

УДК 539.51

Г.Г. ГНЕСІН

Інститут проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича НАН України
вул. Кржижановського, 3, Київ, 03680, Україна

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО – МЕГАНАУКА

Розглянуто концепцію матеріалознавства як меганауки. На багатьох прикладах з галузей знань, які зумовлюють сталий розвиток цивілізації, показано, що матеріалознавство є базовою складовою створення найсучасніших міжнародних проектів, без яких неможливий прогрес науки і технології.

Ключові слова: безкризовий розвиток, традиційні і новітні матеріали, мегапроект, високотехнологічні матеріали.

Початок ХХІ ст. характеризується безперервним зростанням ролі наукових досягнень практично в усіх сферах діяльності людини. Особливо великого значення набувають напрями природничих наук, пов'язані з пізнанням природи фундаментальних явищ, у тому числі в космосі й ноосфері Землі, вивченням і керуванням процесами, що відбуваються в живій матерії, створенням нових органічних і неорганічних речовин і матеріалів, вивченням їхніх властивостей та структури, розробленням нових джерел енергії тощо.

Для забезпечення стабільного і безперервного науково-технічного прогресу в зазначених напрямках потрібне об'єднання знань наукових співтовариств і ресурсів технічно розвинених країн. Слід зазначити, що Україна, маючи високий науковий потенціал, передусім у рамках Національної академії наук, може зробити вагомий внесок у загальний розвиток кардинальних наукових напрямів.

Прикладом такого роду міжнародної кооперації можуть слугувати вже створені високотехнологічні й дуже дорогі прискорювачі елементарних частинок, оптичні та радіотелескопи, космічні зонди, системи глобальної навігації, високоенергетичні джерела випромінювань, апаратура для досягнення надви-

соких тисків, аналітична й діагностична апаратура тощо.

Для характеристики таких проектів, що мають глобальне значення, у наукових публікаціях і медіа-просторі останнім часом використовують термін «меганаука». Мета цієї статті — конкретизувати це поняття, запропонувати відповідні йому основні наукові напрями і показати роль матеріалознавства в реалізації найважливіших мегапроектів.

У 1992 р. відбулася Всесвітня конференція ООН «Самміт Землі», де за згодою представників 179 держав було прийнято документ «Порядок денний на ХХІ століття». У цьому документі було зазначено, що людство поки що не в змозі вирішувати проблему взаємозв'язку економіки та екології, і було висловлено думку про необхідність створення інтегральної науки, яка дасть суспільству об'єктивну методологію його безкризового розвитку.

У цьому ж році у звіті «Про глобалізацію науки і техніки» Японської агенції з науки і технології було зроблено найважливіший висновок, що для вирішення спільних проблем людства необхідне створення меганауки, яка об'єднає зусилля багатьох країн. Результатом об'єднання буде не просто сума зусиль, а щось більше, породжене синергетичним ефектом. На підставі цих висновків було сформульовано дефініцію: «Меганаука — комплексний

науковий напрям, присвячений вирішенню реальних проблем сталого розвитку цивілізації» (<http://www.megascience.ru/>). Досить розмите й невизначене поняття!

До початку XXI ст. людство накопичило колосальний обсяг найрізноманітніших знань. Неможливо всі їх вмістити в межі однієї меганауки, бо «никто не обнимет необъятного», як сказав Козьма Прутков. У рамках наведеної вище загальної концепції можна сформулювати кілька найважливіших напрямів у галузі фундаментальних і прикладних наук, а також інженерних рішень, які можуть відповідати поняттю меганауки, її масштабам і ролі в розвитку цивілізації.

До них слід віднести такі напрями, які в основному узгоджуються з Сьомою Рамковою програмою науково-технологічного розвитку Європейського Союзу: екологія, економіка, здоров'я людини, природа матерії, енергетика, інформатика та інтелектуальні технології, комунікації, матеріалознавство.

Для демонстрації взаємозв'язку перелічених мегапроектів розглянемо один з них — науку про матеріали.

Мета цієї статті — показати значущість матеріалознавства як меганауки та його роль у розвитку інших мегапроектів.

Спочатку потрібно сформулювати предмет статті, що ґрунтується на двох основних поняттях, які визначають зміст сучасного матеріалознавства.

1. Матеріалознавство — комплексна наука, заснована на фундаментальних досягненнях фізики, хімії, механіки суцільного середовища, а також прикладних наук: металознавства, чорної, кольорової та порошкової металургії, технології кераміки, композитів, наноструктурних і аморфних матеріалів, синтетичних монокристалів, органічних матеріалів, покриттів, плівок, а також методів з'єднання матеріалів.

2. Матеріал — продукт технологічної обробки природної або синтетичної сировини з метою досягнення в ньому заданого комплексу властивостей та експлуатаційних характеристик.

Досягнення фундаментальних досліджень, тісно пов'язаних з прогресом науки про матеріали, відзначені багатьма Нобелівськими

преміями — найвищою оцінкою наукових досягнень, визнаних у всьому світі. Серед них Нобелівські премії з фізики:

- за відкриття дифракції рентгенівських променів на кристалах (М. фон Лауе, 1914);
- за дослідження кристалів рентгенівськими променями (Г. Брегг, Л. Брегг, 1915);
- за відкриття аномалій у нікелевих сталях і створення сплаву з низьким коефіцієнтом теплового розширення (Ш. Гійом, 1920);
- за термоіонні дослідження на емісійно-активних матеріалах (О. Річардсон, 1928);
- за відкриття дифракції електронів на кристалах (К. Девіссон, Дж. Томсон, 1937);
- за створення апаратури і дослідження в галузі фізики високих тисків (П. Бріджмен, 1946);
- за відкриття транзисторного ефекту в напівпровідниках (В. Шоклі, Дж. Бардін, В. Браттейн, 1956);
- за роботи в галузі квантової електроніки і створення випромінювачів та підсилювачів на лазерно-мазерному принципі (М.Г. Басов, О.М. Прохоров, Ч. Таунс, 1964);
- за відкриття у сфері антиферромагнетизму і ферромагнетизму (Л. Неель, 1970);
- за створення теорії надпровідності (Дж. Бардін, Л. Купер, Р. Шріффер, 1972);
- за відкриття тунельних явищ у напівпровідниках і надпровідниках (Л. Есакі, А. Джайєвер, Б.Д. Джозефсон, 1973);
- за винахід електронного мікроскопа і скануючого тунельного мікроскопа (Е. Руска, Г. Бінніг, Г. Рорер, 1986);
- за відкриття високотемпературної надпровідності в керамічних матеріалах (Г. Беднорц, К. Мюллер, 1987);
- за розробку напівпровідникових гетероструктур і створення швидких оптико- та мікроелектронних компонентів (Ж.І. Алфьоров, Г. Кремер, Дж. Кілбі, 2000);
- за відкриття ефекту гігантського магнітоопору (П. Грюнберг, А. Фер, 2007);
- за досягнення в галузі поліпшення передавання світла через оптоволокно та за винахід оптичних напівпровідникових сенсорів (Ч. Као, В. Бойл, Дж. Сміт, 2009);
- за передові досліди з двовимірним матеріалом — графеном (А. Гейм, К. Новосьолов, 2010).

Нобелівські премії з хімії:

- за відкриття фулеренів (Р. Керл, Г. Кро-то, Р. Смоллі, 1996);
- за вивчення перебігу хімічних процесів на твердих поверхнях (Г. Ертль, 2007);
- за відкриття квазікристалів (Д. Шехтман, 2011).

Наведений перелік видатних наукових робіт, які багато в чому визначили прогрес сучасного матеріалознавства, свідчить, наскільки широкий фронт досліджень, спрямованих на становлення меганауки — матеріалознавства.

Розглянемо роль матеріалознавства в реалізації окремих мегапроектів, оскільки всі вони (можливо, за винятком економіки) потребують розробок і досліджень, спрямованих на створення й використання широкого спектру традиційних і новітніх матеріалів та їх поєднань.

Екологія. Один з основних шляхів застосування матеріалів в екології — створення високоефективних каталізаторів для зниження концентрації в атмосфері токсичних викидів і парникових газів. Так, дослідження професора Г. Ертля з каталітичного окиснення CO на Pd і Pt привели до створення масової технології виробництва каталізаторів на керамічних носіях, які використовують для зниження концентрації токсичних вихлопів автомобільних двигунів. Розробки групи корейських учених дали змогу створити високоефективний каталізатор на основі Cu, Fe і Zn на цеолітових носіях для комплексного вловлювання та переробки високотоксичних NO і NO₂ (www.world.kbs.co.kr). Можна навести ще безліч прикладів використання різних поруватих проникних матеріалів на металевій, керамічній або вуглецевій основі як фільтрів і каталізаторів, що застосовуються для очищення повітря і води.

Здоров'я людини. У нашому розумінні цей мегапроект має охоплювати проблеми виробництва лікарських препаратів, дезінфекції, діагностики, терапевтичного, фізіотерапевтичного та хірургічного лікування, а також реабілітаційної медицини. Практично всі сторони цієї неосяжної галузі інтелектуальної та практичної діяльності, яка безперервно розвивається, тісно пов'язані з використанням

найрізноманітніших матеріалів. Наведемо лише кілька досить значущих прикладів:

- постійні магніти на основі висококоерцитивних феритів або електромагніти з надпровідними обмотками. У діагностиці широко використовують апаратуру, основу на ядерному магнітному резонансі (ЯМР) і магнітно-резонансній томографії (МРТ) із застосуванням сильних магнітних полів. У фізіотерапії постійні магніти (ферити) застосовують для лікування захворювань опорно-рухового апарату;
- біокерамічні матеріали на основі трикальційфосфату, гідроксиапатиту, оксиду алюмінію, діоксиду цирконію, а також біосумісні металеві сплави на титановій, кобальт-хромовій та хром-нікелевій основі використовують в ортохірургії та стоматології;
- вуглецеві тканинні, волокнисті й поруваті дисперсні матеріали використовують як високоефективні ентеро- і гемосорбенти, а також як перев'язувальні матеріали, просочені лікарськими засобами, що прискорюють загоєння ран та інших зовнішніх ушкоджень;
- легкі високоміцні композити, армовані високомодульними вуглецевими волокнами застосовуються для навантажених протезів, а високощільний, біоінертний скловуглець — для протезування суглобів.

Природа матерії. Цей мегапроект, спрямований на пізнання природи матерії, передбачає комплекс досліджень фізичних процесів у галактичному просторі, ближньому космосі та явищ, що відбуваються під час взаємодії елементарних частинок з речовиною і одна з одною. Інтенсивне накопичення знань у цій сфері в другій половині минулого й на початку цього століття стало можливим завдяки застосуванню різноманітного арсеналу надзвичайно складних і дорогих приладів (оптичні, радіо- та рентгенівські телескопи, спектрофотометри, гамма-детектори, прискорювачі елементарних частинок тощо). Приклади використання спеціально розроблених високотехнологічних матеріалів у цьому мегапроекті:

- у побудованому за спільним проектом НАСА і Європейського космічного агентства орбітальному космічному телескопі «Хаббл» було виготовлено унікальне дзеркало зі

спеціального скла з наднизьким коефіцієнтом теплового розширення. Це дзеркало було оброблено з точністю до 30 нм і покрито шаром алюмінію і захисним шаром фториду магнію. Така оптична система дала можливість фіксувати з високою роздільною здатністю і детально вивчати картину космічного простору в широкому діапазоні довжин хвиль — від ультрафіолетового до інфрачервоного. У нещодавно запущеному російському орбітальному радіотелескопі «Радіоастрон» як радіовідбивний матеріал 10-метрового дзеркала-концентратора, що розкривається в космосі, було використано особливо міцну електропровідну вуглецеву тканину. Роздільна здатність цього телескопа в 1000 разів вища, ніж у космічного телескопа «Хаббл», що працює в оптичному діапазоні;

- у грандіозному міжнародному проєкті створення та експлуатації великого адронного колайдера (БАК) беруть участь понад 10000 інженерів і вчених із 100 країн. БАК призначений для розгону й зіткнень протонів і важких іонів, вивчення продуктів їх взаємодії, що дасть змогу глибше зрозуміти природу й еволюцію матерії в космічних масштабах. БАК та інші прискорювачі елементарних часток є надскладними установками, які використовують глибокий вакуум, криогенні температури, потужні електромагнітні поля та інші екстремальні умови, для забезпечення яких знадобилися спеціальні розробки магнітних, надпровідних, вакуумщільних, емісійних, діелектричних, конструкційних та інших матеріалів, а також концентрація зусиль матеріалознавців провідних дослідницьких і виробничих центрів.

Енергетика. Цей мегапроект, життєво необхідний для стабільного розвитку цивілізації, охоплює всі сторони діяльності суспільства. Основна тенденція розвитку — розширення застосування поновлюваних, екологічно чистих і створення принципово нових, високоефективних джерел енергії з поступовим зменшенням частки енергетичного використання викопних вуглеводневих палив, а також ядерної енергії (у сучасному вигляді). Розрізняють:

- «велику» енергетику, яка використовує двигуни, газотурбінні, гідротурбінні, парогазові, ядерно-енергетичні установки потужністю десятки й сотні мегават, а також системи передавання електроенергії на великі відстані;

- «малу» енергетику на основі малогабаритних електролітичних елементів, які не підлягають перезаряджанню, і перезарядних акумуляторів з високою щільністю накопичення енергії, серед яких найефективніші нікель-металогідридні (120 Вт/кг) і літій-іонні (160 Вт/кг).

До обох категорій енергетики варто віднести установки з використанням енергії Сонця (фотоперетворювачі), паливні елементи та інші нетрадиційні методи генерування енергії, що потребують використання нових функціональних матеріалів.

Наведений стислий перелік шляхів отримання і транспортування енергії показує всю різноманітність наукових та інженерних рішень, що потребують застосування конструкційних, електропровідних, жароміцних, вогнетривких, кавітаційно- і корозійностійких металевих і керамічних матеріалів для традиційних теплових і гідроелектростанцій, а також використання технологій нерознімних з'єднань різних матеріалів (зварювання, паяння). Промислова ядерна енергетика ґрунтується на використанні спеціальних реакторних металевих, вуглецевих, керамічних матеріалів, що вирізняються високою радіаційною стійкістю, здатністю поглинати нейтронне і γ -випромінювання, а також їх застосування в тепловидільних елементах (ТВЕЛ) ядерних реакторів. Нарешті, методи отримання енергії за допомогою прямого перетворення сонячної та теплової енергії на електричну засновані на використанні силіциєвих (кремнієвих) напівпровідникових матеріалів, термоелектриків, керамічних оксидних твердих електролітів (суперіоніків), каталізаторів на основі платиноїдів, вуглецевих матеріалів тощо.

Інформатика та інтелектуальні технології. Цей напрям, що бурхливо розвивається із 70-х років минулого століття, нині зробив революцію в повсякденному житті людства. Сьогодні неможливо здійснити жоден проєкт без використання систем накопичення, оброблення,

перетворення, передавання інформації та активного її використання з метою керування, оптимізації, проектування, прогнозування та інших напрямів інтелектуальної діяльності. Основними інструментами реалізації такого мегапроекту є комп'ютерні системи й системи передавання інформації, що перетворилися нині на глобальну мережу (Інтернет). Загальна тенденція розвитку комп'ютерної техніки полягає в її мініатюризації, збільшенні швидкодії, нарощуванні обсягів пам'яті, що пов'язано насамперед зі створенням і застосуванням нових високотехнологічних функціональних матеріалів. Наведемо кілька прикладів кардинальних рішень у матеріалознавстві стосовно проблем комп'ютерної техніки:

- відкриття П. Грюнбергом і А. Фером ефекту гігантського магнітоопору в тонких металевих плівках Fe і Cr лягло в основу розроблення наночарових композитів для жорстких дисків та інших твердотільних накопичувачів інформації обсягом до кількох терабайт;

- відкриття Ж.І. Алфьоровим ефекту надінжекції в гетероструктурах на основі твердих розчинів типу $A^{III}B^V$ дало змогу створити напівпровідникові лазери, широко використовувані в системах оптичного запису інформації та бездротового керування електронними пристроями;

- отримання і дослідження структури і властивостей графену — двовимірної модифікації вуглецю, виконане А. Геймом і К. Новосоловим, відкрило нові перспективи в нанoeлектроніці: високоефективні фотодетектори, одноелектронні транзистори, надтонкі діелектрики (фторграфен) та інші революційні розробки, що дають можливість на порядки поліпшити показники електронних пристроїв.

Комунікації. Загальна тенденція глобалізації всіх аспектів людської діяльності невпинно наростає і потребує модернізації наявних і створення принципово нових систем переміщення в просторі людей, вантажів, глобальних космічних систем позиціонування, транспортування величезних обсягів інформації як у межах Землі, так і на космічній відстані. Такий мегапроект може бути життєздатним і безперервно розвиватися за умови широкого вико-

ристання традиційних і новостворюваних матеріалів. Наведемо кілька прикладів:

- для підвищення дальності й економічності авіаційного транспорту нещодавно закінчено розроблення нових літаків: американського Боїнг-787 і європейського Аеробус А-380. Їх створення було реалізовано завдяки міжнародному співробітництву в напрямі отримання надлегких і надміцних композитів на основі магнієвих, алюмінієвих і титанових сплавів, а також полімерів, зміцнених високомодульними вуглецевими й полімерними волокнами;

- розроблення транспортних систем, пов'язаних з доставкою екіпажів і корисних вантажів на навколоземні орбіти і в дальній космос, а також з використанням дистанційно керованих планетоходів, стало можливим завдяки створенню наджаростійких матеріалів для роботи в потоці продуктів згоряння ракетних двигунів, конструкційних високоміцних металевих і композиційних матеріалів для тонкостінних паливних баків і корпусів ракет, функціональних матеріалів для електроніки, що забезпечує космічну навігацію, телеметрію і зв'язок з наземними центрами керування, а також технологій з'єднання різнорідних матеріалів (зварювання і паяння).

Для значного підвищення ефективності систем зв'язку нині створено транспортну телекомунікаційну інфраструктуру з використанням волоконно-оптичних ліній — як міжконтинентальних, так і локальних. Наприклад, протяжність мереж самої тільки компанії «Ростелеком» перевищує 500 тис. км. Для ниток оптичних волокон розроблено прозорі у видимому й інфрачервоному діапазонах матеріали, які мають високий коефіцієнт заломлення в серцевині і нижчий — в оболонці. Така структура забезпечує повне внутрішнє віддзеркалення світла, мінімальні втрати сигналу, велику швидкість і ємність передавання інформації. В оптичних волокнах використовують кварцові й халькогенідні стекла, а також оптичні полімерні матеріали (поліметилметакрилат і фторполімери).

Ці досить значущі приклади участі науки про матеріали в реалізації мегапроектів показують її важливу роль у забезпеченні науково-технічного прогресу, що потребує

інтеграції та координації зусиль наукових колективів, які працюють у цій галузі.

Зразком комплексного розроблення фундаментальних і прикладних аспектів сучасного матеріалознавства може бути діяльність Національної академії наук України, де зосереджено близько 30 інститутів, робота яких пов'язана з вирішенням новітніх проблем матеріалознавства. Науковий потенціал установ спрямований на створення і дослідження металевих, композиційних, керамічних, вуглецевих матеріалів, полімерів, синтетичних монокристалів, покриттів, тонких плівок конструкційного і функціонального призначення, а також технологій їх отримання та з'єднання методами зварювання й паяння.

На жаль, нинішнє промислове виробництво матеріалів в Україні ґрунтується на традиційних технологіях, не модернізованих упродовж останніх 20 років, а нові передові розробки НАН України реалізуються лише в дослідних масштабах. Їх просування можна здійснити в рамках міжнародних мегапроектів на підставі незалежної та об'єктивної експертної оцінки досягнень українських учених порівняно зі світовим рівнем науки про матеріали. Таке оцінювання має бути проведене і в інших технологічно розвинених країнах.

Для вироблення стратегічної програми розвитку меганауки — матеріалознавства, як одного з найважливіших компонентів загальної системи забезпечення безкризового, стабільного прогресу цивілізації, необхідне створення спеціалізованого міжнародного експертно-аналітичного центру «Матеріали і технології» відповідно до ідей Сьомої Рамкової програми, в якій сформульовано концепцію створення «технологічних платформ». Такого роду «технологічні платформи» можуть стати прототипами міжнародного проекту «Завод мрії» (Dream Plant). Він має акумулювати новітні фундаментальні і технологічні досягнення науки про матеріали, що базуються на створенні технологій та використанні передових видів устаткування для плавлення, спікання, з'єднання, термомеханічного, електрофізичного та інших видів оброблення матеріалів, отримання наноструктур, монокристалів, квазікристалів,

тонких плівок, волокон, вусів, композитів, а також для аналізу й характеристики матеріалів.

В організації «Заводу мрії» бажано використовувати, наприклад, досвід створення, функціонування і міжнародного фінансування Європейської організації з ядерних досліджень (ЦЕРН).

Отже, концепція науки про матеріали як меганауки може стати основою стратегії і стимулом подальшого розвитку матеріалознавства.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Неорганическое материаловедение / Под ред. Г.Г. Гнесина, В.В. Скорохода. — К.: Наук. думка, 2008. — Т. 1. — 1159 с. — Т. 2, Кн. 1. — 855 с. — Кн. 2. — 893 с.
2. Гнесин Г.Г. Материаловеды (ученые, инженеры, изобретатели). — К.: Логос, 2010. — 259 с.
3. Cahn R.W. The Coming of Material Science. — N.Y.: Pergamon, 2001. — 590 p.

Г.Г. Гнесин

Институт проблем материаловедения
им. И.Н. Францевича НАН Украины
ул. Кржижановского, 3, Киев, 03680, Украина

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ — МЕГАНАУКА

Рассмотрена концепция материаловедения как меганауки. На многих примерах из областей знаний, обуславливающих устойчивое развитие цивилизации, показано, что материаловедение является базовой составляющей создания самых современных международных проектов, без которых невозможен прогресс науки и технологии.

Ключевые слова: бескризисное развитие, традиционные и новые материалы, мегапроект, высокотехнологические материалы.

G.G. Gnesin

Frantsevich Institute for Problems of Materials Science
3 Krzhizhanovsky Str., Kyiv, 03680, Ukraine

MATERIAL SCIENCE — MEGA SCIENCE

The conception of material science as the mega science is viewed. Many examples from the fields of knowledge determining the sustainable development of civilization show the great role of material science. It is the basic component in creating the modern international projects vital for science and technology progress.

Keywords: crisisless development, traditional and new materials, mega project, high technology materials.

Стаття надійшла 29.11.2011 р.