

КОРОТКА ІСТОРІЯ
наукової школи з фізико-хімічних проблем напівпровідникового
матеріалознавства Прикарпатського національного університету
імені Василя Стефаника

Наукові інтереси до питань фізики і технології тонких напівпровідникових плівок були започатковані ще 1964 року під час навчання в аспірантурі Львівського державного університету імені Івана Франка за пропозицією наукового керівника Ярослава Йосиповича Дутчака, доктора фізико-математичних наук, професора, завідувача кафедри рентгенометалофізики. Тоді разом із професором Миколайчуком О.Г., моїм науковим співкерівником, проводились дослідження структури тонких плівок халькогенідів ртуті, сульфідів кадмію і цинку методами електронографії. Результати досліджень були опубліковані в „Українському фізичному журналі” та „Кристалографії”.

Особлива прив’язаність до тонких плівок халькогенідів олова (SnTe, SnSe, SnS) пов’язана з відрядженням у м. Баку разом із проф. Дутчаком Я.Й. з приводу захисту його докторської дисертації. Азербайджанські колеги подарували нам синтезовані злитки цих сполук, які й послуговували для вирощування тонких плівок із парової фази вакуумними методами. Набутий попередній експериментальний досвід дав змогу за короткий проміжок часу провести комплексні дослідження структури і властивостей плівок халькогенідів олова. Одержані результати були синтезовані в кандидатській дисертації “Структура і електрофізичні властивості деяких напівпровідникових сполук $A^{IV}B^{VI}$ і $A^{II}B^{VI}$ у тонких плівках” (Львів, 1968). Так завершився перший етап робіт із тонкоплівкового матеріалознавства.

Другий етап (1968 р.) розпочався вже в Івано-Франківському інституті (тепер – Прикарпатському національному університеті імені Василя Стефаника), до якого я повернувся після закінчення аспірантури. Тут необхідно було починати все заново – створити колектив, придбати устаткування, розробити технологію і методи дослідження. Новий напрям наукових робіт підтримали кандидат педагогічних наук, доцент Гайдучок Г.М., інженери Войтків В.В., Олеськів С.П., студенти Возняк О.М., Максим’як Л.Б., Ключевський П.П. Це був романтичний період. Налагоджувалися творчі зв’язки з науковими і навчальними закладами та виробничими підприємствами України в тоді ще Радянському Союзі. Основним досягненням створеної наукової школи слід вважати запропонований новий напрям подальших наукових досліджень. Він стосувався розробки технології тонких плівок твердих розчинів на основі сполук $A^{IV}B^{VI}$ та всебічного дослідження особливостей формування їх структури та фізичних властивостей. Серед перших успішних учнів варто відзначити Галушак М.О., Бродин І.І., Солоничного Я.В., Костика Б.Ф. Значний внесок у проведенні досліджень на перших етапах виконання робіт внесли Белей М.І. та Масляк М.Т. Особливо сприяли проведенню наукових досліджень широким фронтом (вирощування плівок, дослідження їх морфології поверхні та структури, визначення основних зонних параметрів на основі вивчення кінетичних явищ) технологічні розробки Нича Б.А. та Павлюка М.Ф. У 80-90 рр. ХХ ст. успішно виконали і захистили кандидатські дисертації Галушак М.О. (Львів, 1977), Бродин І.І. (Львів, 1978), Олеськів С.П. (Львів, 1982), Солоничний Я.В. (Чернівці, 1982), Костик Б.Ф. (Чернівці, 1983), Шперун В.М. (Львів, 1983), Перкатюк І.Й. (Львів, 1985), Межиловська Л.Й. (Львів, 1990).

Особливо слід відзначити плідне науково-виробниче і товарицьке співробітництво з „Родоном” – тоді передовим підприємством мікроелектроніки СРСР. Значні технологічні можливості заводу сприяли розв’язанню прикладних аспектів, про що свідчать дисертаційні роботи головного технолога Остапчука А.І. (Львів, 1989), начальника центрально-заводської лабораторії Школьного А.К. (Львів, 1990) та генерального директора заводу Августимова В.Л. (Кишинів, 1988). У нашій лабораторії дослідження активних елементів оптоелектроніки на основі плівок халькогенідів свинцю велися за участю Чобанюка В.М. (Львів, 1988), Добровольської А.М. (Чернівці 1996), Ткачука Р.З., які забезпечували методичні та теоретичні аспекти. Технологічні деталі були реалізовані Павлюком М.Ф. та Ничем Б.А. разом зі Школьним А.К. і Остапчуком А.І. (завод „Родон”) та нашими співробітниками Межиловська Л.Й. (Львів, 1990), Огородник Я.В. (Чернівці,

1993), Салій Я.П. (Чернівці, 1994 р.), які виконали важливий цикл робіт із вивчення впливу радіаційного опромінення на структуру, електричні властивості і деградаційні процеси в тонких плівках $A^{IV}B^{VI}$, а також оптимізації параметрів великих мікросхем на основі кремнію. Зауважу, що для цієї мети була створена окрема радіаційна лабораторія. Теоретичний аналіз радіаційного дефектоутворення у плівках сполук $A^{IV}B^{VI}$ розроблений у роботах Салія Я.П., в яких на основі запропонованих кінетичних рівнянь і моделі взаємної рекомбінації френкелівських пар пояснено залежності концентрації носіїв заряду в радіаційно опромінених альфа-частинками тонких плівках $A^{IV}B^{VI}$ від дози опромінення та температури ізохронного відпалу. Визначено енергії активації процесів і порядок реакції. Зараз над цією проблемою працює аспірант Фреїк І.М. Крім того, прикладні аспекти тонкоплівкового матеріалознавства сполук $A^{IV}B^{VI}$ конкретизовані в дисертаційних роботах Белея М.І. (Чернівці, 1996), Шепетюка В.А. (Львів, 1998), Запухляка Р.І. (Івано-Франківськ, 1999). На всіх етапах виконання робіт особлива увага приділялася технології тонких плівок – Прокопів В.В. (Чернівці, 1996), Лоп'янка М.А. (Івано-Франківськ, 1999). Це, зокрема, стосується розробок різних вакуумних методик вирощування плівок із парової фази, а також математичного планування і оптимізації багатофакторного експерименту. Підсумком значної частини проведених досліджень була докторська дисертація Фреїка Д.М. “Фізико-хімічні властивості і кристалічна структура епітаксійних шарів сполук групи $A^{IV}B^{VI}$ і твердих розчинів на їх основі, вирощених із парової фази” (Москва, 1984). На цьому можна завершити короткий екскурс другого етапу виконання робіт з фізики і технології тонких плівок сполук $A^{IV}B^{VI}$ в нашому університеті.

Тепер про третій етап досліджень, який вже, починаючи з 1993 року, був чітко окреслений. Основний науковий напрямок робіт пов'язаний із дослідженнями дефектної підсистеми, моделюванням домінуючих точкових дефектів при вирощуванні тонких плівок $A^{IV}B^{VI}$ та їх легуванні, взаємодії із зовнішнім середовищем. Так, зокрема, для пояснення експериментальних результатів запропоновано реалізацію у плівках складного спектра зарядових станів точкових дефектів у катіонній підґратці та необхідність врахування внутрішніх напружень і впливу на них роду підкладок. З'ясовано механізм утворення металічної фази у квазірівноважних умовах осадження, що пов'язаний із дисоціацією сполук при випаровуванні і накопиченням міжвузлових атомів металу в локальних областях плівки. Розроблено моделі і механізми утворення власних і домішкових точкових дефектів у легуваних плівках халькогенідів свинцю. На основі квазіхімічного і термодинамічного аналізу показано, що легуюча дія домішки елементів III групи в епітаксійних плівках добре описується в рамках явища самокомпенсації. Визначено константи рівноваги та ентальпії утворення дефектів. Створена фізична модель для пояснення механізму утворення двошарової р-п-структури в ізотермічно відпалених у вакуумі та атмосфері кисню плівках халькогенідів свинцю на основі уявлень про генераційно-рекомбінаційний механізм та амбіполярну дифузію вакансій халькогену і електронів за умови заміщення халькогену киснем з утворенням вакансій свинцю і входження йонів кисню у міжвузловину.

На основі цих робіт, виконаних у співавторстві з проф. Рувінським М.А., доц. Прокопівим В.В., доц. Салієм Я.П., захищено ряд кандидатських дисертацій (Ліщинський І.М. (Чернівці, 1997), Матеїк Г.Д. (Луцьк, 1998), Пиц М.В. (Івано-Франківськ, 2001), Павлюк Л.Р. (Івано-Франківськ, 2002), Рувінський Б.М. (Івано-Франківськ, 2003), Фреїк А.Д. (Луцьк, 2004), Калитчук І.В. (Івано-Франківськ, 2004) Гамарник А.М. (Івано-Франківськ, 2005)). Значний внесок комп'ютерного моделювання процесів дефектоутворення у тонких плівках вніс інженер Козич О.В. Докторська дисертація Галушчака М.О. ”Механізми дефектоутворення та модифікація властивостей напівпровідникових плівок сполук $A^{IV}B^{VI}$ ” (Суми, 2004) підсумовує результати проведених досліджень.

Наукова школа професора Фреїка Д.М.



У наукових лабораторіях Фізико-хімічного інституту та кафедри фізики і хімії твердого тіла Прикарпатського національного університету імені Василя Стефаника

Коротка історія наукової школи професора Фреїка Д.М.

Окремо слід відзначити роботи, пов'язані із вивченням напрямлених неоднорідностей у структурі та електричних параметрах, що виникають у плівках при їх вирощуванні та під впливом зовнішніх полів (Довгий О.Я., Івано-Франківськ, 2002), розмірних ефектів (Калинюк М.В., Івано-Франківськ, 2000). Зараз виконуються роботи, що стосуються дослідження особливостей явищ переносу і механізмів розсіювання носіїв струму у плівках сполук $A^{IV}B^{VI}$ (Дзундза Б.С., Пасічняк В.Ф., Кланічка Ю.В., Яворський Я. С.) та епітаксійних двошарових гетероструктурах (Соколов О.Л.). Не можна не сказати і про нову добу фізики вже XXI ст. – нанофізику. Хочеться думати, що це буде складати четвертий етап у наукових пошуках школи. Над розробкою нових нанотехнологій і наноматеріалів працюють докторанти Лоп'янка М.А., Яцишин Б.С., аспіранти Гриджук М.Я., Никируй Р.І., Харун Л.Т. Робота продовжується, є нові ідеї, необхідно шукати можливості їх реалізації.

Поряд із основним, традиційним, напрямком наукових досліджень із проблем тонкоплівкового напівпровідникового матеріалознавства, ведуться й інші роботи. Серед них слід відзначити вивчення транспортних явищ у напівпровідникових кристалах, які успішно започаткував Никируй Л.І. (Луцьк, 2004) і продовжують Нижникевич В.В. та Ільків О.І. Крім того, досить успішним досягненням наукової школи є вивчення кристалохімії точкових дефектів у кристалах $A^{II}B^{VI}$ та $A^{IV}B^{VI}$ і твердих розчинів на їх основі. Перші роботи були започатковані разом із Прокоповим В.В. та Павлюком Л.Р. У подальшому під керівництвом проф. Дмитра Фреїка і доц. Володимира Прокопіва виконано ряд дисертаційних робіт: Михайльонка Р.Я. (Івано-Франківськ, 2004), Писклинець У.М. (Івано-Франківськ, 2005), Бойчук В.М. (Івано-Франківськ, 2005), Дмитрів А.М. (Івано-Франківськ, 2006), Іванишин І.М. (Івано-Франківськ, 2006), Галюк О.В. (Івано-Франківськ, 2007). Над цією проблемою зараз працюють науковий співробітник Горічок І.В. (надзвичайно обдарований, перспективний науковець), аспіранти Бабушак Г.Я., Прокопів В.В. (мол.), Ваньчук В.Б., Хацевич І.М., Данилишин М.О., інженер Борик В.В., студенти Туровська Л.В., Сташко Н.В. та гімназистка Фреїк Н.Д. Щасливої їм усім подальшої подорожі в нелегкому науковому, але надзвичайно привабливому світі!

Дмитро Фреїк

16 січня 2008 р.
м. Івано-Франківськ