

МИРОВЫЕ ТРЕНДЫ РАЗВИТИЯ НАНОТЕХНОЛОГИЙ И СФЕРЫ ПРИМЕНЕНИЙ НАНОТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПРОДУКЦИИ. НАИБОЛЕЕ ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ. РЕСПУБЛИКАНСКАЯ АССОЦИАЦИЯ НАНОИНДУСТРИИ

*Чижик С.А., академик НАН Беларуси
Труханов А.В., исполнительный директор РАНИ*

Согласно результатам мониторинга мирового экономического развития, выполненного компанией «2016 GlobalR&DFundingForecast»¹, к 2020 году определяющими научно-техническое развитие в глобальном масштабе станут информационные технологии (31 % мирового рынка), нанотехнологии (30 % мирового рынка), а также бионанотехнологии (21 % мирового рынка).

Современная тенденция к миниатюризации функциональных устройств и развитию технологий получения наноразмерных объектов показала, что вещество может иметь совершенно новые свойства (физические, химические, оптические и механические) при переходе в наноразмерное состояние (размеры объекта от долей до сотен нанометров). Это прежде всего обусловлено квантово-механическими эффектами. Первое упоминание о теоретических предпосылках использования наноматериалов и нанотехнологий, приписывают известному американскому физика, лауреату Нобелевской премии Ричарду Фейнману (выступление «There's Plenty of Room at the Bottom» в Калифорнийском технологическом институте в 1959 г.).

Причинами проявления новых свойств у наноразмерных материалов являются:

1. Размерные эффекты – при условии соразмерности геометрических размеров нанобъектов и характеристическими физическими величинами

(длина свободного пробега электрона, длина волны де Бройля, размер магнитного домена и т.п.). Размерные эффекты в значительной мере обусловлены природой материала.

2. Поверхностные эффекты изменение свободной энергии поверхности, эффекты поверхностного натяжения, изменение реакционной способности частиц (проявляются при сопоставимом количестве атомов на поверхности и в объеме наночастицы).

3. Эффекты самоорганизации возможность наночастиц самопроизвольно упорядочиваться в сложные пространственные структуры – кластеры.

Проявление принципиально новых свойств позволяют успешно использовать наноматериалы для выпуска продукции практически во всех отраслях реального сектора экономики. Тенденции развития нанотехнологических компаний по оценке экспертов (агентство «Lux Research») приведет к росту рынка нанопродукции до 6,46 трлн долларов США уже к 2020 г. Наибольшее количество таких компаний (по данным OECD Science) отмечено в США, Германии, Франции, Корее². Отмечено, что коммерческий успех и экономическая эффективность от реализации нанопродукции прямо пропорциональны научно-исследовательской активности в данной области. Это объясняет ежегодное увеличение объемов финансирования, выделяемых на фундаментальные

¹2016 Global R&D Funding Forecast, <http://www.iriweb.org/sites/default/files/2016GlobalRDFundingForecast.pdf>

²OECD, Key Nanotechnology Indicators, <http://oe.cd/kni>, July 2015.

и прикладные исследования в области наноматериалов и нанотехнологий как со стороны государственного, так и со стороны корпоративного сектора. Страны-лидеры по объемам вложений в развитие научных исследований (США, Южная Корея, Германия, Япония) являются не просто наиболее технологически развитыми, но также являются мировыми лидерами по объемам прибыли от реализации выпускаемой нанотехнологической продукции. Анализ стратегий развития науки и технологий на долгосрочную перспективу (до 2030 г.) показал, что правительства многих стран признают необходимость выделения ключевых технологий (ключевых направлений), где необходимо сосредоточить усилия по достижению конкурентоспособности высокотехнологической продукции. В предыдущие 5 лет отмечено увеличение доли государственного финансирования для реализации научных исследований в области наноматериалов и нанотехнологий во многих странах мира (например, в США государственное финансирование сопоставимо по объемам с долей корпоративного сектора). Для повышения конкурентоспособности товаров и завоевании новых рынков требуется переориентация производств на выпуск высокотехнологичной и наукоемкой продукции (в том числе нанопродукции). Структурно принято выделять 4 основные группы продукции, относящихся к области наноматериалов и нанотехнологий:

1. «Первичная нанотехнологическая продукция» – продукция, представляющая собой непосредственно наноматериалы или наноструктуры.
2. «Наносодержащая продукция» – продукция, полученная с добавлением «Первичной нанотехнологической продукции».
3. «Продукция, не содержащая наноконпонентов» продукция не содержащая в составе наноматериалов или наноструктур, но при производстве которой используются нанотехнологии и/или наноматериалы.
4. «Оборудование» продукция, представляющая собой специальное оборудование для получения, модификации и исследования нанообъектов.

В настоящее время в социально-экономических приоритетах Республики Беларусь особая роль принадлежит развитию наукоемких отраслей экономики и созданию продуктов с высоким уровнем добавленной стоимости. Анализ современных тенденций роста экономик технологически развитых стран показывает, что наибольшую прибыль получают компании, работающие в области IT-, Био- и нанотехнологий (НТ). Интерес к

исследованию наноматериалов и развитию наноиндустриальной отрасли обусловлен принципиально новыми свойствами материалов при переходе к наномасштабам.

Для развития nanoиндустрии (интегрированного межотраслевого комплекса разработки, выпуска и коммерциализации нанотехнологической продукции) в Республике Беларусь на сегодняшний день проводятся фундаментальные (проекты ГПНИ, БРФФИ) и прикладные (задания ГНТП, ОНТП) исследования, основной целью которых является получение принципиально новых результатов систематических исследований и их последующая коммерциализация. Для координации комплексного развития нанотехнологической платформы в Республике Беларусь, в соответствии с Постановлением Совета Министров от 18.07.2013 № 640, создан Межведомственный координационный совет. Разработана структурно-функциональная схема межотраслевого комплекса в Республике Беларусь, где ключевая роль в развитии nanoиндустрии отведена Национальной академии наук Беларуси и Республиканской ассоциации nanoиндустрии (РАНИ).

РАНИ создана с целью содействия коммерциализации НТ-продукта и успешному развитию nanoиндустрии в целом. Ассоциация является добровольным объединением юридических лиц (организации из НАН Беларуси, Министерство образования, Министерство промышленности, бизнес-структуры), работающие в области наноматериалов и нанотехнологий. Сопредседателями ассоциации являются академик Чижик С.А. (Первый заместитель Председателя Президиума НАН Беларуси) и академик Жданок С.А. (директор частного научно-производственного унитарного предприятия «Передовые исследования и технологии»). На сегодняшний день в РАНИ входят 19 организаций.

Задачами РАНИ являются: координация научно-исследовательской, инновационной и предпринимательской деятельности членов Ассоциации в сфере нанотехнологий; представление общих интересов на уровне органов государственного управления, в том числе и по вопросам нормативно-правового регулирования; распространение информации о результатах деятельности членов Ассоциации и популяризация их достижений в сфере нанотехнологий; представление и защита общих интересов членов Ассоциации.

Организации-члены РАНИ принимают участие в выполнении фундаментальных и приклад-

ных исследований по наиболее приоритетным направлениям в области наноматериалов и нанотехнологий. Основными объектами исследований на сегодняшний день являются: теоретические модели описания нанопроцессов, мезо- и наноструктур; разработка технологий получения новых наноматериалов и нанокомпозитов; создание новых наноустройств с использованием квантовых точек и нанопроволок, нанотрубок и нановолокон, нанокристаллов и нанокластеров, коллоидов и др.; разработка технологии получения нанобъектов для применения в электронике и спинтронике, лазерной технике, фармацевтике и медицине, а также в продукции двойного назначения.

Наиболее перспективные результаты (соответствующие мировому уровню) в области нанотехнологий и наноматериалов, полученные организациями-членами РАНИ (2015–2017 гг.):

1. Разработаны методы формирования нанопористых сред на основе массивов углеродных нанотрубок с заданной удельной поверхностью и заданной электропроводностью для создания пористых электродов суперконденсаторов.

2. Развита метод расчета фундаментальной ширины запрещенной зоны твердых тел и выполнен анализ ширины запрещенной зоны для кристаллов со связью Ван-дер-Ваальса, а также трехмерных и двумерных материалов. Данный метод позволяет проводить теоретический поиск новых материалов (1D–3D материалов и наноструктур) с заданными электронными (оптическими, фотовольтаическими, термоэлектрическими) свойствами.

3. Обнаружено стимулированное и лазерное излучение в наноразмерных пленочных структурах многокомпонентных прямозонных полупроводников, которые могут быть использованы для создания солнечных элементов нового поколения.

4. Разработаны методы создания микро- и наноструктурированных фотокаталитически активных оксидных материалов для очистки воды от санитарно-значимых микроорганизмов.

5. Разработана технология формирования наноструктурированных пленок серебра на пористом кремнии для детектирования органических молекул спектроскопией гигантского комбинационного рассеяния.

6. Разработана технология электрохимической планаризации и наноструктурирования поверхности титановых имплантов для биомедицинских применений.

7. Разработана технология создания плазменных кристаллов на основе наноразмерных пленочных материалов для развития современной телекоммуникационной техники.

ных исследований по наиболее приоритетным направлениям в области наноматериалов и нанотехнологий. Основными объектами исследований на сегодняшний день являются: теоретические модели описания нанопроцессов, мезо- и наноструктур; разработка технологий получения новых наноматериалов и нанокомпозитов; создание новых наноустройств с использованием квантовых точек и нанопроволок, нанотрубок и нановолокон, нанокристаллов и нанокластеров, коллоидов и др.; разработка технологии получения нанобъектов для применения в электронике и спинтронике, лазерной технике, фармацевтике и медицине, а также в продукции двойного назначения.

На основе анализа современных научных исследований и научно-технических разработок в мире, а также оценки развития внутренних и внешних рынков высокотехнологической НТ-продукции, можно сформулировать основные тренды и направления для развития исследований в области нанотехнологий и наноматериалов в Республике Беларусь на ближайшие годы.

Наиболее перспективные направления для развития наноматериалов и нанотехнологий в будущем:

1. Разработка материалов на основе графеноподобного углерода для создания высокоэффективных суперконденсаторов (накопителей энергии высокой мощности и большой емкости).

2. Разработка технологии получения и исследования наностроек бинарных сплавов для формулирования феноменологических моделей образования скирмионов и магнитных вихрей.

3. Получение графена с дефектами и особыми электрическими свойствами для применений в нанoeлектронике и спинтронике, электромеханике и эмиссионной электронике.

4. Разработка технологии получения и конструирования однофотонного источника света.

5. Разработка получения многослойных периодических наноструктур взаимодействующих квантовых точек германия в кремнии и высокоэффективных светодиодов для инфракрасной области спектра на их основе.

6. Исследования фундаментальных электронных, оптических и магнитных свойств материалов для преобразования и аккумуляции энергии.

7. Разработка метаматериалов для прецизионных фотонных устройств – магнитолазменные кристаллы, представляющие собой металло-диэлектрические гетероструктуры, содержащие слои магнитных диэлектриков с нанесенными на них перфорированными нанослоями золота.

8. Развитие методик получения и исследования полупроводниковых магнитных материалов на основе наноструктур оксида цинка для перспективных устройств функциональной электроники.

9. Разработка технологий создания топологических инсультаторов для устройств нанoeлектроники.

10. Разработка технологий наноразмерных сверхтвердых материалов (нанопорошки кубического нитрида бора; алмаз, армированный нанотрубками/нановолокнами).

11. Разработка многослойных двумерных и квазиодномерных наноструктур на основе переходных металлов, обладающих гигантским магниторезистивным эффектом, для применений в современной сенсорике и магнитоэлектронике.

12. Разработка новых наноразмерных многокомпонентных оксидных систем для развития мультиферроидных материалов (материалы с двойным типом упорядочения – магнитное и диэлектрическое) для создания устройств хранения информации с возможностью двойного контроля (магнитным и электрическим полем).

13. Развитие 3D-технологий для производства электротехнических изделий нового поколения (трансформаторы, дроссели, статоры и роторы вентильно-реактивных двигателей, генераторы) на основе новых магнитомягких наномодифицированных композиционных материалов.

14. Разработка технологии формирования защитных покрытий большой площади и сложной геометрической формы на основе наноструктурированных магнитомягких пленочных материалов для защиты устройств инерциальной навигации и прецизионных сенсорных устройств от воздействия внешних постоянных магнитных полей.

15. Разработка биосенсоров на основе локализованных плазмонных наноструктур для усиления рамановского рассеяния света и повышения чувствительности рамановских спектрометров, которые будут использоваться для анализа веществ в биологии, медицине, экологии, пищевой промышленности.

16. Разработка методов управления когерентной и диссипативной динамикой твердотельных спиновых и сверхпроводниковых кубитов, NV центров в алмазе, возбуждаемых электромагнитными полями в условиях многофотонных резонансов для решения задач квантовых компьютеров.

17. Разработка композиционных и строительных материалов с повышенными прочностными свойствами с использованием наноматериалов.

18. Разработка технологий модификации поверхности материалов методом нанесения функциональных пленочных материалов или методом обработки поверхности термобарическими воздействиями.

Все вышеперечисленное позволяет надеяться на успешное развитие нанотехнологической продукции в Республике Беларусь.