

З КАФЕДРИ ПРЕЗИДІЇ НАН УКРАЇНИ



НАУМОВЕЦЬ

Антон Григорович – академік НАН України, перший віцепрезидент НАН України, голова Секції фізико-технічних і математичних наук НАН України, голова наукової ради цільової комплексної програми фундаментальних досліджень НАН України «Фундаментальні проблеми створення нових наноматеріалів і нанотехнологій»

ПРО ВИКОНАННЯ ЦІЛЬОВОЇ КОМПЛЕКСНОЇ ПРОГРАМИ ФУНДАМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ НАН УКРАЇНИ «ФУНДАМЕНТАЛЬНІ ПРОБЛЕМИ СТВОРЕННЯ НОВИХ НАНОМАТЕРІАЛІВ І НАНОТЕХНОЛОГІЙ»

Стенограма доповіді на засіданні Президії
НАН України 15 січня 2020 року

У доповіді висвітлено найважливіші результати, отримані вченими НАН України в рамках виконання цільової комплексної програми фундаментальних досліджень НАН України «Фундаментальні проблеми створення нових наноматеріалів і нанотехнологій» за 2015–2019 рр. Зважаючи на перспективність досліджень і розробок з цього напрямку, запропоновано започаткувати нову цільову програму фундаментальних досліджень НАН України «Перспективні фундаментальні дослідження та інноваційні розробки наноматеріалів і нанотехнологій для потреб промисловості, охорони здоров'я та сільського господарства» на 2020–2024 рр.

Вельмишановний Борисе Євгеновичу!
Вельмишановні колеги!

Протягом 2015–2019 рр. у рамках цільової комплексної програми фундаментальних досліджень НАН України «Фундаментальні проблеми створення нових наноматеріалів і нанотехнологій» виконано 107 наукових проєктів (28 з них фінансувалися за бюджетною програмою КПКВК 6541230). У Програмі на конкурсних засадах брали участь наукові співробітники 34 наукових установ з восьми відділень НАН України (Відділення інформатики, Відділення фізики і астрономії, Відділення фізико-технічних проблем матеріалознавства, Відділення фізико-технічних проблем енергетики, Відділення ядерної фізики та енергетики, Відділення хімії, Відділення біохімії, фізіології і молекулярної біології, Відділення загальної біології), а також установ при Президії НАН України.

Оскільки проєктів було багато, я дуже стисло розповів лише про окремі найважливіші наукові та науково-технічні результати, отримані під час реалізації зазначеної Програми.

Так, співробітники Інституту фізичної хімії ім. Л.В. Писаржевського НАН України вивчали будову, властивості та можливі сфери використання графеноподібних матеріалів і нанокомпозитів на їх основі, отриманих механохімічним способом. Це дуже дешевий і простий метод, яким, механічно перетираючи і подрібнюючи графіт у присутності інертних субстратів, можна одержувати графеноподібні матеріали з незвичайними властивостями. Наприклад, нанокомпозитні електроди літєвих акумуляторів на основі поліаніліну та графену можуть мати ємність до 300 А·год на 1 кг маси; для порівняння: суперконденсатори мають ємність ~900 Ф/г. Такі органо-неорганічні нанокомпозитні катодні матеріали для літєвих хімічних джерел струму характеризуються низкою переваг над відомими аналогами: вони мають вищу питому ємність; більшу стійкість до деградації; кращі швидкісні показники, здатні витримувати сильніші струми; до того ж технологія їх отримання значно простіша і дешевша. Такі матеріали можна використовувати, зокрема, для живлення портативної електронної техніки. Причому рівень готовності цієї розробки досить високий — Інститут може виготовляти на замовлення зразки таких нанокомпозитних катодів.

Крім того, нанокомпозити на основі графеноподібного диселеніду молібдену та графену здатні з високою ефективністю виділяти водень з води; при цьому величину каталітичного струму 10 мА/см² досягають при потенціалі –110 мВ. А графеноподібні наночастинки нітриду бору можна використовувати як спектроскопічні маркери, а також застосовувати в системах доставки протипухлинних препаратів в організмі людини.

Аналогічну роботу виконано харківськими вченими з Фізико-технічного інституту низьких температур ім. Б.І. Веркіна НАН України, які отримали модифіковані графенові наноструктури для нанокомпозитів з високими

експлуатаційними характеристиками. Такі наноструктури складаються з відокремлених вуглецевих площин і містять кисневі, киснево-водневі та водневі ковалентно зв'язані функціональні групи, що забезпечує надійні зв'язки графенових площин з полімерними компонентами. Сорбційна ємність отриманих нанокомпозитів у 1,6 раза вища, ніж у немодифікованих аналогів; вони нетоксичні, біосумісні і можуть бути використані в автомобільній, ракетно-космічній, оборонній чи медичній галузях.

Роботи, пов'язані зі створенням нових матеріалів та їх з'єднанням, виконували Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, Інститут проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича НАН України, Харківський фізико-технічний інститут, Інститут надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України. Дуже перспективні властивості в цьому плані мають так звані високоентропійні сплави (ВЕС). Було показано, що під дією пластичної деформації в них утворюються нанокластери, що у 2–3 рази підвищує твердість та пружність матеріалу і в 1,5–2 рази знижує коефіцієнт тертя. До ВЕСів можна застосовувати високотемпературну вакуумну прокатку, використовувати наносферуваті покриття для з'єднання різнорідних, зокрема композитних, матеріалів при зварюванні їх тертям або самопоширюваним високотемпературним синтезом. Було також розроблено новітні нанотехнології спаювання металів з керамікою, що особливо важливо для потреб машинобудування.

Спільними зусиллями фахівців Донецького фізико-технічного інституту ім. О.О. Галкіна НАН України, Інституту металофізики ім. Г.В. Курдюмова НАН України, Донбаської державної машинобудівної академії, Національного університету «Запорізька політехніка» розроблено дослідну технологію отримання наноструктурних титанових сплавів, яку вже впроваджено на АТ «Мотор Січ» для виробництва натурних зразків.

В Інституті фізики НАН України запропоновано так звані магнітоактивні еластомери — композити, що містять феромагнітні

частинки, включені у високоеластичний полімер (еластомер), фізичними властивостями яких можна безконтактно керувати за допомогою зовнішнього магнітного поля. Навіть у невеликих магнітних полях магніострикція в цих матеріалах може становити десятки відсотків, а пружні модулі — зростати в десятки разів. Магнітоактивні еластomers можна використовувати як демпфери вібрацій, керовані магнітним полем, поглиначі високочастотного електромагнітного випромінювання; актуатори в роботах, зокрема в мікро- та нанороботах. Можливе також їх використання в медицині.

Вчені Інституту металофізики ім. Г.В. Курдюмова НАН України, Харківського фізико-технічного інституту та Інституту магнетизму НАН України та МОН України зробили теоретичні передбачення щодо можливості створення потужних постійних магнітів без використання рідкісноземельних елементів на основі легованих нітридів літію, а також нових структурних форм вуглецю (М-графен, карбінофен тощо).

В Інституті металофізики ім. Г.В. Курдюмова НАН України розроблено стрічкові магнітопроводи з нанокристалічних сплавів, які дають змогу значно зменшити розміри і водночас підвищити енергоефективність трансформаторів та дроселів. Ця розробка призначена для використання в електронній, електро- і радіотехнічній промисловості та в спеціальній апаратурі. Порівняно з трансформаторною сталлю Е330, пермалоем 50Н та аморфним сплавом Fe-B-S наномагнітопроводи характеризуються на порядок меншими втратами на перемагнічування, кращою температурною стабільністю параметрів у набагато ширшому температурному діапазоні, вищою індукцією насичення. На дослідному підприємстві Інституту вже виготовляють як невеликі серійні партії магнітопроводів, так і одиничні магнітопроводи з параметрами, що відповідають технічному завданню конкретного замовника.

У галузі квантової, терагерцової і оптоелектроніки, нелінійної і фемтосекундної оптики, метаоптики зусилля співробітників Інституту фізики НАН України, Інституту фізики

напівпровідників ім. В.Є. Лашкарьова НАН України, Інституту радіофізики та електроніки ім. О.Я. Усикова НАН України, Інституту монокристалів НАН України, Інституту сцинтиляційних матеріалів НАН України, Інституту прикладної оптики НАН України були зосереджені на отриманні середовищ і матеріалів для генерації та детектування електромагнітного випромінювання в субміліметровому та інфрачервоному діапазонах (використання квантових точок, дельта-шарів тощо). Запропоновано нові лазерні середовища, які можуть керувати лазерними променями, генерувати вищі гармоніки, забезпечують модифікацію матеріалів за допомогою лазера, люмінесценцію і електролюмінесценцію наноструктур.

В Інституті фізики НАН України отримано цікаві результати з вивчення процесу утворення самоорганізованих упорядкованих моношарів органічних молекул, адсорбованих з різних розчинів на поверхнях твердих тіл. Цей напрям відкриває широкі можливості для керування властивостями таких поверхонь і є перспективним для різноманітних біологічних і медичних застосувань.

В Інституті хімії поверхні ім. О.О. Чуйка НАН України розроблено покриття на основі композитів «полімер — вуглецеві наночастинки» для поглинання та екранування електромагнітного випромінювання в НВЧ-, інфрачервоному та оптичному діапазонах. Внесення наночастинок у полімерні композитні матеріали збільшує їх електропровідність і забезпечує ефективну взаємодію з електромагнітним випромінюванням, а також дисипацію його енергії, що важливо для організації безпеки: захист мікросхем, приміщень від прослуховування тощо. Причому такі покриття можна наносити на поверхні різної складності. Промислових аналогів ця розробка не має.

В Інституті газу НАН України створено нанорідини для енергоефективних теплообмінних систем у ядерній і тепловій енергетиці, на транспорті, в металургії, електроніці, для лазерних систем, силових трансформаторів та в інших галузях промисловості. Внесення до рідини наночастинок дає змогу підвищити

тепловий потік у 3–4 рази порівняно зі звичайним водним носієм, запобігає раптовій кризі кипіння, забезпечує високу колоїдну стійкість. Такі системи є дешевими, доступними в отриманні та екологічно чистими. Вже розроблено технологію та регламент приготування таких нанорідин, і ця розробка готова для впровадження у промисловості.

Співробітники Донецького фізико-технічного інституту ім. О.О. Галкіна НАН України розробили технологію виготовлення зносостійких керамічних та композиційних виробів на основі нанопорошків діоксиду цирконію. Ця технологія дозволяє виробляти зносостійкі керамічні деталі складної форми для різних пристроїв у гірничодобувній, нафтогазовій, хімічній, металургійній галузях промисловості, у машинобудуванні, а також для медичних застосувань в ортопедії та стоматології. Такі вироби є дешевшими і стабільнішими порівняно з відомими аналогами, мають значно довший (у 20–50 разів) термін експлуатації, ніж металеві деталі, і характеризуються високою біосумісністю та швидким формуванням контакту в зоні кістка–імплантат. Зараз триває процес організації спільного підприємства з виробництва таких деталей.

В Інституті проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича НАН України розроблено вуглеволоконистий наноструктурний активований сорбційно-аплікаційний матеріал медичного призначення, який порівняно зі світовими аналогами вирізняється в 2–3 рази вищою кінетикою сорбції та великою сорбційною ємністю щодо низько-, середньо- і високомолекулярних фізіологічно активних речовин. Цей матеріал забезпечує можливість вибіркової сорбції і цільового функціонального застосування для різних потреб: при токсичних отруєннях, як фільтр при очищенні крові та лімфи, як антибактеріальні аплікації для загоєння ран та опіків, як протирадіонуклідний препарат, як цільовий носій лікарських засобів тощо. В Інституті вже виготовляють на замовлення окремі партії таких матеріалів і шукають партнерів для промислового впровадження.

У цьому ж Інституті створено новітні керамічні біоматеріали, що характеризуються високою біосумісністю з кістковою тканиною. Їх можна застосовувати в ортопедії, травматології, онкології, офтальмології, стоматології для відновлення кісткової тканини, виготовляти порошки для мікроплазмового напилення на металеві імплантати покриттів з антибактеріальними властивостями.

Інститут експериментальної патології, онкології і радіобіології ім. Р.Є. Кавецького НАН України пропонує новий протипухлинний нанокомпозит «Фероплат». Цей медичний засіб для підвищення ефективності хіміотерапії та подолання медикаментозної резистентності злоякісних новоутворень призначений для прицільної доставки цитостатика до пухлинної тканини. Препарат забезпечує максимальне проникнення цитостатика в клітини, що значно підвищує терапевтичний ефект. Нанокомпозит «Фероплат» здатний до вибіркового накопичення в пухлині, поліпшує протипухлинний ефект цисплатину за одночасного підвищення його біобезпечності. На відміну від стандартних хіміопрепаратів він активніше діє на пухлини, резистентні до цитостатиків, і є менш токсичним для нормальних клітин.

З метою деструкції злоякісних пухлин в Інституті загальної та неорганічної хімії ім. В.І. Вернадського НАН України розроблено феромагнітні наночастинки для гіпертермії. Їх вводять у пухлину, і під дією змінного магнітного поля ці наночастинки локально нагріваються до температури 42–45 °С. При цьому припиняється ріст глибоко розташованих злоякісних пухлин. Перевага цієї розробки полягає насамперед у тому, що склад і розміри наночастинок забезпечують виведення відпрацьованих продуктів з організму природним шляхом. Ця перспективна розробка потребує підтримки для проведення доклінічних випробувань і організації подальшого виробництва продукту.

Ще одна ефективна розробка, призначена для боротьби з онкологічними захворюваннями, запропонована вченими Інституту проблем кріобіології і кріомедицини НАН України та

Інституту сцинтиляційних матеріалів НАН України. Вона стосується протипухлинної дії гібридних наноконструкцій на клітини в аденокарциномі Ерліха. Застосування таких наноконструкцій на основі наночастинок ортованадатів рідкісноземельних металів $GdYVO_4:Eu^{3+}$ з додаванням холестерину значно підвищує ефективність прицільної протипухлинної дії. Це можна пояснити, ймовірно, тим, що холестерин має спорідненість до мембран пухлинних клітин. Здатність гібридних наноконструкцій одночасно візуалізувати клітини пухлин та пригнічувати їх ріст свідчить про перспективність цього типу наноматеріалів як протипухлинних засобів.

Співробітники Інституту біохімії ім. О.В. Палладіна НАН України та Інституту органічної хімії НАН України активно вивчають можливості використання каліксаренів як перспективних модуляторів активності мембранозв'язаних систем енергозалежного транспорту катіонів кальцію у гладеньком'язових клітинах. Прямим призначенням цієї розробки є стимуляція пологової активності під час ускладнень.

В Інституті біоорганічної хімії та нафтохімії ім. В.П. Кухаря НАН України розроблено поліфункціональні присадки на основі вуглецевих нанокластерів для моторних палив. Їх використання зменшує витрати палива на 6–15% та поліпшує екологічні властивості рідких палив для двигунів. На відміну від світових аналогів (в Україні аналогів немає) присадки не містять токсичних речовин і застосовуються в надмалих концентраціях. За наявності інвестицій розробка готова для організації виробництва у малотоннажних обсягах.

В Інституті біоколоїдної хімії ім. Ф.Д. Овчаренка НАН України створено штучний ґрунт на основі «розумних» гідрогелів, призначений для вирощування рослин у контрольованих умовах з метою отримання екологічно чистої рослинної продукції. Порівняно з відомими аналогами такий штучний ґрунт характеризується кращою біосумісністю з паростками рослин, монодисперсністю, термостабільністю, забезпечує підвищену врожайність, має вищу водоутримувальну та поглинальну здатність,

унікальні сорбційні властивості щодо різних речовин. Встановлено, що додавання до «бідного» ґрунту біогелевого наноконструктиву підвищує його ферментативну та мікробіологічну активність до рівня чорноземного ґрунту. Є можливість отримання штучного ґрунту різної консистенції та форми. Поки що Інститут виготовляє експериментальні зразки на замовлення і шукає партнерів для організації масового виробництва.

Далі я тезисно назву результати, отримані в рамках виконання Програми за окремими її напрямками.

Отже, за напрямом «*Фізика та діагностика наносистем*»:

- удосконалено технологію отримання поруватих плівкових структур на основі сферичних діелектричних ядер з осадженими на їх поверхні квантовими точками A_2B_6 напівпровідників. Дослідження таких мезопористих структур з квантовими точками CdS дали змогу з'ясувати природу фазового переходу екситонів і знайти відповідні критичні концентрації наночастинок. Ці результати можуть бути корисними для розроблення систем фотовольтаїки 3-го покоління;

- на основі напівпровідникових сполук A_3B_5 розроблено багатоперіодну наногетероструктуру з тунельнозв'язаними квантовими ямами, в якій реалізовано інверсію електронної заселеності підзон розмірного квантування. Такі гетероструктури можна застосовувати для створення оптичних модуляторів на терагерцових частотах та електролюмінесцентних приладів зі значною площею випромінювання;

- розроблено фізичні принципи і технології керованого формування двовимірних наноструктур за участю гібридних металічних наночастинок. Створено періодичні наноструктури на основі ланцюжків Co–C та наноострівців золота з тетраценом, які мають унікальні електропровідні та люмінесцентні властивості. Відпрацьована методика дозволяє створити планарне джерело світла щільного типу з великою кількістю квазіточкових емісійних центрів;

- на базі гетероструктури CdHgTe/Si розроблено прототип високочутливого фотоприй-

мача для детектування ІЧ-випромінювання без застосування електричного зміщення, охолодження, що дає змогу уникати засліплення при високих рівнях опромінення. ІЧ-фотодетектор призначено для використання в оптоелектронних приладах оборонної техніки;

- створено лабораторний комплекс для отримання багат шарових плівкових металічних наноструктур та методики визначення спінової поляризації ферміївських електронів у сполуках різної природи. Проведено цілеспрямований пошук сполук зі стовідсотковою спіновою поляризацією електронів на рівні Фермі. Гетероструктури на основі таких сплавів можуть бути середовищами для запису інформації, а також використовуватися в сенсорах магнітного поля та пристроях спінтроники;

- розроблено фізичні моделі, створено та апробовано оригінальні комп'ютерні алгоритми багатопараметричного моделювання комплексних фізичних процесів у контакті нанозонд–поверхня силового растрового мікроскопа. Отримані результати є новими і перспективні для створення високоінформативних методів діагностики при розробленні сучасних технологій, зокрема в галузі наноелектроніки, спінтроники, надщільного магнітного запису та обробки інформації.

За напрямом «Хімія нанорозмірних систем»:

- досліджено вплив термічного відновлення оксиду графену на кінетику сорбції та десорбції водню. Термічна обробка зразків оксиду графену зменшує енергію активації дифузії водню у понад 10 разів порівняно з вихідним оксидом графіту. Ефект може бути використано для створення молекулярних фільтрів і систем газового зберігання;

- із застосуванням азотовмісних спряжених полімерів одержано карбонізовані Co-N-C-наноконпозиційні електрокаталізатори, які є активними у процесах виділення водню та кисню і ефективні для дисоціації води;

- встановлено, що обробка кристалічного графітоподібного нітриду вуглецю розчинами кислот сприяє істотному підвищенню його фотокаталітичної активності і стабільності в процесах окиснення спиртів під дією видимого

світла. Фотокаталітичні перетворення таких субстратів можна довести до їх повного розкладання, що важливо для очищення води та повітря від органічних забруднень;

- відпрацьовано технології отримання наночастинок заліза, кобальту, нікелю, платини та паладію контрольованого розміру в діапазоні 1–20 нм. Розроблено методики нанесення наночастинок цих металів на вуглецеві нанотрубки, вуглецеві нановолокна, оксид алюмінію. Завдяки їх каталітичним властивостям такі наноконпозити можна використовувати для отримання компонентів моторного палива, а також для створення нових ефективних промислових каталізаторів високотемпературної стадії реакції водяного зсуву;

- одержано наноконпозити на основі графітоподібного нітриду вуглецю та азотовмісного вуглецевого матеріалу з наночастинами рутенію. Вперше продемонстровано можливість каталітичного окиснення бетуліну (вихідної сполуки при синтезі медичних препаратів) до бетулону з достатньо високим виходом при використанні таких синтезованих наноконпозитів, як гетерогенні каталізатори;

- створено оптичні рідкокристалічні конпозити з металевими та напівпровідниковими наночастинами, вивчено вплив плазмонного резонансу та екситонного поглинання на їх оптичні та нелінійно-оптичні властивості. Синтезовані наноконпозити можна застосовувати у надшвидких системах передачі інформації, модуляторів і дефлекторів світлового потоку;

- вивчено склад, електрофізичні та магнітні властивості масивів залізовмісних волокнистих вуглецевих наноконпозитів, синтезованих з використанням методів газозфазного піролітичного розкладання ацетилену. Синтезовані зразки наноконпозитів активні в процесах поглинання і відбивання електромагнітних хвиль у НВЧ-діапазоні і можуть застосовуватися для 3D-друку покриттів деталей безпілотників.

За напрямом «Наноматеріали і технології їх отримання»:

- одержано та досліджено нові сплави $Al_{86}Ni_7Co_1Y_5La_1$, $Al_{86}Ni_7Co_1Er_5La_1$ та

$Al_{86}Ni_6Co_2Gd_3Y_2Tb_1$ з підвищеною здатністю до аморфізації. Показано, що додавання ербію (4–5 ат. %) замість ітрію істотно змінює атомну структуру аморфної фази, переводячи її в наноструктурний стан з високим рівнем пластичності. Розроблені сплави є перспективними як конструкційні матеріали в авіаційній, космічній, автомобільній промисловості;

- розроблено нові наноструктурні консолідовані матеріали на основі нанокристалічних твердих розчинів $(Fe_{1-x}Zn_x)Fe_2O_4$, нанокompозитів типу вуглецеві нанотрубки/магнетит, нанокompозитів $CuI-Fe_3O_4$, нанорозмірного фериту цинку, які є ефективними для створення поглинальних покриттів радіо- та ГЧ-діапазонів електромагнітного випромінювання і поглиначів нейтронного випромінювання;

- запропоновано електронно-променево технологію вирощування шарів феромагнітних нанокompозитів Co/Al_2O_3 на полікорових підкладках у магнітному полі, в яких наночастинки кобальту розподілені по діелектричній матриці Al_2O_3 . Характеристики таких композитів дозволяють використовувати їх як сенсори магніторезистивних датчиків;

- встановлено основні закономірності та визначено параметри обробки гвинтовою екструзією титанових сплавів, що забезпечує отримання заданої структури, фазового складу, а також оптимального комплексу механічних характеристик, необхідних для їх застосування як пружних і конструкційних елементів у медичній, аерокосмічній та інших галузях;

- розроблено наукові засади та відпрацьовано технології отримання методом електронно-променевого осадження тонких фольг з неоднорідною наночастинковою структурою на основі систем Ni/Al , Ti/Al , Ti/Co , $Ti/Ni/Cu$; встановлено, що використання таких фольг як проміжного прошарку при зварюванні тиском жароміцних нікелевих сплавів та гамма-алюмінідів титану забезпечує формування бездефектних з'єднань, стійких до утворення тріщин, що має практичне значення для розроблення перспективних конструкцій авіаційних газотурбінних двигунів;

- запропоновано технологію електронно-променевого осадження тонких фольг з наночастинковою структурою та отримано фольги з різним типом неоднорідності на основі систем Ni/Al та Ti/Al . Встановлено, що при контактному стиковому зварюванні жароміцних нікелевих сплавів та гамма-алюмінідів титану використання таких фольг забезпечує формування зварного шва з дрібнозернистою структурою, стійкого до утворення тріщин;

- синтезовано композити на основі ситчасних поліуретанів з різними вуглецевими наповнювачами (вуглецевими нанотрубками, вуглецевими нановолокнами, вуглецем, графеном). Показано, що отримані композити знижують рівень пропускання електромагнітного випромінювання від 10 до 10000 разів. Ці композити є перспективними для створення на їх основі полімерних покриттів і матеріалів для екранування приладів та організмів людей від негативного впливу електромагнітного випромінювання;

- методом осадження з розчину діетиленгліколю з нітратами металів як вихідних реагентів синтезовано наночастинки $NiFe_2O_4$ зі структурою шпінелі в діапазоні 2–8 нм. На основі плівок з цих наночастинок створено елементи, які можна використовувати як фільтри у складі НВЧ-генераторів або в пристроях типу вентилів і циркуляторів з малими наведеними енергетичними втратами;

- синтезовано і досліджено властивості керамічних зразків твердого розчину перовскіту з великим магнітоелектричним ефектом. Це дозволяє створити високочутливі магнітні датчики для таких важливих галузей медичної діагностики, як магнітоенцефалографія та кардіографія;

- розроблено вакуумно-деформаційну технологію отримання радіаційнозахисних багаточастинкових трикомпонентних ламінатів системи $Ti-Fe-W$, які потенційно є конкурентоспроможними порівняно з композитами системи $Al-Pb$ завдяки вищій температурі плавлення їх складових. За однакових значень коефіцієнта ослаблення маса композитів на 30–40 % менша за еквівалентну масу алюмінію;

- отримано наноструктурні багат шарові покриття VN/MoN з винятковими властивостями: висока твердість, зносостійкість, низький коефіцієнт тертя, стійкість до високих температур, хімічна інертність. Їх можна використовувати як самозмащувальні покриття в трибологічних контактах, що працюють за високих температур.

За напрямом «*Нанотехнології для енергетики*»:

- одержано нанокомпозити на основі поліаніліну та наноструктурованого графіту високої питомої ємності, а також низку нанорозмірних гібридних металоорганічних перовскітів, придатних для створення відповідно електродів суперконденсаторів, фотовольтаїчних комірок та світловипромінювальних діодів;

- розроблено прецизійний сплав з підвищеною твердістю та міцністю і специфічною структурою розплаву, який має підвищену здатність до аморфізації. Цей сплав можна застосовувати у високоефективних електротехнічних пристроях в енергетиці та приладобудуванні;

- розроблено методи синтезу фоточутливих наногетероструктур та нанокомпозитів селенідів кадмію, цинку та оксидів титану з підвищеною фотокаталітичною активністю, поліпшеним поділом зарядів і запобіганням процесам рекомбінації, що збільшує ККД електродів на їх основі. Ці матеріали є перспективними як фотоанооди сонячних комірок;

- запропоновано конструкцію і відпрацьовано технологію одержання біметалічних виробів типу підшипників ковзання з функціональним робочим шаром на мідній основі та з нанорозмірними зміцнювачами як плакувальний шар для роботи в умовах сухого тертя або граничного змащування. Технологія дозволяє одержувати шаруваті композиції у виробках, різних за складом, розмірами, конфігурацією та призначенням, за мінімальних витрат енергоресурсів і матеріалів.

За напрямом «*Нанобіотехнології*»:

- вивчено біологічні характеристики калікс[4]арен-тетраметиленбісфосфонової кислоти (С-145). Показано, що С-145 концентра-

ційно залежно пригнічує гідроліз desAB фібрину і має ефективну антикоагулянтну дію. Це може бути використано для створення прототипу нового антитромботичного препарату;

- розроблено медичний препарат на основі метилцелюлозного гелю з наночастинками золота для епітелізації опікових поверхонь. Нанесення препарату на опікові рани тварин сприяє активізації регенеративних процесів у них та нормалізації вмісту лейкоцитів у крові, що свідчить про завершення ранового запального процесу. Препарат придатний для застосування в опікових центрах та комбустіологічних клініках з метою пришвидшення відновлення ушкодженої опіком шкіри;

- розроблено ефективний комплекс біогенних металів у формі солей карбонових кислот та технології їх застосування спільно з мікробними препаратами в новітніх агротехнологіях. Комплекс забезпечує рослини додатковими елементами живлення, формуючи ефективні рослинно-мікробні системи, і дає змогу повною мірою реалізувати генетичний потенціал сучасних сортів сої;

- досліджено морфологічно-функціональні характеристики мезенхімальних стовбурових клітин (МСК) кісткового мозку щурів під дією наночастинок золота. Встановлено, що додавання наночастинок золота в концентрації водного розчину до 1,5 мкг/мл спричинює зміни МСК кісткового мозку, тоді як за концентрацій наночастинок понад 3 мкг/мл спостерігається токсичний вплив на клітини. Проведені дослідження розширюють уявлення про вплив наночастинок золота на стовбурові клітини, а отримані дані можуть бути основою для використання наночастинок золота в практиці відповідних клінік.

За звітний період за тематикою Програми захищено 16 докторських та 55 кандидатських дисертацій; опубліковано 58 монографій, 25 оглядів, 1125 статей, 1440 тез доповідей; отримано 89 патентів, подано 42 заявки на винаходи.

У 2015–2019 рр. установи НАН України — виконавці Програми були організаторами та співорганізаторами 70 міжнародних і вітчизняних конференцій, симпозіумів, семінарів з

нанотематики. Так, організовано і проведено IV Міжнародну конференцію «Кластерні та наноструктурні матеріали» (СNM'4); V Наукову конференцію «Нанорозмірні системи: будова, властивості, технології» (НАНСИС-2016); 5 Міжнародну конференцію «Кластерні та наноструктурні матеріали» (СNM'5); Школу-конференцію молодих вчених «Сучасне матеріалознавство: фізика, хімія, технології» (СМФХТ-2019); підсумкову VI Наукову конференцію «Нанорозмірні системи: будова, властивості, технології» (НАНСИС-2019), де було представлено найвагоміші результати в галузі нанофізики, нанохімії, наноматеріалознавства та нанобіотехнологій, одержані установами НАН України під час виконання Програми.

З метою продовження досліджень за програмою «Фундаментальні проблеми створення нових наноматеріалів і нанотехнологій» пропонується започаткувати нову цільову програму фундаментальних досліджень НАН України «Перспективні дослідження та інноваційні розробки наноматеріалів і нанотехнологій для потреб промисловості, охорони здоров'я та сільського господарства» на 2020–2024 рр.

Серед основних завдань нової Програми можна назвати такі:

- встановлення механізмів утворення наносистем і наноматеріалів різного рівня склад-

ності — атомних кластерів і фрактальних агрегатів, фулеренів і нанотрубок, гетероструктур і плівок, покриттів і об'ємних наноматеріалів, наноматеріалів широкого призначення;

- дослідження електричних, оптичних, магнітних властивостей матеріалів для наноелектроніки, фотоніки, спінтроніки, розроблення фізичних принципів приладів нового покоління з використанням наноматеріалів;

- розроблення методів діагностики структурно-морфологічних, фрактальних, динамічних та фізико-хімічних властивостей наносистем різного типу;

- розроблення фізико-хімічних основ новітніх наукомістких технологій, а саме: синтезу і консолідації нових класів неорганічних, органічних і гібридних наноструктурних матеріалів; надійного з'єднання різнорідних матеріалів з використанням наноприсадок та покриттів на конструкційних матеріалах; синтезу наноструктурованих біоактивних матеріалів і композитів, зокрема для цільової терапії онкозахворювань; синтезу надтвердих наноструктурних покриттів методом плазмової іонної імплантації для створення нової інструментальної бази.

Дякую за увагу!

За матеріалами засідання підготувала О.О. Мележик