

## Відділ № 4

В 1939 році в Інституті фізики АН УРСР був створений відділ фізики напівпровідників, яким керував видатний вчений В.Є Лашкарьов. У цьому відділі починав свою наукову роботу Г.А.Федорус на посаді мол.н. співробітника (1935-1941). Після закінчення ВВВ і демобілізації він



Доктор техн. наук, професор Григорій Аврамович Федорус.

повернувся в Інститут і був зарахований старшим науковим співробітником відділу (1946 р.). У 1950 р. Г.А.Федорус захистив кандидатську дисертацію на тему «Кінетика нелінійної фотопровідності напівпровідників» і був призначений керівником лабораторії фотоелектричних приладів даного відділу.

В жовтні 1960 р. створено Інститут напівпровідників АН УРСР. Тоді ж був утворений відділ фізичних основ фотоелектричних напівпровідникових приладів (відділ № 4), який до 1982 р. очолював доктор техн. наук, професор Григорій Аврамович Федорус. З 1983 р. відділом керує доктор фіз.-мат. наук, професор В.М.Комащенко.

Основний науковий напрямок відділу – дослідження нерівноважних процесів, що протікають у напівпровідниках типу  $A^2B^6$ , гетероструктурах (ГС) та приладах на їх основі під дією світла і іонізуючих випромінювань, а також розробка фізичних і фізико-технологічних принципів створення нових типів фотоелектричних напівпровідникових приладів: фотоприймачів видимого, ультрафіолетового, інфрачервоного випромінювання, детекторів і датчиків іонізуючої радіації та сонячних перетворювачів.

При заснуванні відділу до його складу були зараховані такі

співробітники: В.Д.Фурсенко, М.І.Півторадні, А.І.Марченко, І.В.Маркевич, А.М.Архипова (А.М.Павелець). Кількість співробітників збільшувалась як за рахунок випускників вузів (В.М.Комащенко, С.Ю.Павелець, К.В.Колежук, П.П.Горбик, Г.Г.Шереметова), так і за рахунок співробітників середньої ланки. На момент 1977 року відділ нараховував 31 співробітника: один доктор наук - Г.А.Федорус, зав. від., 8 кандидатів наук (В.Д.Фурсенко, В.М.Комащенко, А.І.Марченко, Чалая В.Г., І.В.Маркевич, С.Ю.Павелець, А.М.Павелець (із них 2 ст.н.співр.- В.Д.Фурсенко, В.М.Комащенко та 6 мол.н.співр.), 8 старших інженерів, 2 інженера, 2 аспіранта, 7 старших техніків, 1 технік і 1 механік високої кваліфікації.

В складі відділу функціонували наступні наукові групи:

1. Група монокристалічних фотоприймачів і датчиків іонізуючого випромінювання (керівник ст.н.співр., канд. фіз.-мат. наук В.Д.Фурсенко).
2. Група полікристалічних фотоприймачів (керівник мол.н.співр., канд. фіз.-мат. наук А.М.Павелець).
3. Група дослідження гетеропереходів (ст.н.співр., канд. фіз.-мат. наук В.М.Комащенко, мол.н.співр., канд.техн. наук А.І.Марченко, мол.н.співр., канд. фіз.-мат. наук С.Ю.Павелець - керівник групи зав. віділом доктор техн. наук - Г.А.Федорус).
4. Група плівкових вузькозонних напівпровідників (керівник ст. інженер К.В.Колежук).

Досягнуте в результаті фундаментальних досліджень розуміння природи нерівноважних процесів, що протікають у напівпровідниках типу  $A^2B^6$  при освітленні, дозволило запропонувати принципово нові методи отримання і активації сульфїду, селенїду і сульфоселенїду кадмїю та створити серїю нових ефективних моно- і полікристалічних фоторезисторів.

- Створено перші в СРСР монокристалічні фоторезистори типів ФСК-М1, ФСК-М2, СКФ-М1, СКФ-М2, СКФ-М3. Використовувались у фотоелектричній автоматичній, на супутниках Землі типу «Космос». Виробник - СКТБ ІФ НАН України (60÷70<sup>тї</sup> роки ХХ-столїття).
- Створено і впроваджено у виробництво нову безвакуумну технологїю масового випуску полікристалічних фоторезисторів ФПФ-7 і ФПФ-9 на основі пульверизованих спечених шарів сульфїду кадмїю. Такі фоторезистори широко використовувались в автоматичній експонетрії фото- і кїноапаратури, у фотоелектричній автоматичній і вимїрювальній технїці. Виробник – завод «Кварц» (м.Чернівці). Тираж – 2 млн.шт./рїк (70÷80

II роки ХХ-століття).

- Розроблено технологію та налагоджено серійне виробництво диференційного позиційно-чутливого фоторезистору ФР-162 для систем автоматичного фокусування.

Виробник – завод «Кварц» (м.Чернівці) (1991 р.).

- З'ясовано природу нерівноважної провідності, що виникає під впливом електронів середніх енергій ( $e$  – провідність). Це дозволило розробити монокристалічні датчики електронних потоків ДЭ-2А з високими експлуатаційними параметрами. Використовувались у промислових експонетричних приладах електронних мікроскопів серії ЭВМ-100 Л (завод електронних мікроскопів, м.Суми).

Виробник – СКТБ ІФН НАН України (1980-1989 р.р.).

- Вивчено особливості рентгенопровідності монокристалів сполук  $A^2B^6$  у широкому діапазоні жорсткості рентгенівського випромінювання.
- Розроблено ефективні напівпровідникові детектори рентгенівського випромінювання ДРМ-2 з унікальними експлуатаційними параметрами. Детектори знайшли широке застосування в якості датчиків експонетричних приладів промислових рентгенівських апаратів РАП-150/30-10, РАП-150-7 (завод «Актюбрентген», м. Актюбінськ, Росія). Економічний ефект від впровадження складав понад 500 000 крб. на рік.

Виробник – СКТБ ІФН НАН України (1980-1989 р.р.).

В подальшому у відділі отримали розвиток дослідження фізичних закономірностей перетворення енергії електромагнітного і корпускулярного випромінювань в електричну енергію у гетеропереходах типу  $p$ -халькогенід міді/ $n$ - $A^2B^6$ , що призвело до формування нового напрямку досліджень – тонкоплівкової фотоелектроніки. До найбільш цікавих наукових і практичних результатів можна віднести наступні.

- З'ясовано закономірності динамічних ефектів (генераційно-рекомбінаційних процесів, механізмів фотоперетворення, транспорту носіїв заряду) у гетеропереходах: виявлено ефект термічної стимуляції фото-е.р.с. та встановлено природу фотовентильного ефекту у сполуках  $A^2B^6$ ; показано, що в механізмах струмопроходження домінують тунельно-рекомбінаційні процеси (при прямому зміщенні) і зінеровське тунелювання (при зворотньому зміщенні); побудовано енергетичні зонні діаграми гетеропереходів різних типів; розроблено методику визначення енергії внутрішньої іонізації прямозон-

них напівпровідників. Створено наукові основи технології вказаних гетеропереходів і узагальнену фізичну модель, що описує всі відомі фотоелектричні, електричні і електролюмінесцентні властивості.

- Розроблено технологію отримання полікристалічних шарів широкозонних сполук  $A^2B^6$  і їх твердих розчинів та фотоперетворювачів на їх основі (передана на завод «Кварц», м. Чернівці, 1985 р.).
- Розроблено детектори електронних потоків та малоінерційні оптронні перетворювачі рентгенівського випромінювання з чутливістю понад 1 мкВ/мкР при ефективній енергії рентгенівського випромінювання 30 кеВ.
- Розроблено і виготовлено 304-елементну реєстраційну лінійку детекторів для першого вітчизняного комп'ютерного рентгенівського томографа (спільно з СКТБ ІФН НАН України; передана у 1985 р. в ІПМЕ АН УРСР, документація передана в секцію прикладних проблем при Президії АН СРСР).
- Розроблено хемілюмінесцентні аналізатори параметрів реакторної води АЕС (у 1983-1984 рр. передані у НВП «Енергія», ВВО «Союзатоменерго» Міненерго СРСР, м. Москва і використані на Калінінській, Південноукраїнській і Рівненській АЕС).
- Розроблено та виготовлено дослідну партію радіаційно-стійких сенсорів видимого та ультрафіолетового (УФ) випромінювання ФПД-1. За результатами тестувань у ведучих метрологічних лабораторіях (фірма «Хамамацу», Японія; ВНДІОФВ, Росія) експлуатаційні параметри сенсорів відповідають світовим стандартам.

Виробник – СКБ «Спектр», ВО «Октава» (м.Київ) (1992-1994 р.р.).

- Розроблено датчики освітленості фотосинтетично-активної радіації (використані на Одеському і Миронівському фітотронах, призначених для селекційного вирощування сільськогосподарських культур).
- Розроблено та виготовлено лабораторні зразки тонкоплівкових сонячних батарей (к.к.д. ~ 10 %) та екологічно безпечних, довгострокових, повністю автономних радіоізотопних джерел живлення для мікроватних приладів функціональної електроніки (1993-1997 р.р., спільно з СКТБ з ДВ НЦ «ІЯД» НАН України).

Останнім часом зростає актуальність ультрафіолетової фотоелектроніки для вирішення проблем екології, промисловості, медицини, біотехнології. Це потребує розробки на основі широкозонних, наприклад, нітридних матеріалів, сенсорів УФ випромінювання нового покоління, які на відміну від тра-

диційних кремнієвих не чутливі до видимого і інфрачервоного випромінювання. Але стримуючим фактором широкомасштабного промислового випуску таких сенсорів є дорога технологія виробництва. Виготовлення технологічно дешевших фотоперетворювачів на основі широкозонних ZnS і ZnSe здавалось мало перспективним внаслідок монополярності провідності, що унеможлиблює отримання якісного гомогенного *p-n*-переходу, і відсутності серед сполук  $A^2B^6$  матеріалів з близькими постійними кристалічної ґратки, що є необхідною передумовою створення ефективної гетероструктури. Вихід із становища було знайдено шляхом епітаксимального вирощування ГС з субмікронними фоточутливими і нанометровими перехідними багатокомпонентними прошарками змінного хімічного складу. Це забезпечило низьку концентрацію дефектів невідповідності на міжфазних поверхнях і дозволило вперше в світі отримати близькі до ідеальних за своїми електричними і фотоелектричними властивостями багатошарові ГС в системі ґратко-неузгоджених широкозонних сполук  $A^2B^6$ . Було показано, що зовнішня квантова ефективність, яка характеризує якість фотоперетворювача, може наближатись в таких структурах до теоретичної межі.

Виявлено, що особливістю ГС типу  $p-A_1B_6/n-A_2B_6/n-A_2B_6$  є наявність у валентній зоні додаткових потенціальних бар'єрів, які обумовлені розривами енергетичних зон на міжфазних поверхнях внаслідок різних значень енергії електронної спорідненості та ширини забороненої зони складових структури. Встановлено, що варіація параметрів ГС дозволяє свідомо змінювати їх властивості і конструювати фотоперетворювачі з наперед заданими властивостями, зокрема, для потреб УФ фотоелектроніки.

В творчій співдружності із спеціалістами ВАТ «Науково-виробниче підприємство «Сатурн» вперше створено в полікристалічному виконанні параметричний ряд широкополосних і селективних ультрафіолетових сенсорів нового покоління з параметрами на рівні кращих світових монокристалічних зразків на основі нітридних матеріалів. Тонкоплівковий варіант виготовлення, на відміну від монокристалічного, забезпечує у десятки разів менші витрати матеріалів і нижчу собівартість.

У відділі захищено 3 докторські (Г.А.Федорус, 1974 р.; В.М.Комащенко, 1985 р.; С.Ю.Павелець, 1990 р.) та 16 кандидатських дисертацій, отримано більше 40 авторських свідоцтв і патентів. Доктор техн. наук Г.А.Федорус отримав звання Заслуженого діяча науки і техніки. За наукові досягнення співробітники відділу отримали 2 Державні премії в галузі науки і техніки: у 1981 р. - Г.А.Федорус за участь у комплексних дослідженнях оптичних і

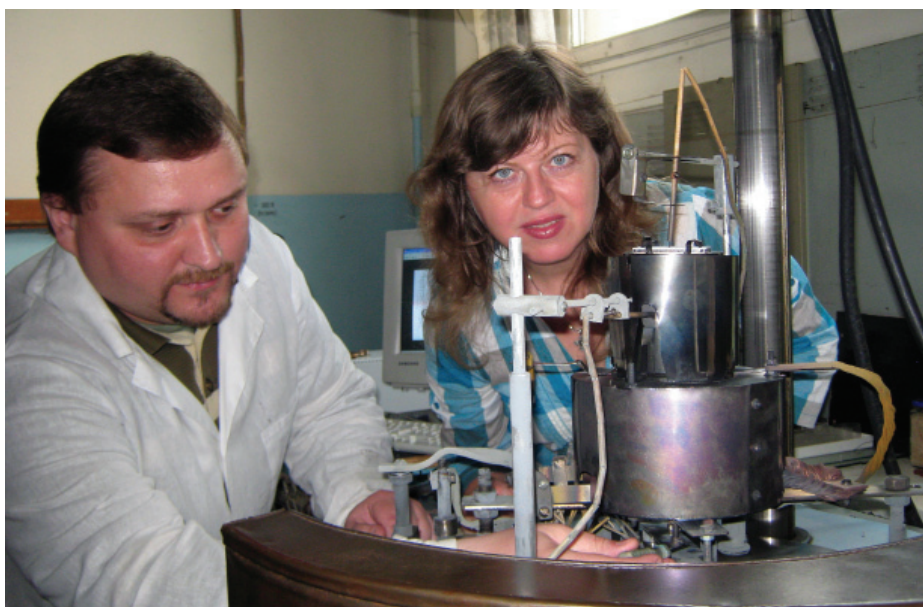
фотоелектричних властивостей напівпровідникових сполук елементів другої і шостої груп періодичної системи; у 2007 р. - В.М.Комащенко, як співавтор колективної праці в галузі створення новітніх матеріалів.



Доктор техн. наук Г.А.Федорус (у центрі), кандидати фіз-мат. наук В.Д. Фурсенко і М.О.Мазін вивчають результати експериментів по детекторам для комп'ютерної томографії (1984 р.).



Кандидати фіз.-мат. наук А.І. Марченко, С.Ю. Повелець і В.М. Комащенко на даху Інституту проводять натурні випробування розроблених сонячних батарей (виготовлені спільно з СКТБ ІФН НАНУ 1977 р.)



Підготовка технологічного експерименту по епітаксимальному вирощуванню багат шарових гетероструктур (Кандидат техн. наук Т.В.Семікіна і провідний інженер В.П.Косарев, 2010 р.)