина, В.Г. Зорник та Т.А. Солопиченко. 1983 р.



С.В. Свечніков проводить засідання вченої ради ІФН. Серед членів ради — В.Ф. Мачулін, І.З. Індутний, О.А. Бугай, Р.В. Конакова, М.Я. Валах, О.І. Власенко, В.З. Лозовський, Н.О. Корсунська. 2000 р.



Вчена рада ІФН, головує О.Є. Беляєв. Зліва направо: Г.С. Пекар, О.М. Назаров, Д.В. Корбутяк, Ф.Ф. Сизов, П.Ф. Олексенко, В.П. Мельник, В.М. Сорокін, В.М. Томашик. Навпроти них, зліва направо: В.А. Данько, Ю.В. Ушенін, Р.В. Конакова, О.І. Власенко, Л.О. Матвеева, В.П. Кладько. 2016 р.



Загальний вигляд експозиції ІФН на виставці «Зроблено в Києві», організованій у рамках національного проекту серії виставкових заходів «Made in Ukraine». Конгресно-виставковий центр Chamber Plaza при Торгово-промисловій палаті України. 2016 р.



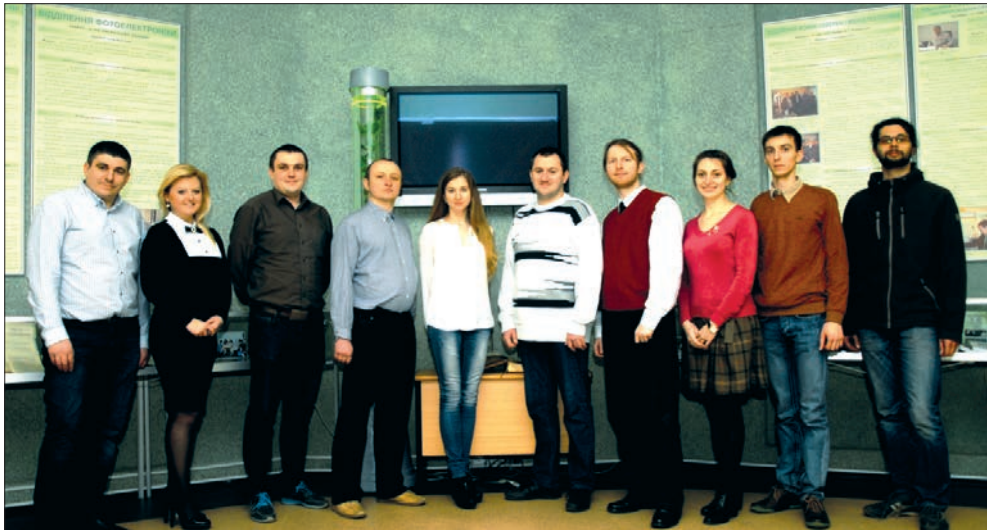
Представники ІФН на виставці. Зліва направо: О.О. Скляренко, В.С. Солнцев, О.С. Олійник, А.С. Станецька, О.Л. Кукла, Р.В. Христенко, А.В. Мамикін. 2016 р.



Вручення К.П. Коніну медалі за найкращу усну доповідь: «Photoconductivity of macroporous silicon with an ultra-thin oxide layers». 17th Conference on Defects-Recognition, Imaging and Physics in Semiconductors (8—12 жовтня 2017 р., Вальядолід, Іспанія)



Виступ П.С. Смертенка на парламентських слуханнях, присвячених інноваційному розвитку України. Березень 2018 р.



Рада молодих дослідників ІФН. Зліва направо: С. Левицький, А. Станецька, О. Олійник, О. Лоцько, М. Луканюк, А. Лопатинський, Г. Дорожинський, І. Левченко, С. Кривий, Т. Сабов. 2018 р.





Рада молодих дослідників ІФН. Зліва направо: В. Власюк, Н. Мазур, К. Дремлюженко, Є. Гаврилюк (голова), Г. Дорожинський, О. Ісаєва, А. Федоренко. 2020 р.



Завідувач аспірантури  
В.В. Пономаренко

## 10.2. Видавнича діяльність

Видавнича діяльність в Інституті фізики напівпровідників розпочалася з публікації республіканського міжвідомчого збірника «Полупроводниковая техника и микроэлектроника» (Напівпровідникова техніка і мікроелектроніка), який з 1966 р. виходив російською мовою у видавництві «Наукова думка».

Редакційну колегію очолив директор Інституту Вадим Євгенович Лашкар'єв. До її складу увійшли відомі у Радянському Союзі вчені та виробничники: Л.Я. Ілошунський, М.Г. Находкін (КДУ ім. Т.Г. Шевченка), М.М. Некрасов (КПІ), С.В. Свечніков, А.С. Таратута, Ю.О. Тхорик (відповідальний секретар). Збірник видавався щороку до 1970 р.

З 1971 р. збірник змінив формат і почав виходити 2—4 рази на рік. Головним редактором став С.В. Свечніков. До складу редакційної колегії увійшли: К.М. Кролевець (заступник головного редактора, Київський завод напівпровідникових приладів — КЗНП), К.Д. Глинчук (відповідальний секретар), В.П. Клочков, В.Г. Литовченко, П.Ф. Олексенко, І.Г. Кизема (КЗНП) та Ю.О. Тхорик. У новому форматі збірник видавався до 1981 р. (34 випуски). У 1982 р. він дістав нову назву — «Оптоэлектроника и полупроводниковая техника» (Оптоелектроніка і напівпровідникова техніка). Редакційна рада за цей час змінилася, зокрема, до видання ОПТ долучилися: Л.Г. Гасанов (НВО «Оріон»), Н.А. Власенко, В.П. Белевський, Л.Й. Зарубін, А.І. Марченко (відповідальний секретар), В.І. Стріха (КДУ ім. Т.Г. Шевченка), К.Д. Глинчук (заступник головного редактора). Залишилися у складі ради К.М. Кролевець, В.Г. Литовченко, П.Ф. Олексенко. Велику науково-організаційну роботу з видання збірника з 1982 до 2002 р. вів К.Д. Глинчук, а з 2002 до 2007 р. — Г.О. Сукач. Зараз головним редактором збірника є В.М. Сорокін, відповідальним секретарем — З.К. Власенко.

Одночасно зі збірником «Напівпровідникова техніка і мікроелектроніка» з 1966 р. в ІН АН УРСР почали видавати ще один республіканський міжвідомчий збірник наукових праць — «Квантовая электроника» (Квантова електроніка). Редакційну колегію цього видання очолив відповідальний редактор М.П. Лисиця, відповідальним секретарем став М.Я. Валах. До редколегії увійшли також М.С. Бродин



Обкладинка першого номера міжвідомчого збірника «Напівпровідникова техніка і мікроелектроніка». 1966 р.





Обкладинка міжвідомчого збірника «Напівпровідникова техніка та мікроелектроніка». 1971 р., вип. 5



Обкладинка першого номера міжвідомчого збірника «Оптоелектроніка та напівпровідникова техніка». 1982 р.

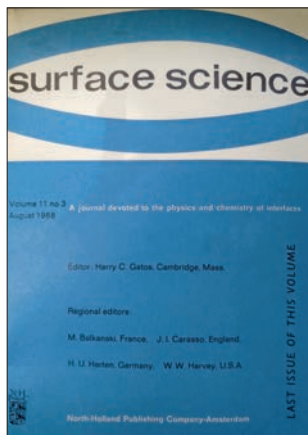
(Інститут фізики АН УРСР), Ю.В. Набойкін (Фізико-технічний інститут низьких температур АН УРСР), О.Я. Усиков (Інститут радіофізики та електроніки АН УРСР).

З 1987 р., починаючи з № 32, заступником відповідального редактора став І.В. Фекешгазі, а відповідальним секретарем — В.В. Тетьоркін. До складу редакції увійшов також Є.О. Тихонов (Інститут фізики АН УРСР). Журнал виходив до 1995 р. (№ 47).

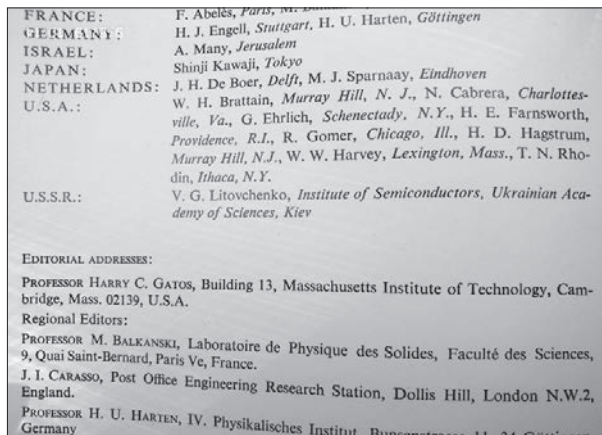
Слід зазначити, що у 1961—1973 рр. редакція «Українського фізичного журналу» працювала на території ІН АН УРСР. До редакційної колегії входили й учені з ІН АН УРСР, зокрема В.Є. Лашкарьов, О.В. Снітко, М.К. Шейнкман та ін.

Особливу увагу слід приділити участі вчених Інституту фізики напівпровідників у редакційних колегіях та радах різних журналів: *Surface Science* — В.Г. Литовченко (з 1964 до 1980 р.); *Turkish Journal of Physics* — М.Я. Валах (з 1985 р.); *Infrared Physics & Technology* — В.К. Малютенко; *Journal of Nanophotonics* — Л.А. Карачевцева; *Journal of Non-Oxide Glasses* — І.З. Індутний; *Advances in Nano Research* (Південна Корея) — О.М. Назаров; *Journal of Infrared and Millimeter Waves* — Ф.Ф. Сизов; *Millimeter Waves, Shanghai, China* — Ф.Ф. Сизов; *Optoelectronics Review* — Ф.Ф. Сизов; «Український фізичний журнал» — В.Г. Литовченко, В.П. Кладько, М.В. Стріха, В.В. Тетьоркін, В.О. Юхимчук (станом на 2019 р.); *Functional Materials* — О.Є. Беляєв, М.Я. Валах, В.С. Лисенко.

Зміна парадигми розвитку науки у світі і на теренах України після здобуття нею незалежності, зумовлена посиленням глобалізації, потребувала нових підходів у видавничій діяльності. Назріла ідея створення міжнародного наукового журналу (так, було організовано журнали *Condensed Matter Physics*, *Journal of Nano- and Electronic Physics*, *Functional Materials*, *Science and Innovations* та ін.).



Обкладинка журналу  
«Surface Science». 1968 р.



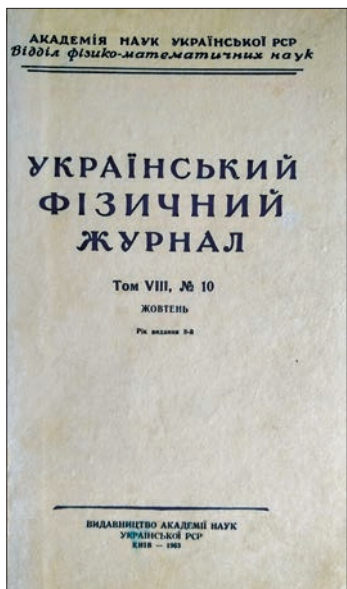
Склад редакційної ради журналу «Surface Science».  
1968 р.

У сфері фізики напівпровідників цю ідею почали втілювати у життя В.О. Кочелап разом з А.А. Акоюном. У 1997 р. на запрошення В.О. Кочелапа до цієї справи долучився П.С. Смертенко.

Основною метою міжнародного наукового видання було інформування міжнародної наукової спільноти про досягнення українських учених у галузі фізики напівпровідників, квантової електроніки та оптоелектроніки, що й зумовило назву журналу — Semiconductor Physics, Quantum Electronics and Optoelectronics (SPQEO).

З 1998 р. журнал виходив під керівництвом головного редактора С.В. Свечнікова. Його засновниками виступили Національна академія наук України та Інститут фізики напівпровідників. Заступниками головного редактора були В.О. Кочелап, М.Я. Валах та Є.Ф. Венгер. До складу видавничої ради SPQEO входили учені світового рівня: М.С. Brodyn (Institute of Physics, NASU, Kyiv, Ukraine); M.L. Calvo (Complutense University of Madrid, Spain); D. Flandre (Institute of Information and Communication Technologies, Louvain-la-Neuve, Belgium); A.P. Litvinchuk (University of Houston, USA); St. Lucyszyn (Imperial College London, United Kingdom); H. Lüth (Institute of Semiconductor Nanoelectronics, Jülich, Germany); J.R. Morante (Institute of Renewable Energy Catalonia, Barcelona, Spain); G. Salamo (University of Arkansas, USA); M.S. Soskin (Institute of Physics, NASU, Ukraine); D.R.T. Zahn (Chemnitz University of Technology, Germany).

У її роботі брали також участь провідні вітчизняні вчені: І.В. Блонський (Інститут фізики НАН України); М.Л. Дмитрук (Інститут фізики напівпровідників ім. В.Є. Лашкарьова); І.З. Індутний (Інститут фізики напівпровідників ім. В.Є. Лашкарьова); Р.В. Конакова (Інститут фізики напівпровідників ім. В.Є. Лашкарьова); В.Г. Литовченко (Інститут фізики напівпровід-



Обкладинка першого номера «Українського фізичного журналу». 1956 р.

ників ім. В.Є. Лашкарьова); В.С. Лисенко (Інститут фізики напівпровідників ім. В.Є. Лашкарьова); А.Г. Наумовець (Інститут фізики НАН України); П.Ф. Олексенко (Інститут фізики напівпровідників ім. В.Є. Лашкарьова); В.В. Петров (Інститут проблем реєстрації інформації НАН України); І.В. Прокопенко (Інститут фізики напівпровідників ім. В.Є. Лашкарьова); О.Г. Сарбей (Інститут фізики НАН України); Ф.Ф. Сизов (Інститут фізики напівпровідників ім. В.Є. Лашкарьова); В.І. Сугаков (Інститут ядерних досліджень НАН України); П.М. Томчук (Інститут фізики НАН України); М.Я. Валах (Інститут фізики напівпровідників ім. В.Є. Лашкарьова); О.І. Власенко (Інститут фізики напівпровідників ім. В.Є. Лашкарьова); Ю.І. Якименко (Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»); В.М. Яковенко (Інститут радіофізики та електроніки ім. О.Я. Усикова НАН України).

Однією з умов подання робіт до SPQEO була наявність закордонних співавторів. Згодом цю вимогу було забуто, і журнал поступово перетворився на звичайне наукове видання радянського типу (публікація «своїх» статей без обов'язкової рецензії, публікація більш як двох статей одного автора в одному випуску журналу, публікація статей, які вже виходили друком тощо).

Після С.В. Свечнікова головним редактором був В.Ф. Мачулін (з 2004 до 2014 р.).

З 2014 р. і донині головним редактором SPQEO залишається О.Є. Беляєв. Його заступники — В.П. Кладько, В.О. Кочелап та М.В. Стріха. До складу міжнародної редакційної колегії SPQEO після реформування у 2017 р. входять: S. Asmontas (Semiconductor Physics Institute, Vilnius, Lithuania); M.S. Brodyn (Institute of Physics, NASU, Kyiv, Ukraine); M.L. Calvo (Complutense University of Madrid, Spain); D. Flandre (Institute of Information and Communication Technologies, Louvain-la-Neuve, Belgium); F.J. Gamiz Perez (University of Granada, Spain); S.V. Gaponenko (B. Stepanov Institute of Physics, National Academy of Science of Belarus, Minsk, Belarus); I. Grzegory (Institute of High Pressure, Poland); W. Knap (CNRS, France, Poland); Z.F. Krasilnik (Institute for Physics of Microstructures, RAS, Russia); A.P. Litvinchuk (University of Houston, USA); St. Lucyszyn (Imperial College London, United Kingdom); H. Lüth (Institute of Semiconductor Nanoelectronics, Jülich, Ger-

many); A. Medvids (Riga Technical University, Latvia); J.R. Morante (Institute of Renewable Energy Catalonia, Barcelona, Spain); G. Salamo (University of Arkansas, USA); M.S. Soskin (Institute of Physics, NASU, Ukraine); D.R.T. Zahn (Chemnitz University of Technology, Germany).

Склад національної редакційної колегії є таким: І.В. Блонський (Інститут фізики НАН України); І.М. Дмитрук (Київський національний університет імені Тараса Шевченка); В.І. Григоруку (Київський національний університет імені Тараса Шевченка); Л.С. Хоменкова (Інститут фізики напівпровідників ім. В.Є. Лашкарьова); І.З. Індутний (Інститут фізики напівпровідників ім. В.Є. Лашкарьова); Р.В. Конакова (Інститут фізики напівпровідників ім. В.Є. Лашкарьова); В.Г. Литовченко (Інститут фізики напівпровідників ім. В.Є. Лашкарьова); В.С. Лисенко (Інститут фізики напівпровідників ім. В.Є. Лашкарьова); Г.М. Морозовська (Інститут фізики НАН України); А.Г. Наумовець (Інститут фізики НАН України); О.І. Носич (Інститут радіофізики та електроніки ім. О.Я. Усикова НАН України); П.Ф. Олексенко (Інститут фізики напівпровідників ім. В.Є. Лашкарьова); В.В. Петров (Інститут проблем реєстрації інформації НАН України); В.М. Порошин (Інститут фізики НАН України); І.В. Прокопенко (Інститут фізики напівпровідників ім. В.Є. Лашкарьова); О.Г. Сарбей (Інститут фізики НАН України); Ф.Ф. Сизов (Інститут фізики напівпровідників ім. В.Є. Лашкарьова); В.М. Сорокін (Інститут фізики напівпровідників ім. В.Є. Лашкарьова); В.І. Сугаков (Інститут ядерних досліджень НАН України); П.М. Томчук (Інститут фізики НАН України); М.Я. Валах (Інститут фізики напівпровідників ім. В.Є. Лашкарьова); О.І. Влащенко (Інститут фізики напівпровідників ім. В.Є. Лашкарьова); Ю.І. Якименко (Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»); В.М. Яковенко (Інститут радіофізики та електроніки ім. О.Я. Усикова НАН України).

Старший виконавчий редактор журналу — П.С. Смертенко (Інститут фізики напівпровідників ім. В.Є. Лашкарьова), відповідальний секретар — О.О. Кудрявцев (Інститут фізики напівпровідників ім. В.Є. Лашкарьова).

Завдяки новій редакційній політиці в 2018 р. (т. 21, № 1) SPQEO увійшов до міжнародної бази даних Web of Science: «SPQEO was selected for coverage in Clarivate Analy-



Обкладинка міжнародного наукового журналу «Semiconductor Physics, Quantum Electronics & Optoelectronics». 2019 р., т. 22, № 1



tics products and services and started to be indexed and abstracted in Emerging Sources Citation Index from 2018». У 2019 р. (т. 22, № 1) SPQEO увійшов також до міжнародної бази даних Scopus.

У 2019 р. журнал здобув фахову категорію «А» з таких спеціальностей:

10 — природничі науки: 104 — фізика та астрономія, 105 — прикладна фізика та наноматеріали;

12 — інформаційні технології: 123 — комп'ютерна інженерія;

13 — механічна інженерія: 132 — матеріалознавство;

14 — електрична інженерія: 141 — електроенергетика, електротехніка та електромеханіка;

15 — автоматизація та приладобудування: 151 — автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології, 152 — метрологія та інформаційно-вимірвальна техніка;

17 — електроніка та телекомунікації: 171 — електроніка, 172 — телекомунікації та радіотехніка.

Якісна зміна сталася завдяки зусиллям авторів статей, дослідницьких інститутів, університетів, допомозі Видавничої ради НАН України та Видавничого дому «Академперіодика», самовідданій багаторічній праці співробітників редакційної колегії журналу О.О. Кудрявцева та Т.М. Ковальчук, а також завдяки ефективній діяльності редакційної ради журналу, зокрема її правильному баченню шляхів подальшого розвитку видання.

За 20 років у журналі опубліковано близько 1 600 статей 2 600 авторів. Статті цитувалися близько 4 650 разів. Свій внесок у роботу журналу зробили понад 160 інститутів та університетів з 53 країн, таких як США, Японія, Південна Корея, Німеччина, Франція, Польща, Мексика, Алжир, Нігерія, Марокко, Узбекистан, Азербайджан та Україна.

Крім видання журналів та участі в роботі редакційних рад учені ІФН НАН України виступають авторами чи співавторами монографій, окремих розділів монографій, навчальних посібників та оглядів. За 60 років існування ІФН НАН України було надруковано 217 монографій та посібників. Повний перелік монографій, створених з участю співробітників ІФН НАН України, наведено у Додатку 1.

Понад 400 наукових статей співробітників Інституту публікується щороку у провідних профільних виданнях України та зарубіжжя.



---

---

# Розділ 11

## ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ ІНСТИТУТУ ФІЗИКИ НАПІВПРОВІДНИКІВ ім. В.Є. ЛАШКАРЬОВА НАН УКРАЇНИ

### 11.1.

#### Базові засади подальшого розвитку Інституту

Перспективи розвитку ІФН НАН України базуються передусім на наявних досягненнях Інституту. Загальна концепція діяльності Інституту дозволяє вирішувати будь-які завдання в рамках розвитку національної Стратегії сталого розвитку, Концепції розвитку Національної академії наук України на 2014—2023 роки, програм розвитку національної безпеки і обороноздатності держави, енергонезалежності, інновацій та аерокосмічної програми України завдяки висококваліфікованому колективу наукових співробітників та наявному технологічному обладнанню.

Діяльність Інституту відповідає сучасному стану розроблюваних наукових напрямів досліджень у галузях електроніки та телекомунікаційного обладнання України. Зокрема, Інститут є базовою організацією України у таких галузях, як напівпровідникове матеріалознавство, елементна база для мікро- та наноелектроніки, приладобудування, оптоелектронні прилади і системи та сенсорика. Інститут є стратегічною установою в галузі електроніки та телекомунікаційного обладнання і зможе зменшити залежність України від імпорتنих товарів електронної техніки, сприяти створенню нових підприємств та нових робочих місць у галузі електронної техніки вітчизняного виробництва. Зменшення імпортозалежності досягається завдяки впровадженню власних науково-технічних розробок, починаючи зі створення матеріалів з новими функціональними можливостями або поліпшеними характеристиками, розроблення нової елементної бази для мікро- та наноелектроніки (діоди, транзистори, мікросхеми, мікропроцесори тощо), оптоелектронних приладів і систем та сенсорної техніки для виробництва на їх основі власних високотехнологічних наукомістких продуктів для різних галузей народного господарства України (дисплеї, мобільні телефони, планшети, енергоощадні світловиpromінювальні прилади, сенсорні системи безпеки та екологічного моніторингу, інші електронні прилади та прилади спеціального призначення).

У 2018 р. проведено оптимізацію діяльності та реструктуризацію підрозділів Інституту фізики напівпровідників ім. В.Є. Лашкарьова НАН України. Результатом реформування структури стало зменшення кількості наукових підрозділів — з 21 до 16 відділів. Оптимізовану структуру Інституту підготовлено для ефективного виконання поточних, середньо- та довгострокових стратегічних планів розвитку. У зв'язку з цим, враховуючи реальні можливості інтелектуального та технологічного потенціалу, розроблено довгострокову стратегію розвитку науково-дослідницької та прикладної діяльності Інституту відповідно до основних наукових напрямів досліджень:

- фізика напівпровідникових матеріалів і структур та їх діагностика;
- фізика поверхні, оптоелектроніка і фотоніка;
- ТГц- і ІЧ-функціональна напівпровідникова мікро- та нанофотоелектроніка;
- фізика і технологія сенсорних систем.

Стратегічні плани розвитку логічно впливають з аналізу сильних і слабких сторін Інституту і спрямовані на вирішення основних стратегічних завдань: створення нових функціональних наноматеріалів, світловипромінювальних структур, вивчення їх структури і властивостей та створення на їх основі приладів НВЧ-електроніки, оптоелектроніки, світлогенерувальних приладів і систем, створення систем відновлюваних джерел енергії (сонячні батареї, суперконденсатори тощо), сенсорів (напівпровідникових, оптичних, хімічних, біологічних тощо), створення напівпровідникових приладів для інфрачервоної та надвисокочастотної (ІЧ- та НВЧ-) техніки тощо.

Свого часу Інститут було створено як базову організацію для наукового супроводу і підготовки кадрів підприємств електронної промисловості СРСР і України. На сьогодні в Україні електронну галузь практично знищено. І все ж таки Інститут зберіг свій потенціал, і стратегія його діяльності, спрямована на відновлення базових технологій мікро- та наноелектроніки в Україні, дала змогу реалізувати розробки та виготовлення новітніх пристроїв і систем на основі фундаментальних результатів Інституту.

Інститут має розвинену інфраструктуру, яка забезпечує повноцінне проведення наукових та науково-технічних досліджень. На базі Інституту функціонують Центр колективного користування наукоємним науковим обладнанням та приладами (ЦККП) «Діагностика напівпровідникових матеріалів, структур та приладних систем» НАН України, науково-дослідна лабораторія «Центр випробувань і діагностики напівпровідникових джерел світла та освітлювальних систем на їх основі» (НДЛ ЦДНДС) та Центр випробувань фотоперетворювачів та батарей фотоелектричних (ЦВФБФ).

З одного боку, Інститут має досить значний пакет власних прикладних розробок: системи терагерцового бачення, сенсорні системи, в тому числі ІЧ-фотодіоди спеціального призначення, технологія вирощування монокристалів напівпровідників, розробка фізико-технологічних основ

формування омичних і бар'єрних контактів до наноструктурованих широкозонних напівпровідників, перспективних для створення на їх основі НВЧ-приладів нового покоління, удосконалена технологія вирощування великогабаритних пластин оптичного германію нового типу.

З іншого боку, наукові потужності Інституту дають можливість вирішувати нові технологічні завдання замовників у галузях електроніки та телекомунікаційного обладнання України для зменшення імпортозалежності виробництва.

На сьогодні Інститут накопичив низку власних науково-дослідних розробок, готових до впровадження: мобільний пристрій для живлення і заряджання малопотужної апаратури в польових умовах (30 комплектів передано для використання у військових частинах); камеру спостереження у видимому і ближньому ІЧ-діапазонах в умовах низьких освітленостей на основі ЕМ-ССD; маскувальні покриття на основі (AlN, MgO) на гнучких тонких полімерних підкладках; нові типи маскувальних матеріалів в ІЧ- і радіодіапазонах та розроблення пропозицій для їх ефективного використання; полікристалічні пластини Ge великих фізичних параметрів (розміри пластин до 500×150×50 мм); нові типи люмінофорів на основі перовскітів для енергоощадної світлодіодної освітлювальної техніки; дослідні зразки інтелектуальної світлодіодної освітлювальної системи на основі світлопроміньовального модуля з функціями зміни корельованої колірної температури та яскравості; новий тип сонячних елементів на основі нанодротів кремнію; інноваційні адаптивні аналізатори типу «електронний ніс»; надвисокоточні напівпровідникові мікросенсиори температури, магнітного поля та багатофункціональні сенсори, призначені для роботи в екстремальних умовах; спектрометрична система моніторингу атмосфери для експресного визначення шкідливих домішок та аналізу наявності озону O<sub>3</sub> та основних парникових газів (N<sub>2</sub>O, NO<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, SF<sub>6</sub>); високочастотний надчутливий лазерний тензометр для оптичної неруйнівної діагностики напруженого стану в прозорих і непрозорих матеріалах; лазерний гетеродинний вимірювач нанопереміщень; біосенсорний прилад МЕС-5 на основі диференціальних рН-ПТ електродів для ферментного прямого або інгібіторного аналізу хімічних (у тому числі токсичних) речовин, а також основних метаболітів крові (глюкози, сечовини, креатиніну); портативний спектроімпедансний аналізатор ІМ-2 для дослідження складу слабопровідних (діелектричних) багатокомпонентних органічних розчинів, у тому числі на основі бензинів, нафти, масел; оптоелектронний колориметричний блок КД-3 до течешукача аміаку на основі хімічних колірних індикаторів; електронний хеморезистивний «ніс» на основі масивів композитних електрополімерних плівок поліаніліну, поліпіролу та політіофену з різними допантами; оптоелектронні біосенсорні прилади НаноПлазмон та Флюоротест-Нано з плазмон-генерувальними масивами золотих наночастинок; новий спосіб діагностування у медицині,

екології, контролі моторних олиव, полімеризації клеїв з використанням приладу «Плазмон»; плазмон-поляритонний фотодетектор (ППФ) з поліпшеними характеристиками; дослідний зразок модернізованого рефрактометра на основі поверхневого плазмонного резонансу (ППР); розроблено основи роботи сучасних нанорозмірних приладів кремнію-на-ізоляторі, таких як нанодіоди безперехідні польові транзистори тощо.

Авторитетність Інституту підтверджується публікаціями співробітників з новими важливими результатами у фахових міжнародних наукових журналах, які індексуються провідними наукометричними реферативними базами даних Scopus (Elsevier, EU) та Web of Science (Clarivate Analytics, USA). Зокрема, Інститут став лауреатом премії WEB OF SCIENCE AWARD UKRAINE 2018 у номінації «Лідер науки України: Найпродуктивніші установи: Природничі науки» за найбільшу кількість публікацій співробітників Інституту у провідних міжнародних наукових журналах за період 2007—2017 рр., реферованих міжнародною наукометричною базою даних Web of Science компанії Clarivate Analytics. Понад 40 наукових співробітників Інституту мають індекс Хірша — 10 і більше (Scopus, WoS). Співробітники Інституту здійснюють рецензування наукових статей у міжнародних журналах, що індексуються наукометричними базами Scopus та Web of Science (Journal of Non-Cryst., Journal of NanoResearch, Journal of Applied Physics, Nanoscale Research Letters, Applied Optics, Optical Materials Express, Optics Letters, Optics Express, Journal of the Optical Society of America B et al.).

Для подальшого розвитку Інститут планує синхронізацію та гармонізацію з планами євроінтеграції та входження України до Європейського дослідницького простору. Також Інститут має інтегруватися у світові наукові структури, для чого потрібно визначитися з місцем Інституту у глобальному інноваційному тренді. Отже, розглянемо три з багатьох складових інноваційного розвитку:

- інноваційне середовище;
- глобальні тенденції;
- трансфер технологій.

## 11.2. Інноваційне середовище

Інноваційне середовище зазвичай розглядається у двох вимірах: зовнішньому та внутрішньому. У великому арсеналі методів дослідження інноваційного потенціалу товарів, сервісів, ринків одними з найважливіших є SWOT- та PEST- аналізи. Вони дадуть можливість визначити сильні та слабкі сторони ІФН, загрози та можливості. Сильні сторони потрібно підсилювати, слабкі — виправляти, загрози — мінімізувати, а можливості — використовувати.

Для підтримки інноваційного середовища в ІФН мають бути забезпечені такі складові:

- довіра між співробітниками по горизонталі, довіра між співробітниками і нижчою управлінською ланкою та довіра до керівників;
- прозорість;
- наявність інноваційної стратегії і тактики;
- беззастережне виконання продекларованих принципів.

Складно віддати перевагу якомусь із чинників, але дуже важливою для досягнення цілей Інституту є розроблення інноваційної стратегії, для реалізації якої має здійснюватись управління інноваціями.

По-перше, слід сформулювати мету інноваційного розвитку ІФН. Це може бути:

- створення інноваційного конкурентоспроможного продукту;
- створення послуги;
- базування на нових технологіях чи навіть на одній технології;
- новий ресурс;
- нова система управління;
- нова організаційна структура.

По-друге, слід забезпечити синергію учасників інноваційної активності. Для цього всі учасники інноваційної активності мають однаково розуміти проблеми, продукувати ідеї, спільно шукати шляхи розв'язання проблем, які виникли, виробляти спільні рішення і надалі впроваджувати їх та здійснювати.

По-третє, має бути створена креативна атмосфера. Креативність може розглядатися як «перший крок» у майбутніх інноваціях.

Крім того, має бути:

- інноваційна культура;
- доступні комунікації;
- швидкість реагування на виклики, що виникають;
- мінімізація бюрократії;
- міжнародна співпраця.

Як зворотний зв'язок має бути постійний моніторинг і аналіз чотирьох основних стратегічних сфер: соціальної, технологічної, економічної та політичної.

## **11.3.** **Глобальні тенденції розвитку** **науки і техніки**

Розвиток глобальної економіки пов'язують з великими технологічними циклами М.Кондратьєва. З 2015 р. (формально умовно) почався 6-й технологічний уклад, який базується на чотирьох технологіях: нано-, біо-, інфо- та когно- (nano-, bio-, info- and cogno- technologies — NBIC). «Фішкою» є зближення цих технологій (Bainbridge, 2005).



Кожний технологічний уклад забезпечується відповідними джерелами енергії (1 — вода, 2 — пара, 3 — електрика, 4 — нафта і газ, 5 — атомна енергія). Для 6-го укладу — це відновлювані джерела енергії.

Ключові слова 6-го технологічного укладу:

- технологія;
- нано-;
- біо-;
- інфо-;
- когно-;
- зближення;
- відновлювані джерела енергії.

Де може і має бути місце Інституту фізики напівпровідників у 6-му укладі? Наприклад:

- наноструктури для світловипромінювальних і світлочутливих структур (нанотехнології);
- сенсори різного типу, у тому числі біосенсори (нано-, біо- та інформаційні технології);
- структури для інфрачервоних і терагерцових технологій (нано- та інфотехнології);
- структури органічної електроніки (нано- та біотехнології);
- елементи комунікаційних систем, у тому числі в інфрачервоному та терагерцовому діапазонах (інформаційні технології);
- елементи систем відтворення інформації та зображень (когнітивні технології);
- елементи оптичної обробки інформації (інфо- та когнітивні технології);
- фотовольтаїка, у тому числі органічні та гібридні структури (енергетика);
- технології для створення перелічених вище структур і систем.

У реформуванні структури Інституту та досягненні мети інноваційного клімату в ньому слід враховувати тенденції поточного технологічного укладу, який визначатиме розвиток науки і техніки та її застосування на наступні десятиріччя.

## 11.4. Трансфер технологій

Трансфер технологій (ТТ) є головним інструментом комерціалізації наукових розробок та самодостатності як Інституту, так і окремих його підрозділів. Проте цей інструмент кожна організація чи кожний дослідник розуміють і використовують на власний розсуд.

У 2007 р. на державному рівні було проголошено необхідність комерціалізації науки та розвитку інституту ТТ. Було запропоновано створити відповідні підрозділи у кожному інституті та закладі вищої освіти. Крім того,

було запроваджено мережу регіональних центрів з інновацій та трансферу технологій, які згорнули свою роботу за влади Януковича (між іншим, його докторська «дисертація» була присвячена інноваційному менеджменту).

Проте у багатьох закладах освіти та інститутах осередки ТТ успішно працюють і розвиваються, наприклад, в Інституті фізики НАН України, Київському національному університеті імені Тараса Шевченка та ін.

В Інституті фізики напівпровідників потрібно формувати політику ТТ і створити групу фахівців, здатних вивести ІФН НАН України на належне місце у комерціалізації наукових досліджень. Робота в цьому напрямі має супроводжуватися створенням інноваційного середовища та формуванням незаангажованої команди науковців, які можуть і хочуть розвинути ТТ в ІФН.

Для успішної реалізації трансферу технологій в Інституті необхідно:

- поглянути на себе збоку;
- уважно проглянути SWOT- та PEST- аналізи;
- провести науковий аудит Інституту;
- розробити стратегію і тактику інноваційного розвитку Інституту;
- посприяти створенню інноваційного клімату в Інституті;
- провести серію тренінгів для підвищення компетентності науковців у написанні грантів та комерціалізації результатів наукових досліджень;
- вивчати, розповсюджувати, впроваджувати найкращий досвід роботи фахівців трансферу технологій;
- організувати та стимулювати обмін досвідом комерціалізації наукових розробок;
- відпрацювати механізм комерціалізації інноваційних розробок, інтелектуальної власності тощо;
- підтримувати реальних інноваторів, відпрацювати механізми мотивації та стимуляції;
- залучити потенціал технопарку для підвищення інноваційного потенціалу Інституту;
- підвищити інформаційне забезпечення інноваційного процесу;
- орієнтуватися на молодих інноваторів з інноваційним мисленням;
- створити центр креативності при Інституті (можливо, академічний центр креативності);
- продовжувати виставкову активність Інституту з розширенням на міжнародні формати;
- впроваджувати ефективні механізми ТТ;
- роботу з ТТ в Інституті не обмежувати посередницькою діяльністю, включно з послугами інформаційного та консультативного характеру, а додати й послуги виробничого характеру, які пов'язані з організацією виробництва за новими технологіями, пошуком виробників обладнання, вільних виробничих приміщень, виконавців робіт тощо;

- активніше залучати молодь до написання міжнародних проєктів;
- підвищити інформативний рівень сайту ІФН, зокрема рекламну складову.

## 11.5. Погляд Європейського фізичного товариства на тенденції фізичної науки до 2050 року

У рамках форуму Європейського фізичного товариства «Фізика та суспільство у період 2018—2019 років» було сформульовано перспективи розвитку фізичної науки та її впливу на суспільство до 2050 року. Форум звернувся до соціального виміру науки та великих викликів фізики — здійснити докорінні зміни в розвинених суспільствах, підвищити рівень життя в глобальному масштабі та забезпечити базове розуміння природи завдяки програмі «Горизонт 2050».

Щодо фізики напівпровідників було окреслено такі напрями розвитку:

- пошук нових матеріалів (надтонкі, двовимірні матеріали, молекулярна електроніка, полімерні системи, самоорганізація; автоскладання, вирощування матеріалів, чисті та сталі технології виготовлення);
- маніпулювання фотонами та атомами: фотоніка та нанофізика (явища для матеріалів, що мають один, два чи три розміри, зведені до нанорозмірних; наноелектроніка; нанооптика; нанофотоніка; вуглецеві нанотрубки; магнітні наночастинки; наномагнетизм та спінтроніка; квантовий транспорт; метаматеріали; виробництво та зберігання енергії);
- екстремальні параметри світла (взаємодія світла і речовини за надзвичайної щільності світлової енергії та потужності, їх взаємодія, атосекундна наука / генерація УФ та XUV, нелінійна оптика);
- конверсія та зберігання енергії (розвиток потужних джерел енергії, наприклад сонячних батарей);
- датчики та їх застосування (зміни клімату, чутливий склад атмосфери та хмар, моніторинг лісів, якість води, датчики для охорони здоров'я, SERS, органічна електроніка, промисловий моніторинг тощо).

Потрібно розробити теоретичні та експертні підходи для розуміння взаємодії багатьох тіл як у «м'якій», так і у «твердій» конденсованій речовині, атомній та молекулярній системах. Потрібен належний опис взаємозв'язків між частинками для розуміння системного стану та збуджених станів, а також сучасної спектроскопії цих станів, розсіювання та зіткнень. Крім феноменології адекватний опис квантових явищ багатьох тіл дасть змогу зрозуміти стани матерії, які виникають, та нову фізику, пов'язану з ними. Суцільна нескінченність можливих молекулярних ансамблів, сплавів та сполук, дуже велика різноманітність, в якій матеріал може набувати різних форм (наприклад, нанооб'єкт, тонка плівка,

об'єм, кристал, полікристал, аморфний стан), та величезний спектр методів синтезу і характеристики матеріалів свідчать про те, що ця галузь насправді мало досліджена. Це забезпечує нескінченне джерело можливостей та інновацій.

Поява нових станів речовини відкриє шлях до нових застосувань у галузі електроніки, термодинаміки, сенсорики, біології, охорони здоров'я та медицини.

І одним з головних завдань стає популяризація наукових здобутків.

Така думка експертів Європейського фізичного товариства є дуже важливою для розроблення бачення розвитку Інституту на середньо- та довгострокову перспективу.

## 11.6. Аналіз сильних і слабких сторін діяльності Інституту

### **Сильні сторони діяльності:**

- наявність наукового персоналу високої кваліфікації;
- наявність сучасного діагностичного обладнання світового рівня;
- наявність технології виготовлення матеріалів;
- плідна співпраця із закладами вищої освіти України та інших країн;
- активна міжнародна співпраця;
- добра репутація ІФН в Україні, Європі та світі.

**Унікальність установи.** Інститут є базовою організацією України у таких галузях, як напівпровідникове матеріалознавство, елементна база для мікро- та наноелектроніки, приладобудування, оптоелектронних приладів і систем та сенсорики. Він є стратегічною установою в галузі електроніки та телекомунікаційного обладнання і зможе зменшити залежність України від імпорتنих товарів електронної техніки, сприяти створенню нових підприємств та нових робочих місць у галузі електронної техніки вітчизняного виробництва. Як зазначалося вище (див. п. 11.1), зменшення імпортозалежності досягається завдяки впровадженню власних науково-технічних розробок, починаючи зі створення матеріалів з новими функціональними можливостями або поліпшеними характеристиками, розроблення нової елементної бази для мікро- та наноелектроніки (діоди, транзистори, мікросхеми, мікропроцесори тощо), оптоелектронних приладів і систем та сенсорної техніки для виробництва на їх основі власних високотехнологічних наукомістких продуктів для різних галузей народного господарства України (дисплеї, мобільні телефони, планшети, енергоощадні світловипромінювальні прилади, сенсорні системи безпеки та екологічного моніторингу, інші електронні прилади та прилади спеціального призначення).

### **Слабкі сторони діяльності:**

- застаріла інфраструктура та основні засоби;
- сильна залежність від національного фінансування;

- нестача практичних знань з маркетингу та комерціалізації результатів досліджень;
- недостатнє поповнення молодими спеціалістами;
- недостатнє використання наявних ресурсів, як наукових, так і людських;
- слабо розвинуті соціальні ліфти.

Стратегічні плани розвитку логічно випливають з аналізу сильних і слабких сторін Інституту і спрямовані на вирішення основних стратегічних завдань: створення нових функціональних наноматеріалів, світлопроміньовальних структур, вивчення їх структури і властивостей та створення на їх основі приладів НВЧ-електроніки, оптоелектроніки, світлогенерувальних приладів і систем, створення систем відновлюваних джерел енергії (сонячні батареї, суперконденсатори тощо), сенсорів (напівпровідникових, оптичних, хімічних, біологічних тощо), створення напівпровідникових приладів для інфрачервоної та надвисокочастотної (ГЧ- та НВЧ-) техніки та ін.

#### **Удосконалення структури та методів управління:**

- розроблення і вдосконалення нормативної бази Інституту відповідно до закону України «Про наукову і науково-технічну діяльність», відкритість процесу створення основних документів (планів, наказів, положень, розпоряджень тощо), їх експертизи, затвердження та оприлюднення;
- формування кадрового резерву для керівних посад Інституту: директора, заступників директора за напрямками, керівників відділів і лабораторій. Омолодження керівної ланки Інституту. Підвищення компетенції адміністративно-управлінського персоналу в сфері управління діяльністю Інституту;
- розширення практики надання наукових та консультаційних послуг;
- забезпечення розвитку наукової та технічної бази Інституту, оновлення наявного і придбання новітнього експериментального обладнання;
- для ефективнішого використання унікального експериментального обладнання відділів створення загальноінститутських підрозділів та цільових тимчасових колективів з працівників різних наукових підрозділів для якісного виконання науково-дослідних робіт;
- визначення пріоритетних напрямів наукових досліджень та переорієнтація у ці сфери наукової діяльності частини співробітників;
- розроблення і впровадження системи рейтингового оцінювання діяльності працівників (показники ефективності наукової і науково-організаційної праці), розширення заходів їх матеріального стимулювання;
- мотивування працівників Інституту до опублікування матеріалів досліджень у високорейтингових наукових виданнях через запровадження механізму повного чи часткового відшкодування їхніх витрат на публікації у цих виданнях;



- посилення діяльності підрозділів інтелектуальної власності, трансферу технологій у частині моніторингу ринку науково-технологічних послуг, комерціалізації наукових розробок, реалізації власних винаходів, патентів тощо;
- проведення інформаційних заходів щодо популяризації результатів наукової діяльності в Інтернет-просторі, співпраці з національною і міжнародними мережами трансферу технологій та розміщення рекламних матеріалів про наукові розробки на їхніх інформаційних ресурсах;
- забезпечення дотримання принципів наукової доброчесності шляхом здійснення перевірки на наявність плагіату основних результатів науково-дослідних тем, заключних звітів, монографій, наукових доповідей.

**Можливі внутрішні і зовнішні загрози:**

- недостатня увага до розвитку науки в Україні і нерозуміння її ролі в суспільстві;
- недостатня увага до підготовки кадрів інженерно-технологічного профілю (катастрофічне зменшення числа випускників);
- орієнтація промислового комплексу України на імпорт високотехнологічного обладнання та електронних компонентів, що гальмує розвиток і впровадження власних розробок;
- недостатній рівень фінансування наукових досліджень в Україні;
- світові фінансові кризи, екологічна та біологічна нестабільність;
- недостатня активність ІФН у ЄС та глобальній науково-дослідній кооперації;
- відсутність спрямованості: виконується велика кількість низькобюджетних проектів;
- система регуляції не підтримує передання результатів досліджень від науково-дослідних організацій до бізнесових підприємств та комерціалізацію результатів;
- фрагментована дослідницька інфраструктура;
- слабо розвинуті соціальні ліфти.
- неналаштованість на інноваційний розвиток.

**Напрями і необхідні заходи для подолання можливих внутрішніх загроз:**

- створення інноваційного клімату в Інституті — максимальна прозорість прийняття рішень та неодмінність їх виконання;
- активніша робота з малими, середніми та великими підприємствами на ранніх стадіях наукових розробок;
- створення внутрішньої системи зі створення та реклами наукових послуг та консультацій співробітниками Інституту;
- дефрагментація наукових тематик та організація великих проектів з подальшою їх комерціалізацією;
- дефрагментація дослідницької інфраструктури;
- активна участь у міжнародних програмах і проектах.

**Заходи для подолання зовнішніх загроз:**

- доведення значущості і важливості науки для розвитку держави до найвищих щаблів влади;
- різноманітна участь у роботі органів державної влади з метою роз'яснення важливості науки для держави;
- участь у роботі громадських організацій, які спрямовані на створення інноваційної системи України, на сприяння співпраці між наукою, бізнесом та владою;
- проактивна політика викладацької діяльності у закладах вищої освіти України для залучення здібної молоді до наукової роботи;
- залучення новітніх технологій дистанційної роботи.

## 11.7.

### Стратегія розвитку Інституту

Стратегічні плани розвитку логічно випливають з аналізу сильних і слабких сторін Інституту і спрямовані на вирішення основних стратегічних завдань: створення нових функціональних наноматеріалів, світлово-промінювальних структур, вивчення їх структури і властивостей та створення на їх основі приладів НВЧ-електроніки, оптоелектроніки, світлогенерувальних приладів і систем, створення систем відновлюваних джерел енергії (сонячні батареї, суперконденсатори тощо), сенсорів (напівпровідникових, оптичних, хімічних, біологічних тощо), створення напівпровідникових приладів для інфрачервоної та надвисокочастотної (ІЧ- та НВЧ-) техніки та ін.

Вирішення цих завдань безпосередньо пов'язані з подальшим розвитком теорії напівпровідників та напівпровідникових приладів, що охоплює: 1) розвиток методів теоретичної фізики для детального кількісного аналізу фізичних явищ та процесів у напівпровідникових матеріалах, гетеро- та наноструктурах; 2) вивчення фундаментальних властивостей електронів, фононів, фотонів, магнонів та інших збуджень у новітніх матеріалах і низьковимірних системах на їх основі; 3) дослідження процесів електрон-фононої, електрон-фотонної, акустооптичної та акустомагнітної взаємодій в гетеро- і наноструктурах в умовах рівноваги, а також у сильнонерівноважних умовах під впливом зовнішніх електричних, оптичних, акустичних, магнітних та температурних полів; 4) пошук нових електричних, оптичних, акустичних та магнітних ефектів, які мають перспективу поліпшення параметрів наявних мікроелектронних, оптоелектронних та акустоелектронних приладів, зокрема, зменшення характерних розмірів приладів до наномасштабів та реалізації надшвидких і надвисокочастотних режимів роботи; 5) дослідження нанорозмірних систем з додатковими ступенями вільності (спіни, ізоспіни, долинні та зонні індекси

тощо), які можуть забезпечити нові багатофункціональні застосування; 6) аналіз нових електронних явищ та електронного транспорту в наноструктурах і двовимірних кристалах, зокрема за низьких температур та сильних магнітних полів, включно з проявами електрон-електронних кореляцій, електронної в'язкості тощо; 7) аналіз фононних явищ та фононного транспорту в наноструктурах, зокрема, визначення умов зменшення дисипації енергії та поліпшення відведення тепла від приладових структур у разі великих електричних навантажень; 8) розвиток нових ідей щодо створення нових приладів надвисокочастотної наноелектроніки, нанофотоніки, наноакустики, спінтроніки та плазмоніки, зокрема таких, що базуються на гібридних наноструктурах, у тому числі генератори та детектори терагерцового діапазону, акустичні та плазмонні лазери «сазери та спазери», фотонні мікро- та нанолазери, нові світловипромінювальні джерела та пристрої для квантових обчислень.

Зусилля науковців Інституту також будуть зосереджені на створенні конкурентоспроможної компонентної бази НВЧ-електроніки сантиметрового, міліметрового та субміліметрового (терагерцового) діапазонів (1 ГГц — 1 ТГц) світового рівня для забезпечення виробництва сучасних та розроблення перспективних радіотехнічних систем і комплексів спеціального та подвійного призначення в інтересах народного господарства держави, національної оборони; розробленні, виготовленні та дослідженні характеристик випромінювачів та багатоелементних неохолоджуваних або помірно охолоджуваних детекторів терагерцового (ТГц) та суб-ТГц діапазонів спектра, придатних для застосувань у активних і пасивних системах радіобачення у реальному масштабі часу або спектроскопічних системах для цілей виявлення потенційно небезпечних вибухових та наркотичних сумішей, у комунікаційних технологіях для передачі великих масивів інформації на невеликі відстані, спецпризначеннях тощо.

Обговорюючи шляхи розвитку ІФН, слід також відзначити такий науковий напрям, як органічна електроніка. При цьому доречно згадати історію започаткування і розвитку органічної електроніки в Інституті фізики напівпровідників. Влітку 1997 р. проф. Пенсильванського університету Аллан МакДіармід відвідав Інститут фізики напівпровідників для участі в конференції молодих вчених, яка в той час проводилася в Алушті. Предметом його інтересу була не тільки маловідома на той час східноєвропейська країна, а й робота молодих учених Інституту — Миколи Лаврика і Олега Дімітрієва з дослідження органічного комплексу з перенесенням заряду, що складається з провідного полімеру поліаніліну і акцептора TCNQ, яку було передано йому на рецензування для публікації в журналі *Synthetic Metals*.

Через три роки Аллан МакДіармід разом з іншими вченими — Алланом Хігером і Хідекі Шіракавою отримали Нобелівську премію за від-

криття і розробку провідних полімерів. Так оптимістично почалася нова сторінка історії Інституту фізики напівпровідників, присвячена органічній електроніці.

Наприкінці 90-х матеріали органічної електроніки вже активно досліджувалися в різних лабораторіях світу (див. Додаток 1). Перший синтез провідних полімерів фактично було здійснено в 1977 р., а в 1985 і 1991 роках відповідно було відкрито фулерени і вуглецеві нанотрубки. Було запропоновано лабораторні прототипи молекулярного діода, молекулярного польового транзистора, органічної фотовольтаїчної комірки. В Інституті на той час роботи велися за кількома напрямками.

У лабораторії Б. Нестеренка співробітники О. Набок і З. Казанцева розробили установку для нанесення впорядкованих плівок Ленгмюра—Блоджетт, велися дослідження люмінесцентних властивостей органічних барвників на поверхні кристалічних напівпровідників. Група Ю. Ширшова, а згодом О. Кукли займалися розробленням сенсорів на основі провідного полімеру — поліаніліну.

П. Смертенко досліджував вольт-амперні характеристики та інжекційні властивості органічних плівок. О. Дімітрів займався вивченням оптичних властивостей електропровідних полімерів і агрегатів барвників. К. Гриценко розробляв методики термічного і електронного нанесення плівок полімерів і барвників у вакуумі. Доступ до органічних матеріалів полегшувався співпрацею з хімічними інститутами, які синтезували органічні барвники (Інститут органічної хімії) і провідні полімери (Інститут фізичної хімії).

У наступні два десятиріччя перелік матеріалів органічної електроніки в Інституті розширився і поповнився, зокрема, такими полімерами, як РЗНТ, PEDOT: PSS, сополімер анілін-тіофен, розроблений вперше в Інституті біоорганічної хімії та нафтохімії (а також гетероциклічні аміни та фторовані поліаміди). Розширилось і коло завдань із застосуванням зазначених матеріалів. Зокрема, великий цикл робіт був присвячений дослідженню гібридних фотовольтаїчних комірок, бум яких у світі припав на початок 2000-х.

Сьогодні в Інституті ведуться роботи з вивчення фундаментальних властивостей органічних напівпровідників: перенесення заряду і енергії в донорно-акцепторних структурах, вплив структурної організації молекулярного ансамблю на його електронні властивості, селективний вплив світла на перебудову структури молекулярного ансамблю, динаміка екситона, процеси перетворення інфрачервоного випромінювання на видиме, механізми транспорту заряду в органічних плівках та процеси самоорганізації органічних плівок на кристалічних підкладках.

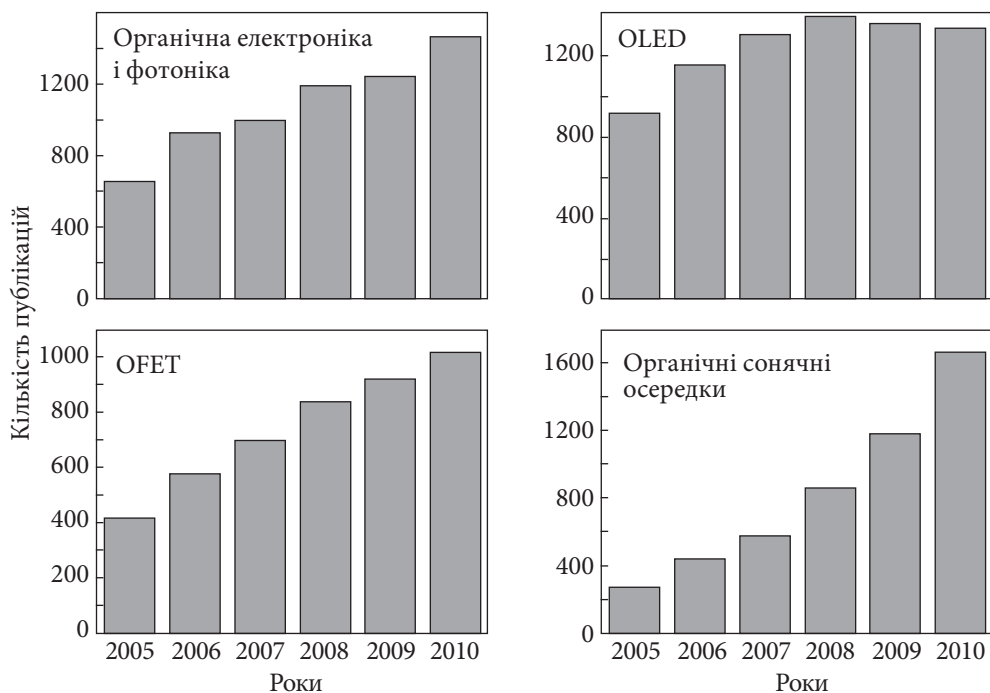
Ведуться також прикладні роботи з використанням органічних матеріалів, в основному в галузі сенсоріки (О. Кукла, Б. Снопок, В. Чегель, Ю. Уше-

нін). Слід визнати, що більшість нових відкриттів були б неможливими без співпраці з колегами з інших інститутів і без зарубіжних грантів через відсутність необхідного обладнання та інфраструктури в Інституті. Так, відкриття аномального ексимера в ансамблях органічного барвника було зроблено у співпраці з Інститутом фізики та Інститутом органічної хімії НАН

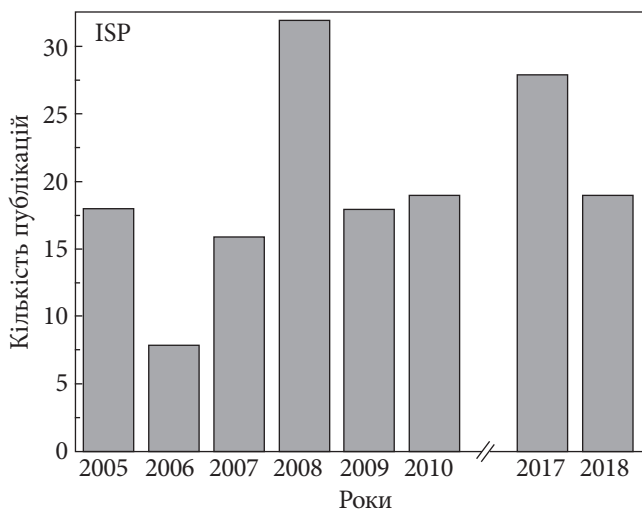
### Порівняння сучасних трендів у галузі органічної електроніки та напрямів роботи Інституту фізики напівпровідників

Сучасний тренд	Стан розвитку в ІФН
<i>1. Гнучкі світловипромінювальні панелі</i>	
<p>Органічні світлодіоди (OLED) досі є значним успіхом органічної електроніки, і їх вже використовують як частину OLED-дисплеїв у деяких високоякісних телевізорах і смартфонах. Зараз їх розглядають для використання в побутових світильниках і вуличних ліхтарях. На відміну від неорганічних світлодіодів світло OLED може бути зроблене на великих пластикових панелях. Це означає, що можна використовувати OLED як гнучкі світловипромінювальні поверхні для створення нових способів освітлення приміщень, що не залежать від точкових джерел, таких як лампочки</p>	<p>Досі в Інституті увага приділялася тільки твердотілим світловипромінювальним діодам, однак навіть цей вітчизняний світлодіод так і не було остаточно розроблено.</p> <p>Слід зауважити, що спроби зібрати OLED в Інституті також робилися, однак українська пальма першості в цьому напрямі належить Львівській політехніці. Проте роботи в діапазоні OLED велися нашими співробітниками в зарубіжних лабораторіях, наприклад Л. Фененко в лабораторії Адачі в Японії</p>
<i>2. Органічні польові транзистори (OFET)</i>	
<p>OFET також виготовлені з органічних напівпровідників. OFET, зокрема, обслуговують роботу кожного OLED-пікселя гнучкого світловипромінювального дисплея, готового вмикати й вимикати його за потреби</p>	<p>Досі в Інституті проблемою OFET навіть не займалися, за винятком поодиноких робіт з моделювання провідності графену, віднесення якого до органічних матеріалів дуже суперечливе (див. <a href="https://www.quora.com/Is-graphene-an-organic-or-an-inorganic-material">https://www.quora.com/Is-graphene-an-organic-or-an-inorganic-material</a>)</p>
<i>3. Друковані сонячні елементи</i>	
<p>Хоча органічні фотовольтаїчні системи на цей час не настільки ефективні у виробництві електрики, як звичайні кремнієві панелі, їх продуктивність неухильно зростає протягом останнього десятиліття. Проте, як і раніше, проводяться значні дослідницькі роботи, і деякі компанії вже розробляють і продають такі панелі</p>	<p>В Інституті проводяться спорадичні дослідження органічних і гібридних сонячних елементів, але вийти на конкурентні ефективності поки не вдалося</p>





a



б

Динаміка зростання числа публікацій у галузі органічної електроніки у світі (a) (J. Mater. Chem., 2012, 22, 4134) і в Інституті фізики напівпровідників (б). Світові публікації подано за тематиками: органічна електроніка і фотоніка, OLED, OFET та органічні сонячні осередки. Публікації ІФН (ISP) охоплюють усі розділи, що стосуються органічних матеріалів, у тому числі синтез, сенсоріку, фотовольтаїку, електронні та оптичні властивості

України, доказ полегшеної дисоціації екситону на межі РЗНТ/РСВМ в разі розупорядкування полімерних ланцюгів було зроблено у співпраці з університетом Міннесота (США), методику «візуалізації» донорних і акцепторних ділянок в органічному донорно-акцепторному фотовольтаїчному осередку було розроблено у співпраці з Університетом Леобен (Австрія). Цікаво проаналізувати, як роботи Інституту в галузі органічної електроніки відповідають сучасним трендам (див. табл.).

Для порівняння ефективності роботи Інституту в цьому напрямі зі світовими тенденціями можна порівняти динаміку публікацій співробітників Інституту в галузі органічної електроніки зі світовими трендами (див. рисунок). На діаграмі наведено число публікацій у світі і в Інституті за 5 років (2005—2010), а також показано кількість публікацій в Інституті з цієї тематики за останні два роки.

Як видно, якщо світове число публікацій має тенденцію до зростання практично по всіх напрямках органічної електроніки, то щорічна кількість публікацій в Інституті в галузі органічної електроніки в середньому однакова і не виявляє тенденції ні до зростання, ні до зменшення.

На закінчення можна констатувати, що органічна електроніка як розділ сучасної науки в Інституті представлена, проте потрібна консолідація зусиль і підтримка цього напрямку для того, щоб відповідати світовим трендам і зайняти свою оригінальну нішу.

Стратегічні плани розвитку матеріальної бази Інституту ґрунтуються на таких підходах:

1. Загальносвітові тенденції розвитку нано-, біо- та інфотехнологій: терагерцова електроніка, оптоелектроніка, спінтроніка, сенсори широкого застосування на різних принципах дії, органічна та біоелектроніка.

2. Європейські тенденції «цифрових» технологій та розвитку європейських дослідницьких інфраструктур.

3. Збереження та модернізація наявної експериментальної бази.

4. Зосередження наукових, інтелектуальних, інформаційних, організаційних та матеріальних ресурсів на використанні наявного устаткування та обладнання.

5. Стимулювання творчої взаємодії між власними і міжнародними лабораторіями.

6. Використання міжнародних програм, які сприяють поліпшенню забезпечення обладнанням та устаткуванням, наприклад програми НАТО «Задля миру та безпеки» (NATO SfPS).

Ці плани охоплюють:

- розвиток технології створення та методів характеристики наноточок, нанодротів на основі матеріалів  $A^3B^5$ ,  $A^2B^6$  та ін.;

- розвиток технологічних підходів до створення наноструктурованих гібридів та композитів з електронними властивостями;

- розвиток технологій самоорганізації та самоскладання молекул;
- розширення участі ІФН у GRID-технологіях;
- перехід ІФН на «цифрове» врядування як з наукової звітності, так і з організації наукових досліджень;
  - входження до європейських та світових баз даних як Інститутом в цілому, так і персонально співробітниками ІФН;
  - започаткування зв'язків з Європейським консорціумом наукової інфраструктури (ERIC — European Research Infrastructure Consortium);
  - подання проєктів до NATO SfPS програми. Це практично єдина на сьогодні програма, за якою виділяються кошти на закупівлю обладнання;
  - використання обладнання для досліджень завдяки спільним проєктам: білатеральним, COST, EUREKA, ГОРИЗОНТ 2020.

Стратегія Інституту щодо залучення коштів від третіх сторін полягає в участі у національних, європейських та інших міжнародних програмах та конкурсах.

---

---

## ВИСНОВКИ

Упродовж 60 років Інститут фізики напівпровідників ім. В.Є. Лашкарьова НАН України накопичив величезний науковий досвід, який передає наступникам. Цей досвід полягає у проведенні наукових досліджень, виконанні господарчої договірної як військової, так і цивільної тематики. Після розпаду Радянського Союзу він став у пригоді під час виконання міжнародних проектів, успішної роботи в закордонних лабораторіях. Розвиток штатного розпису ІФН протягом 60 років:

Роки	Загальна кількість працівників	Докторів наук	Кандидатів наук	Науковців без ступеня
1961	224	4	21	35
1970	546	12	61	99
1980	687	23	144	195
1990	836	62	200	199
2000	645	81	167	101
2010	763	87	207	208
2019	624	69	194	197

За цей час розвинулися і досягли успіху шість наукових шкіл:

- школа фізики напівпровідників, засновник — академік АН УРСР В.Є. Лашкарьов;
- школа теорії напівпровідників, засновник — академік АН УРСР С.І. Пекар;
- школа радіоспектроскопії, засновник — чл.-кор. АН УРСР М.Ф. Дейген;
- школа фізики поверхні напівпровідників, засновники — проф. В.І. Ляшенко, академік АН УРСР О.В. Снітко, чл.-кор. НАН України В.Г. Литовченко;
- школа оптики та спектроскопії, засновник — академік АН УРСР М.П. Лисиця;
- школа оптоелектроніки, засновник — академік АН УРСР С.В. Свечніков.

Ці школи виховали плеяду видатних фізиків, які працювали та працюють не тільки на теренах України, а й далеко за її межами.

При Інституті діють аспірантура і докторантура, працюють спеціалізовані вчені ради із захисту дисертацій на здобуття наукового ступеня доктора наук (зі спеціальностей: 01.04.10 — фізика напівпровідників і діелектриків; 01.04.18 — фізика і хімія поверхні; 05.12.20 — оптоелектронні системи) і кандидата наук (зі спеціальностей: 01.04.01 — фізика приладів, елементів і систем; 01.04.07 — фізика твердого тіла; 05.27.01 — твердотільна електроніка; 05.27.06 — технологія, обладнання та виробництво електронної техніки), здійснюється підготовка кадрів через аспірантуру (зі спеціальностей: 01.04.07 — фізика твердого тіла; 01.04.10 — фізика напівпровідників і діелектриків; 05.12.20 — оптоелектронні системи; 05.27.01 — твердотільна електроніка; 05.27.06 — технологія, обладнання та виробництво електронної техніки) та через докторантуру (зі спеціальності: 01.04.10 — фізика напівпровідників і діелектриків).

Зараз Інститут має Ліцензію на провадження освітньої діяльності у сфері вищої освіти за третім (освітньо-науковим) рівнем за спеціальностями: 104 — фізика і астрономія, 105 — прикладна фізика та наноматеріали, 172 — телекомунікації та радіотехніка.

Тут відбувається ініціація молодих поколінь учених, які рухатимуть науку далі.

ІФН досяг видатних результатів у впровадженні своїх розробок. За роки діяльності до 1990 р. було виконано понад 100 проектів для потреб військових і цивільних підприємств. Після 1990 р. кількість проектів значно зросла і сягнула 1000 проектів за 30 років, зокрема й завдяки міжнародним програмам: STCU, CRDF, NATO SfPS, Горизонт 2020 та ін.



---

---

## ДОДАТКИ

### Додаток 1

#### Нобелівські премії з фізики та хімії, які підкреслили важливість робіт у галузі фізики напівпровідників, оптики та оптоелектроніки

Рік	Прізвище	Досягнення
1956	Вільям Бредфорд Шоклі, Джон Бардін та Уолтер Хаузер Браттейн (США)	За дослідження напівпровідників та відкриття транзисторного ефекту
1964	Чарльз Хард Таунс (США), Микола Геннадійович Басов та Олександр Михайлович Прохоров (СРСР)	За фундаментальні роботи в галузі квантової електроніки, які сприяли створенню генераторів і підсилювачів на лазерно-мазерному принципі
1973	Лео Есакі (Японія), Айвар Джаєвер (Норвегія, США)	За експериментальні відкриття тунельних явищ у напівпровідниках та надпровідниках відповідно
1981	Ніколас Бломберген (Нідерланди, США) та Артур Леонард Шавлов (США)	За внесок у розвиток лазерної спектроскопії
1985	Клаус фон Клітцинг (Німеччина)	За відкриття квантового ефекту Холла
1986	Ернст Руска (Німеччина)	За роботу над електронним мікроскопом
1986	Герд Бінніг (Німеччина) та Генріх Рорер (Швейцарія)	За винахід сканувального тунельного мікроскопа
1991	П'єр Жиль де Жен (Франція)	За виявлення того, що методи, розвинені для вивчення явищ упорядкованості в простих системах, можуть бути узагальнені на рідкі кристали й полімери

Рік	Прізвище	Досягнення
1996	Роберт Керл (США), Харолд Крото (Велика Британія) та Річард Смелл (США)	За відкриття фулеренів (хімія)
1998	Роберт Лафлін (США), Хорст Штермер (Німеччина) та Деніел Цуї (Китай, США)	За відкриття нової форми квантової рідини зі збудженнями, що мають дробовий електричний заряд
2000	Жорес Іванович Алфьоров (Росія) та Герберт Кремер (Німеччина)	За розроблення напівпровідникових гетероструктур, використовуваних у високочастотних схемах та оптоелектроніці
2000	Джек Кілбі (США)	За участь у винаході інтегральної схеми
2000	Алан Хігер (США), Алан МакДіармід (Нова Зеландія та США), Хідекі Шіракава (Японія)	За відкриття провідності полімерів (хімія)
2005	Рой Глаубер (США)	За внесок у квантову теорію оптичної когерентності
2005	Джон Холл (США) та Теодор Хенш (Німеччина)	За внесок у розвиток лазерної точної спектроскопії, у тому числі техніки прецизійного розрахунку світлового зрушення в оптичних стандартах частоти (оптичних гребінках)
2009	Чарльз Куен Као (Китай, Велика Британія, США)	За революційні досягнення в передачі світла у волокнах для потреб оптичного зв'язку
2009	Уїллард Стерлінг Бойл (Канада та США) та Джордж Елвуд Сміт (США)	За винахід напівпровідникової схеми для реєстрації зображень — ПЗС-сенсора
2010	Андрій Гейм (Нідерланди, Росія) та Костянтин Новосолов (Велика Британія, Росія)	За новаторські експерименти з дослідження двовимірного матеріалу — графену
2011	Дан Шехтман (Ізраїль)	За відкриття квазікристалів (хімія)
2014	Хіросі Аmano, Ісаму Акасакі (Японія), Судзі Накамура (Японія, США)	За винахід ефективних синіх світлодіодів, що сприяло появі яскравих та енергоощадних джерел білого світла

Перелік лауреатів Нобелівської премії з фізики. <https://uk.wikipedia.org/wiki/>

## Додаток 2

### Основні віхи розвитку науки й техніки напівпровідників

Роки	Вчені	Відкриття	Посилання
1729	С. Грей (Stephen Gray, 1666—1736), Велика Британія	Явище електропровідності, провідники та ізолятори	Gray, 1731—1732
1769	А. Вольта (Alessandro Giuseppe Antonio Anastasio Gerolamo Umberto Volta, 1745—1827), Італія	Опис природи електрики	Volta, 1769
1800	Він же	Електрична батарея Вольта	Volta, 1800
1821	Т.Й. Зеебек (Thomas Johann Seebeck, 1770—1831), Німеччина	Термоелектричний ефект Зеебека, перетворення тепла на електрику	Seebeck, 1822
1821	Г. Деві (Humphry Davy, 1778—1829), Велика Британія	Факт залежності електропровідності від температури	The Collected, 1840
1826	Г.С. Ом (Georg Simon Ohm, 1789—1854), Німеччина	Закон Ома: сила струму в провіднику пропорційна прикладеній напрузі	Ohm, 1826
1833	М. Фарадей (Michael Faraday, 1791—1867), Велика Британія	Збільшення провідності срібляного срібла зі зростанням температури	Faraday, 1839
1834	Ж. Пельтьє (Jean Charles Athanase Peltier, 1785—1845), Франція	Термоелектричний ефект Пельтьє, охолодження чи нагрівання при проходженні електричного струму	Peltier, 1834
1839	А.Е. Беккерель (Alexandre-Edmond Becquerel, 1820—1891), Франція	Фотовольтаїчний ефект, явище виникнення електрорушійної сили (ЕРС) в електроліті при освітленні поверхні одного з електродів, який був напівпровідником	Becquerel, 1841
1851	У. Томсон (William Thomson, 1824—1907), Велика Британія	Теорія термоелектричних струмів, термоелектричний ефект Томсона, нагрівання або охолодження провідника зі струмом в умовах існування градієнта температури	Thomson, 1851
1851	Й.В. Гітторф (Johann Wilhelm Hittorf; 1824—1914), Німеччина	Кількісні вимірювання залежності провідності напівпровідників (сульфідів міді та срібла) від температури	Hittorf, 1851

Роки	Вчені	Відкриття	Посилання
1873	В. Сміт (Willoughby Smith, 1828—1891), Велика Британія	Внутрішній фотоефект, фотопровідність у селені, збільшення провідності селену під впливом освітлення	Smith, 1873
1874	К. Браун (Karl Ferdinand Braun, 1850—1918), Німеччина	Встановлено, що точковий контакт металу з сульфідом металу може бути випрямлячем: пропускати струм в одному напрямку і не пропускати в іншому	Braun, 1874
1874	А.Ф. Шустер (Franz Arthur Friedrich Schuster, 1851—1934), Велика Британія	Одностороння провідність на контакті мідь—оксид міді	Schuster, 1876
1877	У.Г. Адамс (William Grylls Adams, 1836—1915), Велика Британія, та Р. Дей (R.E. Day), Велика Британія	Перша фотовольтаїчна комірка на селені	Adams, 1986
1879	Е. Холл (Edwin Herbert Hall, 1855—1938), США	Ефект Холла, виникнення у провіднику зі струмом, вміщеному в магнітне поле, електричного поля, перпендикулярного до напрямку струму та магнітного поля	Hall, 1879
1883	Ч.Е. Фріттс (Charles E. Fritts, 1850—1903), США	Перший напівпровідниковий випрямляч, перший сонячний елемент (на селені)	Fritts, 1883
1886	К.А. Вінклер (Clemens Alexander Winkler, 1838—1904), Німеччина	Відкриття елемента германій	Winkler, 1886
1888	В. Нернст (Walther Hermann Nernst, 1864—1941), Німеччина	Теорія дифузії	Nernst, 1888
1897	Дж.Дж. Томсон (Joseph John Thomson 1856—1940), Велика Британія	Доведення того, що електрони є матеріальним переносником електричного струму	Thomson, 1897
1900	П.К.Л. Друде (Paul Karl Ludwig Drude, 1863—1906), Німеччина	Електронна теорія електропровідності металів	Drude, 1900

Роки	Вчені	Відкриття	Посилання
1901	Е. Рікке (Carl Viktor Eduard Riecke, 1845—1915), Німеччина	Показовий експеримент, який довів перенесення заряду в металі не атомами, а електронами	Riecke, 1901
1901	Д.Ч. Бос (Jagadish Chandra Bose, 1858—1937), Індія	Точковий контактний детектор на сульфіді плюмбуму PbS	Bondyopadhyay, 1998
1906	Г. Пікард (Greenleaf Whittier Pickard, 1877—1956), США	Патент на кристалічний кремнієвий детектор	Patent, 1906
1907	Дж. Пірс (George Washington Pierce, 1872—1956), США	Доведення електричної природи явища випрямлення змінного струму	Pierce, 1907
1907	Г. Раунд (Henry Joseph Round, 1881—1966), Велика Британія	Перше спостереження електролюмінесценції у твердотільному діоді, що спричинило відкриття світловипромінювальних діодів	Round, 1907
1910	В. Фойгт (Woldemar Voigt, 1850—1919), Німеччина	Теорія термоелектричних явищ	Voigt, 1910
1914	Й.Г. Кенігсбергер (Johann Georg Koenigsberger, 1874—1946), Німеччина	Теорія струмоперенесення у напівпровідниках	Koenigsberger, 1914
1915	К. Бенедікс (Carl Axel Fredrik Benedicks, 1875—1958), Швеція	Напівпровідникові властивості германію, випрямна дія точкового контакту з германієм	Benedicks, 1915
1918	Я. Чохральський (Jan Czochralski, 1885—1953), Польща	Метод вирощування монокристалів, названий пізніше методом Чохральського	Czochralski, 1918
1920—1930	Р. Поль (Robert Wilhelm Pohl, 1884—1976), Німеччина	Дослідження властивостей напівпровідників на галогенідах лужних металів, встановлено особливу роль домішок у провідності напівпровідників	Pohl, 1925
1922	О.В. Лосев (1903—1942), Росія	Явище підсилення та генерування електромагнітних коливань напівпровідниковим пристроєм	Лосев, 1922
1922	Він же	Прилад «Кристадин», який мав властивості однолампового радіоприймача	Лосев, 1922



Роки	Вчені	Відкриття	Посилання
1925	П.В. Бріджмен (Percy Williams Bridgman, 1882—1961), США	Виділення додаткової теплоти, крім теплоти Джоуля та Томсона, якщо струм протікає в середовищі під деяким кутом (відмінним від нуля чи $\pi/2$ ) до кристалографічних осей, ефект Бріджмена	Bridgman, 1925
1926	Я.І. Френкель (1894—1952), Росія	Теорія збудження в напівпровідниках парних носіїв заряду — електронів і дірок	Frenkel, 1926, Френкель, 1956
1926—1933	Я.І. Френкель (1894—1952), Росія, К. Вагнер (Carl Wilhelm Wagner, 1901—1977), Німеччина, В. Шоттки (Walter Hans Schottky, 1886—1976), Німеччина, та Ф.В. Йост (Friedrich Wilhelm Jost, 1903—1988), Німеччина	Введення у науковий обіг поняття дефектів кристалічної ґратки, згодом — «дефектів за Френкелем»	Френкель, 1958, Wagner, 1931, Jost, 1933
1926—1930	Ю.Е. Лілієнфельд (Julius Edgar Lilienfeld, 1882—1963), Польща, Німеччина, США	Перший патент США на польовий транзистор	Lilienfeld, 1928
1927	Л. Грондаль (Lars Olai Grondahl, 1880—1968), США, П. Гейгер (Paul H. Geiger, 1896—1953), США	Винайдення технічного міднозакисного випрямляча	Grondahl, 1927
1928	Р. Фаулер (Ralph Howard Fowler, 1889—1944), Велика Британія, та Л. Нордгейм (Lothar Wolfgang Nordheim, 1899—1985), Німеччина, США	Відкриття явища холодної електронної емісії з металів завдяки тунелюванню	Fowler, 1928
1929	П. Еренфест (Paul Ehrenfest, 1880—1933), Австрія, Нідерланди	Поняття анізотропного розсіяння	Ehrenfest, 1929a, Ehrenfest, 1929b

Роки	Вчені	Відкриття	Посилання
1930	К. Вагнер (Carl Wilhelm Wagner, 1901—1977), Німеччина, В. Шоттки (Walter Hans Schottky, 1886—1976), Німеччина	Виявлено існування двох видів напівпровідників — електронних та діркових	Wagner, 1930
1930	І.Є. Тамм (1895—1971), Росія	Уявлення про фоони — пружні коливання у твердому тілі	Тамм, 1975
1931	В.К. Гейзенберг (Werner Karl Heisenberg, 1901—1976), Німеччина	Остаточне поняття «дірок» як вільних місць у майже заповненій валентній зоні	Heisenberg, 1931
1931	А. Вільсон (Alan Herries Wilson, 1906—1995), Велика Британія	Теоретична модель напівпровідника, основи «зонної теорії напівпровідників»	Wilson, 1931
1931	Л. Онзагер (Lars Onsager, 1903—1976), США	Обґрунтування симетрії кінетичних коефіцієнтів	Onsager, 1931
1931	Г. Дембер (Harry Dember, 1882—1943), Німеччина	Ефект Дембера — виникнення електричного поля в однорідному напівпровіднику при його нерівномірному освітленні	Dember, 1931
1932—1933	А. Вільсон (Alan Herries Wilson, 1906—1995) та Р. Фаулер (Ralph Howard Fowler, 1889—1944), Велика Британія, А.Ф. Йоффе (1880—1960), Росія	Теорія випрямлення струму на контактному шарі метал—напівпровідник, пояснення випрямлення на контакті метал—напівпровідник квантово-механічним тунелюванням	Wilson, 1932, Йоффе, 1933
1932	І.Є. Тамм (1895—1971), Росія	Теорія існування особливих електронних станів, названих спочатку поверхневими, а потім «таммівськими», на поверхні кристалів	Тамм, 1975
1932	В.П. Жузе (1904—1993) та Б.В. Курчатов (1905—1972), Росія	Розмежування власної та домішкової провідності, зокрема у провідності закису міді	Жузе, 1932
1933	І.К. Кікоїн (1908—1984) та М.М. Носков (1909—2002), Росія	Фотомагнітоелектричний ефект Кікоїна—Носкова — виникнення електричного поля в освітленому напівпровіднику, вміщеному в магнітне поле	Кікоїн, 1934

Роки	Вчені	Відкриття	Посилання
1934	К.М. Зінер (Clarence Melvin Zener, 1905—1993), США	Уявлення про міжзонне тунелювання, або внутрішню електронну емісію, ефект Зінера, який пояснює пробій діелектрика	Zener, 1931
1935	О. Хейл (Oskar Heil, 1908—1994), Німеччина	Патент Великої Британії на польовий транзистор	Heil, 1935
1936	Ж. Дестріо (Georges J. Destriau, 1903—1960), Франція	Ефект Дестріо — світіння конденсатора під дією змінного електричного поля	Destriau, 1936
1937	Б.Й. Давидов (1908—1963), Росія	Дифузійна теорія випрямлення змінного струму на межі поділу двох напівпровідників	Давыдов, 1937
1937	І.М. Странський (Ivan N. Stranski, 1897—1979), Болгарія, Л. Крастанов (Lubomir Krastanow, 1908—1977), Болгарія	Ідея технології росту квантових точок, відома як метод вирощування Странського—Крастанова	Stranski, 1937
1938	Р. Хілш (Rudolf Hilsch, 1903—1972) та Р. Поль (Robert Wichard Pohl, 1884—1976), Німеччина	Показано можливість керування електронними струмами, фактично принциповий опис напівпровідникового тріода	Hilsch, 1938
1938	Н.Ф. Мотт (Nevill Francis Mott, 1905—1996), США, Б.Й. Давидов (1908—1963), Росія, В. Шотткі (Walter Hans Schottky, 1886—1976), Німеччина	Теорія контакту метал—напівпровідник (незалежно один від одного), теорія випрямлення, діод Шотткі, електронно-дірковий перехід	Mott, 1939, Schottky, 1939, Давыдов, 1938a
1938	Б.Й. Давидов (1908—1963), Росія	Перша дифузійна теорія випрямлення змінного струму завдяки кристалічним детекторам, відповідно до якої воно відбувається на межі поділу двох шарів напівпровідників, які мають $p$ - та $n$ -провідність	Давыдов, 1938b

Роки	Вчені	Відкриття	Посилання
1939	В. Шоклі (William Bradford Shockley, 1910—1989), США	Існування у ковалентних кристалах типу алмазу (до яких, зокрема, належать напівпровідники кремній та германій) поверхневих електронних станів, інтерпретація цього явища мовою хімічних зв'язків	Shockley, 1939, Nix, 1938
1939	Р. Оль (Russell Shoemaker Ohl, 1898—1987), США	Запровадження термінів « <i>n</i> -тип» та « <i>p</i> -тип» провідності, <i>p</i> — <i>n</i> -перехід у розплаві кремнію	Patent, 1941
1939	В. Шотткі (Walter Hans Schottky, 1886—1976), Е. Шпенке (Eberhard Spenke, 1905—1992), Німеччина	Нова кількісна теорія та розрахунки струмів, обмежених просторовим зарядом	Schottky, 1935
1941	В.Є. Лашкар'єв (1903—1974), Україна	Фізика «запірного шару» на межі поділу мідь—закис міді, який пізніше назвали <i>p</i> — <i>n</i> -переходом	Лашкар'єв, 1941
1942	Компанії Sylvania та Western Electric, США	Початок промислового випуску кремнієвих точкових діодів	Офіційний сайт компанії Sylvania, Офіційний сайт компанії Western Electric
1946	В.Є. Лашкар'єв (1903—1974), Україна	Біполярна дифузія нерівноважних носіїв струму в напівпровідниках	Лашкар'єв, 1946
1946	С.І. Пекар (1917—1985), Україна	Теорія полярона, автолокалізованої частинки, електрон, який «огорнутий» полем поляризованої ґратки і рухається по ґратці, супроводжуваний поляризаційною «шубою». Маса такої квазічастинки значно перевищує масу «голого» електрона, і її тепловий рух є повільним	Пекар, 1946
1947	Дж. Бардін (John Bardeen, 1908—1991) США	Постулювання наявності на вільній поверхні германію та силіцію поверхневих станів та поверхневих шарів	Bardeen, 1947

Роки	Вчені	Відкриття	Посилання
1947	Л. Сосновський (Leonard Sosnowski, 1911—1986), Польща, Є. Старкевич (Jerzy Starkiewicz, 1904—1970), Польща, О. Сімпсон (O. Simpson), Велика Британія	Молекулярно-струменева епітаксія	Sosnowski, 1947
1948	Дж.Н. Шив (John Northrup Shive, 1913—1984), США	Винайдення фототранзистора	Shive, 1950
1948	В. Шоклі (William Bradford Shockley, 1910—1989) та Дж. Пірсон (Gerald L. Pearson, 1905—1987), США	Експериментальне відкриття польового ефекту	Shockley, 1948
1948	У. Браттейн (Walter Houser Brattain, 1902—1987) та Дж. Бардін (John Bardeen, 1908—1991), США	Точково-контактний транзистор	Bardeen, 1948
1948	В.Є. Лашкар'єв (1903—1974), Україна	Механізм інжекції — найважливіше явище, на основі якого діють напівпровідникові діоди та транзистори	Лашкар'єв, 1948
1949	Дж. Хейнс (J.R. Haynes), В. Шоклі (William Bradford Shockley, 1910—1989), США	Прямі дослідження з вимірювання рухливості та часу життя неосновних носіїв струму в германії	Haynes, 1949
1949	Г. Сул (H. Suhl, 1922), Німеччина	Вплив магнітного поля на концентрацію електронів та дірок, ефект Сула	Suhl, 1949
1949	В. Шоклі (William Bradford Shockley, 1910—1989), США	Теорія $p-n$ -переходу, площинний $p-n-p$ та $n-p-n$ -транзистор	Shockley, 1949
1949—1950	В. Шоклі (William Bradford Shockley, 1910—1989), Р.С. Ол (Russell Shoemaker Ohl, 1898—1987), США	Іонна імплантація у напівпровідниках	Shockley, 1954; Brown, 1975



Роки	Вчені	Відкриття	Посилання
1950	Г. Тіл (Gordon K. Teal, 1907—2003), Дж. Літл (J.B. Little), США	Технологія вирощування монокристалів германію, розроблення методу та апаратури для очищення германію за методом Чохральського	Teal, 1950, Patent, 1950
1950	В.Є. Лашкар'єв (1903—1974), Україна	Випуск точкових транзисторів в Інституті фізики	Лашкар'єв, 1950
1950	Юн-Ічі (Дж.) Нішизава (Jun-ichi Nishizawa, 1926—2018), Японія	Рin-діод	Nishizawa, 1983
1950	Radio Corporation of America (RCA), США	Відикон	Joseph, 1982
1950—1951	С.І. Пекар (1917—1985), К.Б. Толпыго (1916—1994), Україна, К. Хуанг (Kerzon Huang, 1928—2016), Китай, США	Теорія зонних спектрів, метод ефективної маси, поняття поляритона, квазічастинка, узгоджене поширення в кристалі власного збудження кристала і електромагнітної хвилі (фотону)	Пекар, 1951, Толпыго, 1950
1951	В. Шоклі (William Bradford Shockley, 1910—1989), США	Ідея використання гетеропереходів у транзисторах	Shockley, 1951
1952	С.В. Свечніков (1926—2017), Україна	Перша в історії оптопара на базі фотоопору із сульфїду кадмію та рентгенівських променів	Свечников, 1952
1952	Г. Тіл (Gordon K. Teal, 1907—2003), США	Технологія вирощування монокристалів кремнію	Teal, 1952
1952	В. Пфанн (W.G. Pfann), США	Метод зонного очищення кремнію та германію	Pfann, 1952
1952	Дж.В.А. Даммер (Geoffrey William Arnold Dummer, 1909—2002), Велика Британія	Технологічний процес, пізніше названий планарною технологією	Dummer, 1952
1952—1953	Г. Велкер (H. Welker, 1912—1981), Німеччина	Дослідження властивостей матеріалів A <sup>II</sup> B <sup>VI</sup>	Welker, 1952, Welker, 1953
1953	В. Шоттки (Walter Hans Schottky, 1910—1989), США	Диністор	Patent, 1953

Роки	Вчені	Відкриття	Посилання
1955	Дж.Дж. Еберс (Jewell James Ebers, 1921—1959), США, С.Л. Міллер (Solomon L. Miller, 1914—1990), США	Лавинний транзистор	Ebers, 1955
1955	Р. Браунштайн (Rubin Braunstein, 1922—2018), США	Електролюмінесценція в ІЧ-діапазоні діодів GaAs	Braunstein, 1955
1956	Дж.Л. Молл (John Louis Moll, 1921—2011), М. Таненбаум (Morris Tanenbaum, 1928), Дж.М. Голдей (James/Jim M. Goldey, 1926), Нік Холоньяк (Nick Holonyak, Микола Голоньяк, 1928), США	Тиристор	Moll, 1956
1956	М.Ф. Дейген (1918—1967), С.І. Пекар (1917—1985), Україна	Деформаційний потенціал	Дейген, 1956
1956	Е.Й. Рашба (1927), Україна, Росія, США, К.Б. Толпиго (1916—1994), Україна	Транспорт носіїв струму в діодах з їх дисипативним переносом	Рашба, 1956
1957	Лео Есакі (Leo Esaki, 1925), Японія	Германієвий тунельний діод	Esaki, 1958
1957	С.І. Пекар (1917—1985), Україна	Теорія додаткових електромагнітних хвиль, які змішані з електронними збудженнями, світлоекситони (хвилі Пекаря)	Пекар, 1957, Пекар, 1982
1957	Е.Й. Рашба (1927), Україна, Росія, США	Теорія локалізованого низькорозмірного екситону	Рашба, 1957а, Рашба, 1957б
1957	М.Ф. Дейген (1918—1967), Україна	Теорія конденсону	Дейген, 1957
1958	Д.С. Кілбі (Jack S. Kilby, 1923—2005), США	Перша аналогова та інтегральна схема	Patent, 1964
1959	Р.Ф. Фейнман (Richard Phillips Feynman, 1918—1988), США	Ідея нанотехнологій, складання шаруватих структур з правильно укладених шарів атомів	Feynman, 1959

Роки	Вчені	Відкриття	Посилання
1959	Е.Й. Рашба (1927), Україна, Росія, США	Ефект Рашби — зняття виро- дження за спіном у твердих тілах (зокрема, у гетероструктурах) за- вдяки сильній спин-орбітальній взаємодії	Рашба, 1959a, Рашба, 1959b
1959	К.Б. Толпиго (1916— 1994), Україна, Т.І. Ку- чер (1921—1985), Ук- раїна	Мікроскопічні розрахунки дина- міки ґратки полярних кристалів	Кучер, 1960
1960	Е.Й. Рашба (1927), Україна, Росія, США	Явище комбінованого резонан- су у напівпровідниках зі спин- орбітальною взаємодією	Рашба, 1960
1962	Ю.В. Осокін (1937), Латвія	Перша в СРСР інтегральна схема на германії P12-2	Осокін, 1966, Ма- лашевич, 2013
1962	Д.А. Наследов (1903— 1975), С.М. Ривкін (1918—1981), Б.В. Ца- ренков (1930), А.А. Ро- гачов (1937—1999), Росія	Стимульоване випромінювання у напівпровідникових діодах на основі арсеніду галію	Наследов, 1962
1962	Нік Холоньяк (Nick Holonyak, Микола Го- лоньяк, 1928), С.Ф. Бе- вакуа (Saverio F. Beva- qua, 1929), США	Лазерний діод на основі галію $\text{Ga}(\text{As}_{1-x}\text{P}_x)$	Holonyak, 1961
1963	Дж.Б. Ганн (John Bat- tistcombe Gunn, 1928— 2008), США	Ефект Ганна — явище виник- нення осциляцій струму ( $\sim 10^9$ — $10^{10}$ Гц) в однорідному багатодо- линному напівпровіднику при прикладенні до нього сильного електричного поля	Gunn, 1963
1964	М.Ф. Дейген (1918— 1967), М.О. Рубан (1934—1991), Україна	Створено спектрометр подвій- ного електронно-ядерного резо- нансу (ПЕЯР)	Рубан, 1964
1965	Г.Е. Мур (Gordon Earle Moore, 1929), США	Закон Мура — кількість тран- зисторів на кристалі мікросхеми подвоюється кожні 24 місяці	Moore, 1964, Moore, 1965

Роки	Вчені	Відкриття	Посилання
1965	С.І. Пекар (1917—1985), Україна	Теорія гіперзвуку, посилення або генерація ультразвуку в непьезоелектричному кристалі, яка заснована на електрострикційній взаємодії деформації із зовнішнім електричним полем	Пекар, 1965
1965	І.І. Бойко (1935), І.П. Жадько (1937—1995), Україна, Е.Й. Рашба (1927), Україна, Росія, США, В.О. Романов (1931—2006), Україна	Розмірні ефекти на біполярній довжині	Бойко, 1965
1966	З.С. Грибніков (1929—2018), Україна, США, В.О. Кочелап (1944), Україна, Е.Й. Рашба (1927), Україна, Росія, США	Розмірні ефекти на міждолинній довжині	Грибніков, 1966
1966	М.Т. Костишин (1920—2011), П.Ф. Романенко (1936—2013), К.В. Михайловська (1943), Україна	Відкриття явища фотостимульованої дифузії в структурах напівпровідник—метал	Kostyshin, 1966
1967	М.Л. Дмитрук (1939—2018), В.І. Ляшенко (1902—1975), Україна	2D-провідність атомарно чистої (сколотої) поверхні GaAs, що стимулювало дослідження приповерхневих квантоворозмірних ефектів	Дмитрук, 1967
1969	Дж.Л. Фергасон (James Lee Fergason, 1934—2008), США	Рідкокристалічний індикатор	Arora, 1969, Fergason, 1970
1970	Л. Есакі (Leo Esaki, 1925), Японія, та Р. Тсу (L.R. Tsu, 1931), Китай	Ідея надгратки	Esaki, 1970
1970	Ж.І. Алфєров (1930—2019), Росія	Гратково узгоджені гетероструктури на четвертих твердих розчинах $A^{III}B^V$	Алфєров, 1968, Алфєров, 1969, Алфєров, 2002

Роки	Вчені	Відкриття	Посилання
1970	В.С. Бойл (Willard Sterling Boyle, 1924—2011), Дж.Е. Сміт (George Elwood Smith, 1930), США	Прилади із зарядовим зв'язком	Boyle, 1970, Patent, 1973
1970	В.С. Лисенко (1940), Ю.І. Горкун, В.Г. Литовченко (1931), Україна	Розмірні ефекти в приповерхневих шарах напівпровідників (анізотропія рухливості і міждолинне розсіяння зарядів)	Gorkun, 1970
1971	Е. Чо (A.Y. Cho, 1937), США	Метод молекулярно-променевої епітаксії	Cho, 1971
1971	В.О. Кочелап (1944), В.Й. Піпа (1941), В.О. Пісковий (1938—2016), В.М. Соколов (1943), Україна	Електронні фазові переходи у напівпровідниках з деформаційною (електрон-фононою) взаємодією	Кочелап, 1971
1971	З.С. Грибников (1930—2018), В.О. Кочелап (1944), Україна	Охолодження носіїв струму сильним електричним полем	Грибников, 1970
1972	Дж.М. Крафорд (George Mark Craford, 1938), США	Жовтий світлодіод	Craford, 1973
1972	М.П. Лисиця (1921—2012), А.М. Яремко (1937), Г.Г. Тарасов (1945), М.Я. Валах (1940), Л.І. Бережинський (1939—2012), Україна	Фононні спектри кристалів із шаруватою кристалічною структурою	Лисиця, 1972
1972, 1979	З.С. Грибников (1929—2018), Україна, та К. Гесс (Karl Hess, 1945), Австрія	Явище переносу носіїв струму у гетероструктурах — Real Space Transfer	Грибников, 1972, Hess, 1979
1973	А.А. Кончиць (1943), М.Ф. Дейген (1918—1977), І.М. Зарицький (1940), Б.Д. Шаніна (1940), Україна	Створено релаксометр для вимірювання релаксаційних часів спінових систем	Дейген, 1973
1973	О.М. Зюганов (1940—2009), Україна, Німеччина	Узагальнена апроксимативна теорія інжекційно-контактних явищ у напівпровідниках	Зюганов, 1973



Роки	Вчені	Відкриття	Посилання
1974	Р. Тсу (Raphael Tsu, 1931), США, Л. Чанг (Leroy L. Chang, 1936—2008), Китай, Л. Есакі (Leo Esaki, 1925), Японія	Гетероструктури з квантовими ямами	Tsu, 1973
1974	Л. Чанг (Leroy L. Chang, 1936—2008), Китай, Л. Есакі (Leo Esaki, 1925), Японія	Резонансне тунелювання в надгратці	Esaki, 1974, Chang, 1974
1975	С.С. Болгов (1949—2010), В.К. Малютенко (1939), І.І. Пешко (1945), М.С. Соскін (1929), А.І. Хижняк (1945), Україна	Напівпровідниковий детектор реєстрації пікосекундних лазерних імпульсів	Bolgov, 1975
1977	М.Ф. Дейген (1918—1967), С.І. Пекар (1917—1985), Україна, В.Г. Грачов (1945), Україна, США	Новий метод розрахунку структури енергетичних зон у кристалах за даними ПЕЯР	Грачов, 1977
1977	О.М. Зюганов (1940—2009), С.В. Свечников (1926—2017), П.С. Смертенко (1948), Україна	Врахування впливу інтегрально слабкої дифузії на вольт-амперні характеристики квазімонополярних напівпровідників	Zyuganov, 1977
1977—1979	М.І. Дикман (1951), Україна, США, Г.Г. Тарасов (1945), М.П. Лисиця (1921—2012), М.Я. Валах (1940), Г.Ю. Рудько (1955), Україна	Анізотропна оптична нелінійність у високосиметричних кристалічних середовищах. Гігантська поляризаційна нелінійність у кубічних кристалах з домішковими центрами	Dykman, 1977, Valakh, 1979
1978	Г.К. Бінніг (Gerd Karl Binnig, 1947), Німеччина, та Г. Рорер (Heinrich Rohrer, 1933—2013), Швейцарія	Ідея тунельного сканувального мікроскопа	Binnig, 1983
1979	С.С. Болгов (1949—2010), В.К. Малютенко (1939), В.Й. Піпа (1941), Україна	Негативна люмінесценція у напівпровідниках	Bolgov, 1979

Роки	Вчені	Відкриття	Посилання
1979	Ф.Т. Васько (1946), Україна	Спін-орбітальний резонанс у квантових ямах	Васько, 1979
1979	З.С. Грибніков (1929— 2018), В.В. Мітін (1947), Україна, США, В.О. Кочелап (1944), Україна	Багатозначний ефект Сасаки, до- линна поляризація у сильному електричному полі	Грибников, 1979
1979	Б.Д. Шаніна (1940), В.Л. Гохман (1939), Україна, В.К. Кайбі- ййнен, Росія	Теорія негативного ПЕЯР	Шаніна, 1979
1979	І.Я. Городецький (1940—1995), О.М. Зю- ганов (1940—2009), П.С. Смертенко (1948), М.К. Шейнкман (1928—2009), Україна, Н.Я. Чистякова (1954), Росія	Виявлено подвійну інжекцію та електролюмінесценцію в окисно- му матеріалі РbO	Городець- кий, 1979
1980	К. фон Клітцинг (K. von Klitzing, 1943), Німеччина	Цілочисловий квантовий ефект Холла	Klitzing, 1980
1980— 1982	М.Я. Валах (1940), А.М. Яремко (1937), В.В. Артамонов (1944), Ю.М. Аж- нюк (1961), Украї- на, О.П. Литвинчук (1958), Україна, США	Ангармонічні фермі- і фано- резонанси у фононних і поля- ритонних спектрах напівпровід- ників	Valakh, 1980, Valakh, 1982
1980	А.А. Кончиць (1943), І.М. Зарицький (1940), Б.Д. Шаніна (1940), В.С. Віхнін (1943), Україна	Інверсійна заселеність спінових рівнів у кремнії при неполяри- зованому оптичному підсвічу- ванні	Кончиць, 1980
1981	О.І. Єкимов (1945), Ро- сія, США, та О.О. Ону- щенко, Росія	Перші напівпровідникові точки зі сполук $A^{III}B^{VI}$	Ekimov, 1981
1981	В.Г. Литовченко (1931), Д.В. Корбу- тяк (1945), Україна	Конденсація екситону на по- верхневих краплях та стимульо- вана поверхнева лазерна люмі- несценція	Litovchen- ko, 1981

Роки	Вчені	Відкриття	Посилання
1981	М.Ф. Дейген (1918—1978), Ю.Г. Семенов (1948), І.М. Зарицький (1940), А.А. Кончиць (1943), Б.Д. Шаніна (1940), Україна	Відкрита носій-домішкова взаємодія у твердих тілах	Deugen, 1981, Зарицький, 1982
1982	В.О. Кочелап (1944), В. Соколов (1943), Л.Ю. Мельников (1950—1994), Україна	Ефект дисипативної безрезонаторної оптичної бістабільності	Кочелап, 1982
1982	О.Г. Сарбей (1933), Україна, Німеччина, М. Аше (M. Asche), Х. Костіал (Heidrun Kostial), Німеччина, З.С. Грибніков (1930—2018), В.В. Мітін (1946), Україна, США	Наукове відкриття «Властивість многозначної анізотропії електропровідності напівпровідникових кристалів у сильних електричних полях», диплом № 294 (заявка від 17.04.1982 р.)	Сарбей, 1982
1982	В.С. Лисенко (1940), І.П. Тягульський (1947), В.І. Зіменко (1953), Т.Н. Ситенко (1933—1998), Україна	Виявлення локальних фононів при емісії заряду з перехідних шарів діелектрик/напівпровідник	Sytenko, 1982
1983	Г. Кример (Herbert Krömer, 1928), Німеччина, та Г. Гріффітс (Grant Griffiths, 1942), США	Гетеропереходи зі ступінчастою структурою зон, гетеропереходи II роду, які дозволяють керувати оптичними властивостями у широких межах	Krömer, 1983
1984	С.І. Пекар (1917—1985), Україна	Наукове відкриття «Явище розповсюдження додаткових хвиль у кристалах», диплом № 323 (заявка від 27.09.1984 р.)	Пекар, 1984
1984	Е.Й. Рашба (1927), Україна, Росія, США	Наукове відкриття «Явище комбінованого резонансу в кристалах», диплом № 327 (заявка від 18.10.1984 р.)	Рашба, 1984
1984	М.П. Лисиця (1921—2012), О.В. Столяренко (1950), С.Ф. Терехова (1941), Н.А. Оніщенко (1956), Україна	Ефект зникнення екситонів при високій концентрації фотогенерованих носіїв заряду і виникнення електронно-діркової плазми	Lisitsa, 1984

Роки	Вчені	Відкриття	Посилання
1984	М.П.Лисиця (1921—2012), А.М. Яремко (1937), Україна	Квантово-механічна теорія комбінованого резонансу Фермі—Давидова в коливних спектрах молекулярних кристалів	Лисиця, 1984
1984—1985	М.Я. Валах (1940), І. Косацький (1954), Польща, США, Г.Г. Тарасов (1945), Україна, О.П. Литвинчук (1958), Україна, США	Динаміка кристалічної ґратки сполук із суперіонною провідністю	Валах, 1984, Kosacki, 1985
1985	М.Я. Валах (1940), Г.Г. Тарасов (1945), Україна, О.П. Литвинчук (1958), Україна, США	Перебудова фононних спектрів у напівпровідникових твердих розчинах	Valakh, 1985a, Valakh, 1985b
1985	Х.У. Крото (Harold Walter Kroto, 1939—2016), Велика Британія, Дж. Хіс (James R. Heath, 1962), С. О'Брайн (Sean C. O'Brien, 1962), Р. Карл (Robert F. Curl, 1933) та Р. Смоллі (Richard Errett Smalley, 1943—2005), США	Тривимірні квантові точки, нова форма вуглецю — фулерен	Kroto, 1985
1986	А.Н. Баранов та ін.	Інжекційний лазер на основі гетеропереходу II роду в системі GaInAsSb—GaSb	Баранов, 1986
1987	В. Гавриленко (1949), М.І. Ключ (1959), В.Г. Литовченко (1931) та ін., Україна	Виявлення напівпровідникових властивостей у графеноподібних ультратонких вуглецевих структурах	Гавриленко, 1987
1987	Ю.Г. Троян (1958), Ф.Ф. Сизов (1946), Україна, В.М. Лакеєнков (1947), Росія	Струмові нестійкості у високоомних монокристалах IV—VI	Троян, 1987
1987—1990	Ф.Ф. Сизов (1946), С.В. Пляцко (1953), С.Д. Дарчук (1960), Ю.С. Громовий (1939), Україна	Трансформація власних та домішкових дефектів під дією випромінювання в області прозорості напівпровідникової матриці	Sizov, 1987, Sizov, 1990, Gromovoj, 1990

Роки	Вчені	Відкриття	Посилання
1988	А. Ферт (Albert Fert, 1938), Франція, та П. Грюнберг (Peter Andreas Grünberg, 1939—2018), Німеччина (незалежно)	Велетенський магнітоопір, початок спітроніки	Baibich, 1988, Binasch, 1989
1988	К.К. Мартинчук (1944), Ф.Ф. Сизов (1946), Україна	Застосування ефекту Фарадея для визначення зонних параметрів напівпровідників IV—VI у широкому інтервалі температур	Martynchuk, 1988
1989	Ю.В. Гоменюк (1957), В.З. Лозовський (1995), В.С. Лисенко (1940), Україна	Аномальна зміна властивостей високотемпературних надпровідників Y-Ba-Cu-O в сильних електростатичних полях	Гоменюк, 1989, Gomeniuk, 1992
1989	С.І. Власкіна (1949), Україна, Південна Корея	Тонкі плівки карбіду кремнію кубічної модифікації	Бережинский, 1989
1990—1991	Ф.Ф. Сизов (1946), М.В. Апатська (1955), Ж.В. Гуменюк-Сичевська (1963), В.В. Тетьоркін (1952), В. Троян (1958), Україна	Отримання і властивості квантових ям напівпровідників IV—VI	Sizov, 1990, Sizov, 1991
1992	В.О. Кочелап (1944), М.О. Захленюк (1954), В. Соколов (1943), Україна	Електронні флуктуації та теорія пригнічення електричних флуктуацій	Захленюк, 1992
1993	К. Маррей (Christopher V. Murray, 1967), США, Д.Дж. Норріс (David J. Norris, 1968), США, Швейцарія, М.Г. Бавенді (Moungi Gabriel Bawendi, 1961), США	Квантові точки CdSe	Murray, 1993
1993	Б.Д. Шаніна (1940), В.Г. Гаврилук (1938), Україна	Теорія впливу розподілу електронної густини на механічні властивості сплавів перехідних металів	Shanina, 1993, Shani-na, 2007



Роки	Вчені	Відкриття	Посилання
1994— 1996	Ж.І. Алфьоров (1930— 2019), Росія	Тривимірні квантові точки у сис- темі InAs—GaAs	Алфёров, 1985, Алфёров, 1986а, Алфёров, 1986b
1994	З.С. Грибніков (1930— 2018), Україна, США	Підсилення НВЧ у структурах з від'ємною ефективною масою	Грибников, 1994
1995	І.З. Индутний (1949), В.А. Данько (1958), О.О. Кудрявцев (1947), К.В. Михайловська (1943), В.І. Минько (1949), Україна	Механізм фотостимульованої дифузії в структурах напівпро- відник—метал	Indutnyi, 1995
1997	Б.А. Главін (1973— 2018), В.О. Коче- лап (1944), Україна, В.В. Мігін (1946), Україна, США	Ефект резонансного тунелюван- ня через 2 бар'єри, створення просторових структур при резо- нансному тунелюванні	Glavin, 1997
1997	М.Л. Дмитрук (1938— 2017), О.Ю. Борков- ська (1944—2016), С.В. Мамикін (1971), Україна	Виявлено вплив ефекту електро- поглинання (ефекту Франца— Келдиша) на фотоелектричні характеристики бар'єра Шоттки, внаслідок чого узагальнено ві- дому методику визначення ди- фузійної довжини неосновних носіїв струму	Dmitruk, 1997
1998, 2001	О.М. Назаров (1951), В.С. Лисенко (1940), Україна	Механізми низькотемпературних воднево-стимульованих фазових трансформацій у напівпровідни- ках	Nazarov, 1998, Naza- rov, 2001
1999	В.О. Кочелап (1944), Б.А. Главін (1973— 2018), Т.Л. Лінник (1971), Україна	Ефект підсилення струмів та ге- нерації субтерагерцових фоно- нів у надгратках, SASER (sound amplification by stimulated emis- sion of radiation)	Glavin, 1999
1999	Ж.В. Гуменюк-Сичев- ська (1963), Ф.Ф. Си- зов (1946), Україна	Показано важливість урахуван- ня впливу тунелювання через рівні домішок у діодах на основі вузькощілинних напівпровідни- ків на їх параметри	Gumenyuk- Sichevskaya, 1999

Роки	Вчені	Відкриття	Посилання
1999	Ф.Ф. Сизов (1946), Ю.П. Деркач (1940), В.П. Рева (1949), Ю.Г. Кононенко (1941), Україна	Розроблення і характеристика схем обробки інформації до вузькощілинних лінійчастих і матричних ІЧ-фотодетекторів	Sizov, 1999
2000	В.О. Кочелап (1944), О.А. Демиденко (1927—2008), Україна	Ефект формування локалізованих фононів у квантових ямах, підсилення НВЧ-фононів дрейфом електронів	Demidenko, 2000
2000	Г.Г. Тарасов (1945), Я.Я. Жученко (1970), Україна, Ю.І. Мазур (1951), Україна, США	Фізика і оптика гібридних наноструктур (надгратки, квантові ями, квантові точки) на основі сполук $A^3B^5$	Tarasov, 2000, Kissel, 2000
2000	М.Л. Дмитрук (1938—2017), О.І. Маєва (1941), О.Б. Яструбчак (1972), І.Б. Мамонтова (1973), С.В. Мамикін (1971), Україна	Виявлено підсилену збудженням поверхневих плазмон-поляритонних хвиль внутрішню фотоемісію та фотострум у поверхнево-бар'єрних гетероструктурах типу діодів Шоттки з упорядкованим та квазівпорядкованим мікрорельєфним інтерфейсом	Dmitruk, 2000, Dmitruk, 2003
2001—2002	М.Я. Валах (1940), В.О. Юхимчук (1959), В.М. Джаган (1978), П.М. Литвин (1971), Україна, З.Ф. Красильник (1947), Росія	Гігантська інтердифузія при самоорганізованому рості квантових точок, стимульована градієнтами напружень у наноструктурах	Valakh, 2001, Валах, 2002
2004	К.С. Новосьолов (1974), А.К. Гейм (1958), Росія, Велика Британія	Новий наноматеріал — графен	Novoselov, 2004
2004	С.В. Мамикін (1971), В.Р. Романюк (1967), Україна	Тривимірні квантові точки (магічні кластери) $A_2B_6$ як аналоги фулеренів	Kasuya, 2004, Romanyuk, 2009
2005	М.Дж. Боуерс (Michael J. Bowers, 1964); Дж.Р. МакБрайд (James R. McBride, 1979); С.Дж. Розенталь (Sandra J. Rosenthal, 1967), США	Біле світло на квантових точках селеніду кадмію CdSe	Bowers, 2005

Роки	Вчені	Відкриття	Посилання
2005	О.М. Назаров (1951), В.С. Лисенко (1940), Україна	«Оболонкова» модель світлови- промінювальних нанокластерних центрів у діелектричних шарах	Nazarov, 2005
2005	В.І. Турчаніков (1952), О.М. Назаров (1951), В.С. Лисенко (1940), Україна	Уніполярна енергонезалежна па- м'ять у приладах з нанокристали- тами	Turchanikov, 2005
2005	П.С. Смертенко (1948), Л.І. Фененко (1970), Україна	Методика дослідження інтеграль- них характеристик на основі без- розмірної чутливості	Smertenko, 2005
2007	В.К. Малютенко (1939), В.В. Богати- ренко (1976), Україна	Лінійна конверсія світла у напів- провідниках	Malyutenko, 2007, Malyu- tenko, 2012
2006	І.З. Індутний (1949), В.С. Лисенко (1940), І.Ю. Майданчук (1981), В.І. Минько (1949), О.М. Назаров (1951), П.Є. Шепеля- вий (1950), В.А. Дань- ко (1958), Україна	Механізм термостимульованого розкладання нестехіометрично- го оксиду кремнію з утворенням аморфних чи кристалічних на- ночастинок кремнію	Indutnyi, 2006
2007	В.П. Кладько (1957), В.Ф. Мачулін (1950— 2014), Україна	Зниження симетрії елементарної комірки в багат шаровій струк- турі з квантовими дротами	Kladko, 2007
2007	В.М. Добровольський (1933), Ф.Ф. Сизов (1946), Україна	Показано можливість детекту- вання ТГц-випромінювання у не- охолоджуваних вузькощілинних фоторезисторах	Dobrovolsky, 2007
2008	М.Л. Дмитрук (1938— 2017), Україна, О.В. Коровін (1973), Україна, Франція	Теоретично відкрито аномальне підсилення пропускання світла крізь дисипативні тонкі плівки з періодично антикорельовано профільованими поверхнями	Dmitruk, 2008
2009	В.П. Кладько (1957), А.В. Кучук (1974), В.Ф. Мачулін (1950— 2014), О.Є. Беляєв (1947), Україна	Механізми релаксації пружних деформацій, які полягають у розворотах елементарних ко- мірок наноблоків нітридів від- носно підкладки і змінах тов- щин яма—бар'єр у надграткових HEMT-структурах AlN/GaN	Kladko, 2009

Роки	Вчені	Відкриття	Посилання
2009	В.М. Джаган (1978), М.Я. Валах (1940), В.О. Юхимчук (1959), Україна	Квантоворозмірні явища і оптика наноструктур на основі нанокристалів, отриманих методами колоїдної хімії	Dzhagan, 2009a, Dzhagan, 2009b, Stroyuk, 2010, Dzhagan, 2011
2010	В.К. Малютенко (1939), В.В. Богатиренко (1976), О.Ю. Малютенко (1956), Україна	Радіаційне охолодження напівпровідників	Malyutenko, 2010
2010	О.М. Назаров (1951), Україна, Ж.-П. Коланж (J.-P. Colinge, 1956), Ірландія)	Ефект супернизького підпорогового нахилу у нанодротових сильнолегованих безперехідних польових транзисторів	Lee, 2010
2010	С.А. Пілецький (Sergey Piletsky, 1963), Україна, Велика Британія, В.І. Чегель (1949), Україна, М. Уїткомб (M. Whitcombe, 1957), Велика Британія	Фотоактивація поверхневим плазмон-поляритонним резонансом	Patent, 2010
2010	В.І. Минько (1949), І.З. Індутний (1949), П.Є. Шепелявий (1950), В.А. Данько (1958), Україна	Технологія інтерференційної фотолітографії на основі вакуумних халькогенідних фоторезистів	Danko, 2010
2010	В.О. Юхимчук (1959), М.Я. Валах (1949), В.М. Джаган (1978), М.В. Чурсанова (1982), Україна	Гігантське поверхнево підсилене раманівське розсіювання молекулами на підкладках з напівпровідникових наноструктур пористого кремнію та самоіндукованих SiGe-наноострівців, покритих тонкими металевими плівками	Chursanova, 2010
2011	М.Л. Дмитрук (1938—2017), Україна, О.В. Коровін (1973), Україна, Франція	Теоретично передбачено несуміщення площин заломлення і падіння світла на межі поділу ізотропних поглинального і прозорого середовищ, а також поляризаційно залежне відхилення заломленого променя від класичного напрямку, зумовлені нерезонансним збудженням поверхневих хвиль	Dmitruk, 2011

Роки	Вчені	Відкриття	Посилання
2011— 2012	Г.М. Морозовська (1977), Україна	Механізми провідності доменних стінок у фероелектриках	Eliseev, 2011, Eliseev 2012, Balke, 2012
2012	В.П. Кладько (1957), А.В. Кучук (1974), О.Є. Беляєв (1947), Україна	Механізм релаксації деформацій внаслідок ефективного потоншення GaN квантових ям і відповідного потовщення AlN-бар'єрів у надгратках	Kladko, 2012
2012	Т.О. Руденко (1950), О.М. Назаров (1951), Україна	Ефект значного підсилення рухливості вільного заряду у сильнолегованих нанорозмірних шарах напівпровідників	Rudenko, 2012
2012	А.В. Васін (1967), О.М. Назаров (1951), В.С. Лисенко (1949), Україна	Інтенсивна «біла» люмінесценція вуглецевих наноточок у нанокompозитах SiO <sub>2</sub> :C	Патент, 2012, Vasin, 2017
2013	М.Я. Валах (1940), В.О. Юхимчук (1959), В.М. Джаган (1978), І.С. Бабічук, Є.О. Гаврилюк (1993), Україна	Оптика багатокомпонентних напівпровідникових халькогенідів металів для нового покоління фотовольтаїки	Valakh, 2013a, Valakh, 2013b
2013	М.В. Сахно (1988), Ф.Ф. Сизов (1946), Україна	Запропоновано модель реалізації чутливості ТГц-приймачів випромінювання через процеси випрямлення струму у довгих каналах польових транзисторів	Sakhno, 2013
2013	М.Л. Дмитрук (1938—2017), В.Р. Романюк (1967), Україна	Нове поверхнево посилене явище — взаємодія поверхневих плазмонів та інтерференційних мод у тонкоплівкових наноструктурах	Дмитрук, 2013
2013— 2018	В.М. Томашик (1950), Україна	Зібрано, проаналізовано і систематизовано літературні дані з фізико-хімічної взаємодії та гетерофазних рівноваг у потрійних і багатокомпонентних системах на основі напівпровідникових сполук типу A <sup>II</sup> B <sup>VI</sup> та A <sup>III</sup> B <sup>V</sup>	Tomashyk, 2013, 2014, 2015, 2017, 2018a, 2018b
2014	Л.Л. Федоренко (1943), І.Є. Матяш (1978), З.І. Казанцева (1950), С. Руденко (1983), Я. Коломійченко (1981), Україна	Технологія плазмонної нанофрагментації металевих плівок	Fedorenko, 2014



Роки	Вчені	Відкриття	Посилання
2014	В.С. Лисенко (1940), М.М. Локшин (1950), М.Я. Співак (1943), Україна	Роль нанорозмірних напівпровідникових частинок в антивірусній терапії	Патент, 2014
2015	Ф.Ф. Сизов (1946), В.В. Забудський (1968), С. Дворецький (), В.О. Петряков (1946), О.Г. Голенков (1971), К.В. Андреева (1974), З.Ф. Цибрій (1972), Україна	Реалізовано дводіапазонний неохолоджуваний приймач випромінювання (ГЧ та ТГц) з вузькощілинних напівпровідників	Sizov, 2015
2017	В.О. Юхимчук (1959), М.Я. Валах (1940), Україна	Отримання графену та шарів на його основі ультразвуковою обробкою піролітичного графіту	Yukhymchuk, 2017
2017	Е. Руденко (1940), З.Ф. Цибрій (1972), Ф.Ф. Сизов (1946), І. Короташ (1955), Д. Полоцький (1983), М. Скорик (1975), М.В. Вуйчик (1975), К.В. Свеженцова (1978), Україна	Запропоновано і реалізовано смугові фільтри з використанням відбивання випромінювання в тонких (1–2 мкм) шарах широкозонних напівпровідників на прозорих підкладках у смузі залишкових променів	Rudenko, 2017, Патент, 2019
2017	М.Л. Дмитрук (1938—2017), М.В. Соснова (1978), С.В. Мамікін (1971), Україна, О.В. Коровін (1973), Україна, Франція	Виявлено ефект підсилення пропускання світла у фотоактивну зону періодично профільованих поверхнево-бар'єрних гетероструктур типу діодів Шотткі зі спеціальним «антикорельованим» рельєфом металевої плівки, що дозволило вдвічі поліпити резонансні характеристики плазмон-поляритонних фотодетекторів на їх основі	Korovin, 2017
2018	В.О. Юхимчук (1959), М.Я. Валах (1940), В.М. Джаган (1978), О.М. Грещук (1989), Н.А. Матвієвська (1961), Україна	Гігантське підсилення раманівського розсіювання молекул, осаджених на підкладки із золотими «нанозірками»	Yukhymchuk, 2018

## Додаток 3

### Монографії, підручники та навчальні посібники співробітників ІФН

- Свечников С.В. Газотроны и тиратроны. Киев: Гостехиздат УССР, 1961. 317 с.
- Свечников С.В. Основы технической электроники. Ч. 1. Киев: Гостехиздат УССР, 1961. 480 с.
- Свечников С.В. Основы технической электроники. Ч. 2. Киев: Гостехиздат УССР, 1962. 480 с.
- Свечников С.В. Фотодвухполюсники. Киев: Техника, 1965. 280 с.
- Тхорик Ю.А. Переходные процессы в импульсных полупроводниковых диодах. Киев: Техника, 1966. 244 с.
- Тхорик Ю.О. Технологія і параметри імпульсних напівпровідникових діодів. Київ: Техніка, 1967. 164 с.
- Лисица М.П., Бережинский Л.И., Валах М.Я. Волоконная оптика. Киев: Техника, 1967. 279 с.
- Ляшенко В.И., Литовченко В.Г., Степко И.И. и др. Электронные явления на поверхности полупроводников. Киев: Наук. думка, 1968. 400 с.
- Свечников С.В. Оптоэлектроника. Київ: Техніка, 1968. 172 с.
- Клочков В.П., Свечников С.В. Тонкоплівкові напівпровідникові матеріали в мікроелектроніці. Київ: Техніка, 1969. 184 с.
- Свечников С.В., Зюганов О.М. Фотопотенціометри. Київ: Техніка, 1969. 216 с.
- Свечников С.В. Элементы оптоэлектроники. Москва: Сов. радио, 1971. 271 с.
- Свечников С.В. Принципы микроэлектроники. Киев: Наук. думка, 1972. 300 с.
- Литвинов Р.О. Влияние поверхности на характеристики полупроводниковых приборов. Киев: Наук. думка, 1972. 116 с.
- Lisitsa M.P., Berezhinski L.I., Valakh M.Ya. Fiberoptics. New York, 1972. 272 p.
- Ройцин А.Б. Некоторые применения теории симметрии в задачах радиоспектроскопии. Киев: Наук. думка, 1973. 100 с.
- Svechnikov S.V. Zaklady optoelektroniky. Praha: SNTL, 1975. 308 p.
- Фекешгазі І.В., Когденко В.Ф. Нелінійна оптика напівпровідників. Київ: Знання, 1975. 64 с.
- Мизецкая И.Б., Буденная Л.Д., Олейник Н.Д. Физико-химические основы синтеза полупроводниковых монокристаллов. Киев: Наук. думка, 1976. 76 с.
- Саченко А.В., Зуев В.А., Толпыго К.Б. Неравновесные процессы в полупроводниках и полупроводниковых приборах. Москва: Сов. радио, 1977. 256 с.
- Литовченко В.Г., Горбань А.П. Основы физики микроэлектронных систем металл-диэлектрик-полупроводник. Киев: Наук. думка, 1978. 316 с.
- Кравченко А.Ф., Митин В.В., Скок З.М. Явления переноса в полупроводниковых пленках. Новосибирск: Наука, 1978. 256 с.
- Свечников С.В., Смовж А.К., Каганович Э.Б. Фотопотенциометры и функциональные фоторезисторы. Москва: Сов. радио, 1978. 184 с.
- Зуев В.А., Пейхов Б.Х., Саченко А.В. Физические основы полупроводниковых приборов. София: Техника, 1979. 407 с.

Сизов Ф.Ф., Уханов Ю.И. Магнитооптические эффекты Фарадея и Фогта в применении к полупроводникам. Киев: Наук. думка, 1979. 180 с.

Тягай В.А., Снитко О.В. Электроотражение света в полупроводниках. Киев: Наук. думка, 1980. 304 с.

Литовченко В.Г. Основы физики полупроводниковых слоистых систем. Киев: Наук. думка, 1980. 284 с.

Снитко О.В. Проблемы физики поверхности полупроводников. Киев: Наук. думка, 1981. 332 с.

Лашкарёв В.Е., Любченко А.В., Шейнкман М.К. Неравновесные процессы в фотопроводниках. Киев: Наук. думка, 1981. 264 с.

Глинчук К.Д., Грачев В.Г., Дейген М.Ф., Ройцин А.Б., Суслин Л.А. Электрические эффекты в радиоспектроскопии. Москва: Наука, 1981. 336 с.

Лисица М.П., Халимонова И.М. Лазерна техніка: досягнення та перспективи розвитку. Київ: Знання, 1981. 64 с.

Зюганов А.Н., Свечников С.В. Инжекционно-контактные явления в полупроводниках. Киев: Наук. думка, 1981. 256 с.

Дыкман И.М., Томчук П.М. Явления переноса и флуктуации в полупроводниках. Киев: Наук. думка, 1981. 320 с.

Пекар С.И. Кристаллооптика и добавочные световые волны. Киев: Наук. думка, 1982. 296 с.

Томашик В.Н., Грыцив В.И. Диаграммы состояния систем на основе полупроводниковых соединений  $A_2V_6$ . Киев: Наук. думка, 1982. 168 с.

Нестеренко Б.А., Снитко О.В. Физические свойства атомарно-чистой поверхности полупроводников. Киев: Наук. думка, 1983. 264 с.

Свечников С.В., Шквар А.М. Нейротехнические системы обработки информации. Киев: Наук. думка, 1983. 222 с.

Зуев В.А., Попов В.Г. Фотоэлектрические МДП-приборы. Москва: Радио и связь, 1983. 160 с.

Тхорик Ю.А., Хазан Л.С. Пластическая деформация и дислокации несоответствия в гетероэпитаксиальных системах. Киев: Наук. думка, 1983. 304 с.

Шанина Б.Д. Динамика двойного электронно-ядерного резонанса. Киев: Наук. думка, 1983. 176 с.

Pekar S.I. Crystal Optics and Additional Light Waves. The Benjamin/Gumming Publ. Co., Menlo Park, California, 1983. 540 p.

Любченко А.В., Сальков Е.А., Сизов Ф.Ф. Физические основы полупроводниковой инфракрасной фотоэлектроники (современные тенденции, новые материалы). Киев: Наук. думка, 1984. 256 с.

Соколов В.Н., Кочелап В.А., Венгалис Б.Ю. Фазовые переходы в полупроводниках с деформационным электрон-фононным взаимодействием. Киев: Наук. думка, 1984. 180 с.

Лисица М.П., Яремко А.М. Резонанс Ферми. Киев: Наук. думка, 1984. 264 с.

Саченко А.В., Снитко О.В. Фотоэффекты в приповерхностных слоях полупроводников. Киев: Наук. думка, 1984. 232 с.

Снитко О.В. Физические основы полупроводниковой электроники. Киев: Наук. думка, 1985. 304 с.

Синьков М.В., Сапрыкин В.Д., Чалая В.Г. Многоэлементные детекторы ионизирующего излучения. Киев: Техника, 1985. 134 с.

Громашевский В.Л. Нелинейные акустоэлектронные устройства и их применение. Москва: Радио и связь, 1985. 160 с.

Добровольский В.Н., Литовченко В.Г. Перенос электронов и дырок у поверхности полупроводников. Киев: Наук. думка, 1985. 192 с.

Лисиця М.П., Халімонова І.М. Лазери в науці і техніці. Київ: Наук. думка, 1986. 168 с.

Конакова Р.В., Тхорик Ю.А., Штофаник Ф. Прогнозирование надежности полупроводниковых лавинных диодов. Киев: Наук. думка, 1986. 188 с.

Мизецкая И.Б., Олейник Г.С., Буденная Л.Д., Томашик В.Н., Олейник Н.Д. Физико-химические основы синтеза монокристаллов полупроводниковых твердых растворов соединений  $A_2B_6$ . Киев: Наук. думка, 1986. 160 с.

Кочелап В.А., Пекар С.И. Теория спонтанной и стимулированной хемилюминесценции газов. Киев: Наук. думка, 1986. 264 с.

Гавриленко В.И., Грехов А.М., Корбутяк Д.В., Литовченко В.Г. Оптические свойства полупроводников. Киев: Наук. думка, 1987. 608 с.

Свечников С.В., Кожемяко В.П., Тимченко Л.И. Квазиимпульсно-потенциальные оптоэлектронные элементы и устройства логико-временного типа. Киев: Наук. думка, 1987. 256 с.

Баранский П.И., Буда И.С., Даховский И.В. Теория термоэлектронных и термомагнитных явлений в анизотропных полупроводниках. Киев: Наук. думка, 1987. 272 с.

Примаченко В.Е., Снитко О.В. Физика легированной металлами поверхности полупроводников. Киев: Наук. думка, 1988. 232 с.

Даценко Л.И., Молодкин В.Б., Осинковский М.Е. Динамическое рассеяние рентгеновских лучей реальными кристаллами. Киев: Наук. думка, 1988. 200 с.

Пекар С.И. Избранные труды. Киев: Наук. думка, 1988. 512 с.

Пекар С.И. Библиография ученых УССР. Киев: Наук. думка, 1988. 37 с.

Марченко А.Н., Свечников С.В., Смвж А.К. Полупроводниковые сенсорные потенциометрические элементы. Москва: Радио и связь, 1988. 192 с.

Сальков Е.А. Основы полупроводниковой фотоэлектроники. Киев: Наук. думка, 1988. 280 с.

Свечников Г.С. Интегральная оптика. Киев: Наук. думка, 1988. 168 с.

Nesterenko V.A., Snitko O.V. Physical properties of atomically clean semiconductor surface. Moscow: Nauka, 1989. 336 p.

Измайлов И.А., Мельников Л.Ю. Механизмы электронной хемилюминесценции газов. Москва, 1989. 140 с.

Дмитрук Н.Л., Литовченко В.Г., Стрижевский В.П. Поверхностные поляритоны в полупроводниках и диэлектриках. Киев: Наук. думка, 1989. 376 с.

Лукьянчикова Н.Б. Флуктуационные явления в полупроводниках и полупроводниковых приборах. Москва: Радио и связь, 1990. 296 с.

Иващенко В.М., Митин В.М. Моделирование кинетических явлений в полупроводниках. Метод Монте-Карло. Киев: Наук. думка, 1990. 192 с.

Нестеренко Б.А., Ляпин В.Г. Фазовые переходы на свободных гранях и межфазных границах в полупроводниках. Киев: Наук. думка, 1990. 152 с.

Dobrovolsky V.N., Litovchenko V.G. Surface Electronic Transport Phenomena in Semiconductors Surface. Oxford: Clarendon Press, 1991. 220 p.

Шелимова Л.Е., Томашик В.Н., Грыцив В.И. Диаграммы состояния в полупроводниковом материаловедении (системы на основе халькогенидов Si, Ge, Sn, Pb). Москва: Наука, 1991. 368 с.

Васько Ф.Т. Электронные состояния и оптические переходы в полупроводниковых гетероструктурах. Киев: Наук. думка, 1992. 190 с.

Радиоспектроскопия твердого тела. Отв. ред. А.Б. Ройцин. Киев: Наук. думка, 1992. 632 с.

Ройцин А.Б., Маевский В.М. Радиоспектроскопия поверхности твердых тел. Киев: Наук. думка, 1992. 272 с.

Баранський П.І., Буда І.С., Савяк В.В. Термоелектричні і термомагнітні явища в багатодолінних напівпровідниках. Київ: Наук. думка, 1992. 272 с.

Индутный И.З., Костьшин М.Т., Касярум О.П. Фотостимулированные взаимодействия в структурах металл-полупроводник. Киев: Наук. думка, 1992. 240 с.

Гарягдыев Г., Завалин Й., Любченко А. Слои теллурида кадмия. Ашхабад, 1992. 188 с.

Вакуленко О.В., Лисица М.П. Оптическая перезарядка примеси в полупроводниках. Киев: Наук. думка, 1992. 206 с.

Свечников С.В., Химинец В.В., Довгошей Н.И. Сложные некристаллические халькогениды и халькогалогениды и их применение в оптоэлектронике. Киев: Наук. думка, 1992. 296 с.

Бойко И.И. Кинетика электронного газа, взаимодействующего с флуктуационным потенциалом. Киев: Наук. думка, 1993. 288 с.

Мачулин В.Ф., Хрупа В.И. Рентгеновская диагностика структурного совершенства слабо искаженных кристаллов. Киев: Наук. думка, 1994. 268 с.

Венгер Е.Ф., Грендал М., Данишка В., Конакова Р.В., Прокопенко И.В., Тхорик Ю.А., Хазан Л.С. Структурная релаксация в полупроводниковых кристаллах и приборных структурах. Механизмы релаксации, методы исследования, роль в деградации приборов. Киев: Феникс, 1994. 247 с.

Sizov F.F. Semiconductor superlattice and quantum well detectors. In: Infrared Photon Detectors. Ed. A. Rogalski. Bellingham, Washington: SPIE Opt. Eng. Press, 1995. P. 561–623.

Colinge J.P., Lysenko V.S., Nazarov A.N. Physical and Technical Problems of SOI Structures and Devices. Kluwer Academic Publishers, 1995. 290 p.

Valakh M.Ya., Svechnikov S.V., Sizov F.F. Optics in Ukraine. SPIE Ukrainian Chapter, 1996. 318 p.

Lukyanchikova N.B. Noise Research in Semiconductor Physics. Gordon and Breach Science Publishers, 1997. 411 p.

Бойко И.И. Аналитический маркетинг. Киев: Таксон, 1997. 11 с.

Бабич В.М., Блецкан Н.И., Венгер Е.Ф. Кислород в монокристаллах кремния. Киев: Интерпресс ЛТД, 1998. 240 с.

Belyaev A.E., Breza J., Venger E.F., Vesely M., Il'in I.Yu., Konakova R.V., Liday J., Lyapin V.G., Milenin V.V., Prokopenko I.V., Tkhorik Yu.A. Radiation Resistance of GaAs-based Microwave Schottky-barrier Devices. Київ: Інтерпресс ЛТД, 1998. 128 с.

Радиоспектроскопия конденсированных сред. Ч. I. Киев: ИФП НАН Украины, 1998. 240 с.



Сусликов Л.М., Сливка В.Ю., Лисица М.П. Твердотельные оптические фильтры на гиротропных кристаллах. Киев: Интерпресс ЛТД, 1998. 293 с.

Vasko F.T., Kuznetsov A.V. Electron States and Optical Transitions in Semiconductor Heterostructures. New York: Springer, 1998. 400 p.

Венгер Е.Ф., Конакова Р.В., Коротченко Г.С., Миленин В.В., Руссу З.В., Прокопенко И.В. Межфазные взаимодействия и механизмы деградации в структурах металл-InP и металл-GaAs. Киев, 1999. 234 с.

Mitin V.V., Kochelap V.A., Stroschio M.A. Quantum Heterostructures. Cambridge University Press, 1999. 642 p.

Бойко И.И., Козловский С.И. Основы аналитического маркетинга. Киев: Академия, 1999. 410 с.

Венгер Е.Ф., Гончаренко А.В., Дмитрук М.Л. Оптика малих частинок і дисперсних середовищ. Київ: Наук. думка, 2001. 348 с.

Баранський П.І., Федосов А.В., Гайдар Г.П. Фізичні властивості кристалів кремнію та германію в полях ефективного зовнішнього впливу. Луцьк: Надстир'я, 2000. 278 с.

Корбутяк Д.В., Мельничук С.В., Корбут Є.В., Борисюк М.М. Телурид кадмію. Домішково-дефектні стани та детекторні властивості. Київ: Іван Федорів, 2000. 198 с.

Радиоспектроскопия конденсированных сред. Ч. II. Киев, 2000. 316 с.

Hemment P., Lysenko V.S., Nazarov A.N. Perspectives, Science and Technologies for Novel Silicon on Insulator Devices. Kluwer Academic Publishers, 2000. 344 p.

Венгер Е.Ф., Мельничук О.В., Пасічник Ю.А. Спектроскопія залишкових променів. Київ: Наук. думка, 2001. 192 с.

Даценко Л.И., Кладько В.П., Мачулин В.Ф., Молодкин В.Б. Динамическое рассеяние рентгеновских лучей реальными кристаллами в области аномальной дисперсии. Киев: Академперіодика, 2002. 282 с.

Belyaev A.E., Venger E.F., Ermolovich I.B., Konakova R.V., Lytvyn P.M., Milenin V.V., Prokopenko I.V., Svechnikov G.S., Soloviev E.A., Fedorenko L.L. Effect of Microwave and Laser Radiations on the Parameters of Semiconductor Structures. Kiev: Intas, 2002. 192 p.

Balestra F., Nazarov A.N., Lysenko V.S. Progress in SOI Structures and Devices Operating at Extreme Conditions. Dordrecht: Kluwer, 2002. 351 p.

Lukyanchykova N.B. Sources of the Lorentzian components in the low-frequency noise spectra of submicron metal-oxide-semiconductor field-effect transistors. In: Noise and Fluctuation control in Electronic Devices. Ed. A. Balandin. American Scientific Publishers, 2002. 408 p.

Basanets V.V., Boltovets N.S., Kasatkin L.V., Zorenko A.V., Belyaev A.E., Konakova R.V., Milenin V.V., Voitsikhovskiy D.I. Design, simulation, fabrication and study of oscillator modules for microwave integrated circuits. In: Micromachined microwave devices and circuits. Eds D. Dascalu, H. Hartnagel, R. Plana, A. Muller. Bucuresti: Editura Academiei Romane, 2002. 29 p.

Ostapenko S., Korsunskaya N.E., Sheinkman M.K. Ultrasound stimulated defect reactions in semiconductors. In: Defect interaction and clustering in semiconductors. Ed. S. Pizzini. Zurich: Scitec Publication Ltd, 2002. 24 p.

Лисица М.П., Валах М.Я. Занимательная оптика. Атмосферная и космическая оптика. Киев: Логос, 2002. 256 с.

Находкін М.Г., Сизов Ф.Ф. Елементи функціональної електроніки. Київ: ВПФ УкрІНТЕІ, 2002. 324 с.

Петров В.В., Крючин А.А., Шанойло С.М., Костюкевич С.А., Кравец В.Г., Лапчук А.С. Оптические диски: история, состояние, перспективы развития. Киев: НАН Украины, 2003. 174 с.

Bebeshko V.G., Darchuk L.A., Volodina T.T., Drozdova V.D., Zaverbna L.V., Bruslova E.M. Physicochemical changes of osteon characteristics for persons, exposed to ionizing radiation after Chernobyl accident and patients with leukemia. Health effects of Chernobyl accident. Kiev: DIA, 2003. 519 p.

Пека Г.П., Третьак О.В., Кислюк В.В. Збірник задач з фізики напівпровідників. Київ: КНУ ім. Т. Шевченка, 2003. 89 с.

Бушок Г.Ф., Венгер Є.Ф. Курс фізики: у 3 кн. Кн. 1. Фізичні основи механіки. Молекулярна фізика і термодинаміка. Київ: Вища шк., 2003. 375 с.

Бушок Г.Ф., Венгер Є.Ф. Курс фізики: у 3 кн. Кн. 2. Електрика і магнетизм. Київ: Вища шк., 2003. 278 с.

Бушок Г.Ф., Венгер Є.Ф. Курс фізики у 3 кн. Кн. 3. Оптика. Фізика атома та атомного ядра. Київ: Вища шк., 2003. 311 с.

Венгер Є.Ф., Горбань В.М., Мельничук О.В. Основи квантової механіки. Київ: Вища шк., 2003. 286 с.

Венгер Є.Ф., Горбань В.М., Мельничук О.В. Збірник задач з квантової механіки. Київ: Вища шк., 2003. 230 с.

Лисица М.П., Венгер Е.Ф. Занимательная оптика. Физиологическая оптика. Мир людей. Киев: Вища шк., 2003. 222 с.

Akopyan A.A., Borkovskaya O.Yu., Dmitruk N.L., Karimov A.V., Konakova R.V., Milenin V.V., Sachenko A.V., Tursunov M.N., Yodgorova D.M. Photoconverters with AlGaAs/GaAs heterojunction on textured GaAs substrates (Physico-Technological aspects). Tashkent Fan Publishers, 2004. 178 p.

Венгер Є.Ф., Горбань В.М., Мельничук О.В. Основи статистичної фізики і термодинаміки. Київ: Вища шк., 2004. 255 с.

Lvov V., Lozovski V. Seminars in Quantum Mechanics Elementary Problems of Quantum Mechanics in One Dimension. Київ: КНУ ім. Т. Шевченка, 2004. 52 с.

Венгер Є.Ф., Мельничук Л.Ю., Мельничук О.В. Фізика на основі експерименту. Лабораторний практикум. Ніжин: НДПУ ім. М. Гоголя, 2004. 179 с.

Голод П.І., Шиманська О.Т., Мельник Р.М., Рудько Г.Ю. Практикум з механіки. Київ: КМ Академія, 2004. 63 с.

Rajchev O.E., Vasko F.T. Quantum Kinetic Theory and Applications. Electrons, Photons, Phonons. Springer, 2005. 800 p.

Flanre D., Nazarov A., Hemment P. Science and Technology of Semiconductor-on-Insulator Structures and Devices Operating under a Harsh Environment. Holland Kluwer Academic Publishers, 2005. 348 p.

Молодкин В.Б., Низкова А.И., Шпак А.П., Мачулин В.Ф., Кладько В.П., Прокопенко И.В., Кютт Р.Н., Кисловский Е.Н., Олиховский С.И., Фодчук И.М., Дышеков А.А., Хапачев Ю.П. Дифрактометрия наноразмерных дефектов и гетерослоев кристаллов. Киев: Академперіодика, 2005. 388 с.

Бойко М.П., Венгер Є.Ф., Мельничук О.В. Фізико-технічна творчість школярів. Ніжин: НДУ ім. М. Гоголя, 2005. 123 с.

Бойко М.П., Венгер Є.Ф., Мельничук О.В. Фізико-технічна творчість учнів. Київ: Вища шк., 2005. 254 с.

Використання Україною досвіду європейської інтеграції Угорщини, Чеської Республіки та Польщі завдяки програмі EUREKA. Ред. П.С. Смертенко, О.В. Коломієць, Т.А. Кінько. Київ: Науковий світ, 2005. 56 с.

Кладько В.П., Мачулін В.Ф., Григор'єв Д.О., Прокопенко І.В. Рентгенооптичні ефекти в багаточарових періодичних квантових структурах. Київ: Наук. думка, 2006. 287 с.

Лисица М.П., Валах М.Я. Занимательная оптика. Физиологическая оптика. Мир животных. Киев: Логос, 2006. 512 с.

Третьяк О.В., Лозовський В.З. Основи сучасної фізики напівпровідників. Київ: КНУ ім. Т. Шевченка, 2006.

Litovchenko V.G., Evtukh A.A. Vacuum Nanoelectronics. In: Handbook of Semiconductor Nanostructures and Nanodevices. V. 3. Spintronics and Nanoelectronics. Eds A.A. Balandin, K.L. Wang. Los Angeles: American Scientific Publishers, 2006. P. 153–234.

Blume Ya., Durzan D.J., Smertenko P. Cell Biology and Instrumentation. UV Radiation, Nitric Oxide and Cell Death in Plants. IOS Press, 2006. 340 p.

EUREKA та поновлена Лісабонська стратегія в сучасних умовах розвитку ЄС. Виклики та перспективи для України. Ред. П.С. Смертенко, О.В. Коломієць, Т.А. Кінько. Київ: ФОП Т.А. Кінько, 2006. 61 с.

Бойко М.П., Венгер Є.Ф., Мельничук О.В. Фізико-технічна творчість учнів. Київ: Вища шк., 2007. 262 с.

Венгер Є.Ф., Мельничук Л.Ю., Мельничук О.В. Лабораторний практикум з механіки. Ніжин: НДУ ім. М. Гоголя, 2007. 226 с.

Mitin V.V., Kochelap V.A., Stroschio M. Introduction to Nanoelectronics Science, Nanotechnology Engineering and Applications. Cambridge University Press, 2007.

Україна та сучасні механізми інноваційного розвитку Європейського Союзу. Ред. П.С. Смертенко, О.В. Коломієць, Т.А. Кінько. Київ: ФОП Т.А. Кінько, 2007. 64 с.

Інноваційний розвиток ЄС: сучасні тенденції та перспективи для України. Ред. П.С. Смертенко, О.В. Коломієць, Т.А. Кінько. Київ: ФОП Т.А. Кінько, 2007. 64 с.

Програми та інструменти інноваційного розвитку економіки Європейського Союзу. Українські проєкції. Ред. П.С. Смертенко, О.В. Коломієць, Т.А. Кінько Київ: ФОП Т.А. Кінько, 2007. 64 с.

Ефанов О.М., Кладько В.П., Мачулін В.Ф., Молодкін В.Б. Динамічна дифракція Х-променів у багаточарових структурах. Київ: Наук. думка. 2008. 227 с.

Агеев О.А., Беляев О.Є., Болтовец М.С., Конакова Р.В., Міленін В.В., Пилипенко В.А. Фази проникнення в технології напівпровідникових приладів і НВІС. Харків: НТК «Інститут монокристалів», 2008. 392 с.

Сизов Ф.Ф. Фотоелектроника для систем видения в невидимых участках спектра. Киев: Академперіодика, 2008. 460 с.

Лисица М.П., Валах М.Я. Занимательная оптика. Физиологическая оптика. Биоллюминесценция. Киев: Логос, 2008. 165 с.

Бойко И.И. Перенос носителей заряда в полупроводниках. Киев: НАН Украины, 2009. 188 с.

Петров В.В., Крючин А.А., Шанойло С.М., Кравець В.Г., Косско І.О., Беляк Є.В., Лапчук А.С., Костюкевич С.О. Надцільний оптичний запис інформації. Київ: Інститут проблем реєстрації інформації НАН України, 2009. 280 с.

Свечников Г.С., Морозовская А.Н. Нанотрубки и графен – материалы электроники будущего. Киев: Логос, 2009. 170 с.

Dmitruk N.L., Goncharenko A.V., Venger E.F. Optics of small particles and composite media. Київ, 2009. 386 с.

Принципи EUREKA та інших європейських країн як чинники інноваційного розвитку України. Ред. П.С. Смертенко, Т.А. Кінько. Київ: ФОП Т.А. Кінько, 2009. 76 с.

Оксанич А.П., Волохов С.О., Тербан В.А., Ключ М.І., Скришевський В.А., Костилюв В.П., Макаров А.В. Сучасні технології виробництва кремнію та кремнієвих фотоелектричних перетворювачів сонячної енергії. Кривий Ріг: Мінерал, 2010. 267 с.

Torchynska T.V., Shcherbyna L.V. SiC nanocrystal structures. In: Nanocrystals and quantum dots of group IV semiconductors. Eds T.V. Torchynska, Yu. Vorobiev. Mexico: Mexico D.F. National Polytechnic Institute; USA, California: American Scientific Publishers. 2010. P. 116–148.

Khomenkova L. Si Nanocrystals and Quantum Dots Embedded in Amorphous Si Matrix. In: Nanocrystals and quantum dots of group IV semiconductors. Eds T.V. Torchynska, Yu. Vorobiev. Mexico: Mexico D.F. National Polytechnic Institute; California: American Scientific Publishers, 2010. P. 87–117.

Агеев О.А., Беляев А.Е., Болтовец Н.С., Киселев В.С., Конакова Р.В. и др. Карбид кремния: технология, свойства, применение. Харьков: ИСМА, 2010. 532 с.

Готра З.Ю., Зелінський Р.Я., Микитюк З.М., Сорокін В.М., Сушинський О.Є., Фечан А.В. Рідкокристалічна електроніка. Львів: Апріорі, 2010. 531 с.

Свечников Г.С. Интегральная микроэлектроника. Ограничения и перспективы. Одесса: Астропринт, 2010. 474 с.

Tomashik V., Feychuk P., Shcherbak L. Ternary Alloys Based on II-VI Semiconductor Compounds. Chernivtsi: Books – XXI, 2010. 440 p.

Родионов В.Е. Электролюминесцентные индикаторы с керамическим диэлектриком. Киев: НАН України, 2010. 228 с.

Родионов В.Е. Электролюминесцентные индикаторы: люминесценция широкозонных материалов. Киев: НАН України, 2010. 166 с.

Родионов В.Е. Электролюминесцентные индикаторы. Электролюминесцентные пленки и структуры. Киев: НАН України, 2010. 416 с.

Nazarov A., Turchanikov V. Complex Nature of Charge Trapping and Retention in NC NVM Structures, Nanocrystals. Croatia: Publisher Sciyo, 2010. 326 p.

Лепіх Я.І., Гордієнко Ю.О., Дзядевич С.В., Дружинін А.О., Євтух А.А., Ленков С.В., Мельник В.Г., Романов В.О. Створення мікроелектронних датчиків нового покоління для інтелектуальних систем. Одеса: Астропринт, 2010. 289 с.

Belyaev A.E., Boltovets N.S., Venger E.F., Konakova R.V., Kudryk Ya.Ya., Milenin V.V., Milenin G.V. Physico-Technological Aspects of Degradation of Silicon Microwave Diodes. Kyiv: Akadempriodyka, 2011. 182 p.

Semiconductor-On-Insulator Materials for Nanoelectronics Applications. Eds A. Nazarov, J.-P. Colinge, F. Balestra, J.-P. Raskin, F. Gamiz, V.S. Lysenko. Heidelberg, Dordrecht, London, New York: Springer, 2011. 456 p.

Беляев А.Е., Болтовец Н.С., Венгер Е.Ф., Волков Е.Г., Кладько В.П., Конакова Р.В., Кудрик Я.Я., Миленин В.В., Миленин Г.В., Пилипенко В.А., Редько Р.А., Саченко А.В. Физические методы в микро- и нанoeлектронике. Харьков: ИСМА, 2011. 384 с.

Сердега Б.К. Модуляційна поляриметрія. Київ: Наук. думка, 2011. 235 с.

Tetyorkin V.V., Sukach A.V., Tkachuk A.P. InAs Infrared Photodiodes. In: Advances in Photodiodes. Ed. Gian-Franco Dalla Botta. InTech Open Access Publisher, 2011. 466 p.

Гармонізація та синхронізація європейських та українських інноваційних програм. Ред. П.С. Смертенко, О.М. Зубарев. Київ: Сінта Захід, 2011. 84 с.

Лисица М.П., Валах М.Я. Занимательная оптика. Волоконная оптика. Киев: Логос, 2012. 191 с.

Belyaev A.E., Boltovets N.S., Konakova R.V., Kudryk Ya.Ya., Milenin V.V. Diffusion barriers in ohmic contacts to semiconductor devices structures. Technology, properties, application. In: *Advances in Materials Science Research*. Vol. 12. Ed. M.C. Wythers. New York: Nova Sci. Publ. Inc., 2012. P. 70.

Олексенко П.Ф., Коваль В.В., Розорінов Г.М., Сукач Г.А. Теоретичні основи завадостійкого кодування. Ч. 2. Київ: Наук. думка, 2012. 210 с.

Бойко И.И. Перенос зонных носителей заряда в полупроводниках. Саарбрюккен: Palmarium Academic Publishing, 2013. 188 с.

Гридина Н.Я., Маслов В.П., Ушенин Ю.В. Опухоль-ассоциированное воспаление и глиомы головного мозга. Saarbrücken: Lambert Academic Publishing, 2013. 196 с.

Бекетов Г.В., Климов О.С., Матяш І.Є., Оберемок Є.А., Руденко С.П., Савенков С.М., Самойлов А.В., Сердега Б.К., Ушенин Ю.В., Ширшов Ю.М. Фізичні основи поляриметриї високої інформативної здатності. Київ: Політехніка, 2013. 249 с.

Назаренко Л.А., Сорокін В.М. Основи радіометрії та фотометрії. Харків: ХНУМГ, 2013. 399 с.

Каширина Н.И., Лахно В.Д. Математическое моделирование автолокализованных состояний в конденсированных средах. Москва: Физматлит, 2013. 420 с.

Tomashik V., Feychuk P., Shcherbak L. Multicomponent Alloys Based on II-VI Semiconductor Compounds. Chernivtsi National University, 2012. 480 p.

Tomashyk V., Feychuk P., Shcherbak L. Ternary alloys based on II-VI semiconductor compounds. London: Taylor & Francis, 2013. 546 p.

Венгер Є.Ф., Мельничук Л.Ю., Мельничук О.В. Збірник задач з механіки. Ніжин: НДУ ім. М. Гоголя, 2013. 651 с.

Кладько В.П., Фодчук І.М. Методи рентгенівської дифракційної діагностики напівпровідникових кристалів та гетероструктур. Чернівці: Рута, 2013. 154 с.

Ляшенко О.В., Власенко О.І., Киселюк М.П., Велешук В.П. Акустико-емісійні методи дослідження у фізиці твердого тіла. Київ: Київський університет, 2013. 204 с.

Бойко И.И. Кинетика зонных носителей заряда (трёхмерные и двумерные системы). Саарбрюккен: Palmarium Academic Publishing, 2014. 185 с.

Баранський П.І., Беляєв О.Є., Гайдар Г.П., Кладько В.П., Кучук А.В. Проблеми діагностики реальних напівпровідникових кристалів. Київ: Наук. думка, 2014. 463 с.

Литовченко В., Стріха М. Сонячна енергетика. Порядок денний для світу й України. Київ: К.І.С., 2014. 40 с.

Лісовський І.П., Саріков А.В., Сипко М.І. Тонкоплівкові структури з нановключеннями кремнію. Київ, Чернівці: Книги XXI, 2014. 384 с.

Nazarov A., Balestra F., Kilchytska V., Flandre D. Functional Nanomaterials and Devices for Electronics, Sensors and Energy Harvesting. Heidelberg, New York, Dordrecht, London: Springer, 2014. 467 p.

Tomashyk V. Quaternary alloys based on II-VI semiconductors. London: Taylor & Francis, 2014. 512 p.

Corsi C., Sizov F. THz and Security Applications. Detectors, Sources and Associated Electronics for THz Applications. Dordrecht: Springer, 2014. 292 p.



Nanotechnology and nanomaterials. Technology Developments Book. Ed. O. Fesenko. Lviv: Eurosvit, 2014. 264 p.

Litovchenko V.G., Gorbanyuk T.I. Mechanism of influence of aminoacid adsorption on photoluminescence of nanoporous silicon. In: Nanotechnology in the Security Systems. Eds J. Bonča, S. Kruchinin. Dordrecht: Springer Science+Business Media, 2015. P. 257–266.

Dimitriev O.P. Elusive monopole and search for symmetry in classical electrodynamics. Heidelberg: Lambert Academic Publishing, 2014. 68 p.

Петров В.В., Крючин А.А., Куницький Ю.А., Рубінш В.М., Лапчук А.С., Костюкевич С.А. Методи нанолітографії. Київ: Наук. думка, 2015. 264 с.

Evtukh A., Hartnagel H., Yilmazoglu O., Mimura H., Pavlidis D. Vacuum Nanoelectronic Devices. Novel Electron Sources and Applications. London: John Wiley & Sons, Inc, 2015. 495 p.

Tomashyk V. Multinary alloys based on II-VI semiconductors. London: CRC Press, 2015. 670 p.

Барабаш М.Ю., Гринько Д.О., Сперкач С.О. Формування наноструктур на темплатах випромінюванням із видимого діапазону. Київ: ІМФ НАН України, 2015. 200 с.

Родионов В.Е. Люминесценция оксидных и сульфидных пленок. Киев: Такі справи, 2015. 208 с.

Головина И.С., Гейфман И.Н., Родионов В.Е. Диэлектрические резонаторы для ЭПР-спектроскопии. Киев: НАН Украины, 2015. 158 с.

Порев В.А., Маслов В.П., Порев Г.В. Інформаційні технології в екології. Київ: НТУУ «КПІ», 2015. 308 с.

Бойко М.П., Венгер Є.Ф., Мельничук О.В. Фізика. 7 клас. Київ: Наук. думка, 2015. 332 с.

Беляев А.Е., Бессолов В.Н., Болтовец Н.С., Жилиев Ю.В., Кладько В.П., Конакова Р.В., Кучук А.В., Саченко А.В., Шеремет В.Н. Физико-технологические проблемы нитридгаллиевой электроники. Киев: Наук. думка, 2016. 258 с.

Стронський О.В., Венгер Є.Ф., Олексенко П.Ф., Мельничук О.В. Халькогенідні склоподібні напівпровідники: властивості та практичні застосування. Ніжин: НДУ ім. М. Гоголя, 2016. 236 с.

Енергоєфективні світлодіодні освітлювальні системи. За ред. В.М. Сорокіна. Київ: Авіцена, 2016. 335 с.

Поперенко Л.В., Стащук В.С., Шайкевич С.А. Войценья В.С., Кудрявцев Ю.В., Стерлігов В.А., Стронський О.В., Тимчик Г.С., Колобродов В.Г. Прецизійні пристрої і прилади оптотехніки. Київ: Київський університет, 2016. 720 с.

Козицький С.В., Бачеріков Ю.Ю. Дослідження фізичних властивостей сульфідів цинку, отриманого методом високотемпературного синтезу, що самопоширюється. Одеса: Астропринт, 2016. 272 с.

Дорожинський Г.В., Маслов В.П., Ушенін Ю.В. Сенсорні прилади на основі поверхневого плазмонного резонансу. Київ: НТУУ «КПІ», 2016. 264 с.

Venger E.F., Gryban V.M., Melnichuk O.V. Fundamentals of theoretical physics. Kyiv: Akadempriodyka, 2016. 491 p.

Бойко М.П., Венгер Є.Ф., Мельничук О.В. Фізика. 8 клас. Київ: Наук. думка, 2016. 274 с.

Tomashyk V. Ternary alloys based on III-V semiconductors. London: CRC Press, 2017. 362 p.

Маркіна О.М., Маслов В.П. Шляхи вдосконалення цифрових вимірювальних систем на базі оптичного мікроскопа Біолам Л211. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2017. 125 с. <http://ela.kpi.ua/handle/123456789/21193>

Генцарь П.О., Власенко О.І. Електронні явища в оптичних спектрах приповерхневих шарів та об'єму матеріалів IV,  $A_3B_5$ ,  $A_2B_6$  та  $A_3B_6$  груп. Київ, 2017. 182 с.

Tomashyk V. Quaternary Alloys Based on III-V Semiconductors. London: CRC Press, 2018. 322 p.

Tomashyk V. Multinary Alloys Based on III-V Semiconductors. London: CRC Press, 2018. 262 p.

Корсунська Н.О., Маркевич І.В., Борковська Л.В., Хоменкова Л.Ю., Венгер Є.Ф., Мельничук Л.Ю., Мельничук О.В. Структурні, оптичні та електрон-фононні властивості легованих широкозонних оксидів. Ніжин: НДУ ім. М. Гоголя, 2018. 160 с.

Savkina R., Khomenkova L. Solid State Composites and Hybrid Systems. Fundamentals and Applications. Boca Raton: CRC Press, 2018. 216 p.

Dorozinska H.V., Dorozinsky G.V., Ushenin Yu.V., Maslov V.P. Trends in the development of analytical devices based on surface plasmon resonance and perspective directions of their application. Scholars' Press (OmniScriptum Publishing Group), 2018. 293 p.

Sizov F., Tsybrii Z., Korotash I., Rudenko E. IR blocking and transparent in visible and THz filters. Lambert Academic Publishing, 2018. 78 p.

Власенко О.І., Генцарь П.О. Оптична спектроскопія функціональних матеріалів електронної техніки. Київ: Арт-Ок, 2018. 223 с.

Баранський П.І., Беляев О.Є., Гайдар Г.П. Кінетичні ефекти в багатодолінних напівпровідниках. Київ, 2019. 448 с.

Sizov F. Detectors and Sources for THz and IR. Materials Research Forum LLC. Millersville, PA 17551, USA, 2020. 320 p.

## Додаток 4

### Премії та нагороди співробітників Інституту

#### Ленінська премія

1966 р. — за цикл робіт «Теоретичні та експериментальні дослідження екситонів у кристалах» (Е.Й. Рашба)

#### Державна премія СРСР

1984 р. — за розроблення та освоєння нових радіоелектронних приладів (М.К. Шейнкман)

1986 р. — за розроблення приладів некогерентної оптоелектроніки з високими техніко-економічними показниками, їх промислове освоєння і широке впровадження в народне господарство (С.В. Свечніков)

#### Премія Ради Міністрів СРСР

1983 р. — за розроблення нових технологій (Г.Є. Богославський, Ф.М. Воробкало, Л.Й. Зарубін, В.К. Малютенко, О.Г. Миселюк, І.Ю. Неміш, І.Ф. Полетаєва, Л.Т. Яценко, В.В. Чуприна)

**Державна премія УРСР і України**

1970 р. — за монографію «Електронні явища на поверхні напівпровідників» (В.Г. Литовченко, В.І. Ляшенко, І.С. Степко)

1973 р. — за цикл робіт «Фізико-технічні і прикладні розробки основ некогерентної оптоелектроніки» (С.В. Свечніков, Н.А. Власенко, П.Ф. Олексенко, А.К. Смовж, О.М. Зюганов)

1974 р. — за цикл робіт «Розробка фізичних основ керування частотою вимушеного випромінювання і створення комплексу лазерів з частотою, що перебудується» (М.І. Витрихівський)

1981 р. — за цикл робіт «Комплексне дослідження оптичних і фотоелектричних властивостей напівпровідникових сполук елементів другої та шостої груп періодичної системи» (В.Є. Лашкарьов, М.П. Лисиця, С.І. Пекар, О.В. Снітко, І.Б. Мізецька, Є.А. Сальков, Г.А. Федорус, М.К. Шейнкман)

1983 р. — за цикл робіт «Фізичні основи керування властивостями матеріалів і приладів твердотільної електроніки під дією радіації» (О.А. Бугай, Н.О. Корсунська)

1983 р. — за розроблення та дослідження матеріалів і структур електронної техніки (К.Д. Глинчук, Л.І. Даценко, С.В. Свечніков, Ю.О. Тхорик)

1984 р. — за роботу в галузі радіоелектроніки (М.Л. Дмитрук, Р.В. Конакова, В.С. Лисенко, А.В. Прохорович, В.І. Файнберг)

1986 р. — за цикл робіт «Фізичні дослідження і метрика напівпровідникових твердих розчинів кадмій-ртуть-телур та свинець-олово-телур, спрямовані на освоєння їх промислового виробництва для ГЧ-фотоелектроніки» (М.П. Лисиця, Є.А. Сальков, Ф.Ф. Сизов, Г.А. Шепельський)

1987 р. — за цикл робіт «Розробка і впровадження елементів і пристроїв оптичної обробки інформації в ГЧ-діапазоні» (В.К. Малютенко, С.С. Болгов, А.І. Ліптуга, Г.І. Тесленко, Є.І. Яблоновський)

1987 р. — за цикл робіт «Розробка фізичних основ міцності ковалентних кристалів і оптимізація на цій основі технологій виготовлення напівпровідникових структур мікроелектроніки» (П.І. Баранський, Б.М. Романюк)

1988 р. — за цикл робіт «Позитронні дослідження структури твердих тіл» (О.В. Любченко, В.В. Дякін)

1988 р. — за роботу «Фізичне обґрунтування і промислове освоєння діагностики технології напівпровідникових матеріалів  $A^3B^5$ , їх твердих розчинів та розробка функціональних пристроїв на їх основі» (П.С. Смертенко, І.П. Тягульський)

1993 р. — за цикл праць «Комплексне дослідження фізичних властивостей карбиду кремнію і розробка на його основі напівпровідникових приладів, що працюють в екстремальних умовах» (Л.Й. Бережинський, М.Я. Валах, Є.Ф. Венгер, С.І. Власкіна, О.Т. Сергєєв)

1994 р. — за цикл робіт «Рентгено-, опто-, акустичні явища в реальних кристалах при комбінованому впливі фізичних полів» (Л.І. Даценко, В.І. Хрупа, В.Ф. Мачулін)

1995 р. — за цикл робіт «Фізичні механізми деградації та шляхи підвищення надійності оптоелектронних приладів» (М.К. Шейнкман, Т.В. Торчинська, Н.Б. Лук'янчикова, Г.С. Свечніков)

1995 р. — за працю в галузі радіоелектроніки (Р.В. Конакова, В.В. Міленін, І.В. Прокопенко, Ю.О. Тхорик)

1997 р. — за цикл наукових праць «Процеси переносу заряду і маси та електронні кінетичні явища на поверхнях і у приповерхневих шарах твердих тіл» (В.Г. Литовченко, Д.В. Корбутяк)

2001 р. — за роботу «Нові фізичні ефекти в сильно анізотропних напівпровідниках і приладах на їх основі» (Ф.В. Моцний, А.М. Яремко, С.С. Іщенко)

2003 р. — за цикл робіт «Монокристали сапфіру: розробка високорентабельних технологій, освоєння промислового виробництва конкурентоздатних на світовому ринку сапфірових елементів для оптики, електроніки та медицини» (В.Ф. Мачулін)

2006 р. — за роботу в галузі радіоелектроніки (О.Є. Беляєв, В.О. Кочелап, О.М. Назаров, Т.О. Руденко, І.Б. Єрмолович)

2007 р. — за роботу в галузі створення новітніх матеріалів (О.І. Власенко, А.П. Горбань, І.З. Індутний, В.П. Кладько, В.М. Комащенко)

2007 р. — за розроблення і впровадження високоефективних технологій отримання напівпровідникових кристалічних матеріалів групи  $A^{IV}B^{VI}$  та виробів на їх основі для приладобудування (В.М. Томашик)

2009 р. — за розроблення високоефективних технологій оптоелектроніки і комунікаційних систем на їх основі (Г.О. Сукач)

2011 р. — за роботу «Мікроелектронні датчики нового покоління для інтелектуальних систем» (А.А. Євтух)

2011 р. — за цикл робіт зі створення нових функціональних матеріалів і розробки конструкторсько-технологічних рішень для спеціального приладобудування (М.М. Локшин, В.П. Маслов, Г.С. Пекар, О.Ф. Сингаївський)

2012 р. — за роботу «Ключові технології виробництва кремнієвих сонячних елементів та енергетичних систем на їх основі» (М.І. Ключ, В.П. Костильов, А.В. Макаров, А.В. Саченко)

2012 р. — за роботу «Проблемно-орієнтовані обчислювальні засоби обробки інформації в реальному часі» (О.Ю. Авксентьев)

2016 р. — за роботу «Енергоефективні світлодіодні освітлювальні системи» (В.М. Сорокін, А.В. Рибалочка, В.І. Корнага)

2017 р. — за роботу «Фотоніка напівпровідникових та діелектричних наноструктур» (В.О. Юхимчук, Г.Г. Тарасов, В.М. Джаган)

### **Премія Кабінету Міністрів України**

2016 р. — за розроблення та впровадження сенсорних контрольно-інформаційних технологій (Є.Ф. Венгер, В.І. Дунаєвський, Н.В. Качур, В.П. Маслов)

### **Премія академій наук України, Білорусі і Молдови**

1996 р. — за виконання науково-дослідної роботи «Напівпровідникові надрешітки з напруженими шарами: електронні та коливальні стани» (Є.Ф. Венгер, М.Л. Дмитрук)

1997 р. — за видатні результати, отримані при виконанні спільного наукового дослідження «Технологія отримання, фізичні властивості та застосування напівпровідникових кристалів сполук  $A_2B_3$ » (І.В. Фекешгазі)

2004 р. — за роботу «Міжфазні взаємодії і механізми деградації в структурах метал-InP та метал-GaAs» (І.В. Прокопенко, Р.В. Конакова, В.В. Міленін)

2012 р. — за спільні дослідження «Фазові і структурні модифікації поверхневих шарів і плівок в технології напівпровідникових приладів і надвеликих інтегральних схем» (О.Є. Беляєв, Я.Я. Кудрик)

2014 р. — за спільні наукові дослідження «Напівпровідникові матеріали і наноструктури для фотоніки і сенсоріки» (М.Я. Валах, Д.В. Корбутяк)

## Іменні премії НАН України

### *Премія НАН України імені К.Д. Синельникова*

1984 р. — за монографію «Електровідбиття світла у напівпровідниках» (О.В. Снітко, В.А. Тягай)

1988 р. — за монографію «Перенос електронів і дірок біля поверхні напівпровідників» (В.М. Добровольський, В.Г. Литовченко)

1996 р. — за монографію «Поверхневі поляритони у напівпровідниках та діелектриках» (М.Л. Дмитрук)

### *Премія НАН України імені В.Є. Лашкарьова*

1999 р. — за серію робіт «Дослідження нерівноважних та кінетичних явищ в актуальних для сучасної фотоелектроніки напівпровідниках ( $A_2B_6$ ,  $A_4B_6$  та порувані Si-структури)» (Є.А. Сальков, М.К. Шейнкман)

2003 р. — за роботу «Фізичні механізми і роль дефектів в самоорганізації та бістабільності тонкоплівкових електролюмінесцентних структур на основі напівпровідників  $A^{II}B^{VI}$ » (Н.А. Власенко, З.Л. Денисова, Я.Ф. Кононець)

2005 р. — за роботу «Формування високостабільних контактних і поверхнево-бар'єрних структур в приладах високотемпературної НВЧ-електроніки на основі широкозонних напівпровідників» (О.Є. Беляєв, Р.В. Конакова, В.С. Лисенко)

2014 р. — за цикл робіт «Фотоелектричні ефекти в нанорозмірних структурах, створених іонно-променевою технологією» (В.Г. Литовченко, Б.М. Романюк, В.П. Мельник)

2018 р. — за визначення структурно-деформаційних ефектів і встановлення механізмів струмопереносу у тринітридних наноструктурах (В.О. Кочелап, В.П. Кладько, П.М. Литвин)

### *Премія НАН України імені С.І. Пекаря*

2001 р. — за цикл робіт «Теорія електричних та оптичних явищ у квантових гетероструктурах» (В.О. Кочелап, Ф.Т. Васько)

2007 р. — за цикл наукових робіт «Теорія спіно-орбітальної взаємодії та поляронних станів у напівпровідниках» (Е.Й. Рашба, В.І. Шека)

2009 р. — за цикл робіт «Вплив спіно-орбітальної та кулонівської взаємодій на властивості електронних систем» (О.Е. Райчев)

2013 р. — за цикл робіт «Теорія кореляційних та когерентних процесів у напівпровідникових гетероструктурах» (В.Й. Піпа)

### *Премія НАН України імені С.О. Лебедєва*

2003 р. — за цикл наукових робіт «Розробка і створення компонентів, пристроїв і систем захисту і обробки інформації» (В.С. Лисенко)

### *Премія НАН України імені Н.Д. Моргуліса*

2013 р. — за цикл робіт «Функціональні властивості та діагностика новітніх НВЧ-приладів» (О.Є. Беляєв, Р.В. Конакова, А.В. Саченко)

2019 р. — за цикл робіт «Фізичні механізми електронної, іонної та молекулярної чутливості наноструктурованих матеріалів до складних багатокомпонентних середовищ» (В.І. Чегель, О.Л. Кукла разом з В.А. Сминтиною)



### **Заслужені діячі науки і техніки УРСР та України**

Акад. НАН України Свечніков Сергій Васильович (1986)  
Акад. НАН України Лисиця Михайло Павлович (1991)  
Чл.-кор. НАН України Литовченко Володимир Григорович (1992)  
Чл.-кор. НАН України Шейнкман Мойсей Ківович (1995)  
Д-р фіз.-мат. наук Баранський Петро Іванович (1996)  
Чл.-кор. НАН України Лисенко Володимир Сергійович (1998)  
Акад. НАН України Мачулін Володимир Федорович (1998)  
Д-р фіз.-мат. наук Сальков Євген Андрійович (1998)  
Чл.-кор. НАН України Валах Михайло Якович (2000)  
Д-р фіз.-мат. наук Даценко Леонід Іванович (2000)  
Чл.-кор. НАН України Олексенко Павло Феофанович (2008)  
Д-р фіз.-мат. наук Фекешгазі Іштван Вінцейович (2008)  
Д-р фіз.-мат. наук Дмитрук Микола Леонтійович (2009)  
Чл.-кор. НАН України Сизов Федір Федорович (2013)

### **Заслужений винахідник України**

Д-р техн. наук Маслов Володимир Петрович (1995)

### **Подяка Прем'єр-міністра України**

Чл.-кор. НАН України В.М. Сорокін (2010)

### **Знак Національної академії педагогічних наук України «Ушинський К.Д.»**

С.В. Свечніков (2010), М.П. Лисиця (2010)

### **Відзнака НАН України «За наукові досягнення»**

В.Ф. Мачулін (2010), М.П. Лисиця (2010), М.Я. Валах (2010)

### **Відзнака НАН України «За підготовку наукової зміни»**

В.С. Лисенко (2010), В.О. Кочелап (2012), О.Є. Беляєв(2017), Ф.Ф. Сизов (2018)

### **«Кращий винахід 2009 р. в галузі електроніки та комунікаційних систем»**

І.З. Індутний (2010), П.Є. Шепелявий (2010), В.І. Минько (2010)

### **Почесна грамота Верховної Ради України**

М.П. Лисиця (2011), М.Я. Валах (2011), С.В. Свечніков (2011), В.Г. Литовченко (2011), Р.В. Конакова(2011), Ф.Г. Саворовський (2011)

### **Орден князя Ярослава Мудрого V ступеня**

В.Ф. Мачулін (2012)

### **Орден «За заслуги III ст.»**

О.І. Власенко (2003)

### **Європейська золота медаль Європейської науково-промислової палати**

В.С. Лисенко (2010)

### **Відзнака НАН України «За професійні здобутки»**

В.М. Томашик (2013)

### **Стипендія Президента України для молодих вчених**

С.М. Коміренко (1994), О.М. Рибак (1994), А.Д. Сардарли (1994), О.М. Коршак (1994), В.П. Кунець (1996), С.П. Дикий (1996), О.В. Мельничук (1996), І.С. Головіна (1996), О.М. Рибак (1997), С.Р. Лаворик (1998), В.В. Забудський (1998), П.М. Литвин (1998) О.Г. Рожин (1999), І.П. Ворона (2000), О.В. Коровін (2000), Л.В. Борковська (2000), Л.Ю. Хоменкова (2001), С.Г. Крилюк (2002), Є.О. Білевич (2002), С.А. Коваленко (2002), О.С. Литвин (2003), З.Ф. Цибрій (2004), Р.Ю. Голіней (10.2004–03.2005), А.В. Саріков (10.2004–03.2005), О.В. Бехтір (01.05.2005 – 31.10.2005), В.П. Велещук (2005), О.М. Єфанов (2006), Я.Я. Кудрик (2006), І.Ю. Майданчук (2006), О.Ф. Коломис (2007), В.М. Джаган (2008), І.Б. Стратійчук (2008), М.В. Вуйчик (2008), І.М. Купчак (2009), В.В. Шинкаренко (2009), А.В. Кучук, М.В. Войтович, А.С. Ніколенко (2010), Р.А. Редько, М.О. Семененко (2011), В.В. Коротеєв, Я.Я. Кудрик, В.М. Шеремет, В.В. Шинкаренко, В.М. Кудіна, Д.М. Хміль, М.В. Сахно (2012), А.В. Кучук, К.А. Авраменко, А.В. Наумов, Н.В. Сафрюк (2013), С.М. Кухтарук, Ю.М. Насека, В.М. Шеремет, Г.В. Дорожинський, А.І. Лученко, С.І. Тягульський (2014), О.А. Капуш, Н.В. Сафрюк, С.Л. Головинський, С.Б. Кривий, В.В. Носенко (2016).

### **Стипендія НАН України для молодих вчених**

В.І. Кільчицька (1994), С.М. Завадський (1994), С.М. Красуля (1994), Є.Ю. Овсянников (1994), О.Ф. Сингаївський (1994), І.П. Ворона (1994), А.І. Стецун (1996), В.П. Мельник (1996), Л.В. Борковська (1996), Е.Г. Манойлов (1996), В.І. Кушніренко (1996), В.В. Кислюк (1996), В.А. Гнатюк (1997), Б.А. Главін (1998), С.Г. Крилюк (1998), О.В. Ренгевич (1998), Л.Ю. Хоменкова (1998), С.В. Каверцев (1999), Е.Г. Манойлов (1999), В.І. Кушніренко (2000), Т.Т. Петренко (2000), Р.К. Савкіна (2000), О.О. Литвиненко (2000), С.А. Коваленко (2000), С.В. Старий (2001), Т.Л. Лінник (2002), А.В. Саріков (2002), А.В. Рибалочка (2002), Е.Г. Манойлов (2002), В.М. Джаган (2002), Л.І. Фененко (2003), Г.М. Морозовська (2004), О.Ф. Коломис (2004), А.В. Кучук (2004), О.М. Смоленка (2004), М.В. Вуйчик (2004), І.Б. Стратійчук (2005), І.І. Гнатів (2006), І.Є. Матяш (2006), Т.Р. Стара (2006), С.В. Чирчик (2006), І.Б. Янчук (2006), А.А. Корчовий (2007), М.О. Семененко (2007), Є.В. Бегун (2008), С.М. Левицький (2008), Р.А. Редько (2008), М.В. Слободян (2008), В.П. Брикса (2009), В.В. Рудько (2009), В.П. Велещук, С.О. Злобін (2011), О.А. Капуш, В.О. Лисюк, Н.В. Сафрюк, М.Д. Тимочко (2012), Г.П. Маланч, М.П. Киселюк (2013), К.А. Авраменко, А.М. Лопатинський, А.С. Ніколенко, А.С. Станецька (2014), І.С. Бабічук, М.В. Войтович, С.П. Руденко (2015), О.П. Лоцько, О.П. Паюк, Г.В. Станчу (2016), Ю.А. Романюк, М.О. Стеценко, К.В. Шпортько (2017).

---

---

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

- Adams, W., Day, R. (1986). The Action of Light on Selenium. *Proc. R. Soc.* V. 25. P. 113—117.
- Arora, S.L., Taylor, T.R., Ferguson, J.L., Saupe, A. (1969). Liquid-crystal polymorphism in bis(4-n-alkoxybenzal)-1,4-phenylenediamines. *Am. Chem. Soc.* V. 91, N 13. P. 3671—3673.
- Baibich, M.N., Broto, J.M., Fert, A., Dau, F.N.V., Petrol, F., Etienne, P., Creutzet, G., Friederich, A., Chazelas, J. (1988). Giant Magnetoresistance of (001)Fe/(001)Cr Magnetic Superlattices. *Phys. Rev. Lett.* V. 61. P. 2472—2475.
- Bainbridge, W.S., Roco, M.C. Managing Nano-Bio-Info-Cogno Innovations. Converging Technologies in Society. Dordrecht: Springer. 2005.
- Balke, N., Winchester, B., Ren, W., Chu, Y.H., Morozovska, A.N., Eliseev, E.A., Huijben, M., Vasudevan, R.K., Maksymovych, P., Britson, J., Jesse, S., Kornev, I., Ramesh, R., Bellaiche, L., Chen, L.Q., Kalinin, S.V. (2012). Enhanced electric conductivity at ferroelectric vortex cores in BiFeO<sub>3</sub>. *Nature Physics.* V. 8. P. 81—88.
- Bardeen, J. (1947). Surface States and Rectification at a Metal Semi-Conductor Contact. *Phys. Rev.* V. 71. P. 717—727.
- Bardeen, J., Brattain, W.H. (1948). The transistor, a semi-conductor triode. *Phys. Rev.* V. 74. P. 230—231.
- Becquerel, A.E. (1841). Memoire sur les effects electriques produits sous l'influence des rayons solaires. *Comptes Rendus de L'Academie des Sciences.* 1839. V. 9. P. 561—567 (also *Annalen der Physik und Chemie.* V. 54. P. 35—42).
- Benedicks, C. (1915). Electricischerwiderstand einiger seltener Metalle; Thermokraft und Gleichrichterwirkung des Germaniums. *Int. Z. Metallgraphie.* V. 7. S. 225—238.
- Binasch, G., Grunberg, P. (1989). Enhanced magnetoresistance in layered magnetic structures with antiferromagnetic interlayer exchange. *Phys. Rev. B.* V. 39. P. 4828—4830.
- Binnig, G., Rohrer, H. (1983). Scanning tunneling microscopy. *Surface Science.* V. 126, N 1—3. P. 236—244.
- Bolgov, S.S., Malyutenko, V.K., Pipa, V.I. (1979). «Negative luminescence» in semiconductors. *Sov. Tech. Phys. Lett.* 1979. V. 5, N 12. P. 610—611.
- Bolgov, S.S., Malyitenko, V.K., Peshko, I.I., Soskin, M.S., Khyzniak, A.I. (1975). Detection of the ultrashort laser pulses by the transverse sweep-out InSb detector. *Infrared Physics.* V. 15, N 1. P. 65—66.
- Bondyopadhyay, P.K. (1998). Sir J.C. Bose's Diode Detector Received Marconi's First Transatlantic Wireless Signal of December 1901 (The «Italian Navy Coherer» Scandal Revisited). *Proceedings of the IEEE.* V. 86, N 1. P. 259—285.
- Bowers, M.J., McBride, J.R., Rosenthal, S.J. (2005). White-Light Emission from Magic-Sized Cadmium Selenide Nanocrystals. *J. Am. Chem. Soc.* V. 127, N 44. P. 15378—15379.
- Boyle, W.S., Smith, G.E. (1970). Charge Coupled Semiconductor Devices. *Bell Syst. Tech. J.* V. 49, N 4. P. 587—593.

- Brattain W., Bardeen, J. (1953). Surface Properties of Germanium. *Bell Syst. Tech. J.* V. 32. N 1. P. 1—41.
- Braun, F. (1874). Über die Stromleitung durch Schwefelmetalle. *Annalen der Physik and Chemie.* V. 153, N 4. P. 556—563. Reprinted in English as «On the current conduction in metal sulphides» in: Sze, S.M. *Semiconductor Devices: Pioneering Papers.* (Singapore: World Scientific Publishing Co., 1991). P. 377—380.
- Braunstein, R. (1955). Radiative Transitions in Semiconductors. *Phys. Rev.* V. 99, N 6. P. 1892—1893.
- Bridgman, P.W. (1925). A condensed Collection of Thermodynamics Formulas. Cambridge. 34 p.
- Brown, W.C., MacRae, A.U. (1975). Ion Implantation. *Bell Laboratory Research.* P. 389.
- Burgess, M.P.D. (2008). Semiconductor History: Faraday to Shockley. <https://sites.google.com/site/transistorhistory/faraday-to-shockley>
- Busch, G. (1989). Early history of the physics and chemistry of semiconductors — from doubts to fact in a hundred years. *Eur. J. Phys.* V. 10. P. 254—264.
- Chang, L.L., Esaki, L., Tsu, R. (1974). Resonant tunneling in semiconductor double barriers. *Appl. Phys. Lett.* V. 24, N 12. P. 593—595.
- Cho, A.Y., Stokowski, S.E. (1971). Molecular beam epitaxy and optical evaluation of  $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ . *Solid State Commun.* V. 9, N 9. P. 565—568.
- Chursanova, M.V., Dzhegagan, V.M., Yuhymchuk, V.O., Lytvyn, O.S., Valakh, M.Ya, Khodasevich, I.A., Lehmann, D., Zahn, D.R.T., Waurisch, C., Hickey, S.G. (2010). Nanostructured Silver Substrates With Stable and Universal SERS Properties: Application to Organic Molecules and Semiconductor Nanoparticles. *Nanoscale Res. Lett.* V. 5, N 2. P. 403—409.
- Craford, M.G. (1973). Properties and electroluminescence of the  $\text{GaAs}_{1-x}\text{P}_x$  ternary system. *Prog. Solid State Ch.* V. 8. P. 127—165.
- Czocharlski, J. (1918). Ein neues Verfahren zur Messung der Kristallisationsgeschwindigkeit der Metalle [A new method for the measurement of the crystallization rate of metals]. *Zeitschrift für Physikalische Chemie.* B. 92. S. 219—221.
- Dan'ko, V.A., Indutnyi, I.Z., Min'ko, V.I., Shepelyavyi, P.E. (2010). Interference photolithography with the use of resist on the basis of chalcogenide glassy semiconductors. *Optoelectronics, Instrumentation and Data Processing.* V. 46. P. 483—490.
- Dember, H. (1931). Photoelectromotive force in cuprous oxide crystals. *Phys. Z.* V. 32. P. 554—556.
- Demidenko, A.A., Kochelap, V.A. (2000). Generation of coherent confined acoustic phonons by drifting electrons in quantum wire. *Semicond. Phys. Quantum Electron. Optoelectron.* V. 3, N 4. P. 432—437.
- Destriau, G.J. (1936). Scintillations of zinc sulfides with alpha-rays. *J. Chimie Physique.* V. 33. P. 587.
- Deygen, M.F., Semenoff, Yu.G., Shanina, B.D. (1981). Exchange interaction between paramagnetic centers and valence band electrons in semiconductors with cubic lattices. *Phys. St. Sol. (b).* V. 104. P. 631—639.
- Dmitruk N.L., Korovin A.V. (2011). Electromagnetic wave refraction on the interface of absorptive and transparent isotropic media and non-resonant excitation of surface waves. *Optics Communications.* V. 284. P. 4254—4258.
- Dmitruk, N.L., Korovin, A.V. (2008). High light transmission through thin absorptive corrugated films. *Optics Letters.* V. 33, N 9. P. 893—895.
- Dmitruk, N.L., Mamikin, S.V. (2000). Surface-enhanced photoemission in Schottky diodes with microrelief interfaces. *J. Vac. Sci. Technol. B.* V. 18, N 5. P. 2411—2414.

- Dmitruk, N.L., Mayeva, O.I., Mamykin, S.V., Mamontova, I.B., Yastrubchak, O.B. (2003). Contribution of structure and morphology of design constituents to performance improvement of multilayer polaritonic photodetector. *Sensors*. V. 3, N 10. P. 480—490.
- Dmitruk, N.L., Borkovskaya, O.Yu., Mayeva, O.I., Mamikin, S.V. (1997). Measurement of the diffusion length of minority charge carriers using real Schottky barriers. *Semiconductors*. V. 31, N 7. P. 661—665.
- Dobrovolsky, V.N., Sizov, F.F. (2007). Room temperature, or moderately cooled, fast THz semiconductor hot electron bolometer. *Semicond. Sci. Technol.* V. 22. P. 103—106.
- Drude, L.P.K. (1900a). Zur Elektronentheorie. I. *Annalen der Physik*. V. 1. S. 566—613.
- Drude, L.P.K. (1900b). Zur Elektronentheorie. II. *Annalen der Physik*. V. 3. S. 369—402.
- Dummer, G.W.A. (1952). Electronic components in Great Britain. Progress in quality electronic components. Proceedings of symposium. Washington, D.C., May 5—7. P. 15.
- Dummer, G.W.A. (1983). *Electronic Inventions and Discoveries: Electronics from Its Earliest Beginnings to the Present Day*. Pergamon. 137 p.
- Dykman, M.I., Tarasov, G.G. (1977). Saturation of absorption and rotation of polarization of radiation by local vibrations in cubic crystals. *JETP*. V. 72, N 6. P. 2246.
- Dzhagan, V.M., Valakh, M.Ya., Raevska, O.E., Stroyuk, O.L., Kuchmiy, S.Ya., Zahn, D.R.T. (2009a). The influence of shell parameters on phonons in core—shell nanoparticles: a resonant Raman study. *Nanotechnol.* V. 20, N 36. P. 365704.
- Dzhagan, V., Rayevskaya, O., Stroyuk, O., Kuchmiy, S., Zahn, D.R.T. (2009b). Resonant Raman spectroscopy of confined and surface phonons in CdSe-capped CdS nanoparticles. *Phys. St. Sol. (c)*. V. 6, N 9. P. 2043—2046.
- Dzhagan, V.M., Lokteva, I., Himcinschi, C., Kolny-Olesiak, J., Valakh, M.Ya., Schulze, S., Zahn, D.R.T. (2011). The influence of pyridine ligand onto the structure and phonon spectra of CdSe nanocrystals. *J. Appl. Phys.* V. 109, N 8. P. 084334.
- Ebers, J.J., Solomon, L., Miller, S.L. (1955). Alloyed Junction Avalanche Transistor. *Bell Syst. Tech. J.* V. 34, N 5. P. 883—902.
- Ehrenfest, P., Rutgers, A. J. (1929a). Zur Thermodynamik und Kinetik der thermo-elektrischen Erscheinungen in Krystallen, insbesondere des Bridgman-Effektes. I. *Proceedings Koninklijke Akademie van Wetenschappen*. V. 32. P. 698—706.
- Ehrenfest, P., Rutgers, A. J. (1929b). Zur Thermodynamik und Kinetik der thermo-elektrischen Erscheinungen in Krystallen, insbesondere des Bridgman-Effektes. II. *Proceedings Koninklijke Akademie van Wetenschappen*. V. 32. P. 883—893.
- Ekimov, A.I., Onushchenko, A.A. (1981). Quantum size effect in three-dimensional microscopic semiconductor crystals. *JETP Letters*. V. 34. P. 363—366.
- Eliseev, E.A., Morozovska, A.N., Svechnikov, G.S., Gopalan, V., Shur, V.Ya. (2011). Static conductivity of charged domain walls in uniaxial ferroelectric semiconductors. *Phys. Rev. B*. V. 83. P. 235313.
- Eliseev, E.A., Morozovska, A.N., Svechnikov, G.S., Maksymovych, P., Kalinin, S.V. (2012). Domain wall conduction in multiaxial ferroelectrics: impact of the wall tilt, curvature, flexoelectric coupling, electrostriction, proximity and finite size effects. *Phys. Rev. B*. V. 85. P. 045312.
- Esaki, L. (1958). New Phenomenon in Narrow Germanium p-n Junctions. *Phys. Rev.* V. 109. P. 603—604.
- Esaki, L., Tsu, R. (1970). Superlattice and Negative Differential Conductivity in Semiconductors. *IBM J. Res. Dev.* V. 14, N 1. P. 61—65.
- Esaki, L., Chang, L.L. (1974). New Transport Phenomenon in a Semiconductor «Superlattice». *Phys. Rev. Lett.* V. 33. P. 495—498.



- Faraday, M. (1839). Experimental researches in electricity. London: R. and J.E. Taylor. V. 1. Ser. 1—14 [*Philosophical Transactions of the Royal Society*, 1832—1838].
- Fedorenko, L., Matyash, I., Kazantseva, Z., Rudenko, S., Kolomiychenko, Ya. (2014). Laser implantation of gold nanoparticles, formed under surface plasmon resonance-polariton in polymer layer. *Appl. Surf. Sci.* V. 290. P. 1—5.
- Ferguson, J.L. (1970). Liquid-Crystal Detectors. In: Acoustical Holography. Metherell A.F., Larmore L. (eds). Boston: Springer.
- Feynman, R.P. (1959). Plenty of Room at the Bottom. Talk presented by Richard P. Feynman to the American Physical Society in Pasadena. 7 p.
- Fowler, R., Nordheim, L. (1928). Electron emission in intense electric fields. *Proc. R. Soc. A.* V. 119. P. 173.
- Frenkel, J. (1926). Über die Warmebewegung in festen und flüssigen Körpern. *Z. Phys.* V. 35. P. 652—669.
- Fritts, C.E. (1883). On a New Form of Selenium Cell, and some Electrical Discoveries made by its use. *Amer. J. Science.* V. 26. P. 465—472.
- Glavin, B.A., Kochelap, V.A., Linnik, T.L. (1999). Generation of high-frequency coherent acoustic phonons in a weakly coupled superlattice. *Appl. Phys. Lett.* V. 74, N 23. P. 3525—3527.
- Glavin, B.A., Kochelap, V.A., Mitin, V.V. (1997). Patterns In Bistable Resonant-Tunneling Structures. *Phys. Rev. B.* V. 56, N 20. P. 13346—13359.
- Gomeniuk, Y.V., Lozovski, V.Z., Lysenko, V.S., Tyagulskii, I.P., Variukhin, V.N. (1992). Effect of strong electrostatic field on the properties of YPrBaCuO ceramics. *Phys. St. Sol. (a)*. V. 132. P. 155—161.
- Gorkun, Yu.I., Lysenko, V.S., Litovchenko, V.G., Novominskii, V.A. (1970). Anisotropy of Surface Electronic Mobility in Germanium. *Phys. St. Sol. (a)*. V. 3, N 4. P. K281—284.
- Gray, S. (1731—1732). A Letter to Cromwell Mortimer, M.D. Secr. R.S., containing Several Experiments Concerning Electricity. *Philosophical Transactions of the Royal Society*. V. 37. P. 18—44.
- Greulich-Weber, S., Feege, F., Kalabukhova, E.N., Lukin, S.N., Spaeth, J.-M., Adrian, F.J. (1998). EPR and ENDOR investigations of B acceptors in 3C-, 4H- and 6H-silicon carbide. *Semicond. Sci. Technol.* V. 13. P. 59—70.
- Gromovoj, Yu.S., Plyatsko, S.V., Sizov, F.F., Korovina, L.A. (1990). The site and pseudodonor character of manganese in single-crystal lead telluride. *J. Phys. Condens. Matter.* V. 2. P. 10391—10400.
- Grondahl, L. (1926). A New Type of Contact Rectifier. *Phys. Rev.* V. 27. P. 813.
- Grondahl, L.O., Geiger, P.H. (1927). A new Electronic Rectifier. *Trans. Amer. Inst. Elect. Engineers.* V. 46. P. 357—366.
- Gumenyuk-Sichevskaya, J.V., Sizov, F.F. (1999). Currents in narrow-gap photodiodes. *Semicond. Sci. Technol.* V. 14. P. 1124—1133.
- Gunn, J.B. (1963). Microwave oscillations of current in III—V semiconductors. *Solid State Communications.* V. 1, N 4. P. 88—91.
- Hall, E. (1879). On a New Action of the Magnet on Electric Currents. *Amer. J. Mathematics.* V. 2, N 3. P. 287—292.
- Haynes, J.R., Shockley, W. (1949). Investigation of Hole Injection in Transistor Action. *Phys. Rev.* V. 75. P. 691—692.
- Heisenberg, W. (1931). Zum Paulischen Ausschliessungsprinzip. *Ann. Phys. Lpz.* V. 10. S. 888—904.
- Hempstead, C.A. (1977). Semiconductors 1853—1919: an historical study of selenium and some related materials. Durham University. <http://etheses.dur.ac.uk/8205/>

Hess, K., Morkoç, H., Shichijo, H., Streetman, D.G. (1979). Negative differential resistance through real-space electron transfer. *Appl. Phys. Lett.* V. 35. P. 469—471.

Hilsch, R., Pohl, R. (1938). Steuerung von Elektronenströmen mit einem Dreielektrodenkristall und ein Modell einer Sperrschicht. *Zeitschrift für Physik.* V. 111, N 5—6. P. 399—408.

Hittorf, J.W. (1851). Electriche Leitungsvermögen des Schwefelsilbern und Halbschwefelkupfers. *Annalen der Physik und Chemie.* B. LXXXIV. N 9. S. 1—28.

Holonyak, N., Bevacqua, S.F. (1961). Coherent (visible) light emission from Ga ( $As_{1-x}P_x$ ) junctions. *Appl. Phys. Lett.* V. 1. P. 82.

Indutnyi, I.Z., Dan'ko, V.A., Kudryavtsev, A.A., Michailovskaya, E.V., Min'ko, V.I. (1995). Photodoping in  $As_2S_3$ -Ag structures. *J. Non Cryst. Solids.* V. 185. P. 176—182.

Indutnyi, I.Z., Lysenko, V.S., Maidanchuk, I.Yu., Min'ko, V.I., Nazarov, A.N., Tkachenko, A.S., Shepelyavi, P.E., Dan'ko, V.A. (2006). *Nanosystems, Nanomaterials, Nanotechnologies.* V. 4, N 1. P. 145—155.

Joseph, M. (1982). The timetable of technology. London: Marshall Edition. 138 p.

Jost, F.W. (1933). Diffusion and electrolytic conduction in crystals (ionic semiconductors). *J. Chem. Phys.* V. 1. P. 466—475.

Kalabukhova, E.N., Lukin, S.N., Mokhov, E.N., Reinke, J., Greulich-Weber, S., Spaeth, J.-M. (1995). On the microscopic structure of shallow donors in 6HSiC studied with EPR and ENDOR. *Sol. St. Com.* V. 93, N 5. P. 393—397.

Kalabukhova, E.N., Lukin, S.N., Savchenko, D.V., Shanina, B.D., Vasin, A.V., Lysenko, V.S., Nazarov, A.N., Rusavsky, A.V., Hoentsch, J., Koshka, Y. (2010). The EPR study of the carbon and silicon related defects in carbon-rich hydrogenated amorphous silicon-carbon films. *Phys. Rev. B.* V. 88. P. 155319(1—9).

Kalabukhova, E.N., Lukin, S.N., Saxler, A., Mitchel, W.C., Smith, S.R., Solomon, J.S., Ewvaraye, A.O. (2001). Photosensitive EPR spectra in semi-insulating 4H-SiC crystals. *Phys. Rev. B.* V. 64. P. 235202(1—5).

Kasuya, A., Sivamohan, R., Barnakov, Yu., Dmitruk, I., Nirasawa, T., Romanyuk, V., Kumar, V., Mamykin, S., Tohji, K., Jeyadevan, B., Shinoda, R., Kudo, T., Terasaki, O., Liu, Zh., Belosludov, R., Sundararajan, V., Kawazoe, Y. (2004). Ultra-stable nanoparticles of CdSe revealed from mass spectrometry. *Nature Materials.* V. 3, N 2. P. 99—102.

Kissel, H., Müller, U., Walther, C., Masselink, W.T., Mazur, Yu.I., Tarasov, G.G., Lisitsa, M.P. (2000). Size distribution in self-assembled InAs quantum dots on GaAs (001) for intermediate InAs coverage. *Phys. Rev. B.* V. 62. P. 7213.

Kladko, V.P., Kuchuk, A.V., Belyaev, A.E. (2012). Substrate effects on the strain relaxation in GaN/AlN short-period superlattices. *Nanoscale Res. Lett.* V. 7. P. 289.

Kladko, V.P., Kuchuk, A.V., Machulin, V.F., Belyaev, A.E. (2009). Mechanism of strain relaxation by twisted nanocolumns revealed in AlGaN/GaN heterostructures. *Appl. Phys. Lett.* V. 95, N 3. P. 031907.

Kladko, V.P., Machulin, V.F. (2007). Structural anisotropy of InGaAs/GaAs(001) quantum dot chains structures. *Phys. St. Sol. (a).* V. 204, N 8. P. 2567—2571.

Klitzing, K. von, Dorda, G., Pepper, M. (1980). New Method for High-Accuracy Determination of the Fine-Structure Constant Based on Quantized Hall Resistance. *Phys. Rev. Lett.* V. 45. P. 494—497.

Kochelap, V.A. (2018). S.I. Pekar, 100-year anniversary. *Semiconductor Physics, Quantum Electronics and Optoelectronics.* V. 21, N 1. P. 102—104.

Königsberger, J. (1914). Das elektrische Verhalten der variablen Leiter und deren Beziehung zur Elektronentheorie. *Jahrb. Radioakt. Elektron.* B. 11. S. 84—142.

- Korbutyak, D.V., Krylyuk, S.G., Litovchenko, V.G. (1996). Exciton and phonon characteristics of ultrashort-period GaAs/AlAs superlattices. *Phys. Low-Dim. Struct.* N 4/5. P. 123—131.
- Korbutyak, D.V., Lytovchenko, V.G., Strikha, M.V. (2018). 2D semiconductor structures as a basis for new high-tech devices (Review). *Semicond. Phys. Quantum Electron. Optoelectron.* V. 21, N 4. P. 380—386.
- Korovin, A.V., Dmitruk, N.L., Mamykin, S.V., Мyn'ko, V.I., Sosnova, M.V. (2017). Enhanced Dielectric Environment Sensitivity of Surface Plasmon-Polariton in the Surface-Barrier Heterostructures Based on Corrugated Thin Metal Films with Quasi-Anticorrelated Interfaces. *Nanoscale Res. Lett.* V. 12. P. 213.
- Korsun, I. (2018). Contribution of Ukrainian Scientists to the Development of Quantum Physics. *Ukr. J. Phys.* V. 62, N 1. P. 67.
- Kosacki, I., Valakh, M.Ya., Litvinchuk, A.P. (1985). Ionic conductivity and Raman scattering in  $\text{PbF}_2$  superionic crystals. *Solid State Commun.* V. 53, N 4. P. 373—376.
- Kostyshin, M.T., Mikhailovskaya, E.V., Romanenko, P.F. (1966). On the Effect on Photosensitivity of Thin Semiconductor Layers on Metallic Substrates. *Sov. Phys. Solid State.* V. 8, N 2. P. 451—452.
- Krömer, H., Griffiths, G. (1983). Staggered-lineup heterojunctions as sources of tunable below-gap radiation: Operating principle and semiconductor selection. *IEEE Electron Device Lett.* V. 4, N 1. P. 20—22.
- Kroto, H.W., Heath, J.R., O'Brien, S.C., Curl, R.F., Smalley, R.E. (1985).  $\text{C}_{60}$ : Buckminsterfullerene. *Nature.* V. 318. P. 162—163.
- Laschkarew, W. (1927). Zur Theorie der Bewegung von Materie und Licht im Gravitationsfelde. *Zs. Phys.* B. 44. S. 361—368.
- Lashkaryov, V.E. (1941). Investigations of a barrier layer by the thermoprobe method. *Izv. Akad. Nauk SSSR, Ser. Fiz.* V. 5, N 4—5. P. 442—446 (English translation. *Ukr. J. Phys.* 2008. V. 53. P. 53—56).
- Lee, Ch.-Q.W., Nazarov, A.N., Ferain, I., Akhavan, N.D., Yan, R., Razavi, P., Yu, R., Doria, R.T., Colinge, J.-P. (2010). Low subthreshold slope in junctionless multigate transistors. *Appl. Phys. Lett.* V. 96. P. 102106.
- Linnik, W., Laschkarew, W. (1926). Die Bestimmung des Brechungsindex der Röntgenstrahlen aus der Erscheinung der Totalreflexion. *Zs. Phys.* B. 38. S. 659—671.
- Lisitsa, M.P., Stolyarenko, A.V., Terekhova, S.F., Onishchenko, N.A. (1984). Refraction Index Variation in the Exciton Resonance of CdS and  $\text{TiInS}_2$  Single Crystals under Laser Excitation. *Phys. St. Sol. (b).* V. 125, N 2. P. 705—711.
- Lisitsa, M.P., Kulish, N.R., Geets, V.I., Koval, P.N. (1966). Modulation of laser quality by means of KS-19 filters. *Optika i Spektroskopiya.* V. 20, N 6. P. 1721—1729.
- Litovchenko, V.G., Korbutyak, D.V. (1981). Observation of the surface quasi-two-dimensional electro-hole condensate. *Surface Science.* V. 104, N 1. P. 189—193.
- Litovchenko, V.G., Korbutyak, D.V., Bercha, A.I., Kryuchenko, Yu.V., Krylyuk, S.G., Grahn, H.T., Hey, R., Ploog, K.H. (2001). Observation of stimulated emission in an ultrashort-period nonsymmetric GaAs/AlAs superlattice. *Appl. Phys. Lett.* V. 78, N 26. P. 4085—4087.
- Litovchenko, V.G., Korbutyak, D.V. (1981). Observation of the surface quasi-two-dimensional electron-hole condensate. *Surface Science.* V. 104, N 1. P. 189—193.
- Litovchenko, V.G., Korbutyak, D.V., Krylyuk, S.G., Grahn, H.T., Ploog, K. (1997). Enhancement of electron-phonon interaction in ultrashort-period GaAs/AlAs superlattices. *Phys. Rev. B.* V. 55, N 16. P. 10621—10624.
- Litovchenko, V.G., Strikha, M.V. (2014). 100 Years of Semiconductor Science. The Ukrainian Contributions. *European Phys. News.* N 45. P. 1.

- Lytovchenko, V.G., Korbutyak, D.V. (2011). Luminescent properties of near-surface semiconductive layers and quantum superlattices. *Ukr. J. Phys.* V. 56, N 10. P. 1072—1079.
- Malyutenko, V.K., Bogatyrenko, V.V. (2012). Light down-conversion with over 100% external quantum efficiency in bulk germanium. *Appl. Phys. Lett.* V. 101. P. 081111.
- Malyutenko, V.K., Bogatyrenko, V.V., Malyutenko, O.Yu. (2010). Radiative cooling of bulk Si by optical down-conversion. *J. Appl. Phys.* V. 108. P. 073104.
- Malyutenko, V.K., Bogatyrenko, V.V. (2007). High-temperature Si linear light down converter with 220% efficiency. *Phys. Rev. B.* V. 76. P. 113201.
- Martynchuk, E.K., Sizov, F.F. (1988). The Faraday Effect Approach to a Study of IV-VI Narrow-Gap Semiconductor Band Structure. *Phys. St. Sol. (b)*. V. 145. P. 309—318.
- Moll, J.L., Tanenbaum, M., Hill, M., Goldey, J.M., Holonyak, N. (1956). P—N—P—N Transistor Switches. *Proc. of the IRE*. V. 44, N 9. P. 1174—1182.
- Moore, G. (1964). The Future of Integrated Electronics. Fairchild Semiconductor. Internal publication.
- Moore, G. (1965). Cramming More Components onto Integrated Circuits. *Electronics Magazine*. V. 38, N 8. P. 4.
- Mott, N. (1939). The theory of crystal rectifiers. *Proc. Roy. Soc. A*. V. 171, N 944. P. 27—38.
- Murray, C.B., Norris, D.J., Bawendi, M.G. (1993). Synthesis and characterization of nearly monodisperse CdE (E = sulfur, selenium, tellurium) semiconductor nanocrystallites. *J. Am. Chem. Soc.* V. 115, N 19. P. 8706—8715.
- Nazarov, A., Sun, J.M., Osiyuk, I.N., Tjagulskyy, I.P., Lysenko, V.S., Skorupa, W., Yan'kov, R.A., Gebel, T. (2005). Light emission and charge trapping in erbium doped silicon dioxide films containing silicon nanocrystals. *Appl. Phys. Lett.* V. 86. P. 151914-1.
- Nazarov, A.N., Pinchuk, V.M., Yanchuk, T.V., Lysenko, V.S., Ashok, S. (1998). Enhanced activation of implanted dopant impurity in hydrogenated crystalline silicon. *Phys. Rev. B*. V. 58, N 7. P. 3522—3525.
- Nazarov, A.N., Pinchuk, V.M., Yanchuk, T.V., Lysenko, V.S., Vovk, Ya.N., Rangan, S., Ashok, S., Kudoyarova, V., Terukov, E.I. (2001). Hydrogen effect on enhancement of defect reactions in semiconductors: example for silicon and vacancy defects. *Int. J. Hydrogen Energy*. V. 26. P. 521—526.
- Nernst, W. (1888). Zur Kinetik der in Lösung befindlichen Körper. Erste Abhandlung. Theorie der Diffusion. *Zeitschrift für Physikalische Chemie*. B. 50. S. 641—712.
- Nishizawa, Jun-ichi. (1983). PIN diode. In: *Electronic Inventions and Discoveries: Electronics from Its Earliest Beginnings to the Present Day*. Ed. G.W.A. Dummer. Pergamon. 137 p.
- Nix, C.F., Shockley, W. (1938). Order-Disorder Transformations in Alloys. *Rev. Mod. Phys.* V. 10, N 1. P. 1—72.
- Novoselov, K.S., Geim, A.K., Morozov, S.V., Jiang, D., Zhang, Y., Dubonos, S.V., Grigorieva, I.V., Firsov, A.A. (2004). Electric Field Effect in Atomically Thin Carbon Films. *Science*. V. 306, N 5696. P. 666—669.
- Ohm, G.S. (1826). Bestimmung des Gesetzes, nach welchem Metalle die Contactelektricität leiten, nebst einem Entwurfe zur Theorie des Voltaschen Apparates und des Schweigerschen Multiplikators. *Journal für Chemie und Physik*. V. 46. P. 137—166.
- Onsager, L. (1931a). Reciprocal Relations in Irreversible Processes. I. *Phys. Rev.* V. 37, N 4. P. 405—426.
- Onsager, L. (1931b). Reciprocal Relations in Irreversible Processes. II. *Phys. Rev.* V. 38, N 12. P. 2265—2279.
- Patent of Great Britain N 439457 (1934). Heil, O. Improvements in or relating to electrical amplifiers and other control arrangements and devices. Dec 6, Earliest Priority: Mar 02 1934.

- Patent U.S. N 2787564 (1954). Shockley, W. Forming semiconductive devices by ionic bombardment. 28 Oct. 1954.
- Patent U.S. N 8.36.531 (1906). Pickard, G.W. Means for receiving intelligence communicated by electric waves.
- Patent US N 1900018 (1928). Lilienfeld, E. Device For Controlling Electric Current. Published: Mar 7 1933. Earliest Priority: Mar 28 1928.
- Patent US N 2010/179242 A.1 (2010). Piletsky, S., Chegel, V., Whitcombe, M. Photo-activation by surface plasmon resonance.
- Patent US N 2402662 (1941). Ohl, R.S. Light-Sensitive Electric Device. 27 May 1941.
- Patent US N 2655609 (1953). Shockley, W. Bistable circuits, including transistors. 13 Oct. 1953.
- Patent US N 3138743A (1964). Kilby, J.S. Miniaturized electronic circuits. 23.06.1964.
- Patent US N 3792322A (1973). Boyle, W.S., Smith, G.E. Buried channel charge coupled devices. 19.04.1973.
- Patent US N 2,683,676 (1950). Teal, G.K., Little, J.B. Production of germanium rods having longitudinal crystal boundaries. 13 July 1954 (filed 12 January 1950).
- Pearson, G.L., Brattain, W.H. (1955). History of Semiconductor Research. *Proc. of the IRE*. V. 43, N 12. P. 1794—1800.
- Peltier, J. (1834). Nouvelles expériences sur la calorificité des courants électrique [New experiments on the heat effects of electric currents]. *Annales de Chimie et de Physique (in French)*. V. 56. P. 371—386.
- Pfann, W.G. (1952). Principles of Zone-Melting. *The Journal of The Minerals, Metals & Materials Society*. V. 4, N 7. P. 747—753.
- Pierce, G.W. (1907). Crystal rectifiers for electric currents and electric oscillations. Part I. Carborundum. *Phys. Rev. (Ser. I)*. V. 25, N 1. P. 31—60.
- Pohl, R. (1925). Einführung in die Elektrizitätslehre. Berlin: Springer.
- Rashba, E.I. (2003). Looking Back. *J. Supercond.* V. 16. P. 599—623.
- Riecke, E. (1901). Ist die metallische Leitung verbunden mit einem Transport von Metallionen? *Phys. Zs.* V. 2. S. 639.
- Romanyuk, V.R., Dmitruk, I.M., Barnakov, Yu.A., Belosludov, R.V., Kasuya, A. (2009). Ultra-stable nanoparticles in AIBVI (AII = Cd, Zn; BVI = S, Se, Te) compounds. *J. Nanosci. Nanotechnol.* V. 9. P. 2111—2118.
- Round, H. (1907). A Note on Carborundum. *Electrical World*. V. 9. P. 309.
- Rudenko, E., Tsybrii, Z., Sizov, F., Korotash, I., Polotskiy, D., Skoryk, M., Vuichyk, M., Svezhentsova, K. (2017). Infrared blocking, microwave and terahertz low-loss transmission AlN films grown on flexible polymeric substrates. *J. Appl. Phys.* V. 121. P. 135304.
- Rudenko, T., Nazarov, A., Ferain, I., Das, S., Yu, R., Barraud, S., Razavi, P. (2012). Mobility enhancement effect in heavily doped junctionless nanowire silicon-on-insulator metal-oxide-semiconductor field-effect transistors. *Appl. Phys. Lett.* V. 101. P. 213502.
- Sakhno, M., Golenkov, A., Sizov, F. (2013). Uncooled detector challenges: Millimeter-wave and terahertz long channel field effect transistor and Schottky barrier diode detectors. *J. Appl. Phys.* V. 114. P. 164503.
- Savchenko, D., Shanina, B., Pöpl, A., Mokhov, E. (2016). The spin relaxation of nitrogen donors in 6H SiC crystals studied by pulsed electron paramagnetic resonance method. *J. Appl. Phys.* V. 119, N 13. P. 135706(1—7).
- Savchenko, D.V., Kalabukhova, E.N., Pöpl, A., Shanina, B.D. (2012). Electronic structure of the nitrogen donors in 6H SiC as studied by pulsed ENDOR and TRIPLE ENDOR spectroscopy. *Phys. St. Sol. (b)*. V. 249, N 11. P. 2167—2178.



Savchenko, D.V., Kalabukhova, E.N., Shanina, B.D. (2018). Paramagnetic Defects in Amorphous Hydrogenated Silicon Carbide and Silicon Carbonitride Films. In: *Frontiers in Magnetic Resonance. Vol. 1: Electron Paramagnetic Resonance in Modern Carbon-Based Nanomaterials*. Eds D.V. Savchenko, A.H. Kassiba. Bentham Science Publishers. P. 254—282.

Savchenko, D.V., Kalabukhova, E.N., Shanina, B.D., Sitnikov, A.A., Lysenko, V.S., Tertykh, V.A. (2014). EPR study of paramagnetic centers in carbon-fumed silica adsorbent. *J. Appl. Phys.* V. 115. P. 133704(1—7).

Savchenko, D.V., Shanina, B.D., Kalabukhova, E.N. (2011). Identification and Kinetic Properties of the Photosensitive Impurities and Defects in High-Purity Semi-Insulating Silicon Carbide. In: *Properties and Applications of Silicon Carbide*. Ed. Rosario Gerhardt. InTech. P. 3—28.

Schottky, W. (1935). Über den Mechanismus der Ionenbewegung in festen Elektrolyten. *Zeitschrift für Physikalische Chemie*. V. 29B, N 1. P. 335—355.

Schottky, W. (1939). Zur Halbleitertheorie der Sperrschicht- und Spitzengleichrichter. *Zeitschrift für Physik*. V. 113, N 5—6. P. 367—414.

Schottky, W., Deutschmann, W. (1929). Zum Mechanismus der Richtwirkung in Kupferoxydulgleichrichtern. *Phys. Zs.* V. 30. P. 839—846.

Schulze, A., Wenzel, V. (1996). *Faszination Licht: Portrait einer wissenschaftlichen Gemeinschaft*. Münster, New York: Waxmann. 284 s.

Schuster, A. (1876). On Unilateral Conductivity. *Phil. Mag.* V. 48 P. 556—563.

Seebeck, T.J. (1822). Magnetische Polarisation der Metalle und Erze durch Temperatur-Differenz. [Magnetic polarization of metals and ores by temperature differences]. *Abhandlungen der Königlichen Akademie der Wissenschaften zu Berlin* (in German). S. 265—373.

Shanina, B.D., Baran, N.P., Maksimenko, V.M., Gavriljuk, V.G. et al. (1993). Spin resonance study of electron properties in nitrogen and carbon austenites. *Phys. Rev. B*. V. 48. P. 3224—3231.

Shanina, B.D., Gavriljuk, V.G., Berns, H. (2007). High Strength Austenitic CrMnN steels — Part III: Electronic Properties. *Steel Research Int.* V. 78. P. 720—724.

Shive, J.N. (1950). The phototransistor. *Bell Laboratories Record*. V. XXVIII, N 8. P. 337—342.

Shockley, W. (1939). On the Surface States Associated with a Periodic Potential. *Phys. Rev.* V. 56. P. 317—323.

Shockley, W. (1949). The Theory of *p-n* Junctions in Semiconductors and *p-n* Junction Transistors. *Bell Labs Tech. J.* V. 28, N 3. P. 435—489.

Shockley, W., Pearson, G.L. (1948). Modulation of Conductance of Thin Films of Semiconductors by Surface Charges. *Phys. Rev.* V. 74. P. 232—233.

Shockley, W., Sparks, M., Teal, G.K. (1951). *p-n* Junction Transistors. *Phys. Rev.* V. 83. P. 151—162.

Sitnikov, A., Kalabukhova, E., Oliynyk, V., Kolisnichenko, M. (2017). A Q-band low noise GaAs pHEMT MMIC power amplifier for pulse electron spin resonance spectrometer. *Rev. Sci. Instr.* V. 88. P. 054702(1—5).

Sizov, F.F., Plyatsko, S.V., Darchuk, S.D. (1987). The Laser-Irradiated Transformation of Intrinsic and Impurity Defects in Narrow-Gap PbSnTe. *Infrared Phys.* V. 27. P. 249—252.

Sizov, F., Apatskaya, M., Gumenjuk-Sichevskaya, J., Tetyorkin, V., Troyan, V. (1990). Electronic properties of PbTe/PbSnTe multiple quantum wells. *Semicond. Sci. Technol.* V. 5. P. 928—932.

Sizov, F.F., Tetyorkin, V.V., Gumenjuk-Sichevskaya, J.V., Apatskaya, M.V. (1991). Properties of PbTe/PbSnTe multiple QWs. *Superlattices and Microstructures*. V. 9. P. 483—486.

Sizov, F.F., Derkach, Yu.P., Reva, V.P., Kononenko, Yu.G. (1999). MCT sensor readout devices with charge current injection and preliminary signal treatment. Testing procedure. *Opto-Electronics Review*. V. 7, N 4. P. 327—338.

Sizov, F., Zabudsky, V., Dvoret'skii, S., Petryakov, V., Golenkov, O., Andreyeva, K., Tsybrii, Z. (2015). Two-color detector: Mercury-Cadmium-Telluride as a terahertz and infrared detector. *Appl. Phys. Lett.* V. 106. P. 082104.

Smertenko, P., Fenenko, L., Brehmer, L., Schrader, S. (2005). Differential approach to the study of integral characteristics in polymer films. *Advances in Colloid and Interface Science.* V. 116, N 1—3. P. 255—261.

Smith, W. (1873a). Effect of Light on Selenium during the passage of an Electric Current. *Nature.* P. 303.

Smith, W. (1873b). The action of the light on selenium. *Journal of the Society of Telegraph Engineers.* V. 2, N 1. P. 31—33.

Sosnowski, L., Starkiewicz, J. (1947). Lead sulphide photoconductive cell. *Nature.* V. 159. P. 818.

Stranski, I.N., Krastanow, L. (1937). Zur Theorie der orientierten Ausscheidung von Ionkristallen aufeinander. *Monatshefte für Chemie/Chemical Monthly.* V. 71. N 1. P. 351—364.

Stroyuk, O.L., Dzhagan, V.M., Shvalagin, V.V., Kuchmiy, S.Ya. (2010). Size-Dependent Optical Properties of Colloidal ZnO Nanoparticles Charged by Photoexcitation. *J. Phys. Chem. C.* V. 114, N 1. P. 220—225.

Suhl, H., Shockley, W. (1949). Concentrating Holes and Electrons by Magnetic Fields. *Phys. Rev.* V. 75. P. 1617—1618.

Sukach, G.A., Smertenko, P.S., Oleksenko, P.F., Nakamura, Sh. (2001). Analysis of the Active Region of Overheating Temperature in Green LEDs Based on Group III Nitrides. *Tech. Phys.* V. 46, N 4. P. 438—441.

Svechnikov, S.V., Shtrum, E.L., Klochkov, V.P., Matchina, S.I., Savialova, L.W., Philippova, A.I. (1982). Structure and photoelectric properties of thin CdSe films. *Thin Solid Films.* V. 11, N 1. P. 33—41.

Sytenko, T.N., Zimenko, V.I., Tyagul'skii, I.P. (1982). Investigations of traps in the transition region of the Si-SiO<sub>2</sub> structures at cryogenic temperatures. *Phys. St. Sol. (a).* V. 71. P. 619—626.

Tarasov, G.G., Mazur, Yu.I., Zhuchenko, Z.Ya. (2000). Carrier transfer in self-assembled coupled InAs/GaAs quantum dots. *J. Appl. Phys.* V. 88. P. 7162.

Teal, G.K., Buehler, E. (1952). Growth of silicon single crystals and single silicon p—n junction. *Phys. Rev.* V. 87. P. 190.

Teal, G.K., Little, J.B. (1950). Growth of Germanium Single Crystals. *Phys. Rev.* V. 78. P. 647.

The Collected Works of Sir Humphry Davy (1840). Ed. John Davy. Vol. VI. Miscellaneous Papers and Researches. London: Smith, Elder and Co.

Thomson, J.J. (1897). Cathode Rays. *Phil. Mag.* Ser. 5, V. 44, N 269. P. 293.

Thomson, W. (1851). On a mechanical theory of thermo-electric currents. *Proceedings of the Royal Society of Edinburgh.* V. 3, N 42. P. 91—98.

Tkach, I., Baldansuren, A., Kalabukhova, E., Lukin, S., Sitnikov, A., Tsvir, A., Ischenko, M., Rosentzweig, Yu., Roduner, E. (2008). A home-built ESE-spectrometer based on a high power Q-band microwave bridge. *J. Appl. Magn. Res.* V. 35, N 1. P. 95—112.

Tomashyk, V. (2014). Quaternary alloys based on II-VI semiconductors. London: CRC Press. 512 p.

Tomashyk, V. (2015). Multinary alloys based on II-VI semiconductors. London: CRC Press. 670 p.

Tomashyk, V. (2017). Ternary alloys based on III-V semiconductors. London: CRC Press. 362 p.

Tomashyk, V. (2018a). Quaternary alloys based on III-V semiconductors. London: CRC Press. 322 p.

Tomashyk, V. (2018b). Multinary alloys based on III-V semiconductors. London: CRC Press. 262 p.

Tomashyk, V., Feychuk, P., Shcherbak, L. (2013). Ternary alloys based on II-VI semiconductor compounds. London: CRC Press. 546 p.

Tsu, R., Esaki, L. (1973). Tunneling in a finite superlattice. *Appl. Phys. Lett.* V. 22, N 11. P. 562—564.

Turchanikov, V.I., Nazarov, A.N., Lysenko, V.S., Winkler, O., Spangenberg, B., Kurz, H. (2005). Study of the unipolar bias recharging phenomenon in the nonvolatile memory cells containing silicon nanodots. *Materials Science and Engineering B.* V. 124—125. P. 517—520.

Valakh, M.Ya., Kolomys, O.F., Ponomaryov, S.S., Yukhymchuk, V.O., Babichuk, I.S., Izquierdo-Roca, V., Saucedo, E., Perez-Rodriguez, A., Morante, J.R., Schorr, S., Bodnar, I.V. (2013a). Raman scattering and disorder effect in  $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$ . *Phys. St. Sol. (Rapid Research Letters)*. V. 7, N. 4. P. 258—261.

Valakh, M.Ya., Dzhagan, V.M., Babichuk, I.S., Fontane, X., Perez-Rodriguez, A., Schorr, S. (2013b). Optically induced structural transformation in disordered kesterite  $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$ . *JETP Letters*. V. 98, N 5. P. 255.

Valakh, M.Ya., Lisitsa, M.P., Pekar, G.S., Polysskii, G.N., Sidorenko, V.I., Yaremko, A.M. (1982). Anharmonic Coupling of Phonon Modes in Mixed  $\text{Zn}_x\text{Cd}_{1-x}\text{Se}$  Crystals. *Phys. St. Sol. (b)*. V. 113. P. 635.

Valakh, M.Ya., Dykman, M.I., Lisitsa, M.P., Rudko, G.Yu., Tarasov, G.G. (1979). Self-induced resonant optical rotation in crystals  $\text{KCl:Li}$ . *Sol. St. Commun.* V. 30, N 3. P. 133—136.

Valakh, M.Ya., Lisitsa, M.P., Sidorenko, V.I., Polissky G.N. (1980). Antiresonance in the phonon spectrum of mixed crystals  $\text{Zn}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Se}$ . *Phys. Lett. A.* V. 78, N 1. P. 115—116.

Valakh, M.Ya., Litvinchuk, A.P. (1985a). Resonance Raman scattering in solid solutions of semiconductors: the effect of the polaron constants. *Sov. Phys. Solid State.* V. 27, N 7. P. 1176—1178.

Valakh, M.Ya., Litvinchuk, A.P., Tarasov, G.G. (1985b). Laser Raman scattering in II-VI semiconductor-based multicomponent solid solutions. *Quantum Electronics.* V. 28. P. 68—79.

Vasin, A.V., Adlung, M., Tertykh, V.A., Kysil, D., Gallis, S., Nazarov, A.N., Lysenko, V.S. (2017). Broad band (UV—VIS) photoluminescence from carbonized fumed silica: Emission, excitation and kinetic properties. *J. Lumin.* V. 190. P. 141—147.

Vlasenko, N.A., Chumachkova, M.M., Denisova, Z.L., Veligura, L.I. (2000). On nature of centers responsible for inherent memory in ZnS: Mn thin-film electroluminescent devices. *J. Crystal Growth.* V. 216, N 1—4. P. 249—255.

Vlasenko, N.A., Denisova, Z.L., Kononets, Ya.F., Veligura, L.I. et al. (2002). On origin of rapid portion of luminance-voltage dependence of ZnS: Mn TFEL devices and its aging behavior. *Semicond. Phys. Quantum Electron. Optoelectron.* V. 5, N 1. P. 58—62.

Vlasenko, N.A., Kopytko, Yu.V., Pekar, V.S. (1984). Concentration and Field Dependences of Electroluminescence Decay Kinetics in ZnS:Mn Thin Film Structures. *Phys. St. Sol. (a)*. V. 81, N 10. P. 661—667.

Voigt, W. (1910). Lehrbuch der Kristallphysik. Leipzig, Berlin. 534 s.

Volta, A. (1769). De vi attractiva ignis electrici, ac phaenomenis inde pendentibus Alexandri Voltae. ad Joannem Baptistam Beccariam ... dissertatio epistolaris. Typis Octavii Staurenghi impressoris episcopalis.

Volta, A. (1800). La pile de Volta. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London.* MDCCC. Part. 1. P. 31.

Vostokov, N.V., Gusev, S.A., Drozdov, Yu.N., Krasilnik, Z.F., Lobanov, D.N., Mesters, N., Miura, M., Moldavskaya, L.D., Novikov, A.V., Pascual, J., Postnikov, V.V., Shiraki, Y., Uukhimchuk, V.A.,

Usami, N., Valakh, M.Ya. (2001). The Relation between Composition and Sizes of GeSi/Si(001) Islands Grown at Different Temperatures. *Phys. Low-Dim. Struct.* N 3—4. P. 295—302.

Wagner, C., Schottky, W. (1930). Theorie der geordneten Mischphasen (Theory of arranged mixed phases). *Z. Phys. Chem.* B. 11. S. 163—210.

Wagner, C., Schottky, W. (1931). Theorie der geordneten Mischphasen. *J. Phys. Chem.* V. 11. S. 163—210.

Welker, H. (1952). Über neue halbleitende Verbindungen I. *Zeitschrift für Naturforschung A.* V. 7, N 11. P. 744—749.

Welker, H. (1953). Über neue halbleitende Verbindungen II. *Zeitschrift für Naturforschung A.* V. 8, N 4. P. 248—251.

Wilson, A.H. (1931a). Theory of Electronic Semiconductors I. *Proc. R. Soc. A.* V. 133. P. 458—491.

Wilson, A.H. (1931b). Theory of Electronic Semiconductors II. *Proc. R. Soc. A.* V. 134. P. 277—287.

Wilson, A.H. (1932). A note on the theory of rectification. *Proc. R. Soc. A.* V. 136. P. 487—498.

Wilson, A.H., Fowler, R.H. (1932). A note on the theory of rectification. *Proc. R. Soc. A.* V. 136. P. 487.

Winkler, C. (1886). Germanium, Ge, ein neues, nichtmetallisches Element. *Berichte der deutschen chemischen Gesellschaft magazin.* Bd. 19. S. 210—211.

Yukhymchuk, V.O., Hreshchuk, O.M., Dzhegagan, V.M., Sakhno, M.V., Skoryk, M.A., Lavoryk, S.R., Rudko, G.Y., Matveevskaya, N.A., Beynik, T.G., Valakh, M.Ya. (2018). Experimental Studies and Modeling of «Starlike» Plasmonic Nanostructures for SERS Application. *Phys. St. Sol. (b).* V. 256. P. 1800280.

Yukhymchuk, V.O., Valakh, M.Ya., Hreshchuk, O.M., Havrylyuk, Ye.O., Yanchuk, I.B., Yefanov, A.V., Arif, R.N., Rozhin, A.G., Skoryk, M.A. (2017). Properties of graphene flakes obtained by treating graphite with ultrasound. *Ukr. J. Phys.* V. 62, N 5. P. 429—437.

Zener, C.M. (1931). A theory of the electrical breakdown of solid dielectrics. *Proc. R. Soc.* V. 145, N 855, P. 523—529.

Zuev, V.A., Litovchenko, V.G., Sukach, G.A., Korbutyak, D.V. (1973). Surface luminescence in GaAs at laser excitation. *Phys. St. Sol. (a).* V. 17. P. 353—358.

Zyuganov, A.N., Svechnikov, S.V., Smertenko, P.S. (1977). Effect of integrally weak diffusion on the parameters of current-voltage characteristics of quasi-monopolar semiconductors. *Phys. St. Sol. (a).* V. 43, N 1. P. 333—341.

А.с. СССР № 190062 (1965). Свечников, С.В., Квасов, В.М., Скурдин, В.П. Фото-матрица.

А.с. СРСР № 36845 (1966). Осокин, Ю.В. Интегральная схема.

А.с. СРСР № 996 (1922), заявка № 75317 от 21.02.1922. Лосев, О.В. Способ генерирования незатухающих колебаний. Опубл. 27.02.1926 (вып. 8).

А.с. СССР № 240842 (1967). Олексенко, П.Ф., Свечников, С.В., Шарадкин, А.М. Оптоэлектронный преобразователь.

А.с. СССР № 385296 (1971). Гаприндашвили, Х.И., Свечников, С.В., Чавчанидзе, В., Чибалашвили, Ю.Л., Шквар, А.М. Модель нейрона.

А.с. СССР № 667941 (1975). Сеницын, А.Г., Олексенко, П.Ф., Свечников, С.В., Критулис, В.С., Сорокин, В.М., Чупрынин, В.А. Устройство для определения экспозиции при съемке и печати на светочувствительные фотоматериалы.

Алферов, Ж.И., Андреев, В.М., Корольков, В.И., Портной, Е.Л., Третьяков, Д.Н. (1968). Когерентное излучение в эпитаксиальных структурах с гетеропереходами в системе AlAs — GaAs. *ФТП.* Т. 2. С. 1545—1547.

Алфёров, Ж.И. (2002). Двойные гетероструктуры: концепция и применения и физике, электронике и технологии. *УФН*. Т. 172. С. 1068—1089.

Алфёров, Ж.И., Андреев, В.М., Воднев, А.А., Конников, С.Г., Ларионов, В.Р., Погребницкий, К.Ю., Румянцев, В.Д., Хвостиков, В.П. (1986а). AlGaAs-гетероструктуры с квантово-размерными слоями, полученные низкотемпературной жидкофазной эпитаксией. *Письма в ЖТФ*. Т. 12. С. 1089—1093.

Алфёров, Ж.И., Гарбузов, Д.З., Кижаяев, К.Ю., Нивин, А.Б., Никишин, С.А., Овчинников, А.В., Соколова, З.Н., Тарасов, И.С., Чудинов, А.В. (1986б). Низкопороговые InGaAsP/InP лазеры раздельного ограничения с  $\lambda = 1,3$  мкм и  $\lambda = 1,55$  мкм ( $j_{\text{пор}} = 600\text{—}700$  А/см<sup>2</sup>). *Письма в ЖТФ*. Т. 12. С. 210—214.

Алфёров, Ж.И., Андреев, В.М., Портной, Е.Л., Трукан, М.К. (1969). Инжекционные лазеры на основе гетеропереходов в системе AlAs — GaAs с низким порогом генерации при комнатной температуре. *ФТП*. Т. 3. С. 1328—1332.

Алфёров, Ж.И., Гарбузов, Д.З., Арсентьев, И.Н., Вер, Б.Я., Вавилова, Л.С., Красовский, В.В., Чудинов, А.В. (1985). Оже-профили состава и люминесцентные исследования жидкофазных InGaAsP-гетероструктур с активными областями  $(1,5\text{—}5)\times 10^{-6}$  см. *ФТП*. Т. 19. С. 1108—1114.

Амосов, Н.М. (1999). Голоса времен (гл. 3. Архангельск. 1932—39 гг. Профессор Лашкарев). Москва : Вагриус. С. 79—81.

Андреева, А.В., Андреев, К.В. (2013). 110 лет со дня рождения академика Вадима Евгеньевича Лашкарева (1903—1974). В кн.: Юбилейные и памятные даты медицины и здравоохранения Архангельской области на 2013 год. Архангельск. С. 248—256.

Баранов, А.Н., Джурганов, Б.Е., Именков, А.М., Роганев, А.А., Шерняков, Ю.М., Яковлев, Ю.П. (1986). Генерация когерентного излучения в квантово-размерной структуре на одном гетеропереходе. *ФТП*. Т. 20. С. 2217—2221.

Баранський, П.І., Беляєв, О.Є., Гайдар, Г.П. (2019). Кінетичні ефекти в багатодолінних напівпровідниках. Київ. 448 с.

Бережинский, Л.И., Власкина, С.И., Родионов, В.Е., Шамуратов, Х.А. (1989). Пленки кубического карбида кремния на кремниевой подложке. *Письма в ЖЭТФ*. Т. 15, № 2. С. 44—47.

Беляєв, О.Є. (2019). Інститут фізики напівпровідників ім. В.Є. Лашкарьова НАН України — 58 років у складі НАН України. *Оптоэлектроника и полупроводниковая техника*. Вып. 54. С. 3—8.

Богданович, В.Б., Великанов, А.А., Каганович, Э.Б., Островская, И.К., Свечников, С.В. (1981). Фоточувствительные пленки CdS, химически осажденные из водного раствора. *Неорганические материалы*. Т. 8, № 11. С. 2085—2086.

Богданович, В.Б., Зюганов, А.Н., Свечников, С.В. (1980). Расчет оптимальной геометрии растровых фоторезисторов. *Радиотехника и электроника*. Т. 15, № 8. С. 1806—1811.

Богданович, В.Б., Каганович, Э.Б., Свечников, С.В., Синицын, А.Г., Чупрынин, В.А. (1975). Тонкопленочные фоторезисторы для экспонетрических приборов. *Техника кино и телевидения*. № 10. С. 11—12.

Боголюбов, Н.В., Богуславский, Р.Е., Жаровский, Л.Ф., Свечников, С.В. (1982а). Анализ режима динамического возбуждения оптоэлектронных ключей в схемах управления электролюминесцентными панелями. *Полупроводниковая техника и микроэлектроника*. № 8. С. 22.

Боголюбов, Н.В., Олексенко, П.Ф., Свечников, С.В. (1982б). Импульсно управляемый оптоэлектронный ключ как элемент схем автоматики и вычислительной техники. *Полупроводниковая техника и микроэлектроника*. № 10. С. 56—59.



Боголюбов, Н.Н., Вул, Б.М., Калашников, С.Г., Пекар, С.И., Рабша, Э.И., Снитко, О.В., Толпыго, К.Б., Шейнкман, М.К. (1975). Памяти Вадима Евгеньевича Лашкарева. *Успехи физических наук*. Т. 117, вып. 2. С. 377—378.

Богуславский, Р.Е., Жаровский, Л.Ф., Свечников, С.В. (1971). Оптоэлектронный переключатель. Устройство для управления электролюминесцентными панелями. *Электронная техника. Сер. 4. ЭФП*. Вып. 1. С. 3—7.

Богуславский, Р.Е., Жаровский, Л.Ф., Свечников, С.В. (1982). Некоторые характеристики оптоэлектронных цепей с отрицательной обратной связью. *Автоматика и телемеханика*. № 10. С. 161—164.

Богуславский, Р.Е., Свечников, С.В. (1970). Некоторые возможности использования принципов оптоэлектроники для устройств транзисторной электроники. *Измерительная техника*. Т. 1, № 5.

Бойко, И.И., Жадько, И.П., Рашба, Э.И., Романов, В.А. (1965). Возникновение неравновесных носителей при прохождении тока через упруго-деформированный германий. *ФТТ*. Т. 7. С. 2239—2242.

Вадим Євгенович Лашкарьов (До шістдесятиріччя з дня народження). (1963). *УФЖ*. Т. 8, № 10. С. 1047—1050.

Валах, М.Я., Джуган, В.М., Красильник, З.Ф., Литвин, П.М., Новіков, О.В. (2002). Особливості росту самоорганізованих наноструктур Ge на кремнієвій підкладці. *УФЖ*. Т. 42, № 2. С. 167.

Валах, М.Я., Косацкий, И., Литвинчук, А.П., Ажнюк, Ю.Н. (1984). Суперионные эффекты в электрических и оптических свойствах  $PbF_2$ . *ФТТ*. Т. 26, № 8. С. 2278.

Васько, Ф.Т. (1979). Спиновое расщепление спектра двумерных электронов, обусловленное поверхностным потенциалом. *Письма в ЖЭТФ*. Т. 30. С. 574—577.

Венгер, Є.Ф., Гончаренко, А.В., Дмитрук, М.Л. (1999). Оптика малих частинок і дисперсних середовищ. Київ: Наук. думка. 348 с.

Власенко, Н.А. (1965). Исследование одновременного действия электрического поля и ультрафиолетового излучения на люминесценцию сублимат-фосфора ZnS:Mn. *Оптика и спектроскопия*. Т. 18, № 3. С. 461—466.

Гавриленко, В.И., Клюй, Н.И., Литовченко, В.Г., Стрельницкий, В.Е. (1987). Особенности электронной структуры углеродных конденсатов. *ФТТ*. Т. 29, вып. 11. С. 3449—3451.

Гаприндашвили, Х.И., Рябинин, А.Д., Свечников, С.В., Чибалашвили, Ю.Л., Шквар, А.М. (1972). Оптоэлектронная модель первых слоев сетчатки зрительного анализатора. *Полупроводниковая техника и микроэлектроника*. № 8. С. 15—21.

Гаприндашвили, Х.И., Свечников, С.В. (1969). Применение волоконной оптики в функциональных электронных цепях. *Полупроводниковая техника и микроэлектроника*. Вып. 3. С. 38—58.

Гаприндашвили, Х.И., Свечников, С.В., Чабалашвили, Ю.М., Шквар, А.М. (1982). Модель анализа формы изображений на основе волоконно-оптических элементов и оптоэлектронного принципа преобразования. *Полупроводниковая техника и микроэлектроника*. № 10. С. 3—6.

Гинзбург, В.Л. (1999). Какие проблемы физики и астрофизики представляются сегодня наиболее важными и интересными. *УФН*. Т. 169. С. 419—441.

Глебова, А.М., Саченко, А.В. (2011). Наукова школа О.В. Снітка в Інституті фізики напівпровідників НАН України. *Наука та наукознавство*. № 1. С. 79—104.

Глинчук, М.Д., Дейген, М.Ф. (1958). Спин-электронный резонанс в стехиометрическом избытке металла в кристаллах типа NaCl. *ЖТФ*. Т. 28, № 9. С. 1981.

Гольдман, О.Г. (1933а). Фотоелектричні явища, проблема перетворення світлової енергії на електричну та огляд з цих питань Українського науково-дослідного інституту фізики при ВУАН. У кн.: ВУАН на службі соціалістичного будівництва. Праці ювілейної сесії ВУАН, присвяченої 15-літтю Жовтневої революції. Київ. С. 117—135.

Гольдман, О., Бернацький, В. (1933b). До теорії твердих прискорювачів (Запірний шар та залежність його опору від напруги в мідь I — оксидних випростувачах). *Журнал фізично-хімічного циклу ВУАН*. Т. 1, № 4. С. 79—95.

Гольдман, О.Г. (1934). Основні закономірності теорії твердих випростувачів і фотоелементів. *Українські фізичні записки*. Т. III, вип. 1. С. 3—31.

Гоменюк, Ю.В., Лозовський, В.З., Лисенко, В.С., Походня, К.І., Снітко, О.В., Ситенко, Т.М., Тягульський, І.П. (1989). Аномальна зміна властивостей високотемпературних надпровідників Y-Ba-Cu-O в сильних електростатичних полях. *Доповіді АН УРСР, сер. А*. № 11. С. 48—50.

Горбач, Т.Я., Свечников, С.В. (1982). Основные направления развития лавинных фотодиодов как быстродействующих фотодетекторов. *Полупроводниковая техника и микроэлектроника*. № 11. С. 3—19.

Городецкий, И.Я., Зюганов, А.Н., Смертенко, П.С., Чистякова, Н.Я., Шейнкман, М.К. (1979). Вольт-амперные характеристики и электролюминесценция монокристаллов РьО. *УФЖ*. Т. 24, № 9. С. 1264—1271.

Грачев, В.Г., Дейген, М.Ф., Пекар, С.І. (1977). Двойной электронно-ядерный резонанс примесных центров в кристаллах. *УФН*. Т. 125, вып. 4. С. 631—663.

Грибников, З.С. (1994). Ограниченный пространственным зарядом баллистический транспорт электронов со сложными законами дисперсии. *ФТП*. Т. 28, № 5. С. 880—890.

Грибников, З.С., Кочелап, В.А., Митин, В.В. (1979). Многозначный эффект Сасаки в многодолинных полупроводниках. *ЖЭТФ*. Т. 59, № 5(11). С. 1828—1845.

Грибников, З.С., Кочелап, В.А., Рашба, Э.И. (1966). Возникновение доменов в многодолинных полупроводниках при протекании сильных токов. *ЖЭТФ*. Т. 51, № 1(7). С. 266—280.

Грибников, З.С., Кочелап, В.А. (1970). Охлаждение носителей тока сильным электрическим полем. *ЖЭТФ*. Т. 58, № 3. С. 1046—1056.

Грибников, З.С., Кочелап, В.А., Рашба, Э.И. (1966). Доменная структура многодолинного полупроводника при прохождении сильных токов. *ФТТ*. Т. 8, № 8. С. 2479—2481.

Грибников, З.С., Мельников, В.И. (1965). Инжекция и экстракция горячих электронов в *nt*-гетеропереходах при быстрой максвеллизации электронного газа. *ФТТ*. Т. 7, № 10. С. 2912—2920.

Грибников, З.С. (1972). Отрицательная дифференциальная проводимость в многослойной структуре. *ФТП*. Т. 6, № 7. С. 1380—1382.

Гусельников, Н.А. (2019). Профессор Лашкарёв Вадим Евгеньевич в истории кафедры физики АГМИ и его вклад в Победу. *Бюллетень Северного государственного медицинского университета*. Вып. XXXXII, № 1. С. 235—237.

Давыдов, Б.И. (1937). К теории движения электронов в газах и полупроводниках. *ЖЭТФ*. Т. VII, № 9—10. С. 1069—1089.

Давыдов, Б.И. (1938а). К теории твердых выпрямителей. *ЖТФ*. Т. 20, № 4. С. 283.

Давыдов, Б.И. (1938b). О выпрямлении тока на границе между двумя полупроводниками. *ДАН СССР*. Т. 20, № 4. С. 279.

Давыдов, Б.И. (1938с). О выпрямляющем действии полупроводников. *ЖТФ*. № 8. С. 3.

Давыдов, Б.И. (1939). О выпрямляющем действии полупроводников. *Физика*. № 1. С. 167—173.

- Дейген, М.Ф. (1956). Теория локальных электронных состояний электрона в изотропном гомеоплярном кристалле. *ЖЭТФ*. Т. 31, № 3. С. 504.
- Дейген, М.Ф., Шульман, Л.А. (1957а). К теории спин-электронного резонанса на F-центрах в ионных кристаллах. *Оптика и спектроскопия*. Т. 3, № 1. С. 21.
- Дейген, М.Ф. (1957б). К теории примесных центров в анизотропных гомеоплярных кристаллах. *Оптика и спектроскопия*. Т. 2, № 5.
- Дейген, М.Ф. (1957с). Теория парамагнитного резонанса F-центров в ионных кристаллах. *ЖЭТФ*. Т. 33, № 3. С. 773.
- Дейген, М.Ф., Зевин, В.Я. (1958а). Зависимость сверхтонкой структуры F-центра от ориентации кристалла во внешнем магнитном поле. *ЖЭТФ*. Т. 34, № 5. С. 1142.
- Дейген, М.Ф., Ройцин, О.Б. (1958б). Подвійний парамагнітний резонанс введених у кристал атомів і F-центрів у змішаних кристалах. *УФЖ*. Т. 3, № 4. С. 440.
- Дейген, М.Ф., Пекар, С.И. (1958с). Сверхтонкое взаимодействие и спин-электронный резонанс в поляронах и экситонах. *ЖЭТФ*. Т. 34, № 3. С. 684.
- Дейген, М.Ф. (1958d). Парамагнитный резонанс примесных центров в ионных кристаллах. *Изв. АН СССР*. Т. 22, № 11. С. 1341.
- Дейген, М.Ф., Кончиц, А.А., Зарицкий, И.М., Шанина, Б.Д. (1973). Спин-решеточная релаксация F и  $F_A(Li^+)$ -центров в KCl. *ФТТ*. Т. 15. С. 434—439.
- Дейген, М.Ф., Ройцин, А.Б. (1959). Парамагнитный резонанс F-центров в статических магнитных полях произвольной величины. *ЖЭТФ*. Т. 36, № 1. С. 176.
- Дейген, М.Ф., Ройцин, А.Б. (1960а). Форма и температурная зависимость линий спин-электронного резонанса локальных электронных центров в кристаллах. *ЖЭТФ*. Т. 32, № 2. С. 489.
- Дейген, М.Ф., Зевин, В.Я. (1960б). Спин-решеточная релаксация локальных электронных центров в неметаллических кристаллах. *ЖЭТФ*. Т. 39, № 4(10). С. 1126.
- Дмитрук, Н.Л., Ляшенко, В.И. (1967). О проводимости сколотых (110) поверхностей GaAs. *ФТП*. Т. 1, № 3. С. 455—457.
- Дмитрук, Н.Л., Романюк, В.Р., Таборская, М.И., Чарнович, С., Кокинсьи, С., Юркович, Н.В. (2014). Взаимодействие поверхностных плазмонов и интерференционных мод в тонкопленочных наноструктурах. *Письма в ЖЭТФ*. Т. 99, № 3. С. 146—149.
- Дмитрук, Н.Л., Ляшенко, В.И., Терещенко, А.К., Зуев, В.А. (1970). Фотоэлектрические явления в приповерхностной области арсенида галлия. *ФТП*. Т. 4, № 4. С. 654—662.
- Дмитрук, Н.Л., Литовченко, В.Г., Стрижевский, В.Л. (1989). Поверхностные поляритоны в полупроводниках и диэлектриках. Киев: Наук. думка. 374 с.
- Жузе, В.П., Курчатов, Б.В. (1932). К вопросу об электропроводимости закиси меди. *ЖЭТФ*. Т. 2. С. 309—317.
- Зарицкий, И.М., Кончиц, А.А., Шанина, Б.Д. (1982). Исследование методом ЭПР носитель-примесных взаимодействий в полупроводниках. *ФТП*. Т. 16. С. 1793—1797.
- Захленюк, Н.А., Кочелап, В.А., Митин, В.В. (1989). Неравновесные флуктуации в полупроводниках при рассеивании энергии носителей на колебаниях оптической решетки. *ЖЭТФ*. Т. 95. С. 1495—1512.
- Захленюк, Н.А., Кочелап, В.А., Соколов, В.Н. (1992). Подавление флуктуации горячих электронов в полупроводниках в условиях размерного эффекта. *Письма в ЖЭТФ*. Т. 55, № 4. С. 233—237.
- Зюганов, А.Н. (1973). Бездиффузионная теория вольт-амперных характеристик контакта металл—моноплярный полупроводник при ограничении тока объемным зарядом произвольного вида. *Полупроводниковая техника и микроэлектроника*. № 12.

Зюганов, А.Н., Свечников, С.В. (1965). Фотоконденсатор на основе сернистого кадмия. *Радиотехника и электроника*. Т. 10, № 12. С. 2264—2266.

Зюганов, А.Н., Свечников, С.В., Смвж, А.К. (1982). К вопросу о применении фотопотенциометров в качестве функциональных преобразователей. *Радиотехника и электроника*. Т. 18, № 5. С. 1068—1081.

Зюганов, О.М., Свечников, С.В. (1969). Фотопотенциометри. Київ: Техніка. 216 с.

Иоффе, А.Ф. (1957). Физика полупроводников. Москва; Ленинград: Изд-во АН СССР. 491 с.

Иоффе, А.Ф. (1933). Электропроводность твердых изоляторов и полупроводников. *УФН*. Т. 13, вып. 4. С. 469—490.

Институт фізики напівпровідників ім. В.Є. Лашкарьова НАН України. 50 років (1960—2010 рр.). (2010). За ред. В.Ф. Мачуліна. Київ: Інтертехнодрук. 450 с.

Каганович, Е.Б., Свечников, С.В., Чала, В.Г. (1969). Термостимульовані струми в шарах сульфїду кадмію. *УФЖ*. Т. 14, № 4. С. 665—666.

Каганович, Э.Б., Свечников, С.В., Тхорик, Ю.А. (1966). Получение сублимированных слоев CdS и CdSe для целей полупроводниковой электроники. *Полупроводниковая техника и микроэлектроника*. Вып. 1. С. 33—38.

Кикоин, И.К., Носков, М.М. (1934). О новом фотоэлектрическом эффекте в закисе меди. *ЖЭТФ*. Т. 4. С. 123—129.

Кононец, Я.Ф. (1998). Улучшение характеристик тонкопленочных электролюминесцентных структур на основе пленок ZnS:Mn после облучения их маломощным лазером. *Письма в ЖТФ*. Т. 24, № 4. С. 1—6.

Кончиц, А.А., Зарицкий, И.М., Шанина, Б.Д., Вихнин, В.С. (1980). Инверсия населенностей спиновых состояний в кремнии при неполяризованной оптической подсветке. *Письма в ЖЭТФ*. Т. 31. С. 56—60.

Кочелап, В.А., Мельников, Л.Ю., Соколов, В.Н. (1982). Многозначное распределение неравновесных электронов и дырок в полупроводниках с концентрационной нелинейностью поглощения света. *ФТП*. Т. 16, № 7. С. 1167—1170.

Кочелап, В.А., Пипа, В.И., Писковой, В.Н., Соколов, В.Н. (1971). Теория многозначного равновесного распределения носителей тока в многодолинных полупроводниках. *ЖЭТФ*. 1971. Т. 61, № 6. С. 2504—2513.

Красников, Н.И., Олексенко, П.Ф., Свечников, С.В. (1965). Аналоговое быстродействующее устройство, моделирующее операцию деления. *Автоматика и приборостроение*. № 7—9. С. 26—27.

Красников, Н.И., Потехина, В.Н., Сафронова, Л.И., Свечников, С.В. (1968а). Спеченные слои селенида кадмия, работающие в режиме продольной фотопроводимости. *Электронная техника. Сер. Материалы*. Вып. 4. С. 79—83.

Красников, Н.И., Свечников, С.В. (1968б). Исследование параметров эквивалентной схемы электролюминесцентной ячейки на основе сублимат-фосфора ZnS:Mn. *Приборы и техника эксперимента*. № 1. С. 184—186.

Красников, Н.И., Свечников, С.В. (1971). Преобразователь изображения. *Электронная техника. Сер. 6. Микроэлектроника*. Вып. 2(28). С. 49—52.

Красников, Н.И., Свечников, С.В., Федченко, А.Н. (1969). Кинетика электролюминесценции сублимат-фосфора ZnS-Mn при импульсном возбуждении. *Журнал прикладной спектроскопии*. Т. 10, вып. 3. С. 490—493.

Кретулис, В.С., Олексенко, П.Ф., Свечников, С.В. (1969). Развязывающий и коммутирующий оптрон для устройств транзисторной электроники. *Приборы и системы управления*. № 6.

Кучер, Т.И., Толпыго, К.Б. (1960). Структура дырочных зон хлоридов щелочных металлов. *ФТТ*. Т. 2, № 9. С. 2301—2309.

Ландау, Л.Д., Пекар, С.И. (1948). Эффективная масса полярона. *ЖЭТФ*. Т. 18. С. 419—423.

Лашкарев, В.Е. (1941a). Исследование запирающих слоев методом термозонда. *Изв. АН СССР. Сер. физ.* Т. 5, № 4—5. С. 442—446.

Лашкарев, В.Е., Косоногова, К.М. (1941b). Влияние примесей на вентильный фотоэффект в закиси меди. *Изв. АН СССР. Сер. физ.* Т. 5. С. 478—493.

Лашкарёв, В.Е., Косоногова, К.М. (1946). Фото-электродвижущие силы в однородном полупроводнике (закиси меди). I. *ЖЭТФ*. Т. 16, № 9. С. 786—789.

Лашкарёв, В.Е. (1948). Свойства плохопроводящих слоев между металлом и полупроводником. *ЖЭТФ*. Т. 18, № 11. С. 1347—1355.

Лашкарёв, В.Е. (1950). Полупроводники. *Техника молодёжи*. № 1. С. 4—6.

Лашкарёв, В.Е., Бондаренко, Р.Н., Добровольский, В.Н., Зубрин, Г.П., Литовченко, В.Г., Стриха, В.И. (1959a). Электрические и рекомбинационные свойства германия с примесью бериллия *ФТТ*. Т. 2. С. 39.

Лашкарьов, В.Є., Бондаренко, Р.М., Добровольський, В.М., Зубрін, Г.П., Литовченко, В.Г., Стріха, В.І. (1959b). Властивості германію з домішкою берилію. *УФЖ*. Т. 4. С. 372.

Лашкарёв, В.Е., Литовченко, В.Г., Омеляновская, Н.М., Бондаренко, Р.Н., Стриха, В.И. (1957). Зависимость времени жизни сторонних носителей тока от концентрации примеси сурьмы в германии. *ЖТФ*. Т. 27. С. 2437.

Лашкарев, В.Е., Ляшенко, В.И. (1950). Электронные состояния на поверхности полупроводника. В кн.: Сборник, посвященный 70-летию А.Ф. Иоффе. Москва, Ленинград: Изд-во АН СССР. 571 с.

Лень, А.Є. (2010). Вадим Євгенович Лашкарьов — перший директор ІФН НАНУ. Київ. 108 с.

Лисица, М.П., Яремко, А.М. (1984). Резонанс Ферми. Киев: Наук. думка. 264 с.

Лисица, М.П., Яремко, А.М., Тарасов, Г.Г., Валах, М.Я., Бережинский, Л.И. (1972). Особенности экситонных эффектов в слоистых кристаллах. *ФТТ*. Т. 14, № 11, С. 3219—3224.

Литовченко, В., Стріха, М. (2016). Василь Ляшенко — видатний український фізик, засновник наукової школи з фізики поверхні напівпровідників. *Світогляд*. № 2(58). С. 28—33.

Литовченко, В.Г. (1972). *Полупроводниковая техника и микроэлектроника*. Вып. 9. С. 92—126.

Литовченко, В.Г. (1978). *ЖФХ*. Т. 70, № 12. С. 3063—3070.

Литовченко, В.Г. (2014a). Мої наукові контакти з В.Є. Лашкарьовим — першовідкривачем р—п-переходу. *Фізика і хімія твердого тіла*. Т. 15, № 3. С. 449—456.

Литовченко, В.Г. (2014b). Мої наукові контакти з В.Є. Лашкарьовим. *УФЖ*. Т. 59, № 8. С. 825—829.

Литовченко, В.Г., Корбутяк, Д.В., Крюченко, Ю.В. (1981). Исследование коллективных свойств экситонов в полярных полупроводниках (ZnO). *ЖЭТФ*. Т. 81, вып. 6(12). С. 1965—1976.

Литовченко, В.Г., Ляшенко, В.И., Фролов, О.С. (1962a). Исследование электрофизических свойств поверхности Ge. В кн.: Поверхностные свойства полупроводников. Москва: Изд-во АН СССР. С. 147—164.

Литовченко, В.Г., Ляшенко, В.И. (1962b). Прилипание неравновесных носителей на поверхности Ge. *ФТТ*. Т. 4, вып. 8. С. 1985—1993.



Литовченко, В.Г., Ляшенко, В.І., Фролов, О.С. (1965). Метод визначення поверхневого потенціалу на напівпровідниках у широкому діапазоні питомих опорів. *УФЖ*. Т. 10, № 12. С. 1334.

Лосев, О.В. (1922). Детектор генератора; детектор усилителя. *Телеграфія и телефонія без проводів*. № 14. С. 374.

Ляшенко, В. (1935). Випростувач із сполуками заліза. *Українські фізичні записки ВУАН*. Т. 111, вип. 2. С. 43—51.

Ляшенко, В.И. (1953). Изменение работы выхода и проводимости у сернистого молибдена под влиянием адсорбции. *Труды Института физики АН УССР*. Т. 4. С. 33.

Ляшенко, В.И., Романова, Г.Ф., Степко, И.И. (1958а). Изменения  $V_k$ -поверхности германия при адсорбции и катализе. *Проблемы кинетики и катализа*. С. 11—16.

Ляшенко, В.И., Литовченко, В.Г. (1958б). Влияние адсорбции молекул на работу выхода и проводимость германия. *ЖТФ*. Т. 28, вып. 3. С. 448—460.

Ляшенко, В.И., Литовченко, В.Г., Стриха, В.И., Ляшенко, Л.В., Степко, И.И. (1968). Электронные явления на поверхности полупроводников. Киев: Наук. думка. 288 с.

Ляшенко, В.И., Снитко, О.В. (1957). Влияние адсорбции молекул и внешнего электрического поля на фотопроводимость полупроводников. *Радиотехника и электроника*. Т. 2, вып. 3. С. 269—277.

Ляшенко, В.И., Степко, И.И. (1952). Влияние адсорбции на поверхностные заряды и проводимость полупроводника. *Изв. АН СССР. Сер. физ.* Т. 16. С. 211.

Ляшенко, В.И., Федорус, Г.А. (1938). Высоковольтная поляризация в закиси меди и селене при низких температурах. *ЖЭТФ*. Т. 8, № 7. С. 818—824.

Малашевич, Б.М. (2013). 50 лет отечественной микроэлектронике. Краткие основы и история развития. Москва: Техносфера. 800 с.

Маловичко, А.В., Свечников, С.В. (1969). Продольный фототок в селеновых мишенях видиконов. *УФЖ*. Т. 14, № 8. С. 1188—1180.

Мачулін, В.Ф. (2010). Напівпровідники в усіх вимірах (Інституту фізики напівпровідників ім. В.Є. Лашкарьова НАН України — 50 років). *Вісник НАН України*. № 10. С. 42—46.

Молчанов, А.А., Свечников, С.В., Шарадкин, А.М. (1981). Об устойчивости оптрона с положительной оптической обратной связью. *Автоматика и телемеханика*. № 9. С. 154—158.

Наследов, Д.Н., Рогачев, А.А., Рывкин, С.М., Царенков, Б.В. (1962). Рекомбинационное излучение арсенида галлия. *ФТТ*. Т. 4. С. 1062.

Олег В'ячеславович Снітко. Серія «Бібліографія вчених України». (2008). Київ: Академперіодика. 44 с.

Олексенко, П.Ф., Свечников, С.В., Кретулис, В.С. (1967а). Широкозонные быстродействующие фотореле высокой фоточувствительности. *Приборы и системы управления*. № 2.

Олексенко, П.Ф., Свечников, С.В. (1967б). Малогабаритный фотоэлектрический преобразователь УПТ. *Механизация и автоматизация управления*. № 2. С. 45—46.

Офіційний сайт компанії Western Electric. <https://www.westernelectric.com/>

Офіційний сайт компанії Sylvania. <https://www.sylvania.com/en-us/about/Pages/history.aspx>

Офіційний сайт Інституту фізики напівпровідників ім. В.Є. Лашкарьова. <https://www.isp.kiev.ua/>

Патент України (2012) № 102635 від 25.07.2013. Спосіб одержання фотолюмінесцентного шару, що не містить рідкісноземельних металів. Васін, А.В., Локшин, М.М., Лисенко, В.С., Назаров, О.М., Русавський, А.В. Дата пріоритету: 26.04.2012.

Патент України (2014) № 106101, зареєстровано в Держреєстрі патентів України 25.07.2014. Лисенко, В.С., Локшин, М.М., Співак, М.Я. Спосіб виготовлення медичних противірусних препаратів, що містять наночастинки, та препарат проти вірусів герпесу і грипу, виготовлений за даним способом.

Патент України № 118901 (2019). Сизов, Ф.Ф., Цибрій, З.Ф., Вуйчик, М.В., Свеженцова, К.В., Короташ, І.В., Руденко, Е.М., Полоцький, Д.Ю. Маскувальні покриття із селективними властивостями.

Патент України № 89075 (2009). Сизов, Ф.Ф., Добровольський, В.М., Каменев, Ю.Є. Напівпровідниковий болометр міліметрового та субміліметрового діапазонів.

Пекар, С.И. (1940). Теория контакта металла с диэлектриком или полупроводником. *ЖЭТФ*. Т. 10, № 7. С. 1210—1224.

Пекар, С.И. (1941a). Контакт полупроводника с металлом и приэлектродные скачки потенциала. *Изв. АН СССР. Сер. физ.* Т. 5, № 4—5. С. 422—433.

Пекар, С.И. (1941b). Электропроводность тонких пластин полупроводника и эффект Пула. *ЖЭТФ*. Т. 11, № 6. С. 708—716.

Пекар, С.И. (1946). Автолокализация электрона в диэлектрической инверсионно поляризующейся среде. *ЖЭТФ*. Т. 16, № 4. С. 335—340.

Пекар, С.И. (1951). Исследования по электронной теории кристаллов. Москва; Ленинград: Гостехтеориздат. 256 с.

Пекар, С.И. (1957). Теория электромагнитных волн в кристаллах, в которых возникают экситоны. *ЖЭТФ*. Т. 33, вып. 4. С. 1022—1036.

Пекар, С.И. (1965). Электрон-фононное взаимодействие, пропорциональное внешнему приложенному полю, и усиление звука в полупроводниках. *ЖЭТФ*. Т. 49, № 2. С. 621—629.

Пекар, С.И. (1982). Кристаллооптика и добавочные световые волны. Киев: Наук. думка. 296 с.

Пекар, С.И. (1984). Наукове відкриття «Явище розповсюдження додаткових хвиль у кристалах», диплом № 323 (заявка від 27.09.1984 р.).

Перелік лауреатів Нобелівської премії з фізики. <https://uk.wikipedia.org/wiki/>

Петренко, А.И., Свечников, С.В. (1961). Основные направления в развитии читающих автоматов. *Изв. вузов. Радиотехника*. Т. 4, № 3. С. 240—253.

Радиоспектроскопия конденсированных сред (1998). Киев: ИФП НАН Украины. 240 с.

Рашба, Е.И. (1984). Наукове відкриття «Явище комбінованого резонансу в кристалах», диплом № 327 (заявка від 18.10.1984 р.).

Рашба, Э.И. (1957a). Теория сильного взаимодействия электронных возбуждений с колебаниями решетки в молекулярных кристаллах. *Оптика и спектроскопия*. Т. 2, № 1. С. 75—98.

Рашба, Э.И. (1957b). Поглощение света и люминесценция в молекулярных кристаллах при сильной связи внутримолекулярных возбуждений с фононами. *Оптика и спектроскопия*. Т. 3, № 6. С. 568—578.

Рашба, Э.И. (1959a). Симметрия энергетических зон в кристаллах типа вюрцита. I. Симметрия зон без учета спин-орбитального взаимодействия. *ФТТ*. Т. 1, № 3. С. 407—421.

Рашба, Э.И., Шека, В.И. (1959b). Симметрия энергетических зон в кристаллах типа вюрцита. II. Симметрия зон с учётом спиновых взаимодействий. *ФТТ*. Т. 1, № 2. С. 162—176.

Рашба, Э.И. (1960). Спин-орбитальное взаимодействие. *ФТТ*. Т. 2. С. 1224.

Рашба, Э.И., Толпыго, К.Б. (1956). Прямая вольт-амперная характеристика плоскостного выпрямителя при значительных токах. *ЖТФ*. Т. 26, № 7. С. 1419—1427.

- Рубан, М.А., Дейген, М.Ф. (1964). Наблюдение ДЭЯР F-центров в КСl. *ФТТ*. Т. 6, № 12.
- Сарбей, О.Г., Аше, М., Костіал, Х., Грибников, З.С., Митин, В.В. Наукове відкриття «Властивість многозначної анізотропії електропровідності напівпровідникових кристалів у сильних електричних полях», диплом № 294 (заявка от 17.04.1982 р.).
- Свечников, С.В. (1952). Свойства монокристаллических фотосопротивлений из сернистого кадмия при возбуждении рентгеновскими лучами. *ЖТФ*. Т. 22, Вып. 8. С. 1305—1314.
- Свечников, С.В. (1953). Кристаллический фотометр и рентгендозиметр на CdS-фотосопротивлениях. *ЖТФ*. Т.23, Вып. 11. С. 2094—2100.
- Свечников, С.В. (1955). К свойствам CdS-фотосопротивлений в ионизирующем излучении. *УФН*. Т. 55, № 1. С. 126—127.
- Свечников, С.В. (1956). Свойства сернистокадмиевых фотосопротивлений при облучении Y- и В- лучами. *ЖТФ*. Т. 26, Вып. 8. С. 1646—1650.
- Свечников, С.В. (1959). Фотосопротивления как элементы электрической цепи. *Автоматика и телемеханика*. Т. 20, № 4. С. 508—517.
- Свечников, С.В. (1963). Бесконтактный фотопотенциометр. *Автоматика и телемеханика*. Т. 24, № 9. С. 1292—1294.
- Свечников, С.В. (1966а). Фотоэлектрические функциональные преобразователи как перспективное направление полупроводниковой электроники. *Полупроводниковая техника и микроэлектроника*. Вып. 1. С. 5—30.
- Свечников, С.В. (1980). Состояние и пути развития оптоэлектроники. *Изв. вузов. Радиоэлектроника*. Т. 13, № 4. С. 462—480.
- Свечников, С.В. (1981а). Элементы и принципы оптоэлектроники. *Микроэлектроника*.
- Свечников, С.В. (1981б). Элементы оптоэлектроники. Москва: Сов. Радио.
- Свечников, С.В., Александров, В.Т. (1957). Некоторые фотоэлектрические свойства CdSe- и CdTe-монокристаллов. *ЖТФ*. Т. 27, Вып.5. С. 919—920.
- Свечников, С.В., Зюганов, А.Н. (1965). Бесконтактный следящий фотопотенциометр. *Радиотехника и электроника*. Т. 10, № 7. С. 1335—1340.
- Свечников, С.В., Каганович, Э.Б. (1968). Холловская подвижность фотоэлектронов в слоях сульфида кадмия. *УФЖ*. Т. 13, № 10. С. 1842—1843.
- Свечников, С.В., Чалая, В.Г. (1962). Деякі особливості позовжньої фотопровідності монокристалів типу CdS. *УФЖ*. Т.8, № 6. С. 623—629.
- Свечников, С.В., Чалая, В.Г. (1966б). Об определении энергии пары электрон-дырка в монокристаллах CdS и CdSe. *ФТТ*. Т. 8. С. 3108—3109.
- Свечников, С.В. (1968). Оптоелектроніка. Київ, Техніка.
- Свечников, С.В. (1980). Нова форма творчої співдружності вчених і виробничників. *Вісник АН УРСР* № 9. С. 78—82.
- Стріха, М.В. (2013а). Як починалась наука про напівпровідники (до столітнього ювілею). *Сенсорна електроніка та мікросистемні технології*. Т. 10, № 3. С. 11—21.
- Стріха, М.В. (2013б). Непомічений ювілей (науці про напівпровідники — 100 років). *Світгляд*. №5 (43). С. 64—69.
- Стріха, М.В. (2014). Сторіччя науки про напівпровідники: витоки і український внесок. *УЖФ*. Т.59, №8. С. 830—839.
- Тамм, И.Е. (1975). Собрание научных трудов: в 2 т. Москва: Наука.
- Толпыго, К.Б. (1950). Физические свойства решетки типа каменной соли, построенной из деформируемых ионов. *ЖЭТФ*. Т. 20, № 6. С. 497—510.

Троян, Ю.Г., Сизов, Ф.Ф. (1987). Времена релаксации неравновесных носителей тока и токовые неустойчивости в высокоомных монокристаллах РbТе:Ga. *УФЖ*. Т. 32. С. 467—471.

Френкель, Я.И. (1956). Собрание избранных трудов: в 3 т. Т. 1. Электродинамика. (Общая теория электричества). Москва, Ленинград: Изд-во АН СССР. 370 с.

Френкель, Я.И. (1958). Собрание избранных трудов: в 3 т. Т. 2. Научные статьи. Москва, Ленинград: Изд-во АН СССР. 600 с.

Храмов, Ю.А. (2006). История физики. Киев: Феникс. 1176 с.

Храмов, Ю.О. (2015). Фізика. Історія фундаментальних ідей, теорій і відкриттів. Київ: Фенікс. 816 с.

Храмов, Ю.О. (2017). Соломон Ісакович Пекар і його наукова школа (до 100-річчя від дня народження). *Наука та наукознавство*. № 4(98). С. 107—121.

Царенко, О., Садовий, М. (2017). Внесок українських учених у розвиток науки про напівпровідники. *Наукові записки Центральноукраїнського державного педагогічного університету імені Володимира Винниченка. Серія: Проблеми методики фізико-математичної і технологічної освіти*. Т. 2, № 12. С. 123—130.

Шанина, Б.Д. (1979). О природе отрицательного ДЭЯР и возможности его описания в рамках уравнений Блоха. *ФТТ*. Т. 21. С. 283—328.

Шанина, Б.Д., Гохман, В.Л., Кайбияйнен, В.К. (1980). Модуляционный ДЭЯР в монокристаллах. *ФТТ*. Т. 22. С. 2158—2165.

Шустов, М.А. (2019). История электричества. Москва, Берлин. 567 с.

---

---

# ЗМІСТ

ПЕРЕДМОВА.....	5
ВСТУП.....	7
<b>Розділ 1</b>	
<b>ІСТОРІЯ СТВОРЕННЯ ІНСТИТУТУ НАПІВПРОВІДНИКІВ АКАДЕМІЇ НАУК УРСР</b>	
	13
<b>Розділ 2</b>	
<b>РОЗВИТОК ІНСТИТУТУ ФІЗИКИ НАПІВПРОВІДНИКІВ ім. В.Є. ЛАШКАРЬОВА НАН УКРАЇНИ</b>	
	17
2.1. Періоди розвитку Інституту напівпровідників .....	17
2.2. Наукові школи Інституту фізики напівпровідників ім. В.Є. Лашкарьова .....	28
<b>Розділ 3</b>	
<b>НАУКОВА ШКОЛА «ФІЗИКА НАПІВПРОВІДНИКІВ» ІНСТИТУТУ ФІЗИКИ НАПІВПРОВІДНИКІВ ім. В.Є. ЛАШКАРЬОВА НАН УКРАЇНИ</b>	
	31
3.1. Структура і розвиток наукової школи фізики напівпровідників .....	34
3.2. Наукові досягнення школи фізики напівпровідників .....	40
3.3. В.Є. Лашкарьов — засновник школи фізики напівпровідників .....	53
<b>Розділ 4</b>	
<b>НАУКОВА ШКОЛА «ТЕОРІЯ НАПІВПРОВІДНИКІВ» ІНСТИТУТУ ФІЗИКИ НАПІВПРОВІДНИКІВ ім. В.Є. ЛАШКАРЬОВА НАН УКРАЇНИ</b>	
	59
4.1. Структура і розвиток наукової школи теорії напівпровідників .....	63
4.2. Наукові досягнення школи теорії напівпровідників .....	67
<b>Розділ 5</b>	
<b>НАУКОВА ШКОЛА «РАДІОСПЕКТРОСКОПІЯ» ІНСТИТУТУ ФІЗИКИ НАПІВПРОВІДНИКІВ ім. В.Є. ЛАШКАРЬОВА НАН УКРАЇНИ</b>	
	73
5.1. Структура і розвиток наукової школи радіоспектроскопії .....	73
5.2. Наукові досягнення школи радіоспектроскопії .....	77



**Розділ 6****НАУКОВА ШКОЛА «ФІЗИКА ПОВЕРХНІ НАПІВПРОВІДНИКІВ»  
ІНСТИТУТУ ФІЗИКИ НАПІВПРОВІДНИКІВ  
ім. В.Є. ЛАШКАРЬОВА НАН УКРАЇНИ**

	91
6.1. Структура і розвиток наукової школи фізики поверхні напівпровідників . . . .	100
6.2. Наукові досягнення школи фізики поверхні напівпровідників . . . . .	105

**Розділ 7****НАУКОВА ШКОЛА  
«ОПТИКА ТА СПЕКТРОСКОПІЯ НАПІВПРОВІДНИКІВ»  
ІНСТИТУТУ ФІЗИКИ НАПІВПРОВІДНИКІВ  
ім. В.Є. ЛАШКАРЬОВА НАН УКРАЇНИ**

	117
7.1. Структура і розвиток наукової школи оптики та спектроскопії напівпро- відників . . . . .	119
7.2. Наукові досягнення школи оптики та спектроскопії напівпровідників . . . . .	122
7.3. М.П. Лисиця — засновник школи оптики та спектроскопії напівпровідників . . .	143

**Розділ 8****НАУКОВА ШКОЛА «ОПТОЕЛЕКТРОНІКА»  
ІНСТИТУТУ ФІЗИКИ НАПІВПРОВІДНИКІВ  
ім. В.Є. ЛАШКАРЬОВА НАН УКРАЇНИ**

	145
8.1. Структура і розвиток наукової школи оптоелектроніки . . . . .	152
8.2. Наукові досягнення школи оптоелектроніки . . . . .	155

**Розділ 9****ПРИКЛАДНІ НАПРЯМИ РОБОТИ  
ІНСТИТУТУ ФІЗИКИ НАПІВПРОВІДНИКІВ  
ім. В.Є. ЛАШКАРЬОВА НАН УКРАЇНИ**

	169
9.1. Технологічні розробки . . . . .	169
9.2. Сенсори та прилади . . . . .	173
9.3. Сонячні елементи . . . . .	183
9.4. Освітлювальні системи . . . . .	184
9.5. Сервісні послуги . . . . .	185

**Розділ 10****ІНШІ ВИДИ ДІЯЛЬНОСТІ ІНСТИТУТУ**

	186
10.1. Науково-організаційна діяльність . . . . .	186
10.2. Видавнича діяльність . . . . .	197

**Розділ 11**

**ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ  
ІНСТИТУТУ ФІЗИКИ НАПІВПРОВІДНИКІВ  
ім. В.Є. ЛАШКАРЬОВА НАН УКРАЇНИ**

	203
<b>11.1.</b> Базові засади подальшого розвитку Інституту .....	203
<b>11.2.</b> Інноваційне середовище .....	206
<b>11.3.</b> Глобальні тенденції розвитку науки і техніки .....	207
<b>11.4.</b> Трансфер технологій .....	208
<b>11.5.</b> Погляд Європейського фізичного товариства на тенденції фізичної науки до 2050 року .....	210
<b>11.6.</b> Аналіз сильних і слабких сторін діяльності Інституту .....	211
<b>11.7.</b> Стратегія розвитку Інституту .....	214
<b>ВИСНОВКИ</b> .....	221
<b>ДОДАТКИ</b> .....	223
Додаток 1. Нобелівські премії з фізики та хімії, які підкреслили важливість робіт у галузі фізики напівпровідників, оптики та оптоелектроніки .....	223
Додаток 2. Основні віхи розвитку науки й техніки напівпровідників .....	225
Додаток 3. Монографії, підручники та навчальні посібники співробітників ІФН	249
Додаток 4. Премії та нагороди співробітників Інституту .....	259
<b>СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ</b> .....	265

*Наукове видання*

НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ  
ІНСТИТУТ ФІЗИКИ НАПІВПРОВІДНИКІВ  
ім. В.Є. ЛАШКАРЬОВА

---

ІНСТИТУТ  
ФІЗИКИ  
НАПІВПРОВІДНИКІВ  
ім. В.Є. ЛАШКАРЬОВА  
НАН УКРАЇНИ  
1960—2020

---

**Редакційна колегія:**

*О.Є. Беляєв (голова), В.П. Кладько (заступник голови),  
П.С. Смертенко (відповідальний секретар),  
В.С. Солнцев, Т.А. Кінько, Ю.П. Кияк*

*Редактор Л.Є. Канівець*

*Художнє оформлення Є.О. Ільницького*

*Технічне редагування Т.М. Шендерович*

*Комп'ютерна верстка Н.О. Кучеренко*

Підписано до друку 16.09.2020. Формат 70 × 100/16. Гарн. Minion Pro.  
Ум. друк. арк. 23,56 + 3,09. Обл.-вид. арк. 24,68. Тираж 300 прим. Зам. № 6073.

---

Видавець і виготовлювач Видавничий дім «Академперіодика» НАН України  
01004, Київ, вул. Терещенківська, 4

Свідоцтво про внесення до Державного реєстру суб'єктів  
видавничої справи серії ДК № 544 від 27.07.2001