

## **ВІДДІЛЕННЯ СТРУКТУРНОГО ТА ЕЛЕМЕНТНОГО АНАЛІЗУ НАПІВПРОВІДНИКОВИХ МАТЕРІАЛІВ ТА СИСТЕМ**

Історія утворення відділення структурного і елементного аналізу напівпровідникових матеріалів та систем тісно пов'язана з історією відділу дифракційних досліджень структури напівпровідників (від. №19) Інституту фізики напівпровідників ім. В.Є.Лашкарьова НАН України.

Ще до утворення нашого інституту у складі лабораторії дослідження елементарних напівпровідників відділу фізики напівпровідників Інституту фізики АН УРСР, були розпочаті рентгеноструктурні дослідження реальних напівпровідникових кристалів. Цей напрямок тоді очолив Леонід Іванович Даценко, який прийшов до Інституту фізики у 1957 році після закінчення фізичного факультету Київського університету ім. Т.Г.Шевченка.

У 1960 році на базі лабораторії був створений відділ електричних і гальваноманітних властивостей напівпровідників (від. №7) Інституту напівпровідників АН УРСР, у складі якого і продовжив свою наукову роботу Л.І.Даценко.



Леонід Іванович Даценко,  
доктор фізико-математичних наук, професор

В 1962 році Л.І. Даценко призначається на посаду головного інженера рентгенівської лабораторії відділу №7 ІН АН УРСР. До 1964 року в лабораторії були введені в експлуатацію чотири рентгенівські установки, на яких проводилися різні дослідження структури реальних напівпровідникових кристалів (Ge, CdS). В 1963 р. Л.І. Даценко розпочав дослідження з аномального проходження рентгенівських променів (РП) для виявлення дефектів кристалічної структури. В рентгенівській лабораторії створюється макет рентге-

нівської скануючої камери, яка дозволяла отримувати топографічне зображення внутрішньої структури кристалів з діаметром до 5 см. Роботи в цьому напрямку були ініційовані проведенням рентгеноструктурних досліджень в Інституті напівпровідників АН СРСР (м. Ленінград) під керівництвом тоді ще кандидата фіз.-мат. наук А.М. Єлістратова. В 1964 році Л.І. Даценко вступає до заочної аспірантури до А.М. Єлістратова, яку закінчує достроково, в травні 1966 року, захистивши кандидатську дисертацію. Спільні роботи в колективі ІН АН СРСР дозволили Л.І. Даценку встановити міцні наукові і дружні зв'язки з вченими у Ленінграді, які в подальшому, вже після злиття Інституту напівпровідників з Фізико-технічним інститутом ім. А.Ф. Іоффе АН СРСР (1970 р.), привели до тісного співробітництва у вирішенні цілого ряду робіт по дослідженням ефектів розсіяння рентгенівських променів кристалічною ґраткою у випадку пружного вигину. Слід відзначити, що Л.І. Даценко активно працював над розширенням наукових контактів колективу рентгенівської лабораторії з провідними науковими школами Радянського Союзу. Тут можна перерахувати цілий ряд інститутів та ВУЗів, з якими лабораторію пов'язували постійні спільні роботи – це і Ленінградський фізтех, і Московський, Чернівецький, Єреванський університети, Інститут сталі та сплавів, Інститут фізики твердого тіла (Москва) та багато інших. Вже в 60-ті роки прикладні розробки лабораторії широко впроваджувалися на підприємствах країни (Новогеоргієвський завод чистих металів, Світловодський завод чистих металів), а також у рентгенівських лабораторіях науково-дослідних інститутів. Спільні конструкторські розробки Л.І. Даценка та співробітника лабораторії А.С. Васильківського дозволили створити установку для кристалографічної орієнтації монокристалів, яка в ті роки не мала аналогів і впроваджувалася на заводах напівпровідникової галузі. Робота цієї установки в нашому Інституті забезпечувала надійний зв'язок між отриманими різноманітними фізичними ефектами і кристалографією напівпровідникових монокристалів. Одночасно під керівництвом кандидата технічних наук В.М. Василевської розвивалися методи металографічного спостереження дефектів у кристалах і кристалічних структурах, що забезпечувало комплексний характер досліджень структури кристалів в Інституті.

Велику увагу Леонід Іванович приділяв модернізації та оновленню наукового устаткування лабораторії, причому ця робота проводилася не тільки за рахунок придбання стандартних установок, що випускались промисловістю, але і в значній мірі за рахунок власних розробок співробітників лабораторії. Тут потрібно відзначити велику роль А.С. Васильківського, який

вклав у цей процес свій унікальний таланти інженера-конструктора.

В лабораторії завжди було багато молоді – Л.І. Даценко запрошував для проходження наукової практики і виконання дипломних робіт студентів не тільки київських ВУЗів, але і з багатьох міст України, а також з інших республік СРСР.

Це дозволило на початок 70-х років створити основу колективу, який став одним з авторитетних наукових колективів колишнього СРСР в області рентгеноструктурних досліджень реальних кристалів і кристалічних систем. Слід відзначити таких співробітників лабораторії як М.Я. Скорохода, А.М. Гурєєва, Є.М. Кисловського, до яких в 71-73 рр. приєдналися І.В. Прокопенко, А.І. Нізкова, Н.В. Осадча, Т.Г. Криштаб, а трохи пізніше Н.М. Проскурєнко та майбутні керівники відділу В.І. Хрупа та В.П. Кладько.

В цей період у науковому колективі лабораторії (яка за деякими інститутськими документами тимчасово мала номер 11) був розвинутий і обґрунтований новий науковий напрямок в дифракційних методах досліджень структури твердого тіла – застосування динамічного розсіювання рентгєнівських променів з довжинами хвиль поблизу краю поглинання речовини, що дозволяло надійно визначати найважливіші параметри розсіювання, які одночасно характеризують ступінь відхилення структури від ідеальної, а також встановлювати природу домінуючих дефектів у кристалі (А. М. Гурєєв, Л.І. Даценко, М.Я. Скороход, А.С. Васильківський) [1]. В лабораторії були широко розвинуті різноманітні методи топографічних досліджень реальних кристалів з дислокаціями, тонкоплівкових напівпровідникових структур в геометрії «на проходження», «на відбиття» в одно і двокристалічних схемах дифракції (М.Я. Скороход, І.В. Прокопенко).

Широкий спектр робіт по вивченню впливу пружної деформації на дифракцію рентгєнівських променів у майже досконалих і реальних кристалах напівпровідників проводився в лабораторії зразу по декількох напрямках. Зокрема, були проведені цикли робіт по експериментальній перевірці теорії розсіяння ідеальним пружно-вигнутим кристалом, досліджувались ефекти взаємодії розподілених і локалізованих деформаційних полів, що мають місце практично завжди у реальних кристалах і кристалічних структурах в різноманітних технологічних процесах (дифузія, імплантація домішок, епітаксія, механічна обробка поверхні), що дозволило розвинути оригінальні методи визначення важливих для матеріалознавства параметрів: густини дислокацій в сильно поглинаючих кристалах вузькозонних напівпровідників, об'ємної частки спотвореної ґратки, глибини порушених при механіч-

ній обробці поверхневих шарів, величини пружної деформації (Л.І. Даценко, А.М. Гурєєв, Є.М. Кисловський, І.В. Прокопенко).

В 1977 році Л.І.Даценко з успіхом захищає докторську дисертацію на тему «Динамічне розсіювання рентгенівських променів і структурна досконалість реальних кристалів напівпровідників», в якій були підведені певні підсумки робіт, що проводилися з моменту створення рентгенівської лабораторії. Розширювалося коло наукового співробітництва колективу як усередині інституту, так і за його межами. Роботи співробітників лабораторії і в першу чергу Л.І. Даценка отримали міжнародне визнання – лабораторію відвідують відомі закордонні вчені, ідуть запрошення на міжнародні наукові конгреси та конференції. Л.І. Даценко спільно з Ю.О.Тхориком провели піонерські, на той час в СРСР, роботи по використанню синхротронного випромінювання для дослідження реальних напівпровідникових кристалів і структур – такі роботи з успіхом були продовжені на Єреванському синхротроні Є.М. Кисловським та І.В. Прокопенком. На кінець 70-х років ряд співробітників лабораторії завершували підготовку кандидатських дисертацій (Є.М. Кисловський, А.М. Гурєєв, І.В. Прокопенко). І нарешті, у 1981 році в Інституті напівпровідників створюється відділ дифракційних досліджень структури напівпровідників (відділ №19 ІН АН УРСР), а 9 червня 1981 року на засіданні Вченої ради АН УРСР Л.І.Даценко обирається на конкурсній основі на посаду завідувача відділом.

Слід відзначити, що високі наукові досягнення відділу у 80-ті роки поєднувалися з активною участю його співробітників у різних науково-технічних програмах, які проводилися Інститутом, в результаті чого відділ делегував ряд своїх співробітників для безпосередньої участі в цих роботах. Так, в першій половині 80-х років для проведення рентгенодифракційних досліджень вузькозонних напівпровідників в сектор фотоелектричного напівпровідникового матеріалознавства переходять к.ф.-м.н. Є.М. Кисловський, Т.Г. Криштаб, а потім і к.ф.-м.н. В.П.Кладько. У відділ напівпровідникових гетеросистем (№18) в лабораторію НВЧ-електроніки (№33) переходить І.В. Прокопенко для участі в роботах з радіаційної стійкості НВЧ-приладів на основі напівпровідників  $A^3B^5$ . Ця робота була пов'язана з конкретними підприємствами МЕР СРСР і продовжувалась аж до розпаду СРСР.

В Інститут металофізики АН України для підсилення експериментальних робіт в рамках синхротронної програми, яка була розроблена В.В. Немошкаленком та В.Б. Молодкіним, переходить в 1987 році спочатку А.М.Гурєєв, який став одним з самих героїчних учасників ліквідації наслідків Чорнобиль-

ської катастрофи. Він перший проклав дорогу по даху 4-го енергоблоку і, на жаль, серйозно підірвав своє здоров'я в результаті дворазового терміну роботи в зоні ліквідації. Відділ передав А.М. Гурєєву для роботи всі свої захисні фартухи – держава не забезпечувала ліквідаторів практично ніякими засобами захисту. Потім до А.М. Гурєєва приєдналася А.І. Нізкова.

Розвиток методів структурного і елементного аналізу напівпровідникових кристалів і приладових структур, незважаючи на певні труднощі, продовжувалися і в 90-ті роки. В 1992-1993 роках Інститут отримує цільовим призначенням на Сумському заводі електронних мікроскопів (ВО «Електрон») нове аналітичне обладнання, зокрема, просвітлювальні та растрові електронні мікроскопи. Для вирішення задач структурного і елементного аналізу напівпровідникових матеріалів, приладових систем, приладів опто- і мікроелектроніки в рамках виконуваних в Інституті фізики напівпровідників НАН України робіт по бюджетній тематиці АН України, Державних програмах розвитку електронного приладобудування в Україні і більш ефективного використання дорогого аналітичного устаткування наказом по Інституту від 22.10.1993 р. у складі Інституту утворюється центральна лабораторія структурного і елементного аналізу напівпровідникових матеріалів і приладових систем (лабораторія №59). Виконуючим обов'язки завідуючого лабораторією був призначений старший науковий співробітник, кандидат фізико-математичних наук І.В. Прокопенко. До складу лабораторії ввійшли такі кадрові співробітники інституту як к.ф.-м.н. Т.Г. Криштаб, М.О. Мазін, В.І. Полудін. По своїй ідеології створення лабораторії №59 було першим досвідом в рамках Інституту по функціонуванню Центру колективного використання приладів і в подальшому слугувало основою для його створення вже в рамках НАН України.

В 1996 році у зв'язку з ліквідацією лабораторій у структурі інститутів НАН України формально розпускається і лабораторія №59, а протягом року проводяться роботи по організації відділення «Структурного і елементного аналізу напівпровідникових матеріалів і систем» Інституту фізики напівпровідників НАН України, яке створюється у вересні 1997 року під керівництвом В.Ф. Мачуліна, а на базі колективу колишньої лабораторії №59 утворюється відділ електронних методів структурного і елементного аналізу напівпровідникових матеріалів і систем (відділ №11 ІФН НАН України, який разом з відділом №19 входить до щойно організованого відділення).

У 2001 році в зв'язку з ліквідацією відділу №21 (чл.-кор. НАН України Б.О. Нестеренко) частина співробітників переходить у відділ №19, зокрема

Стадник О.А.

За період існування відділу №19 в ньому були отримані фундаментальні результати в області дослідження структури напівпровідників та розсіяння рентгенівських променів реальними кристалами. Перші приклади топограм кристалів Ge, SiC з дислокаціями, тонкоплівкових гетероепітаксійних систем з так званою фрагментарною структурою одержані у відділі М.Я. Скороходом. Найбільш цікаві топографічні дані по дефектних структурах, що виникають в процесі росту кристалів, а також при їх пластичній деформації узгацьнені в його кандидатській дисертації.

Для опису дифракційних явищ в так званих «майже досконалих» кристалах, що містять певну кількість структурних дефектів, використовується динамічна теорія розсіяння, в експериментальне підтвердження котрої зроблений величезний внесок співробітниками відділу №19.

Л.І. Даценком та А.М. Гурєєвим для цієї мети був розвинений неруйнуючий метод аналізу товщинних залежностей стрибків (відношення) інтегральних інтенсивностей для довжин хвиль гальмівного спектру рентгенівських променів (РП) поблизу К-краю поглинання речовини [2].

Ефективні експериментальні методи, які полягають у вивченні закономірностей варіювання величини дифузної складової повної інтенсивностей дифракційного максимуму реального кристала, як для випадку Лауе-, так і бреггівської дифракції РП, а також при використанні явища так званого рентгеноакустичного резонансу (РАР) були запропоновані В.І. Хрупою і В.Ф. Мачуліним [12].

В.І. Хрупою, наприклад, було встановлено, що відносний внесок дифузної інтенсивності в повну відбивну здатність кристала з дефектами зростає в широкому діапазоні рівнів поглинання РП з ростом порядку дифракції таким чином, що при деякому рівні спотворень структури відбувається поступовий перехід від динамічного режиму розсіяння до кінематичного. Ним же було показано, що в умовах РАР вплив дефектів на інтенсивність динамічного максимуму посилюється, супроводжуючись придушенням когерентної складової розсіяння, через що провал величини відношення інтенсивності дифрагованого пучка різко зменшується в кристалі з дефектами структури.

До інших важливих результатів, отриманих В.І. Хрупою, слід віднести встановлення факту різного впливу локалізованих і розподілених деформаційних полів на характер просторової структури дифрагованого пучка в умовах РАР, як в геометрії Лауе, так і Брегга. Продовжуючи вивчення рентгеноакустичних взаємодій в реальних кристалах напівпровідників, В.Ф. Мачулін



в своїй докторській дисертації виявив важливий для діагностики структурного стану кристала ефект неадитивного впливу на відбивну здатність середовища локалізованих (статичних) і акустичних (динамічних) деформацій. Механізм цього ефекту полягає в нелінійній взаємодії рентгенівських когерентних і некогерентних (дифузних) хвильових полів в процесах їх багатократного перерозсіяння на флуктуаційних хвилях концентрації дефектів. Ним вперше було встановлено, що в умовах реалізації РАР можна дискримінувати внесок когерентної і дифузної складових інтенсивності дифракційного максимуму, що створює сприятливі умови для визначення структурних характеристик кристалів. При динамічних спотвореннях структури виявлений і дифракційний ефект втрати чутливості інтенсивності дифракційного максимуму в реальному кристалі до ультразвукових деформацій, який має місце і при комбінованих статичних деформаційних полях. В.Ф. Мачуліним вперше також обґрунтована можливість визначення інтегральних характеристик структурної досконалості слабо спотвореного (бездислокаційного) кристала, який містить комбіновані спотворення структури (деформаційні поля від кластерів  $\text{SiO}_x$  в кремній і макроскопічно розподілені пружні деформації). Експериментальний підхід, що полягає в комплексному застосуванні аналізу товщинних залежностей інтенсивностей і даних ультразвукових експериментів, дозволив не тільки встановити природу дефектів в цьому найбільш складному випадку розсіяння РП, але і визначити величину статичного фактора Дебая-Валлєра, а також рівень пружних деформацій.

І.В. Прокопенком та Є.М. Кисловським було вирішено ряд важливих питань фізики розсіяння РП реальним кристалом в найбільш складному випадку комплексної дефектної структури, що складається одночасно з локалізованих і розподілених деформацій [11]. Для вирішення цього завдання вони перш за все підтвердили експериментально (на кількісному рівні) основні висновки узагальненої теорії розсіяння РП пружно зігнутим кристалом при бреггівській дифракції. Далі ними була показана можливість розділення внесків в розсіяння дислокацій і пружних деформацій від ансамблів цих дефектів при використанні інтенсивностей так званих фріделівських пар відбиттів при ефекті Бормана в окремому випадку адитивної моделі спотворень періодичного середовища.

Добре відомо, що в бінарних кристалах, ґратки яких складаються з атомів сорту А і В, істотний вплив на механічні, оптичні, електричні та інші властивості цих матеріалів роблять не лише дефектна структура, але і композиційний склад. Завдання одночасного визначення не лише структурних ха-

рактистик, але і параметра, який характеризує ступінь відхилення реального складу від стехіометричної композиції, була вперше вирішена в докторській дисертації В.П. Кладька в 2000 р. Для цієї мети він застосував друге наближення теорії Борна для аналізу величини інтенсивності так званих надструктурних (квазізаборонених) відбиттів (КЗВ), яка пропорційна різниці структурних або атомних формфакторів бінарного кристала. Такий підхід, на відміну від робіт ряду авторів, більш адекватно описує структурну ситуацію в бінарному кристалі, не нехтуючи впливом дефектів структури на розсіяння РП. Крім того, ним був розглянутий більш загальний випадок динамічного розсіяння, коли не можна нехтувати уявною частиною коефіцієнта Фур'є поляризованості в порівнянні з його дійсною частиною. Це дало можливість коректно описати ситуацію в області довжин хвиль гальмівного спектру, де істотну роль відіграють явища аномальної дисперсії в реальних бінарних кристалах GaAs, GaP [13].

До інших фундаментальних результатів докторської дисертації В.П. Кладька слід віднести встановлення факту дифракційного розсіяння РП в області довжин хвиль, де дійсна частина структурного фактора рівна нулю. При цьому інтенсивність дифракції визначається тільки внеском уявної частини коефіцієнтів Фур'є-поляризованості. Ще один важливий висновок, що впливає з цих досліджень, полягає в тому, що відношення інтенсивностей для нецентросиметричних площин (закон Фріделя) в області аномальної дисперсії залежить в реальному кристалі від його структурної досконалості.

Для контролю параметра нестехіометрії В.П. Кладьком були використані два незалежні експериментальні підходи. Перший з них полягає в побудові товщинних залежностей ІВЗ в наближенні тонкого кристала, коли спостерігаються так звані маятникові коливання інтенсивності. Для цієї мети була обґрунтована доцільність використання тільки діапазону довжин хвиль гальмівного спектру РП в довгохвильовій області К-краю поглинання більш легкого атома (Ga в GaAs). Відстані між максимумами маятникових коливань залежать від екстинкційної відстані, яка дає можливість розрахувати шуканий параметр. Інший експериментальний підхід полягав в аналізі енергетичних залежностей відбивних здатностей для довжин хвиль, розташованих поміж К-країв поглинання галію і миш'яку [13].

Поширюючи далі область досліджень КЗР на об'єкти наноструктурних розмірів (надґратки (НГ), квантові точки і дроти, ланцюги квантових точок, лазерні багат шарові структури) В.П. Кладьком і Л.І. Даценком із співавторами був встановлений ряд цікавих закономірностей: можливість сепара-

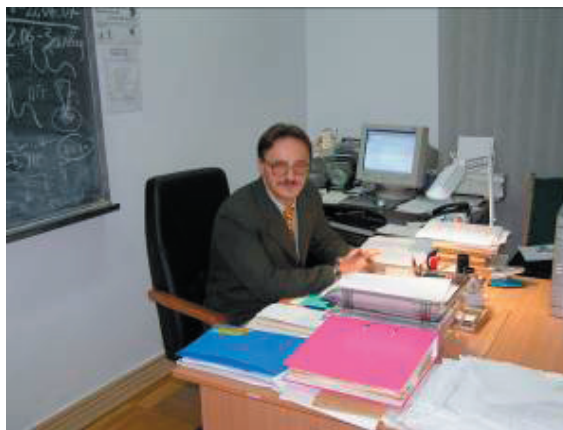


ції внеску в розсіювальну здатність таких структур кожного з шарів окремо, високу чутливість КЗР до складу субшарів, що містять тверді розчини, а також вибіркочу чутливість сателітів НГ до дефектної структури того або іншого шару [3,15].

Область аномальної дисперсії РП виявилася вельми перспективною також для якісного і кількісного аналізу структурної однорідності бінарних кристалів (наявність макровиділень фаз компонент). Так аналіз особливостей динамічного розсіювання РП при Лауе-дифракції для структурних відбиттів в тонких бінарних кристалах, проведений В.П. Кладьком і Л.І. Даценком, показав, що величина стрибка інтенсивностей, на відміну від згаданого вище наближення товстого кристала в областях довжин хвиль поблизу К-країв поглинання компонент, не залежить від структурної досконалості зразка [13].

Всі перелічені вище результати стали фізичною базою нових неруйнуючих способів контролю ряду параметрів, що описують структурну досконалість реального кристала.

Придбання Інститутом фізики напівпровідників в Нідерландах сучасного високороздільного рентгенівського дифрактометра X'Pert PRO MRD дало можливість відділу №19 зайняти чільне місце в світі серед дослідницьких груп, що займаються проблемами діагностики наноструктур. Колектив відділу поповнився молодими кадрами, зокрема, м.н.с. О.Й. Гудименком, аспірантами А.В. Кучуком, О.М. Єфановим, М.В. Слободяном, які успішно захистили кандидатські дисертації, Н.В. Сафрюк.



Зав. відділом №19 докт. фіз.-мат. наук, професор Кладько В.П.

В цей час у відділі отримано цілий ряд нових результатів. Зокрема, під керівництвом професора В.П. Кладька аспірантом О.М. Єфановим, з перших принципів створено теоретичну модель динамічної  $N$ -хвильової дифракції в багатошарових структурах, адекватну для шарів довільної товщини [4,6,16]. В ній враховано ефекти відбиття та дифракції при малих кутах падіння і виходу, а також при кутах 45 та 90°. Знайдено точний напрямок дифрагованого в кристалі променя. Показано, що запропоновані рішення найчіткіше проявляються при аналізі експериментальних кривих гойдання далеко від берегівського положення, а також дають можливість точного аналізу структур, які складаються з матеріалів, що значно відрізняються параметрами ґратки, та при використанні сильно асиметричної геометрії дифракції.

Проаналізовано дисперсійну поверхню (як дійсну, так і уявну її частини) для геометрій Бреґґа та Лауе для 2-х, 3-х та  $N$ -хвильових випадків. Встановлено, що дисперсійна поверхня для поглинаючих кристалів в геометрії Бреґґа кардинально відрізняється від випадку Лауе. Показано, що лише у випадку дійсного дисперсійного рівняння можна говорити про діаметр дисперсійної поверхні у випадку Бреґґа – тоді зникає як поглинання, так і асиметрія дисперсійної поверхні і з'являється область повного відбиття.

Вперше на основі розробленої теоретичної моделі дифракції запропоновано методику контролю структури і деформації частково релаксованих шарів, яка полягає у вимірюваннях азимутальних залежностей кривих дифракційного відбиття. З'ясована роль форми градієнта розподілу компонентів на межах поділу в багатошарових InGaAs/GaAs структурах на форму кривих дифракційного відбиття у випадку дифракції Бреґґа. Зокрема, було встановлено, що найбільш адекватно криві відбиття описуються при введенні гіперболічного закону зміни градієнта складу на границі шарів [5].



Співробітники відділу №19 в лабораторії високороздільної X-дифрактометрії: сидить – інженер Проскурєнко Н.М., стоять – (зліва-направо) професор Кладько В.П., кандидати фіз.-мат. наук Кучук А.В., Єфанов О.М., Слободян М.В.

Аспірантом А.В. Кучуком, запропонована модель формування структури плівок Ta-Si-N шляхом вбудовуванні в нітрид кремнієву аморфну матрицю суміші нітриду танталу, на основі якої пояснюється збільшення питомого опору, атомної густини та термостабільності плівок.

В дисертаційній роботі М.В. Слободяна проведені комплексні X-променеві дослідження динаміки формування наноструктурних елементів, трансформації їх планарного та вертикального впорядкування при зміні топології структур і швидкому температурному відпалі, що дозволило вперше визначити основні фізичні механізми та їх конкурентний внесок у формування багат шарових напівпровідникових наноструктур  $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}/\text{GaAs}$  з квантовими точками та нитками з наперед заданими розмірами і розташуванням, а також і їх просторове впорядкування [7,10].

Встановлений новий механізм релаксації пружних деформацій в гексагональних структурах  $\text{A}^3$ -нітридних сполук [8,9], який полягає в різних значеннях поворотів елементарних комірок навколо с-осі підкладки, що призводить до різних значень параметра невідповідності між гетероструктурою і підкладкою (В.П. Кладько, А.В. Кучук, Н.В. Сафрюк, В.Ф. Мачулін).

Завершуючи перелік найважливіших результатів з фізики розсіяння випромінювань реальними кристалами та гетеро-наноструктурами, що містять

дефекти різної природи, а також порушення композиції в бінарних сполуках, відзначимо, що вони узагальнені в **6 монографіях** співробітників відділу [11-16]. Розробки нових неруйнуючих методів діагностики кристалічного стану захищені **25 авторськими свідоцтвами**. П'ятеро співробітників відділу стали **Лауреатами Державних премій України в галузі науки і техніки** (1983, 1994, 1995, 2003 та 2007 рр.). У відділі захищено **20 кандидатських і 7 докторських дисертацій**.

В різний час відділ очолювали: доктори фіз.-мат. наук Даценко Л.І., Хрупа В.І., Мачулін В.Ф. З 2004 р. відділом керує доктор фіз.-мат. наук, професор Кладько В.П.

На сьогодні відділ налічує 14 чоловік, серед них 1 академік НАН України, 2 доктори фізико-математичних наук та 6 кандидатів фізико-математичних наук.

## **Основні напрямки наукової і науково-технічної діяльності відділу №19**

- Когерентна взаємодія випромінювань рентгенівського діапазону довжин хвиль з реальними кристалами та багатошаровими епітаксійними структурами з метою з'ясування фундаментальних фізичних принципів перетворення випромінювання в умовах динамічної дифракції. Моделювання процесів динамічної дифракції в багатошарових структурах.
- Фізика процесів дефектоутворення, структурної релаксації та міжфазних взаємодій в напівпровідникових матеріалах і системах.
- Фізичні основи рентгено-дифрактометричного визначення параметрів реальної структури багатошарових епітаксійних плівок.
- Аномальна X-променева дифракція в напівпровідникових наноструктурах в області К-країв поглинання.
- Поверхня, приповерхневі шари, границі поділу і тонкі плівки. Вивчення структури і властивостей.
- Розвиток неруйнівних методик контролю структурної досконалості та елементного аналізу кристалів, епітаксійних систем та приладних структур.