

НАНОТЕХНОЛОГІЇ В УКРАЇНСЬКОМУ ВИМІРІ

В Інституті металофізики ім. Г.В. Курдюмова 27 грудня 2006 року відбулося виїзне засідання Президії НАН України, присвячене підсумкам реалізації комплексної програми фундаментальних досліджень «Наноструктурні системи, наноматеріали, нанотехнології» впродовж 2004–2006 років.

Доповідач — голова Наукової ради названої програми академік НАН України А.П. Шпак — зробив ґрунтовний аналіз стану виконання 125 проектів 33-ма інститутами, що входять до восьми відділень НАН України: фізики і астрономії, інформатики, наук про Землю, фізико-технічних проблем матеріалознавства, фізико-технічних проблем енергетики, ядерної фізики та енергетики, хімії, молекулярної біології, біохімії, експериментальної і клінічної фізіології. Реалізація цих проектів дала змогу розв'язати широке коло актуальних проблем.

В обговоренні доповіді взяли участь академіки НАН України А.Г. Наумовець, В.Д. Походенко, В.В. Скороход, С.В. Комісаренко, С.В. Волков, І.М. Вишневський, член-кореспондент НАН України А.Я. Іщенко, доктор фізико-математичних наук В.М. Варюхін. Схвально оцінивши роботу Наукової ради з виконання програми, вони внесли низку пропозицій, котрі включено до ухваленої постанови. У виступах наголошувалося на тому, що Академія має потужний науковий потенціал і спроможна здійснювати не тільки фундаментальні до-

слідження, а й практичні розробки, конче потрібні вітчизняній економіці.

Президент НАН України академік НАН України Б.Є. Патон, завершуючи обговорення першого питання порядку денного, підкреслив, що з сучасним напрямом нанотехнологій пов'язаний новий етап індустріальної революції в світі, який забезпечить прориви у виробництві нових матеріалів, електроніці, медицині, енергетиці, інформаційних технологіях тощо. Стратегічне значення програми полягає в тому, що її наукові розробки і завдання здебільшого мають подвійне призначення і можуть стати основою для створення спеціального обладнання. Б.Є. Патон акцентував увагу на необхідності формування нових скоригованих етапів роботи, концентрації ресурсів, зокрема фінансових, на найбільш значущих комплексних проектах і комерціалізації оригінальних розробок.

В ухваленій Президією постанові відзначається, що виконання програми дало змогу отримати вагомий науковий результат, які сприяли реалізації пріоритетних напрямів «Фундаментальні дослідження з найважливіших проблем природничих, суспільних і гуманітарних наук», «Нові речовини і матеріали», «Новітні та ресурсозберігальні технології в енергетиці, у промисловому та аграрно-промисловому комплексі», які визначені Законом України «Про пріоритетні напрями розвитку науки і техніки» від 11.07.2001 р. за № 2623-III.

Важливих досягнень здобуто у виконанні всіх напрямів програми.

Зокрема, з напрямку «Нанофізика та наноелектроніка» вивчено процеси структуроутворення нанокрапок, нанодротів плівок на основі ZnO, GaAs, TiO₂, багат шарових систем квантових точок GeSi, гетероструктур AlGaN/GaN, композитів типу полімер–наночастинки та їхні оптичні, діелектричні, магнітні, емісійні властивості для створення електрооптичних, фотопровідних, електролюмінесцентних приладів.

За напрямом «Технологія багатофункціональних наноматеріалів» створено технологію отримання нанокристалічних порошків ZrO₂, BaTiO₃, ендофулеренів Y, Ni і Gd, шарових високоміцних конденсатів титану і хрому, нанотрубок, нановолокон карбідів кремнію і нітриду бору та квазікристалічних матеріалів у наноструктурному стані. Розвинуто нові методи спікання нанопорошків для отримання високоміцних, зокрема багатокомпонентних, керамік з аномально високими механічними та електрофізичними властивостями, а також виготовлено багат шарові конденсатори на основі кераміки. Розроблено матеріали для накопичення водню, інструменти та елементи для мікроелектроніки.

У рамках напрямку «Будова і властивості наноструктурних матеріалів» проведено розрахунки електронної структури фулеритів і наночастинок металів, досліджено фазові перетворення фулериту C₆₀ в інтервалі температур 2–14K та вивчено процеси перетворення світлової або газоплазмової енергії на електричну за умови використання як електродів нанотрубок і композитів з нанотрубками. Побудовані криві деформації для наноструктурних квазікристалів, досліджені механізми деформування та руйнування квазікристалічних матеріалів у наноструктурному стані, розроблена технологія нанесення покриттів Ni–Cr–Mo для захисту сталі від корозії в агресивних середовищах.

«Біонаноматеріали: синтез та властивості» — така назва ще одного напрямку програми. Тут оптимізовано умови синтезу біосумісних матеріалів на основі кальцієвих гідроксо- і фтороапатиту. Досліджені біологічні властивості наноструктурованих біоактивних керамічних композитів і покриттів з метою створення ефективних імплантатів. Проведено їхні клінічні випробування.

Науковці, які працюють за напрямом «Діагностика наносистем», удосконалили ультразвукові методики вимірювання температурної поведінки пружних модулів у наноматеріалах. Розроблена технологія створення активних елементів сенсорів водню на основі високочутливих нестехіометричних оксидів n-WO_{3-x}. Досліджено кінетику фотостимульованої механічної релаксації у тонких плівках і вдосконалено моделі опису фракталів та мезопор.

Вагомих результатів досягли вчені, які виконували дослідження за напрямом «Атомно-молекулярна архітектура наноструктур». Так, розроблено технологію отримання ванадійоксидних нанотрубок, що використовуються у літєвих джерелах струму, алюмопаладієвих каталізаторів для очищення газових викидів виробництва, нанокompозитів — для світловипромінювальних діодів на основі полімерів та мезопористих матриць, нановолокон електропровідних полімерів (поліаніліну, поліпіролу). Встановлені закономірності окиснення сірковмісних сполук, відновлення іонів металів та нітросполук, фотополімеризації акрилових мономерів фотокаталітичних процесів одержання молекулярного водню.

За напрямом «Фізика напівпровідникових наноструктур» розроблено технологію отримання тонкоплівкових світловипромінювальних структур на основі нановключень кремнію в оксидній матриці SiO_x. Вивчені закономірності енергетичного спектра носіїв у квантових ямах та електронні процеси у світловипромінювальних поруватих SiO_x шарах, електричні та надвисокочастот-

ні явища у багатошарових гетероструктурах $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}/\text{GaAs}$, Si/SiGe з квантовими точками та нитками, домішкові й екситонні стани в кремнієвих наноструктурах. Виготовлено робочі варіанти багатоканальних сенсорних масивів на кремнієвих структурах електроліт—діелектрик—напівпровідник та інтегральних польових транзисторах з іоночутливим шаром нітриду кремнію.

Дослідники, які працювали за напрямом «Фізико-хімія поверхневих явищ», здійснили хімічне конструювання ізольованої Au струмопровідної нанонитки та синтез ізольуючої SiO_2 нанотрубки. Отримані наноструктурні оксиди та наночастинки Ag на кремнеземній плівці. Створена технологія синтезу порожнинних наносфер SiO_2 і синтезовані боросилікатні нанокомпозитні плівки. Отримано дослідні зразки високопровідних мембран, суперконденсаторів, паливних елементів, систем доставки ліків в уражені органи людини.

У рамках напрямку «Синтез і формування наноструктур» розроблено методи синтезу цибулиноподібних і циліндричних наноструктур вуглецю, волокноподібних і трубчастих структур SiC , наночастинок Pd і Pt, гексафериту барію ($\text{BaFe}_{12}\text{O}_{18\pm y}$), рідкокристалічного нанопористого лантанового скла з домішками C_{60} , Pd, Fe_2O_3 . Розроблені нові матеріали з високими провідністю і коефіцієнтом дифузії літію у твердому тілі; надвисокочастотні діелектрики з високою проникністю ($\epsilon \sim 500-700$), які не мають аналогів, та матеріали структурування поверхні напівпровідникових сполук АІІІ Вv наночастинками Au та Pt з високим квантовим виходом у широкому спектральному діапазоні.

У результаті досліджень за напрямом «Колоїдні нанорозмірні системи» розроблено нанопроєктори, в яких утворюються частинки біоактивної кераміки типу «Остеопатит керамічний» з різним умістом скляної фази, необхідної для компенсації дефектів та заповнення післяопераційних порожнин кіст-

кових тканин, протезування хрящів кісткових тканин, а також нанореактори на основі гідрогелевих полімерів з уведенням широкого спектра лікарських препаратів. Здійснено клінічні випробування біонаноматеріалів для лікування опіків, впроваджено у виробництво антипарадонтозні стоматологічні аплікатори, насичені наночастинками срібла. Розроблено лінію пробіотиків, що містять канцерометричні активні мікроорганізми нормальної мікрофлори людини та нанорозмірні частинки Au, Ag, Cu, Zn. Отримано дозвіл МОЗ України на використання препарату «Окарин-Аu». Реалізовано низку технологій: для кольматації накопичувача мінералізованих шахтних вод у м. Кривому Розі; концентрування металургійних шламів на комбінаті «Криворіжсталь», брикетування залізооксидних шламів.

У роботах за напрямом «Тонкоплівкові нанотехнології з'єднання неорганічних матеріалів» використано наноструктуровані матеріали для нероз'ємного з'єднання (зварювання) сучасних металічних і керамічних матеріалів, які важко або неможливо зварювати звичайними способами: важкозварюваних конструкційних матеріалів та металокompозитів на основі алюмінію, нікелю, заліза, кобальту, титану і їхніх композитів за допомогою розміщення на з'єднаних поверхнях проміжних прошарків з моно- чи багатошаровою структурою. Під час зварювання тиском та імпульсним нагріванням прохідним струмом вони сприяють одержанню квазімонолітного металу. Оптимізовано параметри процесу електроннопроменевого зварювання стикових з'єднань високоміцних алюмінієвих сплавів з використанням швидкозакристалізованих стрічок як присадкових матеріалів та металізованих наноплівками зразків оксидних керамік. Розроблено нові припої Ni—Cu—Mn для паяння складнолегованих нікелевих сплавів систем Ni—Co—Ti—Zr і Ni—Cr—Zr. Запропоновано нові зварювальні матеріали (присадки), пер-

спективні для з'єднання елементів аерокосмічної техніки, газотурбінних і автомобільних двигунів без пошкодження матеріалу та геометрії деталей і вузлів.

За напрямом «Фізика і технологія наноматеріалів в екстремальних умовах» розроблено методи створення наноматеріалів з високими конструкційними властивостями шляхом інтенсивної пластичної деформації із застосуванням поверхневої деформації під високим тиском, рівноканальної багатокуткової екструзії, гвинтової екструзії і подальшої деформації за рахунок прокатки, гідроекструзії та волочіння. Отримано нові матеріали: дріт на основі сплаву NbTi з міцністю 1275 МПа для електротехніки, пластини біосумісного УМЗ-титану VT1-0 для медицини, градієнтні матеріали Fe–Mn для машинобудування; зразки з міді й алюмінієвого сплаву з рівнем пластичної деформації $\epsilon \sim 7$. В умовах надвисокого тиску (7500 МПа) за кімнатної температури досягнуто надвисокої щільності ($> 90\%$) нанопорошкових компактів на основі ZrO_2 та $LaMnO$. Одержані керамічні плунжери з нанопорошків (їх зносостійкість перевищує властивості сталевих і твердосплавних деталей у 15–20 разів) пройшли експлуатаційні випробування на шахті ім. О.Ф. Засядька (м. Донецьк) і металургійному комбінаті ім. Ілліча (м. Маріуполь). Розпочато роботу з використання кераміки ZnO_2 для медицини. Створено напівпровідникові феромагнетики $La_{0,78}Mn_{0,99}O_{3,5}$ і $La_{0,80}Mn_{1,04}O_{3,5}$ для пристроїв магнітного запису інформації та датчиків і вимірювачів магнітного поля. Відпрацьовано технології електричного вибуху провідників для отримання фулеренів та вуглецевих нанотрубок, а також механохімічного синтезу для виготовлення нікелевих і магнієвих нанопорошків.

У рамках виконання завдань за напрямом «Інформаційне забезпечення робіт з проблеми «Наносистеми, наноматеріали та нанотехнології» підготовлено до друку та видано: програми і збірники тез I Української конфе-

ренції «Нанорозмірні системи: електронна, атомна структура й властивості» (12–14 жовтня 2004 р., м. Київ), I Українсько-корейського семінару з нанофотоніки та нанофізики «Nanofotonics–Nanophysics–2005» (21–23 червня 2005 р., м. Київ), Міжнародної конференції «Кластерні та наноструктурні матеріали» (9–12 жовтня 2006 р., м. Ужгород), Київської конференції молодих учених «Новітні матеріали та технології» (16–17 листопада 2006 р., м. Київ); чотири випуски міжнародного науково-технічного журналу «Металлофізика и новейшие технологии» з матеріалами конференції «НАНСИС–2004», два спецвипуски оглядового наукового журналу «Успехи физики металлов», десять випусків збірника наукових праць «Наносистеми, наноматеріали, нанотехнології». Організовано підготовку й видання монографій, оглядів, тематичних збірників статей з обов'язковим незалежним рецензуванням. Забезпечено інформаційно-видавничий супровід семінарів, проведених за роки виконання програми.

Здійснено інформаційний супровід, наповнення науковою інформацією та звітами мережевого web-сайту «Наносистеми, наноструктурні матеріали та нанотехнології України». Сформовано вихідний масив бібліографічної, реферативної і патентної інформації (понад 10 тис. одиниць) для автоматизованої бази даних. Запропоновано варіанти програмного забезпечення та створено тестовий варіант бази даних серверного типу. Розроблено алгоритм запиту і підготовлено до видання інформаційно-рекламний буклет за результатами досліджень і розробок учасників програми «Наноструктурні системи, наноматеріали, нанотехнології». Запропонована електронна форма кодування для подання властивостей і параметрів наноструктурних систем з урахуванням фактографічної (склад, опис синтезу, параметри і властивості) і реферативної (реферат, ключові слова, PACS-коди, посилання, перелік журналів) частин інформації.

Інститути — учасники виконання програми — організували 15 конференцій та семінарів з нанотематики. За звітний період опубліковано 37 монографій, 980 статей, 1100 тез, отримано 14 патентів, подано 59 заявок на винахід. Проведено виставку матеріалів і приладів у галузі практичного застосування результатів досліджень за програмою.

В ухваленій Президією НАН України постанові відзначено, що доповідь голови Наукової ради комплексної програми фундаментальних досліджень «Наноструктурні системи, наноматеріали, нанотехнології» академіка НАН України А.П. Шпака взято до відома. Завдання програми виконані у повному обсязі.

Відзначено важливість отриманих результатів у розв'язанні актуальних проблем науки і техніки, розвитку новітніх технологій і розробки нових класів матеріалів для застосування їх в електроніці, інформаційній техніці, біоінженерії, медицині, приладобудуванні.

Схвалено діяльність Наукової ради програми щодо забезпечення заходів для обміну інформацією та результатами досліджень шляхом проведення конференцій і семінарів, відображення висновків на web-сайті в мережі Інтернет, видання спецвипусків журналів і збірників з науковими працями, які містять основні фундаментальні та прикладні результати.

Науковій раді програми доручено у двомісячний термін підготувати погоджені пропозиції щодо впровадження отриманих результатів. Підтримано пропозицію Наукової ради стосовно проведення II Української конференції «Нанорозмірні системи: електронна, атомна структура і властивості» (листопад 2007 р., м. Київ) за участю її виконавців та представників зацікавлених міністерств і відомств, вищих навчальних закладів, галузевих інститутів і промислових підприємств.

Зважаючи на актуальність розробки високотехнологічних виготовлення нанорозмірних систем для створення ефективних каталізаторів, сенсорів, захисних покриттів, еле-

ментів комп'ютерної техніки, електронних приладів, сонячних батарей, імплантатів і засобів доставки ліків вирішено продовжити виконання Комплексної програми фундаментальних досліджень «Наноструктурні системи, наноматеріали, нанотехнології» на 2007—2009 роки.

Науковій раді програми доручено впродовж місяця внести відповідні зміни до основних напрямів та завдань програми з урахуванням результатів її реалізації протягом 2004—2006 років.

Науково-організаційний і Фінансово-економічний відділи Президії НАН України мають передбачити відповідні кошти для виконання завдань з програми.

Науковій раді програми «Наноструктурні системи, наноматеріали, нанотехнології» запропоновано впродовж двох тижнів після ухвалення рішення про виділення коштів на фінансування завдань програми провести конкурс проектів, забезпечивши високий науковий рівень експертизи для їх якісного відбору. Також розвиватиметься співробітництво виконавців програми з Інститутом кібернетики ім. В.М. Глушкова НАН України з метою використання можливостей суперкомп'ютерних систем для моделювання фізичних процесів.

Науково-організаційний відділ Президії НАН України разом з Відділом наукових керівних кадрів у двомісячний термін мають підготувати пропозиції щодо введення нових спеціальностей у вищих навчальних закладах з вивчення студентами наносистем і до номенклатури наукових спеціальностей з нанотехнологій.

На засіданні Президії НАН України також розглянуто і затверджено поданий комісією з питань модернізації парку наукових приладів та обладнання перелік імпортного наукового обладнання, яке буде закуповуватися для академічних установ у 2007 р. Було заслухано інформацію президента НАН України Б.Є. Патона про роботу Експертної ради при НАН України.