

**Інститут фізики напівпровідників  
ім. В.Є. Лашкарьова НАН України –  
58 років у складі НАН України**

**Академік О.Є. Беляєв,  
директор Інституту фізики напівпровідників  
ім. В.Є. Лашкарьова НАН України**

Науковці Інституту фізики напівпровідників ім. В.Є. Лашкарьова Національної академії наук України, яка в 2018 році відзначила свій столітній ювілей, стали авторами багатьох видатних результатів, які суттєво вплинули на розвиток фізичної науки. З ім'ям першого директора Інституту академіка В.Є. Лашкарьова пов'язано становлення і розвиток фізики і техніки напівпровідників в Україні. Дослідження В.Є. Лашкарьовим термоелектричних, фотоелектричних, рентгенівських властивостей напівпровідників розпочались ще у 1939-1941 рр. в Інституті фізики АН УРСР та Київському університеті. Вивчалися переважно прямозонні напівпровідники з широкою забороненою зоною та великим внеском іонного зв'язку. Використовуючи явище термоелектрорушійної сили (термоерс) на точковому контакті метал-напівпровідник (CuO), В.Є. Лашкарьов у 1941 р. відкрив бар'єрну структуру контакту, що випрямляє, – так званий *p-n* перехід – і дав правильне тлумачення цій унікальній властивості. Крім того, В.Є. Лашкарьов уперше з'ясував роль *p-n* переходу у вентильному фотоефекті. Відкриття *p-n* переходу, який забезпечує роботу широкого класу напівпровідникових приладів, випереджало розвиток германієвих та кремнієвих технологій того часу, на основі чого пізніше були створені напівпровідникові діоди, тріоди, інтегральні схеми тощо. Знаменно, що структури з *p-n* переходом дотепер залишаються базовими для електронного приладобудування. Наприклад, дослідження системи, що складається з двох суміжних точкових контактів-зондів з напівпровідником (Ge), привели до відкриття транзисторного ефекту Джоном Бардінім (*John Bardeen*), Вільямом Б. Шоклі (*William Bradford Shockley*) та Уолтером Х. Браттейном (*Walter Houser Brattain*), за що вони у 1956 р. отримали Нобелівську премію.

У зв'язку з цим слід зазначити, що розробка першої загальної теорії випрямлення та інжекції у монополярній системі була виконана С.І. Пекаром ще у 1939-1941 рр. Істотне просування було досягнуто в області теорії сильних струмів крізь контакти: отримано точний розв'язок задачі і передбачено несподіваний ефект – перехід у запірному шарі від режиму збіднення до режиму збагачення в міру зростання зворотного зсуву на контакті. (Аналогічні менш строгі роботи були виконані пізніше Моттом.)

Взагалі кажучи, у 50-ті роки минулого століття напівпровідникові матеріали стали предметом величезного інтересу з точки зору їх численних застосувань. Ці роки можна вважати епоєю народження сучасної фізики напівпровідників. І потім кожне десятиліття знаменувалось певним періодом розвитку.

60–70-ті роки – період штучно створених матеріалів – інтеркаляційні сполуки, двовимірні надгратки і гетероструктури, одновимірні квантові дроти, нульвимірні квантові точки.

80-ті роки – завдяки цим штучно створеним матеріалам відкрита ціла низка фундаментальних ефектів – спостереження цілочисельного і дробного квантового ефекту Холла, відкриття особливого стану двовимірних електронів, елементарні збудження яких є квазічастинки з дробним 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 21 століття ознаменувався відкриттям нового класу 2D матеріалів – графену і споріднених одношарових сполук, розвитком міждисциплінарних досліджень.

У кожному з цих періодів можна знайти суттєвий внесок співробітників Інституту:

- Теорія взаємодії електрона з кристалічною ґраткою, побудова повної теорії квазічастинок нового типу – поляронів. Маса такої квазічастинки значно перевищує масу «голого» електрона. Пекар назвав ці частинки автолокалізованими (1946 р.).
- Введення деформаційного потенціалу та теорія автолокалізації електронів у неполярних кристалах. Показано, що автолокалізація відбувається лише в тому випадку, якщо константа зв'язку перевищує деяке порогове значення, причому радіус автолокалізованих станів завжди має бути порядку постійної ґратки. Такий автолокалізований стан було названо конденсоном. Підкреслимо, що метод деформаційного потенціалу був сформульований в цій роботі практично одночасно з Дж. Бардінім та У. Шоклі (М.Ф. Дейген і С.І. Пекар, 1951 р.).
- Теорія домішкових центрів, взаємодіючих з кристалічною ґраткою. Результатом цих робіт стала загальна теорія форми спектрів поглинання і люмінесценції таких центрів. Побудована характерна крива, яка описує форму спектрів домішкових центрів, що взаємодіють з оптичними фононами, отримала у світовій літературі назву пекаріан. Теорія включала також передбачення надзвичайно вузької безфононної лінії в домішкових спектрах (М.А. Кривоглаз, С.І. Пекар, 1953 р.). Аналогічна лінія в рентгенівських спектрах внутрішньоядерних переходів була експериментально відкрита і теоретично пояснена Р. Мессбауером у 1958 р і відразу набула великого значення.
- Відкриття додаткових хвиль у кристалах (1957 р). С.І. Пекар передбачив нове фізичне явище – виникнення додаткових гілок у спектрі електромагнітних хвиль, названих ним додатковими. Додаткові хвилі Пекара виникають поблизу екситонних резонансів. У 1986 р. піонерська робота С.І. Пекара 1957 року про додаткові хвилі в кристалах **була офіційно визнана відкриттям** (Диплом на відкриття № 323, «Явище поширення додаткових світлових хвиль в кристалах»).
- Багатоелектронна теорія кристалів – метод ефективної маси та ефективний метод врахування багатоелектронної кореляції в зонній теорії (С.І. Пекар, К.Б. Толпиго, 1949-1953 рр.).
- Розвиток динамічної теорії кристалічних ґраток (К.Б. Толпиго, 1949-1957 рр.), де вперше було послідовно розглянуто адіабатичне наближення, що дозволяє розглядати деформацію електронних оболонок іонів при коливаннях ядер. Одночасно, вперше були розглянуті оптичні коливання з урахуванням запізнювання і отримані змішані стани фотонів і фононів, які були експериментально досліджені значно пізніше і отримали назву поляритонів.
- Теорія переносу носіїв струму в напівпровідниках. Одним з важливих результатів, отриманих в той час, була побудова вольт-амперної характеристики випрямляючих діодів і *p-n* переходів у наближенні великих зміщень (струм пропорційний квадрату прикладеної напруги – «закон Рашби–Толпиго–Носаря») (Е.Й. Рашба, К.Б. Толпиго, 1956-1957 рр.).
- Дослідження з теорії екситонів (Е.Й. Рашба, 1957-1967 рр.). Зокрема, Е.Й. Рашба побудував теорію слабкозв'язаних локалізованих екситонів. Він знайшов, що поляризація та інтенсивність домішкових смуг демонструють сильні аномалії, коли вони виявляються близькими до власних екситонних смуг. Подібне явище було вивчено Е.Й. Рашбою для екситонів Ваньє–Мотта. У спектроскопії кристалів цей

ефект – гігантське збільшення сили осцилятора – отримав назву ефекту Рашби. У 1966 р. за роботи з теорії екситонів у кристалах професор Е.Й. Рашба отримав Ленінську премію в складі групи вчених, яка включала співробітників НАНУ (А.С. Давидов, А.Ф. Прихотько, В.Л. Броуде, А.Ф. Лубченко, М.С. Бродін).

- Теорія спін-орбітальної взаємодії, аналіз зонної структури кристалів без центра інверсії. У роботах Е.Й. Рашби вперше було введено та обґрунтовано член, що описує цю взаємодію, який лінійний за хвильовим вектором у центрі зони Бріллюена. Роботи привели до передбачення комбінованого резонансу, при якому спін-орбітальний зв'язок, що призводить до «заплутування» руху в конфігураційному і спіновому просторі, робить можливим новий тип переходу, який збуджується електричним вектором високочастотного поля і супроводжується зміною ефективного спінового моменту. Піонерські роботи Е.Й. Рашби з комбінованого резонансу в напівпровідникових кристалах **були офіційно визнані відкриттям.**
- Важливий крок у теорії спін-орбітальної взаємодії було зроблено в Інституті фізики напівпровідників у той час, коли з'явилися напівпровідникові гетероструктури. Було запропоновано гамільтоніан, який описує спін-орбітальну взаємодію в квантових ямах (Ф.Т. Васько, 1979 р.). Е.Й. Рашба узагальнив цей результат. У результаті цих робіт були закладені основи для розвитку спін-орбітальної взаємодії в системах з низькорозмірними носіями струму. Ці роботи стали основою нового напрямку – спінтроніки, який розвивається в останні два десятиліття.
- Розмірні ефекти в напівпровідниках і напівпровідникових приладах. Передбачаючи тенденції розвитку напівпровідникових приладів і структур в сторону суттєвого зменшення просторових масштабів, Е.Й. Рашба запропонував серію ідей про нові розмірні ефекти, що виникають при наближенні розмірів приладів до характерних фізичних довжин. Так з'явилася теорія розмірних ефектів, пов'язаних з рекомбінаційною довжиною в біполярних матеріалах, з міждолинною релаксаційною довжиною в багатодолинних напівпровідниках, з довжиною охолодження розігрітих електричним полем носіїв і т.д. (Е.Й. Рашба, З.С. Грібніков, І.І. Бойко, В.О. Кочелап). Зараз широко визнано, що сучасні напівпровідникові прилади досягли розмірів, при яких розмірні ефекти визначають основні їх характеристики.
- Іншим важливим явищем, яке зараз набуває особливого значення, є розмірний міждолинний перерозподіл, що виникає за рахунок анізотропних долинних струмів, на сучасній мові – долинна поляризація (Е.Й. Рашба, З.С. Грібніков, В.О. Кочелап). Долинна поляризація, долинні струми є одними з найбільш досліджуваних напрямів останні роки.
- Теорія електронних кінетичних явищ у сильних полях. У цій області було розроблено загальні питання теорії гарячих електронів. Зокрема, розроблено кінетику носіїв зі складним законом дисперсії (непараболічність, анізотропія та ін.). Вивчено явища захоплення неосновних носіїв заряду основними, а також таку складну задачу, як вплив електрон-електронних зіткнень на кінетичні явища в електричному і магнітному полях (І.М. Дикман, П.І. Томчук, З.С. Грібніков, І.І. Бойко, В.В. Мітін, В.О. Кочелап, П.І. Баранський, 1960-1980 рр.).
- Дослідження природи поверхневих електронних станів. Визначено їх основні характеристики, виявлено нові електронні явища на поверхні – нерівноважне запирання струму, охолодження гарячих носіїв заряду на поверхні напівпровідників, взаємодія поверхневих домішок тощо (В.І. Ляшенко, О.В. Снітко, В.Г. Литовченко, 1962-1971 рр.).
- Закладено фізико-технічні основи оптоелектроніки як нового науково-технічного напрямку електроніки і технічної фізики, розроблено низку нових оптоелектронних приладів. Напрямок став значним джерелом науково-технічного прогресу людства,

принципово змінивши і відкривши нові технології приладобудування, зв'язку, відображення і реєстрації інформації, сенсоріки та економічних джерел освітлення (С.В. Свечніков, П.Ф. Олексенко, В.М. Сорокін, Н.Л. Дмитрук, О.В. Стронський, 1962-2018 pp.).

- З використанням подвійного електронно-ядерного резонансу М.Ф. Дейген розробив низку нових методів дослідження основних характеристик твердих тіл (1967-1977 pp.).
- М.П. Лисиця зі співробітниками передбачив та виявив нові велетенські нелінійності оптичних явищ у кубічних кристалах з тунельними центрами (1980 p.).
- Явище багатозначної анізотропії провідності у багатодолинних напівпровідниках у сильному електричному полі (З.С. Грібніков, В.О. Кочелап, В.В. Мітін, 1970 p.). У 1985 p. явище «Багатозначна анізотропія провідності в напівпровідниках» **було визнано відкриттям** (диплом СРСР на Відкриття № 294 від 1985 p.).
- Явище переносу електронів у реальному просторі в штучно створених структурах (гетероструктурах) (З.С. Грібніков, 1972 p.). Явище дозволяє істотно змінювати електричні характеристики структури і досягати негативного диференціального опору при дуже малих характерних часах переносу. Явище переносу електронів у реальному просторі широко досліджується і використовується, оскільки відкрило новий шлях до створення приладів з падаючими вольт-амперними характеристиками для підсилення та генерації надвисокочастотного випромінювання.
- Використання негативної ефективної маси носіїв для генерації високочастотних коливань (З.С. Грібніков, 1995-2000 pp.). Для штучних середовищ – гетероструктур – можливий «інжиніринг» закону дисперсії носіїв, в тому числі можливе створення ділянок дисперсії з негативною ефективною масою (друга похідна енергії по імпульсу). З.С. Грібніков обґрунтував використання балістичного електронного транспорту для реалізації умов, за яких ефективна маса негативна, і побудував теорію генерації надвисокочастотних електромагнітних хвиль.
- Генерація когерентних ТГц акустичних фононів електричним струмом у надгратках – акустичний лазер (В.О. Кочелап, Б.А. Главін, 1998-2010 pp.). Теорія і реалізація акустичного лазера – сазера – заклали основу нового напрямку в акустоелектроніці – терагерцова акустика.
- Відкриття явища від'ємної люмінесценції, що виникає, коли концентрація електронів та дірок є меншою за їх рівноважні значення (В.Й. Піпа, В.К. Малютенко). Спільні теоретичні та експериментальні дослідження дозволили спостерігати це явище для різних напівпровідникових матеріалів та структур в умовах дефіциту носіїв. Явище є важливим для приладів далекого інфрачервоного діапазону, зокрема для роботи фотодетекторів.
- Створено високостабільні поверхнево-бар'єрні структури і польові транзистори на основі широкощільових напівпровідників (О.Є. Беляєв, В.С. Лисенко, Р.В. Конакова, 2005 p.).
- Когерентне (структуроване) теплове випромінювання – явище, що виникає для рівноважного теплового випромінювання систем, розміри яких сумірні з довжинами хвиль випромінювання (В.Й. Піпа, А.І. Ліптуга, 2001-2015 pp.). Запропоноване явище було підтверджено експериментально і набуло особливого значення для нанорозмірних приладів та систем.
- Запропоновано створення на основі вуглецевих нанотрубок нових типів перетворювачів сонячної енергії в електричну (В.Г. Литовченко, Б.М. Романюк, В.П. Мельник, 2014 p.).
- Установлено залежність граничних параметрів приймачів терагерцового випромінювання від частоти і потужності. Розроблено лабораторний макет камери

бачення на основі матриць ПЗЗ, які є безвакуумними електронними пристроями. При їх використанні у пристроях нічного бачення (ПНБ) без охолодження є можливість реалізовувати ПНБ з параметрами, які відповідають вакуумним електронно-оптичним приладам покоління 2<sup>+</sup> і можуть використовуватися для пристроїв контролю транспорту у нічних умовах за низької освітленості, в охоронних системах та ін. (Ф.Ф. Сизов, 2014-2018 рр.).

В останні роки пріоритетне значення в науковій діяльності Інституту займають фундаментальні і прикладні дослідження процесів самоорганізації та фізики напівпровідникових наноструктур, а також роботи по фізичним, фізико-хімічним і технологічним проблемам створення елементної бази НВЧ і оптоелектроніки, пристроїв для перетворення інформації, джерел випромінювання нового типу. Зокрема, була вирішена проблема створення чутливих і надійних приладів контролю наднизьких температур. Подальший розвиток цих робіт дозволив створити широку гаму сенсорних систем і пристроїв різноманітного призначення. Крім того, велике наукове і практичне значення мають роботи в галузі інфрачервоної мікрофотоелектроніки, технології створення нових матеріалів і захисних покриттів, результати яких використовуються в медицині, біології, екології та оборонній промисловості. Наприклад, Інститутом фізики напівпровідників ім. В.Є. Лашкарьова НАН України спільно з фірмою ТОВ Б.К.Т. Імплант Лтд. розроблено технологію формування біосумісних покриттів на медичних імплантах. Технологія базується на застосуванні методу газодетонаційного осадження покриттів, модернізованого і вдосконаленого в ІФН ім. В.Є. Лашкарьова НАНУ для медико-біологічних застосувань. Для досліджень використовувалась установка, розроблена фірмою ТОВ Б.К.Т. Імплант (рис. 1). Всі медико-біологічні випробування, результати яких наведено у наукових звітах, презентаціях, патентах або публікаціях, проводились у відповідності до встановлених міжнародних вимог та законів України. Дослідження виконувались в Інституті ортопедії і травматології Національної академії медичних наук України та Університеті Лейбніца (ФРН) в рамках договору про науково-технічну співпрацю. Дослідженнями фізико-хімічних властивостей отриманих покриттів, виконаними в ІФН ім. В.Є. Лашкарьова НАНУ, встановлено, що розроблена технологія дозволяє формувати покриття, які зберігають структуру вихідного матеріалу, характеризуються високою адгезією до підкладки, не містять шкідливих домішок і отримані методом, що має високу продуктивність. Були проведені медико-біологічні дослідження розроблених покриттів, які показали їх біосумісність і відсутність будь-якого негативного впливу на клітинні культури та піддослідних тварин. Було розроблено і виготовлено серію імплантів різного призначення. На рис. 2 наведено загальний вигляд імпланта колінного суглоба та імпланта плечової кістки. Розроблені і виготовлені імпланти пройшли успішне випробування в Інституті ортопедії і травматології Національної академії медичних наук України. На основі випробувань розроблених і виготовлених імплантів різного типу було подано і отримано патент України на корисну модель на спосіб заміщення великих дефектів трубчастих кісток і суглобів металевими ендопротезами, вкритими біосумісними сполуками. Приклад конкретного використання способу для лікування людей з онкологічними ураженнями кісток описано в патенті (Бур'янов О.А., Чорний В.С., Проценко В.В., Ключ М.І., Цабій Л.І., Затовський І.В., Ларіонов О.П., Темченко В.П. Спосіб заміщення великих дефектів трубчастих кісток і суглобів металевими ендопротезами, вкритими біоактивними сполуками. Патент України №125739, 25.05.2018, опубліковано 25.05.2018, бюлетень №10). Отримані результати також опубліковано у низці міжнародних наукових видань і представлялись на вітчизняних та міжнародних наукових конференціях.

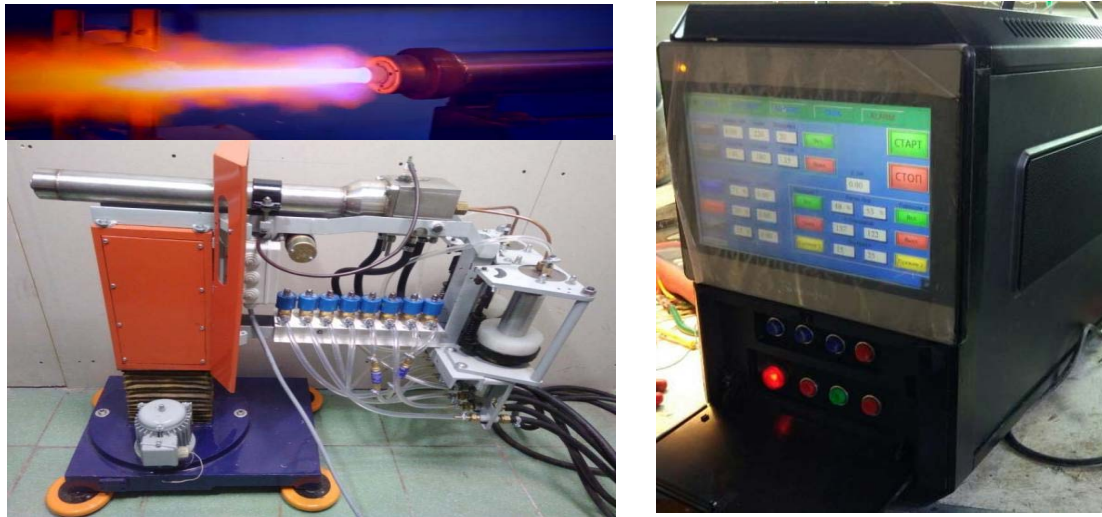


Рис. 1. Установка ГДО: газодетонаційна гармата (ліворуч); блок керування (праворуч).

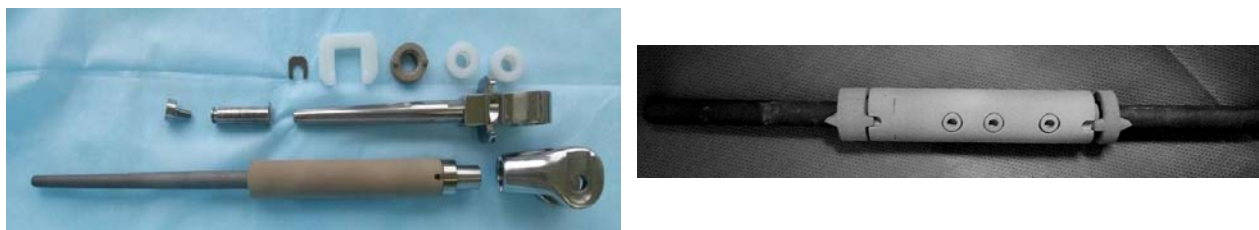


Рис. 2. Розроблені ендопротези з газодетонаційними біосумісними покриттями: колінного суглоба (ліворуч); плечової кістки (праворуч).

Слід нагадати, що Інститут був створений як базова організація для наукового супроводу і підготовки кадрів підприємств електронної промисловості СРСР і України. На сьогодні в Україні електронна галузь практично знищена. Тим не менш Інститут зберіг свій потенціал, і стратегія його діяльності, що 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. Особливо це стало актуальним у відповідь на виклики часу. В ІФН НАНУ було розроблено і доведено до рівня власного дрібносерійного виробництва оптичний германій нового типу (легований натрієм), який має покращені параметри порівняно з матеріалом виробництва інших світових фірм. На теперішній час ІФН НАНУ є єдиним виробником кристалічного германію в Україні, єдиним виробником германію, легovanого натрієм, у світі і задовольняє всі потреби у цьому матеріалі підприємств Укроборонпрому. Зокрема, захисними пластинами з оптичного германію виробництва ІФН НАНУ площею до 500 кв. см і товщиною до 2 см оздоблені системи нічного виявлення, наведення і прицілювання всіх танків «Оплот», які випускаються заводом ім. В.О. Малишева у Харкові.

У 2017 році спільно з ДКНВП «Кварсит» розроблено нове технічне рішення зі створення обтічників радіокерованих ракет на основі кварцової нанокераміки з підвищеними експлуатаційними характеристиками. Технологія склокераміки передбачає виготовлення скломаси зі спеціальними домішками, що забезпечують кристалізацію і перетворення скла в радіопрозору кераміку з низьким коефіцієнтом термічного розширення. Заплановано впровадження розробки в серійне виробництво в 2019-2020 роках.

Ще одна розробка Інституту – це компактні модулі фотоелектричних перетворювачів сонячної енергії. Кілька десятків таких модулів було виготовлено і поставлено в зону бойових дій.

На сьогодні кількість приладів спостереження та прицілювання суттєво зростає (додалися лазерна далекомірна система, прилади «нічного» бачення, тепловізори тощо), тому актуальною задачею є можливість відновлення прозорості зруйнованих оптичних поверхонь та можливість зміцнення прецизійних деталей спостереження та прицілювання, наприклад шкал та сіток. На основі розроблених науково-технічних рішень спільно з Інститутом фізичної хімії ім. Л.В. Писаржевського НАН України підготовлено науково-технологічні засади для виробництва вітчизняних нанопоповнених УФ-наноклеїв на оптично прозорих основах для з'єднання оптичних деталей. Запропоновано використання цих клеїв для відновлення елементів (зовнішніх вікон) приладів спостереження для бронетанкової техніки. Технологія дозволяє проводити ремонтні роботи не лише на ремонтних підприємствах, але навіть і в польових умовах. Ці клеї успішно застосовуються для виробництва прозорої броні, яка використовується у вікнах БМП та броньованих автомобілях. Спільно з Інститутом проблем міцності ім. Г.С. Писаренка НАН України розроблено пропозиції щодо виготовлення прозорої броні на основі загартованого скла та УФ-клеїв. Для зміцнення клейового шва як зміцнюючого каркаса використано міцну та прозору тканину «органза».

Дуже важливими є розробки засобів маскуванню військової техніки від ураження зброєю, яка реагує на теплове випромінювання. Можна навести кілька прикладів, а саме розроблений новий склад маскуючого покриття (фарби зі спеціальними наповнювачами), що зменшує імовірність виявлення як тепловізійними, так і радіолокаційними засобами спостереження. При цьому розроблене технічне рішення дозволяє наносити маскуючу фарбу на елементи активного та пасивного захисту на танки, котрі вже експлуатуються в бойових умовах. Склад маскуючого покриття (фарби) та рішення щодо використання пофарбованих елементів активного та пасивного захисту для створення ефекту маскуванню розроблено спільно з Інститутом хімії поверхні ім. О.О. Чуйка НАН України. Робота має завершений характер та запропонована ДП «Укроборонпром» для впровадження.

Другий приклад. Спільно з Інститутом металофізики ім. Г.В. Курдюмова НАН України розроблена технологія зменшення теплового випромінювання від нагрітих об'єктів з використанням гнучких майларових плівок з надтонким шаром AlN.

Ще один важливий момент – це розробка технології виготовлення інфрачервоного фотоприймального пристрою спеціального призначення. Діапазон довжин хвиль 3–5 мкм є одним з найважливіших для великого числа фотоприймальних пристроїв військового і цивільного застосування. Вони дозволяють спостерігати об'єкти, нагріті до 300–500 К. Переважне застосування таких інфрачервоних систем у військовій області – це приціли, головки самонаведення ракет, системи тепlopеленгації, пошуку і супроводу цілі. Крім того, схожі системи використовуються в службах охорони, засобах контролю і керування технологічними процесами та неруйнівної перевірки якості продуктів, пілотування і навігації на транспорті, спостереження за ресурсами (завчасне виявлення лісових пожеж), медицині (діагностика захворювань, зокрема запальних процесів), астрономії, екології та інших наукових дослідженнях.

Антимонід індію являє собою єдиний матеріал, із якого промислово виготовляють приймачі всіх трьох типів: фотопровідні (фотоопір), фотовольтаїчні і фото-електромагнітні. У порівнянні з іншими матеріалами, чутливими в даній області спектра, фотодіоди на антимоніді індію мають ряд переваг. По-перше, відносно проста і відпрацьована технологія отримання зразків з високим ступенем стехіометричності. Антимонід індію дуже добре піддається зонній очистці, і кращі зразки InSb являють собою одні з найбільш чистих сполук, відомих у даний час. По-друге, в силу того, що антимонід індію – це хімічна сполука, він має відносно довготривалі стабільні характеристики. На даний час виробництво ІЧ-

фотоелементів на основі InSb відсутнє. Відсутня також технологія обробки поверхні пластин монокристалів InSb. ІЧ-фотоелементи на основі InSb для головок самонаведення ракет, які поставляла Росія, необхідно замінити фотоелементами власного виробництва. Проаналізувавши ситуацію з матеріалом InSb в Україні, ми прийшли до висновку, що проблема отримання кристалів стоїть досить гостро – відсутня технологія вирощування та сертифікації. Ще залишились кваліфіковані кадри, які за певних умов можуть у короткий термін (один-два роки) відновити промислове виробництво монокристалів та технологію бездефектної підготовки поверхні підкладок InSb. Тобто задачу, на яку іншими виробниками затрачені десятиліття, потрібно було починати практично з нуля і реалізувати швидко. Потенційним замовником цієї продукції є КП СПБ «Арсенал» – річна потреба становить 1,5 тис. у рік. Середня ціна подібного фотоприймального пристрою, який КП СПБ «Арсенал» сплачував АТ «Завод «Сапфир» (м. Москва), становить 5 000 \$. Налагодження вітчизняної технології InSb фотодіодів дало можливість реалізувати замкнений технологічний цикл виробництва в Україні головок наведення для ракет різних типів, що має не лише військове значення, але й розширює експортний потенціал України як виробника високотехнологічної продукції.

Підсумовуючи вищенаведене, слід сказати, що ці вагомі результати досягнуті завдяки фундаментальним дослідженням, які науковці Інституту проводили багато років. Ці дослідження будуть слугувати підґрунтям для багатьох нових розробок, над якими працює колектив Інституту фізики напівпровідників ім. В.Є. Лашкарьова Національної академії наук України.