



**ЛУК'ЯНЧИКОВА
НАТАЛІЯ
БОРИСІВНА**

**Відділ розробки і флуктуаційного аналізу
напівпровідникових матеріалів та структур
(відділ № 34).**

1. Загальна інформація

Відділ № 34 було створено у 1997 році на основі двох структурних лабораторій, які входили до складу відділу № 3, керованого чл.-кор. НАНУ М.К.Шейнкманом. У 1997-2009 роках завідувачем відділом № 34 була доктор фіз.-мат. наук, професор, лауреат Державної премії України Н.Б.Лук'янчикова, з серпня 2009 року керування відділом здійснює доктор фіз.-мат. наук, професор Г.С.Пекар.

Основними науковими напрямками відділу є експериментальні та теоретичні дослідження фізичних механізмів флуктуаційних процесів у напівпровідникових матеріалах та приладах, у тому числі у новітніх ультрасубмікронних напівпровідникових приладах і структурах з елементами нанометрових розмірів, флуктуаційна діагностика напівпровідникових матеріалів та приладів, а також фізико-технологічні дослідження напівпровідникових матеріалів, включаючи розробку технологічних методів одержання великих кристалів та шарів елементарних та складних напівпровідників (германій, сполуки групи A^2B^6), які за своїми параметрами відповідають новітнім потребам сучасної світової техніки.

У відділі працює 17 співробітників, серед яких 2 доктори фіз.-мат. наук (професори Н.Б.Лук'янчикова, Г.С.Пекар) та 5 кандидатів наук (в тому числі старші наукові співробітники М.П.Гарбар, О.Ф.Сингаївський, В.П.Папуша, О.М.Смоланка).

Науковці відділу постійно залучаються до проведення експертиз наукових робіт та проектів, є членами міжнародних наукових товариств і організацій. Зокрема, проф. Н.Б.Лук'янчикова є рецензентом багатьох провідних міжнародних журналів (IEEE Transactions on Electron Devices, Solid-State Electronics, Electron Device Letters та ін.), членом IEEE та інших міжнародних наукових товариств, постійним членом Програмних комітетів ряду міжнародних конференцій. Проф. Г.С.Пекар є експертом Державного комітету України з питань науки, членом ряду наукових товариств.

2. Найбільш вагомі наукові та практичні досягнення

2.1. Результати досліджень фізичних механізмів флуктуаційних процесів у напівпровідникових матеріалах та приладах

Важливість флуктуаційних досліджень, що проводяться, полягає в тому, що вони дозволяють, з одного боку, виявити детальні особливості механізмів протікання нових фізичних процесів і встановити ці механізми, що є важливою науковою проблемою, а, з другого боку, проводити шумову діагностику сучасних напівпровідникових технологій і розробляти методи зниження рівня шуму, що є актуальною практичною проблемою.

Співробітниками відділу:

Розроблені нові експериментальні шумові методи, які було успішно застосовано для детальних досліджень багатьох матеріалів (Si, Ge, GaAs, InSb, AlGaAs, ZnS, CdS, CdSe) та приладів (біполярних (BJT, SiGe HBT) та польових (MOSFET, FinFET, SiGe MOSFET, JFET) транзисторів, включаючи КНІ КМОП (SOI CMOS) прилади, лавинно-пролітних (IMPATT) та світловипромінюючих (LED) діодів, лавинних фотодіодів (APD), інжекційних лазерів).

Проведено дослідження фізики флуктуаційних явищ, що супроводжують такі фізичні процеси: тунелювання електронів; одноелектронні процеси; надлишковий струм через потенціальний бар'єр; інжекцію неосновних носіїв струму в діодах Шоттки; ударну іонізацію; фотопровідність;

фотолюмінесценцію; електролюмінесценцію; деградаційні процеси.

Відкрито нові квантово-механічні шумові ефекти, а саме:

- вплив квантування електронного газу в інверсійному каналі польового транзистора на енергію кулонівської блокади, яка має місце при генерації так званого RTS-шуму;
- наявність додаткового Лорентціану в шумових спектрах найсучасніших польових транзисторів, зумовленого тунелюванням електронів з валентної зони через ультратонкий ($B' 2,5$ нм) підзатворний діелектрик;
- наявність «1.7 шуму», зумовленого тунельним електронним обміном з пастками, які пов'язані з межою розподілу між підзатворним окислом і полікремнієвим затвором, в умовах двомірного поверхневого квантування.

Одержано нові результати щодо проблеми $1/f$ -шуму:

- встановлено **нове універсальне співвідношення** для $1/f$ –шуму;
- розроблено **нову модель об'ємного $1/f$ -шуму**, який спостерігається у широкому класі діодів та інжекційних лазерів;
- запропоновано **новий механізм поверхневого шуму** в кремнії.

Проведено шумову діагностику сучасних напівпровідникових технологій, в результаті якої:

- розроблено методи шумової характеристики польових транзисторів (MOSFET'ів), виготовлених за 0,35, 0,18, 0,13, 0,1 мкм та 0,9 і 0,65 нм технологіями, в тому числі за сучасними технологіями, які базуються на використанні двовісно і одновісно механічно напруженого кремнієвого шару і підзатворних так званих «high-k» діелектриків, що характеризується великим значенням діелектричної проникності, а також технологіями виготовлення ребристих польових транзисторів (FinFET'ів); при цьому встановлено локалізацію дефектів по довжині і ширині каналу MOSFET'ів, а також по товщині підзатворного діелектрика в MOSFET'ах і FinFET'ах, знайдено кореляцію рівня $1/f$ -шуму з положенням піку концентрації азоту в азотованому тонкому підзатворному окислі відносно межі розподілу Si/SiO₂, виявлено вплив HALO імплантації на короткоканальні шумові ефекти, тощо;
- встановлено шумовий автограф 0,5 μ m і 1,0 μ m SIMOX MOSFET технологій, зумовлений особливостями підзатворної та заглибленої меж розподілу Si/SiO₂;
- виявлено приповерхневі дефекти нового типу, які виявилися специфічною властивістю шарів p-Si, на поверхні якого знаходиться окисел і які являють собою джерело інтенсивного генераційно-

- рекомбінаційного шуму в MOSFET'ах;
- в SiGe/Si біполярних надвисокочастотних гетеротранзисторах виявлено поверхневі пастки, зумовлені в'язким рухом окислу під дією механічної напруги, що виникає в процесі селективного епітаксіального росту колектора, і подавлення цього ефекту імплантацією BF_2 у вбудований польовий окисел;
- для зелених світлодіодів розроблено метод збільшення строку служби і інтенсивності випромінювання, який успішно реалізований виробниками таких діодів;
- в AlGaAs/GaAs надвисокочастотних гетерофототранзисторах встановлено вплив технології нанесення ІТО прозорого контакту на властивості емітерного і колекторного переходів;
- розроблено методи зниження шумового рівня промислових низькочастотних транзисторів, а також неруйнуючого контролю якості та надійності ряду напівпровідникових приладів.

Результати шумових досліджень узагальнено в **трьох монографіях**:

1. Н.Б.Лукьянчикова, «Флуктуационные явления в полупроводниках и полупроводниковых приборах» Радио и связь, М., 1990, 295 с.;
2. N. B. Lukyanchikova, «Noise Research in Semiconductor Physics», Gordon & Breach Science Publishers, London, 1997, 411 p.;
3. «Noise and Fluctuations Control in Electronic Devices», American Scientific Publishers, 2002, chapter 10: N. B. Lukyanchikova, «Sources of the Lorentzian Components in the Low-Frequency Noise Spectra of Submicron Metal-Oxide-Semiconductor Field-Effect Transistors», а також у 215 наукових статтях і доповідях.

Результати шумових досліджень деградаційних процесів було включено до циклу робіт, удостоєних **Державної премії України в галузі науки і техніки за 1995 рік.**

2.2. Результати фізико-технологічних досліджень напівпровідникових матеріалів та приладів

2.2.1. Розробка технології вирощування об'ємних кристалів групи A^2B^6 та їх твердих розчинів і створення оптоелектронних приладів на їх основі (1970-2002 рр.)

Розроблено нову методику високотемпературних досліджень концентрації носіїв струму в кристалі, що знаходиться під регульованим

тиском пари одного з складових компонентів кристалу. Шляхом застосування цієї методики з'ясовано механізми утворення дефектів у кристалах халькогенідів кадмію (на прикладі CdS) за реальних умов їх одержання; обґрунтовано модель утворення асоціатів кадмію, встановлено їх параметри та характер впливу на фізичні властивості кристалів.

Фізично обґрунтовано та розроблено комплекс методів одержання та післяростової термічної обробки крупних монокристалів широкозонних сполук групи A^2B^6 з унікальними властивостями, включаючи:

- нову методику одержання легованих різними домішками (Li, Na, K, Cu, Au, Ag, Au, In, Ga, Cl, I, Mn, Fe, Ni, Co) крупних кристалів, у тому числі методику вирощування сильнолегованих крупних кристалів CdS:Cl з надзвичайно високим ступенем однорідності фізичних характеристик;
- новий метод вирощування крупних однорідних монокристалів твердих розчинів, що складаються з компонентів з далекими значеннями тиску пари при температурі вирощування ($Zn_xCd_{1-x}S$ та $Zn_xCd_{1-x}Se$); одержання таких кристалів дозволило вперше створити лазерні електронно-променеві трубки (квантоскопи) з випромінюванням в синьому спектральному діапазоні;
- принципово новий фізично обґрунтований метод вирощування великих монокристалів сульфіду та селеніду кадмію з унікально високою для цих матеріалів оптичною міцністю (пороговою потужністю руйнування оптичним випромінюванням 300-800 МВт/см²) і низькою густиною включень і дислокацій (менш за 10³ см⁻²); на основі таких кристалів було створено робочі елементи потужних лазерів із збудженням електронним пучком, що мали рекордні за своєю стабільністю параметри.

Розроблено низку напівпровідникових приладів, у тому числі:

- інжекційні світлодіоди на основі низькоомних монокристалів ZnS з випромінюванням у блакитній області спектру, які характеризуються високою ефективністю, низькою робочою напругою та стабільністю світіння; встановлено фізичні механізми протікання струму та модель збудження електролюмінесценції в МДН-структурах, на основі яких створено такі світлодіоди;
- дифузійні планарні хвильоводи на основі монокристалів CdS та ZnS;
- сонячні елементи на основі структур CdS/CdTe, які виготовляються методом трафаретного друку.



Поздоровлення Лук'янчикової Н.Б. з присвоєнням
звання доктора фіз.-мат. наук.

2.2.2. Розробка оптичного германію нового типу та технології його одержання (1999-2009 рр.)

Розроблено оптичний германій нового типу (захищений патентом на винахід), який за своїм домішковим складом та методикою виготовлення докорінно відрізняється від оптичного германію, що виготовляється сучасними світовими фірмами. Розроблений матеріал характеризується низькими величинами оптичного поглинання та світлорозсіювання у інфрачервоному спектральному діапазоні, високим ступенем однорідності оптичних та електричних характеристик, а також однорідності показника заломлення по об'єму кристалів.

Створено повну технологічну лінійку для фізико-технологічних досліджень та дрібносерійного виробництва монокристалів германію і деяких елементів інфрачервоної оптики на його основі, яка включає переробку германієвої сировини різного походження у двооксид германію напівпровідникової чистоти, хімічне відновлення двооксиду германію та одержання металевого германію, зонне очищення металевого германію, легування германію запропонованими для одержання оптичного матеріалу домішками, вирощування моно- та блочних кристалів різної форми та розмірів, калібрування злитків, виготовлення заготовок для вікон і лінз, кількісний контроль електричних і оптичних параметрів кристалів). Лінійка у значній мірі складається з оригінальних технологічних методик та засобів.

Реалізовано комплекс експериментальних методик для дослідження та сертифікації оптичних матеріалів, який включає методики вимірювання електричних параметрів та структурних характеристик матеріалів, а також величин оптичного пропускання та світлорозсіювання у інфрачервоному спектральному діапазоні 2-14 мкм.

Налагоджено дрібносерійне експериментальне виробництво кристалів оптичного германію у формі циліндрів діаметром до 250 мм та прямокутних паралелепіпедів розміром до 120x120x60 мм³. Матеріал, що виготовляється, відповідає найвищим світовим стандартам на оптичний германій.

Укладено та виконуються міжнародні контракти на поставку кристалів оптичного германію з заданими оптичними параметрами, а також створених на їх основі виробів інфрачервоної оптики. Кристали та вироби поставляються до США (головний замовник), Австрії, Німеччини, Росії; виконано також контракти на поставку оптичного германію підприємствам

України. Оптичний германій виготовляється з сировини вітчизняного виробництва.

2.2.3. Наукове узагальнення та впровадження фізико-технологічних розробок

Результати проведених у відділі фізико-технологічних досліджень **узагальнені** у більш ніж 150 наукових статтях, доповідях, патентах та авторських свідоцтвах на винаходи.

Результати розробок по вирощуванню об'ємних кристалів групи A^2B^6 та їх твердих розчинів було **впроваджено** у організаціях електронної промисловості СРСР та установах АН СРСР, а також використано при виконанні міжнародного контракту з фірмою MD Air Space (США).

Результати досліджень по створенню оптичного германію нового типу доведено до рівня **конкурентоспроможного на світовому ринку дрібносерійного виробництва**, реалізованого у ІФН ім. В.Є.Лашкарьова НАНУ. Всього за міжнародними контрактами виконано робіт по вирощуванню та поставці кристалів оптичного германію з заданими характеристиками та виробів з них на суму понад 1,5 млн. доларів США.