

### III. Науково-організаційна діяльність

УДК 621.762

Д. А. Левина, Л. И. Чернышев, Н. Е. Федорова

#### ВЫЗОВЫ СОВРЕМЕННОГО МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЯ В ЕВРОПЕ: РАЗВИТИЕ НАНОТЕХНОЛОГИЙ И НАНОМАТЕРИАЛОВ

*Стаття присвячена розгляду питання, з якими труднощами прийдеться зіштовхуватися в найближче десятиліття європейському матеріалознавству і європейській матеріаловиробничій промисловості, які вимоги пред'являють пріоритетні напрямки європейської економіки до нових матеріалів, зокрема до наноматеріалів.*

*Ключові слова:* інноваційні матеріали, матеріали з добавленою вартістю, наноматеріали, Європейська технологічна платформа ЄвроМат.

В нашей предыдущей статье [1] были рассмотрены прогнозные исследования [2–4], относительно отраслей европейской экономики, которые будут активно развиваться в ближайшее десятилетие и в которые инвесторы готовы вкладывать капиталы для разработки инновационных материалов. Данная статья посвящена более детальному рассмотрению вопроса о том, с какими трудностями придется сталкиваться в ближайшее десятилетие европейскому материаловедению и европейской материалопроизводящей промышленности, какие требования предъявляют к новым материалам приоритетные направления европейской экономики, какие материалы и технологии потребуются для их успешного развития.

Европа, по-прежнему оставаясь одной из самых передовых культурных, технологических и промышленных регионов, где материаловедение и технология находится на самом высоком уровне, тем не менее, в меньшей степени по сравнению с другими развитыми мировыми регионами, способна трансформировать новые научные знания в экономические ценности, в создание экономического благосостояния и социального благополучия.

Новая программа научно-технического сотрудничества Евросоюза Горизонт-2020 ставит европейское научное сообщество перед необходимостью обеспечения реальной и надежной конкурентоспособности европейской промышленности, что потребует разработки новых, экологически чистых, устойчивых, функционально совершенных и экономически приемлемых материалов. Таким образом, материалы будут краеугольным камнем в будущем для достижения сложных целей этой новой европейской программы.

© Левина Діана Анатоліївна, кандидат фіз.-мат. наук, старший науковий співробітник Інституту проблем матеріалознавства ім. І. М. Францевича; Чернышев Леонід Іванович, Федорова Наталія Євгенівна — наукові співробітники цього ж інституту.

Следует учитывать условия, в которых придется работать будущим ученым и специалистам в области исследований, разработки и использования новых материалов.

К мировым мегатенденциям, сильно влияющим на производство материалов, в том числе и в странах Евросоюза, является глобализация — интеграция экономик и сообществ во всем мире, которая в последние годы стала движущей силой мирового экономического роста. В связи с этим в последние десятилетия в корне изменилась структура мировой, в том числе и европейской промышленности. Глобализация привела к ситуации, в которой стало возможным и экономически эффективным использование глобальных ресурсов в различных областях экономики, в том числе в логистике и обмене информацией.

Другой мегатенденцией является противоречие между увеличивающимся дефицитом природных ресурсов и растущим спросом на продукцию, связанным с увеличением народонаселения. Так, например, экономическое развитие и рост численности населения, как ожидается, приведет к резкому, в два раза увеличению спроса на энергию в ближайшие 30 лет. Большая часть этого роста будет наблюдаться в развивающихся странах.

Значительное повышение производительности за счет введения новых наукоемких технологических процессов привело к возрастанию цен на интеллектуальные продукты и услуги, а это, в свою очередь, снизило относительные цены на сырье и затраченный труд. Это обстоятельство способствовало росту вложений капитала в разработку и внедрение наукоемкой продукции.

Все эти факторы привели к тому, что хотя Европа и остается одним из главных игроков в мировой экономике, но многим европейским предприятиям приходится бороться за выживание на быстро меняющихся современных рынках. Они сталкиваются с проблемами жесткой конкуренции и перестройки мировой экономики. Кроме того, новые вызовы, связанные с законодательством в области экологической устойчивости, такие, например, как требования снижения выбросов углекислого газа и утилизации отходов, увеличение стоимости энергии и повышение стоимости сырья в последние годы имеют большое влияние на себестоимость продукции. Перечисленные факторы наряду с появлением стран с низкой стоимостью рабочей силы — страны Восточной Европы, Индия и Китай, а также быстро развивающаяся технологическая компетенция в этих регионах грозят падением конкурентоспособности продукции стран Евросоюза на мировых рынках.

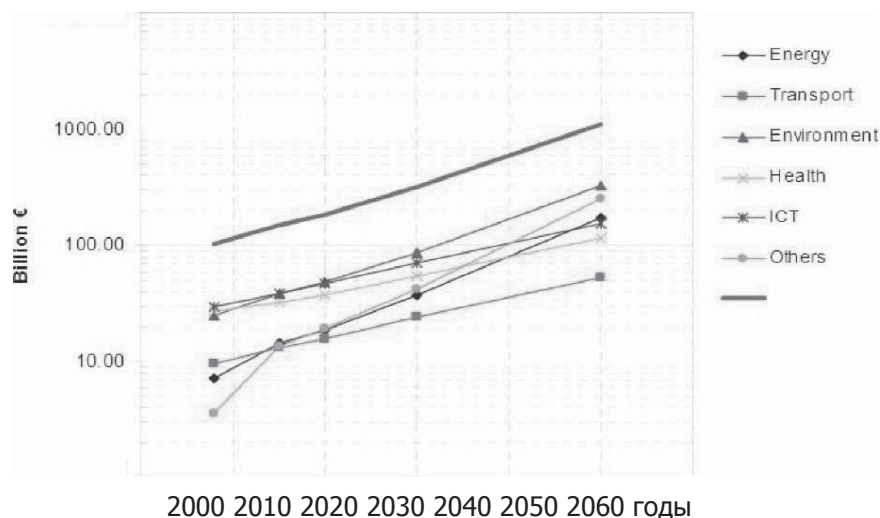
Европейской промышленности, для того чтобы стать устойчивой и конкурентоспособной системой, необходимо при производстве товара перейти от парадигмы создания экономичной продукции с сокращением производственных расходов, к новой парадигме создания высокотехнологичной наукоемкой продукции с высокой добавленной стоимостью.

С целью обеспечения оптимального участия промышленности и других важных заинтересованных сторон в процессе установления приоритетов в научных исследованиях и разработках в области передовых конструкционных материалов и технологий в Европе была создана Европейская технологическая платформа *Техника и технологии передовых материалов* EuMaT [2–5], которая предназначена в сложных современных условиях все возрастающей конкуренции обеспечить оптимальное участие промышленности и других заинтересованных сторон в процессе создания передовых материалов и технологий, улучшить согласованность действий участников и заинтересованных сторон в существующих и предстоящих проектах Еврокомиссии в этой области.

EuMaT охватывает все элементы жизненного цикла промышленного продукта, будь то компоненты, системы или конечные продукты: проектирование, разработку и сертификацию инновационных материалов, современные технологии производства и обработки материалов и изделий, тестирование, выбор и оптимизацию методов моделирования на всех уровнях, создание баз данных и аналитическую поддержку жизненного цикла изделий, включая воздействие на них различных факторов, вывод из эксплуатации, надежность, опасности и риски.

EuMaT заказал известной фирме Steinbeis Advanced Risk, специализирующейся на проведении аналитических исследований, разработку прогноза развития современных материалов, который выполнен совместно с компанией Technologies GmbH, а также с привлечением сети Steinbeis Transfer Network, включающей 900 предприятий и партнеров по выполнению проектов из 50 стран. Этот материал [5] подготовлен с широким привлечением экспертов из университетов, исследовательских центров и промышленности, входящих в EuMaT, при эффективном сотрудничестве с Генеральным директоратом по исследованиям и инновациям Еврокомиссии. Поскольку этот материал представляет большой интерес для украинских материаловедов и будет полезен им как при выборе тематики будущих разработок, так и для поиска партнеров для выполнения совместных европейских проектов и нахождения инвесторов, далее остановимся на нем более подробно.

Трудно переоценить роль материалов в современной цивилизации. Без достижений в области передовых материалов был бы невозможен прогресс в таких областях, как электронные, медицинские, строительные, транспортные системы, энергетика и машиностроение. Без разработки улучшенных и новых материалов невозможно осуществить намеченные технические и социальные проекты для решения таких проблем, как изменение климата, охрана здоровья и старение населения, производство энергии, управление ресурсами и т.д. Благодаря своим фундаментальным стимулирующим особенностям материаловедение и технологии представляют собой один из лучших двигателей ускорения научно-технологического прогресса.



Рынок материалов с относительной добавленной стоимостью, равной 1 [5]

На протяжении десятилетий технологии материалов рассматриваются как мега-технологии, которые наряду с био- и информационными технологиями имеют наибольшее влияние на развитие промышленности, общества и благосостояние граждан. Такие технологические разработки в материаловедении, как создание высокочистых полупроводников, высокотемпературных жаропрочных сплавов для авиационных двигателей, промышленных газовых турбин и аэрокосмических материалов получили признание как критически важные ключевые технологии.

В других, менее заметных направлениях развитие технологии материалов чрезвычайно быстро привело к радикальным уменьшениям издержек на протяжении жизненного цикла продукта, например, разработка новых режущих материалов, используемых в обработке, тонкие покрытия для инструмента и легкие конструкции для строительства и транспорта — это примеры, где быстрая реализация достижений в новых технологиях материалов привели к радикальному сокращению расходов на протяжении всего периода производства и эксплуатации продукции в масштабах, которые не были бы возможны с помощью обычной рационализации производства.

В различных отраслях промышленности акцент и основные направления материаловедческих разработок имеют различные направления. В горнодобывающей промышленности, строительстве, переработке и металлургических процессах на сегодняшний день самыми важными являются контроль износа и механическая надежность материалов, оказывающие существенное влияние на стоимость этапов жизненного цикла. В других отраслях, таких как химическая технология, морской транспорт и целлюлозно-бумажная промышленность доминируют поверхностные свойства и защита от коррозии. Физические свойства — теплопроводность и высокая температурная стабильность механических свойств может иметь значительное влияние в инструментальных приложениях, производстве энергии или деталей двигателя внутреннего сгорания. В сфере транспорта и авиационной промышленности основными критериями выбора материала являются отношение прочности к весу, жесткости к весу, пластичность, а в некоторых случаях также коррозионная стойкость.

В последнее десятилетие особо выросло значение продолжительности жизненного цикла материалов, особенно в условиях промышленного производства. Огромные затраты приходится на плановые ремонты и вынужденные простои оборудования. Во многих областях промышленности бесперебойный производственный процесс является одним из ключевых вопросов, влияющих на производительность и конкурентоспособность предприятия. Поэтому при разработке новых материалов вопросам их надежности, минимизации стоимости жизненного цикла, воздействию на окружающую среду должно быть уделено первостепенное значение.

Одной из важнейших целей научных исследований становится выяснение механизмов деградации материалов в производственных процессах и процессе эксплуатации, разработке новых материалов с улучшенной износо-, термо- и коррозионной стойкостью.

Значение таких исследований может быть продемонстрировано на таком примере. В США прямые ежегодные потери, связанные с коррозией, составили 18 млрд. долларов, тогда как общие национальные расходы во всех секторах экономики были на уровне 275 млрд. долларов.

В таких отраслях, как горнодобывающая, строительная и переработка расходы на износ деталей могут быть значительными и составлять около 40%

эксплуатационных расходов на жизненный цикл изделия: основные статьи затрат энергия — 25%, техническое обслуживание — 5–10%.

Огромное значение при создании новых материалов приобретают вопросы, связанные с экологией. Более строгий контроль технологических выбросов и утечек требуют надежных технологий и высококачественных материалов с глубоким пониманием их поведения при производстве, обработке и утилизации. Часто для увеличения производительности технологических процессов требуется использование более жестких с экологической точки зрения технологических режимов (химические среды, повышенные давление и температура). Для этого необходимы исследования по созданию материалов со свойствами, соответствующими конкретным требованиям, предъявляемым специфическими условиями всего жизненного цикла материалов, начиная от изготовления до утилизации

Хорошо известно, что материалы стали важным фактором для дальнейшего развития технологических процессов. В большинстве инженерных областей, особенно высокотехнологичных, существует непрерывная тенденция к модификации существующих продуктов для достижения более высокой производительности, более высокого качества и функциональности. Существенно повысились требования к материалам, используемым в технологическом оборудовании. Более эффективные процессы с более высокими скоростями, повышенными нагрузками, при более высоких температурах и в более агрессивных средах требуют улучшения, а в некоторых случаях совершенно новых свойств. Развитие этих новых материалов происходит не мгновенно и зачастую требует участия специалистов из нескольких областей, а также достаточного финансирования необходимых исследований. Для того чтобы использовать весь потенциал свойств материалов, они должны быть с самого начала интегрированы в процесс проектирования оборудования и разработку технологических процессов.

Новые материалы и материаловедческие технологии будут играть важную роль в европейской промышленности, влияя на конкурентоспособность практически всех отраслей промышленности. Инвестиции в технологии материалов обеспечивают возможности для достижения успеха на мировых рынках и будут способствовать созданию новых прорывных технологий и инноваций и переходу европейской промышленности из ресурсоемкой в наукоемкую. Инвестиции в разработки материалов могут создать платформу для роста новых предприятий и, тем самым, позволят улучшить ситуацию с занятостью в Европе.

Новые условия требуют новых подходов к разработке инноваций в области материаловедения. Прежде всего, необходимо выбрать методологию и концепцию управления жизненным циклом продукции и технологическими процессами ее утилизации. Важными вопросами при этом являются такие.

Новые материалы и производственные способы, которые могут быть использованы для новой продукции и ее жизненного цикла.

На основе совершенствованных представлений о сложных механизмах деградации материала (износ, коррозия, механическое разрушение) должны быть созданы эффективные, поэтапно совершенствуемые материалы или технологии.

Моделирование и имитация механизмов деградации свойств материала в условиях эксплуатации и производственных процессов с использованием вычислительных методов также должны приобретать существенное значение.

Европейские эксперты к следующему поколению наиболее перспективных материалов относят такие: наноструктурные материалы, металломатричные композиты, функциональные градиентные материалы, разумные материалы, гибридные материальные системы, представляющие собой многосоставные структуры, изготовленные из передовых высокотехнологичных материалов в сочетании с традиционными материалами.

Для производства вышеперечисленных перспективных технологий потребуются новые технологические приёмы, например, для получения многосоставных структур - струйное осаждение металломатричных композитов, новые методы нанесения покрытий и литья, методы порошковой металлургии и различные технологии изготовления композиционных материалов.

Европейские эксперты считают, что полную отдачу от разработанных новых материалов и технологий можно получить только при условии выполнения необходимого комплекса сопроводительных мероприятий, среди которых следующие:

- прогноз изменения свойств в процессе эксплуатации;
- многоуровневое моделирование и имитация поведения материала в процессе изготовления, эксплуатации, утилизации и др.
- испытания, контроль свойств (в т.ч. неразрушающий контроль), мониторинг, стандартизация и сертификация материалов
- обучение и образование персонала.

Развитие нанотехнологий и наноматериалов заслуживает особого внимания, ввиду того, что в силу своей революционности они могут оказывать большое влияние на нашу жизнь. Некоторые эксперты считают, что они могут привести к быстрому устареванию всех существующих производственных процессов, изменению современной концепции труда, результатом чего может стать даже социальная революция.

Без сомнения внедрение нанотехнологий приведет к существенному увеличению производства недорогих, умных и долговечных потребительских товаров. Качественный рывок произойдет в медицине и космической технике. Некоторые нанотехнологии могут оказаться очень мощными военными технологиями. Пристальное внимание к осуществимым, практическим аспектам технологии необходимо, чтобы сформировать реалистичный взгляд на будущее нанотехнологий.

Поэтому ниже мы подробно остановимся на современном состоянии и задачах в этой области на ближайшее десятилетие, которые определены европейскими экспертами. Надеемся, что эта информация будет полезна и для украинских материаловедов.

Нанотехнологии позволяют ученым работать на молекулярном уровне, располагая атом за атомом для создания разномасштабных структур с принципиально новой молекулярной организацией, обладающих из-за их наноразмерности уникальными физическими, химическими и биологическими свойствами.

Возможность контролировать структуру материала на наноуровне позволит повысить свойства материалов и функции устройств до пределов, которые в настоящее время считаются недостижимыми. На наноуровне материалы и полученные структуры могут вести себя совершенно не таким образом, как на макроуровне. Сборка наноразмерных материалов в управляемом режиме проложит путь для проектирования искусственных материалов, не существующих в природе, с заранее заданным комплексом свойств, что приведет к созданию новых классов продуктов для конкретных областей использования (транспорт, энер-

гетика, строительство, информационно-коммуникационные технологии, космическая техника и биомедицина).

Уже сегодня наноматериалы и нанотехнологии постепенно входят в нашу жизнь. Например, использование квантовых лазеров для чтения компакт-дисков. Углеродные нанотрубки и наночастицы являются коммерчески доступными для производства специальных продуктов, таких как антистатические соединения и прозрачные покрытия. Массовое производство нанопродуктов уже сегодня является реальностью для таких сегментов рынка как интегрированная электроника, датчики, покрытия, диагностические медицинские зонды. Тем не менее, широкое использование наноматериалов еще не достигнуто, хотя можно констатировать, что в последнее десятилетие накоплен достаточный опыт для замены ряда традиционных материалов, используемых в транспорте, энергетике, строительстве и т.д.

Совокупный мировой объем потребления всех видов наноматериалов в 2005 году превысил 9 млн. тонн и \$ 13,1 млрд., а в 2010 году достиг 10,3 млн. тонн и \$ 20,5 млрд. В основном это неполимерные органические материалы, вторая по величине доля потребления приходится на металлические наноматериалы (более 21% рынка). За период 2000–2011 гг. государственные вложения в глобальном масштабе в нанотехнологии составили более \$ 67,5 млрд. С учетом разных форм частного финансирования к 2015 году в области нанотехнологий будет вложено почти четверть триллиона долларов.

Полагают, что первыми широкими пользователями нанотехнологий будут военные, химические, биотехнологические и материалопроизводящие предприятия. В частности, биотехнологическая промышленность будет использовать нанотехнологии в целом ряде приложений, таких как биосенсоры, диагностические приборы, системы доставки и высвобождения лекарств внутри организма, восстановление и регенерация тканей. Кроме того, нанотехнологии будут эффективно использоваться при производстве сенсоров, электронной и компьютерной техники, разработчиками компонентов электромеханических устройств. Среди рынков нанопродукции будут первенствовать региональные рынки Японии, Северной Америки и некоторых европейских стран (Германия, Швейцария, Франция и Великобритания). Ряд нанообъектов для использования в качестве нанокомпонентов более сложных материалов и изделий будут упомянуты ниже.

К наночастицам относятся объекты с размером меньше 0,1 микрона. Особый интерес вызывают углеродные нанотрубки, производимые из алмаза, графита и кластерных углеродных структур (C<sub>60</sub>, C<sub>70</sub>, C<sub>76</sub>, C<sub>80</sub>, C<sub>84</sub> и). Углеродные нанотехнологии являются одними из самых изучаемых среди технологий наноматериалов, поскольку углеродные нанотрубки обладают выдающимся комплексом структурных и электронных свойств. Они обладают полый структурой, наивысшими из известных ученым прочностными свойствами, (осевой модуль Юнга более  $1 \cdot 10^6$  МПа), упругой деформацией, делающей их прекрасным материалом для изготовления различных зондов, стойкостью к кислотам и высоким температурам, высокой поглощающей способностью по отношению к водороду (возможность использования для хранения водорода),

Электронные свойства — чрезвычайно высокие плотности тока ( $10^9$  А/см<sup>2</sup>), возможность управления запрещенной электронной зоной вдоль структуры нанотрубки позволяет разработчикам проектировать схемы из проводов и активных устройств, изготовленных из одного и того же материала. В простых литографических схемах использование химической или механической модуляции электронной зонной структуры позволяет существенно менять режимы работы устройств. Кроме того, особенности баллистического переноса электронов в

нанотрубках исключают все электронные потери, кроме тех, что происходят на границах раздела.

Однако для успешной коммерциализации нанотрубок, в первую очередь, надо разработать крупномасштабные технологии их производства и решить вопрос их экономической эффективности.

Среди технологий производства нанотрубок в качестве перспективных рассматриваются лазерная абляция нагретой мишени и использование углеродной дуги постоянного тока для испарения импрегнированных углеродных электродов.

Кроме углеродных нанотрубок, широко исследуются считающиеся перспективными для практического использования наночастицы керамики (карбиды, нитриды, оксиды, бориды), сульфиды, галогениды, металлов (в том числе интерметаллиды), стекла и органических материалов.

Многих исследователей привлекают исследования биоматериалов. К ним относятся синтетические и модифицированные натуральные материалы, такие как полимеры, металлы, керамика, биологические материалы и композиты. Особый интерес для нанотехнологов представляют исследования, связанные с проблемами РНК, ДНК, пептидов и белков, поскольку из них ученые смогут построить большое количество довольно крупных, атомарно точных трехмерных структур. Хотя эти биомолекулярные структуры не настолько жесткие и прочные, как углеродные нанотрубки, они предоставляют много степеней свободы для конструирования новых материалов. Ученые уже разработали сложные конструкции (наномоторы, нанопинцеты) с использованием биомолекул.

Эксперты предсказывают расширение использования биоматериалов в здравоохранении, науках о жизни для диагностических приборов на основе т.н. лабораторий-на-чипах, ортопедических имплантатов, стоматологии, урологии, генной терапии, выращивания и восстановления органов, тканевой инженерии, офтальмологии, доставки лекарств, кардиологии, лечения сосудистой патологии и косметической продукции. Перспективно использование этих материалов в мехатронике для изготовления функционализированных биомолекулярных машин (синтетические биоустройства для задания последовательности операций или биосборщики, сделанные учеными из рибосом) и инструментов (наномоторы, пинцеты, нанобиосенсоры, включающие системы прямого доступа к памяти, пептиды, белки или другие типы биоматериалов).

К размерным структурам наноматериалов, кроме наночастиц, относятся квантовые ямы, квантовые точки, атомные кластеры, нанокластеры, нанокристаллы, нанофазные материалы, наноструктурированные материалы и нанокомпозиты. Эти наноматериалы играют ведущую роль в развитии нанотехнологий.

**Квантовые ямы** подобны крохотным полупроводниковым “коробкам”, способным захватывать электроны, позволяя им двигаться в плоскости слоя, но не выпуская за его пределы. Создавая слои различных полупроводниковых материалов, можно создавать ловушки для электронов или экситонов, которые, стремясь высвободить энергию, излучают ее обычно в виде света. Структуры с квантовыми ямами находят широкое применение при изготовлении полупроводниковых лазеров и других полезных передовых устройств (например, устройств резонансного туннелирования).

**Квантовые точки** представляют собой крохотные более мелкие по сравнению с квантовыми ямами металлические или полупроводниковые “коробочки”, удерживающие строго определенное число электронов, которые они могут селективно либо захватывать, либо высвобождать. Число электронов в



квантовой точке можно регулировать путем изменения электростатических свойств окружения точки. Квантовые точки имеют размеры от нескольких нанометров до микронов и могут удерживать до сотни электронов. В последние десять лет, исследователям удалось превратить их из лабораторных диковинок в строительные блоки для будущих квантовых компьютерных технологий.

**Атомные кластеры** — это очень небольшие группы атомов (от 3 до нескольких сотен или нескольких тысяч атомов) с уникальным поведением, отличающимся от поведения как индивидуальных атомов, так и массивного материала. Иногда атомные кластеры представляют собой недостающие атомы, расположенные в местах, где могли бы быть размещены регулярные конфигурации, характерные для массивных материалов — кристаллические структуры или волнообразные конфигурации, свойственные аморфным материалам. При некоторых размерах кремниевых кластеров им присуще высокое отношение поверхности к массе и зачастую они не стабильны, что делает их полезными для применения в качестве катализаторов. При других размерах кремниевые кластеры более устойчивы, чем массивный материал, что обещает им широкое применение в компьютерной технике на основе кремния. Движение электронов в кластерах ограничено их размерами, что создает специальные квантовые эффекты, могущие быть использованными в оптических компьютерах и при создании новых лазерных материалов.

**Нанокристаллы** могут иметь размеры такие же как и у нанокластеров, отличаясь от них упорядоченной кристаллической конфигурацией. В настоящее время нанесение нанокристаллов на стеклянные и кремниевые подложки для возможного использования в качестве люминофоров в плоских дисплеях является уже рутинной процедурой.

Начиная с 80-х годов прошлого столетия предпринимались попытки соединения атомных кластеров путем их компактирования с целью создать сплошной материал с размером зерен от 4 нм до 30 нм. Получающиеся при этом новые материалы не являются ни кристаллическими, ни аморфными, ни даже квазикристаллическими, а являются чем-то промежуточным, находясь в т. н. **нанофазном состоянии**. С 1989 года на базе Аргоннской национальной лаборатории (США) работает спин-офф компания *Нанофазные технологии* с целью коммерциализации нанофазных материалов, в частности, палладия и высокопластичной керамики, например диоксида титана.

**Наноконкомпозиты с наноструктурой** сегодня под понятием наноконкомпозит понимают материалы от атомных кластеров, в которых атомы одного элемента находятся в окружении атомов другого до перемежающихся слоев различных материалов. В наноконкомпозитах можно реализовать уникальное сочетание свойств, не присущее ни одному из составляющих компонентов. Так, например, интеркаляция слоя полимера толщиной в одну молекулу между слоями керамики с толщиной 5–15 нм увеличивает термостабильность полимера, повышает ударостойкость керамики и придает материалу новые свойства для использования в электронике и других отраслях техники. Исследователями фирмы "Дюпонт" создали наноконкомпозит из висмут-три-йодида и нейлона, который сможет заменить селен в рентгеновских изображениях.

В Калифорнийском университете (США) с использованием самосборки двух-компонентного полимера в жидкокристаллическом состоянии созданы наноконкомпозитные электропроводящие полимерные молекулярные проволоки в полиакриловой матрице. Материал обладает лучшими фотолюминисцентными свойствами в сравнении с традиционно используемыми входящими в его состав компонентами. При создании передовых наноструктурных материалов,

таких, например, как кевлар, была использована хорошо известная способность жидкокристаллических полимеров к самовыстраиванию.

**Основные проблемы** европейских материаловедов в разработке новых наноматериалов.

Усилия, затраченные в Европе и в остальном мире в области нанотехнологий, принесли выдающиеся результаты, в основном, фундаментального характера. Основные достижения в области нанотехнологий были получены в лабораторных масштабах, за исключением вычислительной техники и техники хранения данных, где в последнее десятилетие, благодаря использованию нанотехнологии достигнуты успехи на уровне массового производства.

Исследователям в ближайшие 3–5 лет для успешного выведения наноматериалов на рынок следует уделить особое внимание конструированию необходимых свойств наноматериалов в процессе их изготовления, а также разработке малозатратных методов для манипулирования свойствами на наноуровне для эффективного использования материала в конкретных устройствах. Приоритетными становятся такие вопросы, как:

- простота сборки наноматериалов при сохранении их квантовых свойств;
- стабильность свойств — их неизменность при работе в жестких условиях;
- взаимная растворимость и поверхностная совместимость компонентов для облегчения химических манипуляций;
- увеличение жесткости связей для достижения хороших механических свойств;
- способность к самоорганизации;
- возможность расширения масштабов производства;
- обратимость свойств;
- возможность построения объемных наноструктур;
- изменение свойств химическим, электронным, оптической или другим способом с помощью воздействия на входные параметры системы;
- повторяемость;
- специализация — нацеленность на использование в определенных устройствах;
- уменьшение количества дефектов в материале;
- возможность управления качеством поверхности;
- возможность управления рисками, в частности экотоксикологическими по отношению как к продукции, так и к технологии.

Инвесторы и производственники должны сконцентрировать ресурсы для создания новых эффективных и экономически выгодных производственных процессов с применением нанотехнологий, выведению на рынок новых наноматериалов для различных областей использования.

Как ожидают эксперты, существенный экономический эффект от использования наноматериалов ожидается в ряде применений. Так, наноматериалы обеспечат высокую эффективность при превращениях энергии (солнечные батареи, термоэлектрические агрегаты, промышленные системы очистки) и ее аккумулировании (батареи и суперконденсаторы)

Нанотехнологии позволяют получать очень легкие и разумные наноконпози́ты; при этом особое внимание следует обратить на синтез наночастиц *in situ* в исходной матрице полимерного или твердого материала.

Нанособранные функционально-градиентные твердые покрытия, обладающие экстремальной адгезией к металлам, керамике и полимерам будут эф-

фективно способствовать производству изделий точной формы для многофункционального использования (трибологические и конструкционные изделия, украшения, химически инертные и красящие вещества и т. д.)

Снижение стоимости нанопористых мембран для всех современных энергетических систем на ископаемом топливе или с использованием возобновляемых источников — ветра, волн, приливов, солнца, топливных элементов и т. д.) откроет возможность увеличить долговечность и надежность этих систем.

Разработка и производство двухфазных нано-микро- и нано-нано композитов с контролем в нано, субмикронном и микронном диапазонах даст возможность улучшить их механические, износные и функциональные свойства.

Экономически эффективными представляются интегрированные технологии изготовления наноматериалов с применением линий синтеза/сборки.

*Статья посвящена рассмотрению вопроса о том, с какими трудностями придется столкнуться в ближайшее десятилетие европейскому материаловедению и европейской материалопроизводящей промышленности, какие требования предъявляют приоритетные направления европейской экономики к новым материалам, в частности к наноматериалам.*

**Ключевые слова:** инновационные материалы, материалы с добавочной стоимостью, наноматериалы, европейська технологічна платформа ЕвроМат.

*The article deals with the question of what difficulties have to face in the next decade the European materials science and European materials production industry, what the requirements to new materials, in particular to nanomaterials, are the priority areas for the European economy.*

**Keywords:** innovative materials, materials with added value, nanomaterials, European technologic platform EuroMat.

1. Левина Д. А. К вопросу о развитии перспективных материалов в XXI веке/ Д. А. Левина, Л. И. Чернышев, И. И. Белан // Вісник Українського матеріалознавчого товариства. — К.: 2012, Вип. 5. — С. 116–124.
2. *European White Book on Fundamental Research in Materials Science.* — Stuttgart: Edit.Max-Plank-Gesellschaft, 2002. — 326 p.
3. *Technology and market perspective for future Value Added Materials. Final Report from Oxford Research AS.* — Brussels: Edit.Directorate-General for Research and Innovation Industrial Technologies of European Commission, 2012. — 128 p.
4. *White Paper.* GENNE SYS A. New European Partnership between Nanomaterials Science & Nanotechnology and Synchrotron Radiation and Neutron Facilities. — Stuttgart: Edit.Max-Plank-Gesellschaft, 2009. — 498 p.
5. *The European Technology Platform for Advanced Engineering Materials and Technologies EuMaT Strategic Research Agenda 2<sup>nd</sup> Edition* — 2012. [http:// eu-mat.eu/filehandler.ashx.file=11580](http://eu-mat.eu/filehandler.ashx.file=11580).