

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 багат шаровими епітаксійними структурами з метою з'ясування фундаментальних фізичних принципів перетворення випромінювання в умовах динамічної дифракції. Моделювання процесів динамічної дифракції в багат шарових структурах.
- Фізика процесів дефектоутворення, структурної релаксації та міжфазних взаємодій в напівпровідникових матеріалах і системах.
- Фізичні основи рентгено-дифрактометричного визначення параметрів реальної структури багат шарових 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.

### Література:

1. Скороход М.Я., Даценко Л.И., Гуреев А.Н., Васильковский А.С. Исследование совершенства кристаллов однокристалльным спектрометром в случае Лауэ-дифракции, // УФЖ. 1970. Т.15, №5, С.787-795.
2. Даценко Л.И. Динамическое рассеяние рентгеновских лучей и структурное совершенство реальных кристаллов. // УФЖ, 1979, Т.24, №5. С.577-590.
3. Kladko V.P., Datsenko L.I., Machulin V.F., Domagala J., Lytvyn P.M., Bak-Misiuk J., Kuchuk A.V., Korchovi A.A. Formation of rocking curves for quasi-forbidden reflections in short-periodic superlattices GaAs-AlGaAs. // Journal of Applied Crystallography, 2004. V.37, Part 1. P.150-155.
4. Ефанов А.Н., Кладько В.П. Решение дисперсионного уравнения в явном виде для случая двух сильных волн. // Металлофизика и новейшие технологии. 2006, V.28, № 2. С.227-244.
5. Mazur Yu.I., Wang Z.M., Salamo G.J., Strelchuk V.V., Kladko V.P., Machulin V.F., Valakh M.Ya., Manasreh M.O. Investigation of indium distribution in InGaAs/GaAs quantum dot stacks using high-resolution X-ray diffraction and Raman Scattering. // Journal of Applied Physics, 2006. V.99, Issue 2. P. 023517(10).
6. Єфанов О.М., Кладько В.П., Мачулін В.Ф. Компланарна багатопротенева динамічна теорія дифракції Х-променів у шаруватих структурах. // Український Фізичний Журнал. 2006, Т.51, № 9. С.894-900.
7. Lytvyn P.M., Mazur Yu.I., Marega Jr.E., Dorogan V.G., Kladko V.P., Slobodian M.V., Strelchuk V.V., Hussein M.L., Ware M.E. and Salamo G.J. Engineering of 3D self-directed QD ordering in multi-layer InGaAs/GaAs nanostructures by flux gas composition. // Nanotechnology, 2008. V.19, No 50. P.505605 (7).
8. Kladko V.P., Kolomys A.F., Slobodian M.V., Strelchuk V.V., Raycheva V.G., Belyaev A.E., Bukalov S.S., Hardtdegen H., Sydoruk V.A., Klein N., and Vitusevich S.A. Internal strains and crystal structure of the layers in AlGaIn/GaN heterostructures grown on sapphire substrate. // Journal of Applied Physics, 2009. V.106. Issue 6. P. 063515(9).
9. Kladko V.P., Kuchuk A.V., Safryuk N.V., Machulin V.F., Belyaev A.E., Hardtdegen H. and Vitusevich S.S. Mechanism of strain relaxation by twisted nanocolumns revealed in AlGaIn/GaN heterostructures. // Applied

- Physics Letters 2009. V.95, Issue 3. P. 031907(3).
10. Kladko V., Slobodian M., Lytvyn P., Strelchuk V., Mazur Yu., Merega E., Hussein M., Salamo G. Self-organized three-dimensional spatial ordering of quantum dot arrays in InGaAs/GaAs. // *Physica Status Solidi (A)*. 2009, V.206, Issue 8, P. 1748-1751.
  11. Даценко Л.И., Молодкин В.Б., Осинковский М.Е. Динамическое рассеяние рентгеновских лучей реальными кристаллами. 1988. Київ: *Наукова думка*, 198 С.
  12. Мачулин В.Ф., Хрупа В.И. Рентгеновская диагностика структурного совершенства слабо искаженных кристаллов. 1995. Київ: *Наукова думка*, 191 С.
  13. Даценко Л.И., Кладько В.П., Мачулин В.Ф., Молодкин В.Б. Динамическое рассеяние рентгеновских лучей реальными кристаллами в области аномальной дисперсии. 2002. Київ: *Академперіодика*, 352 С.
  14. 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. Дифрактометрия наноразмерных дефектов и гетерослоев кристаллов, 2005, Київ: *Академперіодика*. 364 С.
  15. Кладько В.П., Мачулін В.Ф., Григор'єв Д.О., Прокопенко І.В. Рентгенооптичні ефекти в багатошарових періодичних квантових структурах. 2006, Київ: *Наукова думка*, 287 С.
  16. Єфанов О.М., Кладько В.П., Мачулін В.Ф., Молодкин В.Б. Динамічна дифракція Х-променів у багатошарових структурах. 2008. Київ: «*Наукова думка*» 223 С.

Якщо історія розвитку відділу №19 була безперервною і визначала історію створення відділення структурного і елементного аналізу напівпровідникових матеріалів і систем, то для відділу №11 треба враховувати період з моменту утворення в 1993 році лабораторії №59. В ці роки колективом лабораторії проведено широке коло досліджень по вивченню впливу випромінювання різної природи (від  $\gamma$ -випромінювання до НВЧ) на напівпровідникові матеріали групи  $A^3B^5$  і приладні структури на їх основі. В цих роботах проаналізовані механізми утворення дефектів при опроміненні і радіаційному відпалі, запропоновані нові технологічні процеси обробки приладових структур на основі короткочасного потужного НВЧ випромінювання, імпульсного лазерного і малодозового  $\gamma$ -опромінення, які підвищу-

ють їх стійкість до зовнішніх впливів (Т.Г.Криштаб, П.М.Литвин, О.С.Литвин, І.В.Прокопенко, М.О.Мазін, В.І.Полудін). В 1995 році І.В.Прокопенко захищає докторську дисертацію, в якій досліджено особливості релаксації внутрішніх механічних напруг в епітаксійних системах на основі кремнію, германію і арсеніду галію, визначено домінуючі механізми дефектоутворення в приладових структурах метал-діелектрик-напівпровідник, бар'єрних наноструктур на основі матеріалів  $A^3B^5$  та інших, залежність їх від технологічних параметрів ростових процесів та їх наступних обробок. В 1997 році при створенні відділу №11 І.В.Прокопенко призначається завідуючим відділом і на сьогоднішній день він залишається його керівником.

В 1998 році у складі відділу створюється комплекс скануючої зондової мікроскопії на основі атомно-силового мікроскопу NanoScope IIIa Dimension 3000™, який має широкі можливості одержання інформації про фізичні властивості поверхонь різного типу (топографія, механічні, електрофізичні, магнітні тощо) та їх керованої модифікації (літографія, маніпуляція) в субмікронному та нанометровому діапазонах.

Засобами комплексу скануючої зондової мікроскопії проводяться системні дослідження особливостей ростових процесів в багатошарових напівпровідникових структурах із варіаціями наноструктурних елементів: квантовими точками, нитками, колами, «молекулами» квантових точок та ін. У співпраці із вітчизняними та зарубіжними колегами виконано цикл робіт по інженерії тривимірно-впорядкованих масивів квантових точок із використанням природної анізотропії фізичних властивостей ростових поверхонь різних кристалографічних орієнтацій та відмінностей фізико-хімічних реакцій при рості структур із молекулярних потоків різної стехіометрії (П.М.Литвин, О.С.Литвин).

Експериментальні роботи по керуванню розмірами, формою та густиною Si-Ge наноструктур у 2002 році відмічені журналом European Semiconductors як одні з кращих. Результати циклу робіт по планарному самонаправленому росту квантових ниток та точок InGaAs увійшли до довідника Handbook of Self Assembled Semiconductor Nanostructures for Novel Devices in Photonics and Electronics випущеного у 2008 р. авторитетним виданням Elsevier Ltd.

Провідна атомно-силова мікроскопія у комплексі із ємнісною та електростатичною мікроскопією складають основу діагностики електронних властивостей напівпровідникових структур на нанорівні і дають змогу проводити характеристику електричних властивостей наноструктур із нанометровою роздільною здатністю.

Варіації фазового складу поверхні на нанорівні дозволяють візуалізувати методи наномеханічних випробувань: наноіндентування та модульованої сили.

Запропонований співробітниками відділу метод акустостимульованих наноманіпуляцій у поєднанні із механічною та електрохімічною зондовою нанолітографією є досить гнучким інструментом для створення прототипів новітніх приладів, таких як, наприклад, нанобіосенсори та наноелектромеханічні прилади.

В 2000 р. до складу відділу вливається науково-дослідна група під керівництвом доктора фізико-математичних наук А.І. Клімовської, яка раніше входила до складу лабораторії розмірних явищ у напівпровідниках і приладів на їх основі відділу №9 під керівництвом чл.-к. НАН України В.Г. Литовченка.

На сьогодні відділ налічує 20 співробітників, серед них 2 доктори та 8 кандидатів фізико-математичних та технічних наук.

Діагностичну базу відділу складають скануючий зондовий та електронний мікроскопи, оптичний та інфрачервоний мікроскопи, рентгенофлуоресцентний аналізатор хімічного складу речовин, мікро- та нанотвердоміри, профілометри та інше обладнання.

У 2005 р. на базі відділу був створений Центр колективного користування приладами «Діагностика напівпровідникових матеріалів, структур та приладних систем» НАН України.

Центр колективного користування приладами працює на вирішення завдань дослідної тематики Інституту фізики напівпровідників ім. В.Є.Лашкарьова НАН України, надає допомогу установам НАН України, закладів Міністерства освіти та науки, промисловим підприємствам.

### **Основні напрямки наукової і науково-технічної діяльності відділу №11**

Фізика ростових процесів, процесів дефектоутворення, структурної релаксації та міжфазних взаємодій в напівпровідникових матеріалах і системах. Поверхня, приповерхневі шари, границі поділу і тонкі плівки.

Розвиток неруйнівних методик контролю структурної досконалості та елементного аналізу кристалів, епітаксійних систем та приладних структур, розробка фізичних основ електронних компонентів для потреб наноелектроніки, сенсорики та квантових комп'ютерів. Фізичні основи отримання локальних електро-механічних характеристик поверхонь методами скануючої зондової мікроскопії.