

## БЕЛЯЄВ

**Олександр Євгенович** — академік НАН України, завідувач відділу електричних і гальваноманітних властивостей напівпровідників Інституту фізики напівпровідників ім. В.Є. Лашкарьова НАН України

**ВАЛАХ Михайло Якович** — член-кореспондент НАН України, головний науковий співробітник Інституту фізики напівпровідників ім. В.Є. Лашкарьова НАН України

## ЮХИМЧУК

**Володимир Олександрович** — доктор фізико-математичних наук, професор, завідувач відділу оптики і спектроскопії Інституту фізики напівпровідників ім. В.Є. Лашкарьова НАН України



Михайло Павлович Лисиця  
(1921–2012)

# ФУНДАТОР І КЕРІВНИК НАУКОВОЇ ШКОЛИ З ОПТИКИ І СПЕКТРОСКОПІЇ

## До 100-річчя від дня народження академіка М.П. Лисиці

*15 січня виповнилося 100 років від дня народження знаного українського вченого в галузі оптики і спектроскопії, талановитого наставника молодих науковців, двічі лауреата Державної премії України в галузі науки і техніки (1981, 1986), заслуженого діяча науки і техніки України (1991), лауреата Золотої медалі імені В.І. Вернадського НАН України (2010), доктора фізико-математичних наук (1961), професора, академіка НАН України (1982) Михайла Павловича Лисиці.*

Михайло Павлович Лисиця впродовж 50 років, з 1961 по 2012 р., працював в Інституті фізики напівпровідників ім. В.Є. Лашкарьова НАН України, де організував і тривалий час очолював відділ оптики і спектроскопії напівпровідників і діелектриків. Його наукові інтереси і досягнення не обмежувалися дослідженнями напівпровідникових матеріалів. Це був фізик з широким кругозором, а оптика і спектроскопія були для нього професійними методами дослідження багатьох явищ і ефектів навколишнього світу.

Ще на початку своєї наукової діяльності у Київському державному університеті ім. Т.Г. Шевченка Михайло Павлович одержав багато цікавих і важливих результатів з оптики надтонких шарів металів, спектроскопії органічних рідин, а також зі створення поляризаторів інфрачервоного випромінювання. Разом зі своїми дипломниками й аспірантами він розпочав дослідження з оптики напівпровідників, які з 1961 р., після його переходу у щойно організований академічний Інститут напівпровідників, стали одним з головних напрямів його діяльності.

М.П. Лисиця одним з перших серед оптиків України звернувся на початку 1960-х років до проблематики лазерної фізики і нелінійної оптики. Пізніше він став фактично першим з українських учених, хто оцінив майбутнє значення волоконної оптики і написав зі своїми учнями першу у світі монографію «Волоконна оптика», яку невдовзі було перекладено англій-



М.П. Лисиця (справа) з бойовим товаришем під час війни. 1945 р.

ською мовою. Вже у солідному віці Михайло Павлович зацікавився проблемою взаємодії електромагнітного випромінювання з біологічними об'єктами. М.П. Лисицю як вченого завжди вирізняли широта наукових інтересів і результативність роботи, а тому цілком справедливим є офіційне формулювання «за визначні досягнення в оптиці і спектроскопії», з яким у 2010 р. йому було присуджено найвищу нагороду НАН України — Золоту медаль імені В.І. Вернадського. Значно раніше з подібним обґрунтуванням — «визначному спектроскопісту» його було удостоєно почесної академічної нагороди Чехословаччини — медалі Йоганнеса Маркуса Марці.

Михайло Павлович Лисиця народився в 1921 р. на Житомирщині в селянській родині. Після закінчення середньої школи вступив до Київського педагогічного училища. Завершивши освіту, деякий час викладав українську і російську мови у неповній середній школі Фастова. Потім у Києві вступив на робітфак, після закінчення якого влітку 1939 р. став студентом фізико-математичного факультету Київського університету. Але вже восени його призвали до армії. М.П. Лисиця брав участь у Другій світо-

вій війні, був нагороджений бойовими орденами та медалями. Війну закінчив під Прагою. Після демобілізації повернувся до навчання на фізичному факультеті Київського університету, після закінчення якого, у 1950 р., вступив до аспірантури за спеціальністю «оптика».

У 1953 р. М.П. Лисиця захистив кандидатську дисертацію, працював старшим викладачем, а потім доцентом кафедри експериментальної фізики. У 1961 р. захистив докторську дисертацію, і того ж року академік В.Є. Лашкар'єв запросив його у щойно створений академічний Інститут напівпровідників для організації відділу оптики. Водночас ще понад 10 років Михайло Павлович продовжував за сумісництвом викладацьку роботу на фізичному факультеті, читав спецкурси і керував науковою роботою аспірантів.

Організація відділу оптики збіглася в часі з однією з найвизначніших подій ХХ ст. у галузі оптики — винаходом лазерів. М.П. Лисиця відразу ж оцінив історичне значення й перспективу цього відкриття. Тому основний науковий напрям відділу, пов'язаний з вивченням енергетичної структури напівпровідникових сполук оптичними спектроскопічними методами, було доповнено дослідженнями з оптичної квантової електроніки та нелінійної оптики. У 1962 р. під керівництвом М.П. Лисиці М.Р. Куліш створив потужний рубіновий лазер, практично одночасно з групою, яка працювала в Інституті фізики під керівництвом В.Л. Броуде. Це стало важливою подією в науковому житті обох інститутів. Можна сказати, що в «лазерних перегонах» київський проспект Науки, де розташовані обидві установи, виявився осередком лідерства в Україні.

Резонанс серед учених у зв'язку з відкриттям і створенням лазерів був настільки великий, а перспективи їх практичного використання настільки очевидні, що в Академії було створено нову наукову раду з проблеми «Квантова електроніка». Зважаючи на важливість цього напрямку керував нею сам президент АН УРСР академік Б.Є. Патон. Своїм заступником він призначив М.П. Лисицю. Михайло Павлович ініціював створення і став головним редакто-

ром періодичного видання — збірника «Квантова електроніка». Всесоюзний журнал з аналогічною назвою, який редагував майбутній нобелівський лауреат академік О.М. Прохоров, з'явився у Москві пізніше.

Вирішення завдань квантової електроніки стало додатковим стимулом для активізації робіт з фізики напівпровідників у 60-ті роки. Справа в тому, що наявні на той час дані з оптики та фотоелектрики напівпровідників не залишали сумнівів у їх перспективності як активних середовищ для генерації, керування та реєстрації лазерного випромінювання. Як найбільш реальні сполуки розглядали і напівпровідники типу  $A^2B^6$ , в одержанні та дослідженні яких Інститут напівпровідників АН УРСР посідав провідні позиції. Зокрема, Інститут був співвиконавцем кількох тем, що виконувалися згідно з постановами Державного комітету з науки й техніки СРСР. Відділ оптики під керівництвом М.П. Лисиці здійснював необхідні для створення електрооптичних модуляторів прецизійні спектральні дослідження дисперсії показника заломлення і подвійного променезаломлення кристалів  $CdS_xSe_{1-x}$  різного компонентного складу. Значний резонанс мав запропонований і реалізований у відділі метод модуляції добротності лазерного резонатора при введенні в нього напівпровідникового нелінійного оптичного елемента. Для рубінового лазера це були пластинки кристалів типу  $A^2B^6$ , що просвітлялися за певної інтенсивності лазерного випромінювання, результатом чого було отримання на виході лазера гігантського підсилення його пікової потужності. Мав практичне значення і запропонований метод використання нелінійно-поглинаючих і оптично активних напівпровідникових пластинок для обмеження потужності, стабілізації й корекції просторово-часового розподілу інтенсивності лазерних пучків. Зазначені результати були частиною широкого фронту робіт з фізики напівпровідників типу  $A^2B^6$ , що велися в 60–70-ті роки в Інституті і в 1981 р. були відзначені Державною премією України в галузі науки і техніки, одним з лауреатів якої став М.П. Лисиця.

Дослідження з квантової електроніки та взаємодії лазерного випромінювання з напівпровідниками становили лише один напрям наукової тематики відділу оптики. Більша частина співробітників відділу займалася оптикою та спектроскопією напівпровідників і діелектриків з метою встановлення особливостей їх енергетичної структури, зумовленої різними типами елементарних і колективних збуджень. Цілком природно, що на постановку цих досліджень і їхню спрямованість не міг не впливати попередній науковий досвід керівника відділу. За кілька років до переходу Михайла Павловича до Інституту напівпровідників його університетські аспіранти й дипломники вже почали використання ІЧ-спектроскопії в дослідженні напівпровідників. Тому не дивно, що у відділі одразу було створено дослідницьку групу з інфрачервоної спектроскопії. Це були одні з перших у країні інфрачервоні дослідження напівпровідникових кристалів. При цьому вирішувалося кілька завдань.

Насамперед розпочаті ще в університеті М.П. Лисицею і його аспірантом О.В. Вакуленком дослідження поглинання випромінювання вільними носіями заряду в кремнії та германії було поширено на сполуки  $A^3B^5$  і  $A^2B^6$  і доповнено вимірами інфрачервоного плазмового відбивання вільними носіями. Цей цикл досліджень тоді був особливо актуальним у зв'язку з проведенням у світі інтенсивних теоретичних та експериментальних робіт зі створення напівпровідникових лазерів (у ФІАН СРСР ці роботи велися під керівництвом майбутнього нобелівського лауреата М.Г. Басова). Саме поглинання вільними носіями в напівпровідниках було негативним фактором, який ускладнював генерацію когерентного випромінювання на міжзонних переходах. У результаті перші у світі спроби використати міжзонні переходи у непрямозонних кремнії і германії виявилися безперспективними через те, що підсилення не компенсує активні втрати, пов'язані з поглинанням на вільних носіях. У прямозонних сполуках  $A^3B^5$  і  $A^2B^6$  ситуація, навпаки, виявилася сприятливою.



Аспірант М.П. Лисиця проводить науковий експеримент

Інший напрям досліджень, які проводив М.П. Лисиця зі співробітниками в той період у групі інфрачервоної спектроскопії, стосувався впливу ефектів розупорядкування й легування на фундаментальні оптичні характеристики напівпровідників. З дією цих факторів пов'язували суперечливість багатьох експериментальних даних, отриманих на однакових напівпровідниках у різних лабораторіях світу. Особливо критичним у цьому плані було отримання даних з крайового поглинання напівпровідників. Виконані у відділі дослідження сильнолегованих кристалів CdS зняли протиріччя між багатьма результатами з крайового поглинання сильнолегованих напівпровідників. Було показано, що в цьому випадку висока концентрація вільних носіїв заряду потребує врахування не лише добре відомого оптичного ефекту Бурштейна–Мосса, а й розглянутої теоретично В.Л. Бонч-Бруєвичем обмінної взаємодії носіїв. Оскільки остання, на відміну від ефекту Бурштейна–Мосса, спричиняє ефективне зменшення, а не збільшення енергій міжзонних переходів, результуючий ефект зсуву краю поглинання може змінювати знак зі зміною дози легування.

Нарешті, третім, найбільш масштабним напрямом досліджень, що розпочалися з використанням ІЧ-спектроскопії і тривають до сьогодні на основі вищезазначеного методу та ме-

тоду комбінаційного розсіювання світла (КРС), є спектроскопія коливальних збуджень у твердих тілах. Вона стала логічним продовженням університетських робіт М.П. Лисиці зі спектроскопії коливальних молекул і встановлення ролі резонансних взаємодій. Після його переходу в Інститут акцент було зроблено на вивченні спектроскопічних проявів резонансів у кристалічній фазі речовини. У цьому випадку крім можливого внутрішньомолекулярного ангармонічного резонансу Фермі набуває значення і міжмолекулярна взаємодія. З огляду на це ідея розвинутого ним підходу полягала в розгляді внутрішньомолекулярного коливання як коливного екситону типу Френкеля і використанні відомих уявлень про міжмолекулярний резонанс, розвинених академіком О.С. Давидовим. Можливе різноманіття результуючих коливальних спектрів кристала при цьому визначається співвідношенням ферміївського (внутрішньомолекулярного ангармонічного) і давидовського (міжмолекулярного екситонного) розщеплень. М.П. Лисиця і А.М. Яремко розвинули квантово-механічну теорію результуючого резонансу, який отримав назву комбінованого резонансу Фермі–Давидова і був узагальнений у їхній монографії «Резонанс Фермі».

Іншим напрямом досліджень з коливної спектроскопії було вирішення проблеми локальних коливань домішкових центрів у різних типах діелектричних і напівпровідникових кристалів та перебудови фононних і поляритонних спектрів у змішаних багатокомпонентних напівпровідниках, які з часом стали поширеними матеріалами мікро- і оптоелектроніки. Було встановлено принципове значення прояву ангармонічних резонансів у спектральних особливостях коливних спектрів за їх компонентних та температурних змін. Цим питанням були присвячені дисертації численних учнів Михайла Павловича – понад 20 докторів і близько 50 кандидатів наук.

Принципово, що в напівпровідникових кристалах, на відміну від класичного внутрішньомолекулярного резонансу Фермі для дискретних станів, зонний характер фоно-



Кафедра оптики під час роботи М.П. Лисиці в Київському державному університеті ім. Т.Г. Шевченка. Зліва направо: 1-й ряд — доц. М.У. Білий, асп. С.М. Рудько, проф. О.А. Шишловський, доц. І.І. Кондіденко, ст.лаб. В.Г. Авраменко, доц. О.М. Файдиш, доц. А.А. Шаталов; 2-й ряд — ст. викладач М.Г. Цвеліх, асп. Б.Ф. Рудько, асистент О.М. Борбат, доц. І.С. Горбань, ст.викл. І.Я. Кучеров, доц. М.П. Лисиця, доц. В.П. Головченко, ст. викл. М.Т. Костишин. 1959 р.

них спектрів кристалів спричиняє прояв резонансного змішування у специфічному вигляді резонансу Фано з можливим характерним антирезонансним спектральним провалом. Зазвичай він спостерігався раніше в автоіонізаційних атомних спектрах, а задовго до цього його теоретично обґрунтували Г. Брейт і Ю. Вігнер у ядерній фізиці. Численні експериментальні прояви такого резонансу у фононних спектрах напівпровідникових кристалів спостерігали в Інституті учень Михайла Павловича М.Я. Валах та учень останнього О.П. Литвинчук, який у 32 роки став наймолодшим доктором наук в ІФН.

Більшість зазначених вище результатів і розвинених нетрадиційних для напівпровідників підходів до їх інтерпретації були зумовлені заданою Михайлом Павловичем широтою тематики робіт у частині як досліджуваних явищ, так і досліджуваних матеріалів. Останні не обмежувалися класичними на той час напівпровідниковими кремнієм і германієм та головними для багатьох відділів Інституту сполуками  $A^2B^6$  і  $A^3B^5$ . М.П. Лисиця вважав важливим і перспективним для майбутньої

електроніки і карбід кремнію. Він організував у відділі групу з його вивчення, яка виконувала фундаментальні оптичні дослідження, а також технологічні прикладні розробки дуже стійких в експлуатації світлодіодів в інтересах кількох міністерств. І в цьому напрямі ідеї Михайла Павловича випередили час. Наприклад, нині дуже популярними є ліхтарі з карбід-кремнієвими над'яскравими світлодіодами, які світять на кілька сотень метрів. Зокрема, ними користуються американські поліцейські.

Карбід кремнію виявився досить цікавим об'єктом і для фундаментальних досліджень комбінаційного розсіювання світла. Аналіз фононних спектрів різних політипів SiC на основі уявлень про будову зони Бріллюена, зумовленої надперіодичністю, почали використовувати ще наприкінці 60-х років, задовго до того, як такий підхід став стандартним при розгляді фононних проблем напівпровідникових надґраткових наноструктур. Саме тому співробітникам відділу оптики, що проводили дослідження з КРС, так легко згодом було долучитися до вивчення напівпровідникових надґраток.



На науковій конференції. Зліва направо: академік НАН України М.П. Лисиця, член-кореспондент НАН України М.У. Білий і академік НАН України І.С. Горбань. 1983 р.

Широта досліджень і обсяг фундаментальних і прикладних результатів з карбиду кремнію були настільки значними, що в 1993 р. Інститут висунув відповідний цикл робіт на здобуття Державної премії України в галузі науки і техніки. Серед лауреатів премії були співробітники відділу Л.Й. Бережинський, М.Я. Валях і О.Т. Сергєєв.

Привнесення М.П. Лисицею в оптику і спектроскопію напівпровідників уявлень, що традиційно використовувалися в інших розділах спектроскопії, та модифікація їх, виходячи з особливостей хімічного зв'язку і структури напівпровідникових кристалів, виявилися плідними і в дослідженні широкого класу так званих шаруватих напівпровідників. Чудова інтуїція Михайла Павловича, що спиралася на його глибокі знання в різних розділах фізики і оптики твердого тіла, не підвела його і при започаткуванні у відділі нового напрямку, а саме вивчення оптичних та структурних властивостей шаруватих матеріалів. Він вважав, що при їх вивченні можна отримати цікаві нові відомості як фундаментального, так і прикладного характеру, і навіть приніс з мінералогічного музею Київського університету кілька зразків шаруватих кристалів, на яких було розпочато оптичні дослідження. З часом у деяких наукових установах і університетах України, а також за кордоном було отримано свідчення,

що такі сполуки дійсно перспективні для використання в голографічному записі інформації, для створення електричних конденсаторів і батарей, в інтеркаляційних пристроях. На основі виконаних в ІФН досліджень фононних спектрів таких кристалів було розвинуто загальний підхід до динаміки їхньої ґратки, що враховує істотну різницю між силами внутрішньошарових і міжшарових взаємодій (останні мають переважно ван-дер-ваальсовий характер). Цікаво, що такий підхід, запропонований М.П. Лисицею зі співробітниками, було викладено у статті в «Українському фізичному журналі» практично одночасно з публікацією американських авторів у *Physical Review*. Пізніше, у 2001 р. групі українських науковців з різних організацій за дослідження з фізики напівпровідників із шаруватою структурою було присуджено Державну премію України в галузі науки і техніки. Серед її лауреатів були 3 співробітники відділу Михайла Павловича (С.С. Іщенко, Ф.В. Моцний і А.М. Яремко).

Непересічний таланти М.П. Лисиці як організатора наукової школи з оптики напівпровідників полягав у тому, що він найбільше цінував і заохочував у своїх учнів прагнення до пошуку принципово нових фізичних явищ, експериментального підтвердження нових оптичних ефектів, передбачених теоретично. Прикладом цього може слугувати виконаний у відділі цикл досліджень з нелінійних поляризаційних явищ у кристалах. Свого часу Михайло Павлович звернув увагу на теоретичне передбачення, зроблене співробітниками Московського державного університету ім. М.В. Ломоносова С.А. Ахмановим і В.І. Жариковим, можливої нелінійної оптичної активності в кристалах, яка залежить від інтенсивності лазерних пучків великої інтенсивності. Він припустив можливе резонансне підсилення нелінійної гіротропії у кристалах дифосфідів цинку і кадмію, що вивчалися у відділі, і запропонував експериментальний пошук ефекту. Ідею було реалізовано у групі І.В. Фекешгазі, і додатковий нелінійний поворот площини поляризації було знайдено і досліджено. Малоінерційність цього ефекту дала змогу розробити коректо-

Обговорення наукових планів у відділенні оптики і спектроскопії ІФН. Зліва направо: М.П. Лисиця, М.Я. Валах, Г.Г. Тарасов, Ю.О. Первак, А.М. Яремко, В.О. Юхимчук, С.В. Вірко. 2000 р.



ри часового розподілу інтенсивності лазерних пучків, що дозволяють здійснювати стабілізацію їхньої інтенсивності.

Інший принципово новий клас поляризаційних явищ було передбачено в Інституті в результаті спільних робіт теоретичного відділу та відділу оптики під час теоретичних досліджень особливостей релаксації вироджених локалізованих фононних та електронних збуджень у резонансному електромагнітному полі (М.І. Дикман, Г.Г. Тарасов). Виявилось, що анізотропна оптична нелінійність може виникати у високосиметричних середовищах. Реальність такої ситуації було експериментально підтверджено у відділі оптики виявленням і дослідженням явища самоіндукованого повороту площини поляризації лінійно-поляризованого випромінювання в кубічних кристалах при резонансному збудженні анізотропних тунельно-переорієнтованих домішкових центрів (М.П. Лисиця, М.Я. Валах, Г.Ю. Рудько, В.І. Сидоренко). Через резонансний характер ефектів для одержання кутів обертання площини поляризації, що становлять кілька десятків градусів, виявилось достатньо густин потужності, що не перевищували  $10 \text{ мВт/см}^2$ . Так було встановлено новий тип гігантської нелінійної оптичної активності, який одержав у літературі назву НОА-2.

Говорячи про можливе прикладне використання різних нових фундаментальних явищ,

виявлених і досліджених у відділі оптики за багато років, і чималу кількість реалізованих приладних розробок, слід зазначити, що у відділі постійно вели цілеспрямовані роботи, актуальні для оптичного і лазерного приладобудування. Йдеться про роботи зі створення тонкоплівкових багатошарових інтерференційних систем. Цю тематику Михайло Павлович започаткував ще в період роботи в університеті у співпраці із заводом «Арсенал». Відповідну дослідницьку технологічну групу він створив у перші дні існування відділу оптики в Інституті напівпровідників. Справа не обмежувалася суто технічними аспектами. Було розвинуто нові чисельні матричні методи синтезу багатошарових нерівнотовщинних інтерференційних систем і реалізовано технологію їх вакуумного осадження. Виготовлено стійкі дзеркала з широкими й вузькими смугами високого відбиття для лазерів з кількома довжинами хвиль генерації, великогабаритні (до 240 мм) меніски для телескопів, просвітлені оптичні елементи для інфрачервоної техніки, інтерференційні фільтри на різні спектральні діапазони.

Починаючи з 90-х років тематика досліджень відділення оптики і спектроскопії, до якого крім відділу оптики входило кілька оптичних лабораторій, істотно розширилася і модифікувалася. Дедалі більшу частину проведених у відділенні робіт становили дослі-



Розмова М.П. Лисиці з дирекцією ІФН НАН України. Зліва направо: О.Є. Беляєв, В.Ф. Мачулін, М.П. Лисиця, О.І. Влащенко, М.І. Сипко. 2011 р.

дження в галузі фізики і оптики квантово-розмірних наноструктур.

Михайло Павлович з великим ентузіазмом сприйняв бум оптичних досліджень у галузі фізики наноструктурованих матеріалів, що розпочався в усіх провідних лабораторіях світу. Справа в тому, що ще в 50-ті роки, в період роботи над кандидатською дисертацією в Київському університеті він, вивчаючи властивості надтонких шарів металів і діелектриків, встановив факт товщинної залежності оптичних констант матеріалів (показників поглинання і заломлення світла) при переході в діапазон нанорозмірів. Однак тоді цей надійно встановлений експериментальний факт не отримав послідовної теоретичної інтерпретації. Крім того, при вивченні вже в ІФН у 60–70-х роках описаного вище ефекту пасивної модуляції добротності лазерів при використанні скляних фільтрів з домішками нанокристалів CdSSe було встановлено експериментально, що край їх оптичного міжзонного поглинання виявляється зсунутим у короткохвильовий бік порівняно з його положенням у масивних змішаних монокристалах такого самого компонентного складу. Тепер же по «гарячих слідах» теоретичних робіт про квантування екситонних станів у напівпровідникових нанокластерах  $A^2B^6$ , виконаних у Фізико-технічному інституті ім. А.Ф. Йоффе, розмірні ефекти набули теоретичного обґрунтування, що стимулювало нові цілеспрямовані дослідження.

Розширення робіт з наноструктур у відділенні оптики супроводжувалося і низкою організаційних змін. У 1991 р. М.П. Лисиця передав керівництво відділом оптики своєму учневі М.Я. Валаху, залишивши за собою наукове керівництво всім відділенням оптики і спектроскопії. Наступного, 1992 р. лабораторію фізики і технології низьковимірних систем під керівництвом Ф.Ф. Сизова було реорганізовано у відділ. До 1997 р. цей відділ працював у складі відділення оптики, а потім увійшов до сформованого під керівництвом Ф.Ф. Сизова нового відділення фізико-технологічних проблем напівпровідникової інфрачервоної техніки. Михайло Павлович завжди сприяв не лише професійному, а й кар'єрному зростанню своїх учнів. Свідченням цього була його підтримка кандидатур М.Я. Валаха і Ф.Ф. Сизова на виборах у члени-кореспонденти НАН України.

Роботи з наноструктур у відділенні оптики спочатку вели переважно у співробітництві з іноземними колегами з Великої Британії, США, Німеччини, Франції і Росії. Річ у тім, що на першому етапі розвитку досліджень напівпровідникових наноструктур основним технологічним методом їх створення було використання дуже високовартісних промислових установок молекулярно-променевої епітаксії або хімічної рідиннофазної епітаксії. Перших зовсім не було в Україні (на жаль, і дотепер немає), а одиничні екземпляри других знаходилися не в Академії наук і не були забезпечені



необхідними високочистими вхідними реагентами. В такій ситуації сильною стороною українських фахівців з оптичного відділення ІФН був лише великий професійний досвід в оптичній діагностиці матеріалів, підкріплений високим рівнем можливої інтерпретації результатів з боку теоретиків Інституту. Позитивним чинником було й те, що відділенню оптики вдалося придбати єдиний в Україні найсучасніший прилад фірми Jobin Yvon для мікрораманівських досліджень матеріалів — дуже інформативний у дослідженнях наноструктур.

Завдяки міжнародному співробітництву оптики ІФН одними з перших в Україні мали можливість досліджувати вирощені методом молекулярно-променевої епітаксії зразки з напівпровідниковими наноострівцями (квантовими точками). Особливо плідним виявилось співробітництво з російськими академічними закладами в рамках українсько-російської науково-технологічної програми «Нанofізика та наноелектроніка», ініційованої нобелівським лауреатом академіком Ж.І. Алфьоровим. Один з проєктів цієї програми, пов'язаний із самоорганізованими наноструктурами CdSe/ZnSe з квантовими точками, відділ оптики ІФН виконував разом з ФТІ ім. А.Ф. Йоффе РАН (керівники — М.П. Лисиця і П.С. Копйов), а другий, пов'язаний з наноострівцевими структурами Ge/Si, — з Інститутом фізики мікроструктур РАН (керівники — М.Я. Валах і З.Ф. Красильник). Було встановлено, що принципове значення для фізики процесу самоорганізованого росту таких структур має факт інтенсивної інтердифузії й сегрегації атомів, що формують структуру. Виявилось, що навіть за відносно невисоких температур росту наноострівці являють собою неоднорідний твердий розчин з компонентів матеріалу, що осаджується, та матеріалу підкладки. Важливо, що встановлений процес аномально інтенсивної гігантської інтердифузії, стимульованої неоднорідними механічними напруженнями, великою мірою визначає кінетику процесу формування наноострівців, що лежить в основі росту структури, і, як результат, морфологію утворених острів-



М.П. Лисиця і президент НАН України Б.Є. Патон під час відзначення 90-річчя Михайла Павловича. 2011 р.

ців (форма, розмір, поверхнева густина острівців). Отже, було показано, що загальноприйняту тоді модель росту острівцевих структур Странського–Крастанова можна розглядати лише як перше наближення.

Загальність явища гігантської інтердифузії, пов'язаної зі стимульованою характерними для наноструктур величезними градієнтами напружень, було через кілька років підтверджено на системах квантових точок, отриманих методами колоїдної хімії, в результаті співпраці відділення оптики з Інститутом фізичної хімії ім. Л.В. Писаржевського НАН України (відділ чл.-кор. НАН України С.Я. Кучмія). Ця співдружність виявилася дуже продуктивною, а десятки спільних публікацій у провідних міжнародних журналах свідчать про доцільність використання високопродуктивних низькотемпературних і недорогих методів колоїдної хімії у масштабному виробництві напівпровідникових наносистем.

У подальшому дослідження з фізики епітаксійних, у тому числі багаточарових, наносистем активно тривали у співробітництві з німецькими колегами з берлінського Університету ім. Гумбольдта та Інституту Макса Борна, а також з американськими вченими з Аризонського університету, в якому, до речі, успішно працюють кілька колишніх співробітників ІФН. В обох випадках найбільш продуктивну участь у міжнародних проєктах від відділення

оптики брав учень М.П. Лисиці, завідувач відділу лазерної спектроскопії професор Г.Г. Тарасов. Було досліджено оптичні, люмінесцентні і транспортні ефекти у двовимірних наноструктурах із квантовими ямами, в тому числі комбіновані з квантовими точками. Михайло Павлович постійно цікавився цими роботами і був співавтором кількох публікацій.

Пізніше, у 2017 р. майже 20-річні дослідження школи М.П. Лисиці з фотоники напівпровідникових та діелектричних наноструктур було відзначено Державною премією України в галузі науки і техніки, лауреатами якої стали, зокрема, В.О. Юхимчук, Г.Г. Тарасов і В.М. Джаган.

Останні роки свого життя Михайло Павлович присвятив реалізації своєї давньої мрії — підготовці багатотомного науково-популярного видання «Занимательная оптика», матеріали для якого він збирав протягом тривалого часу. Незважаючи на те, що йому було вже більш як 80 років, він, як і раніше, працював дуже інтенсивно кожного дня, навіть у вихідні. Від свого учня і співавтора М.Я. Валаха він щонеділі чекав свіжої інформації, нових красивих ілюстрацій. Цю напружену роботу Михайло Павлович

дозволяв собі тільки іноді перервати на кілька годин, щоб разом зі своїм давнім університетським другом академіком Миколою Григоровичем Находкіним здійснити традиційні піші прогулянки по різних куточках Києва, який обоє дуже любили і добре знали. У Михайла Павловича була багата колекція листівок за останнє століття з краєвидами Києва, яку він постійно поповнював, як і свою велику добре впорядковану філателістичну колекцію.

Михайло Павлович побачив надрукованими чотири томи «Занимательной оптики», що вийшли протягом кількох років і були присвячені атмосферній і космічній оптиці, фізіологічній оптиці людей і тварин та біоломінесценції. П'ятий том, присвячений волоконній оптиці, він встиг побачити лише в коректурі.

В січні 2011 р. колектив Інституту фізики напівпровідників ім. В.Є. Лашкарьова урочисто відзначав 90-річчя академіка Михайла Павловича Лисиці. Поздоровити ювіляра приїхав президент НАН України Борис Євгенович Патон, з привітаннями виступили багато гостей з академічних інститутів і університетів України. На засіданні панувала атмосфера щирої й глибокої поваги до видатного вченого.

*Alexander E. Belyaev*

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9639-6625>

*Mykhailo Ya. Valakh*

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3849-3499>

*Volodymyr O. Yukhymchuk*

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5218-9154>

Lashkaryov Institute of Semiconductors Physics  
of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

FOUNDER AND HEAD OF THE SCIENTIFIC SCHOOL  
OF OPTICS AND SPECTROSCOPY

To the 100th anniversary of Academician M.P. Lysytsia

January 15 marked the 100th anniversary of a famous Ukrainian scientist in the field of optics and spectroscopy, a talented mentor of young scientists, twice winner of the State Prize of Ukraine in Science and Technology (1981, 1986), Honored Worker of Science and Technology of Ukraine (1991), laureate of the V.I. Vernadsky Golden Medal of the NAS of Ukraine (2010), Doctor of Physical and Mathematical Sciences (1961), Professor, Academician of the NAS of Ukraine (1982) Mykhailo P. Lysytsia.