

СТАНОВЛЕНИЕ НАНОИНДУСТРИИ В КИТАЙСКОЙ НАРОДНОЙ РЕСПУБЛИКЕ*

Исследования в области нанотехнологии в Китае были начаты в конце 80-годов XX века, когда несколько академических организаций страны заинтересовались ультрачистыми материалами. Интерес был также стимулирован разработкой перспективных инструментальных средств проведения исследований на наноразмерном уровне, в частности сканирующих зондовых микроскопов (СЗМ), что привело к созданию новых технологий и наноструктур с уникальными свойствами.

Уже в 1990 году в стране начата реализация ориентированного на исследование материалов и рассчитанного на 10 лет проекта "Climbing Mountain"[1]. Вскоре к финансированию работ, связанных с развитием нанонауки, подключились Китайская академия наук (CAS), Национальный фонд естественных наук (NSFC), Государственная научно-техническая комиссия (SSTC). Работы, в частности, касались изучения атомного и молекулярного строения поверхности материалов и исследования их оптических и электронных свойств посредством прецизионного контроля строения структур на наноразмерном уровне [2].

Китай также стал активно участвовать в международных конференциях, посвященных развитию нанонауки и нанотехники – с 1990 года в стране были проведены десятки международных и национальных конференций. Так, например, уже в 1993 году состоялась 7-я Международная конференция по сканирующей туннельной микроскопии, в 1996 – 4-я Международная конференция по наноразмерной науке и технике.

Резко возросло количество публикаций в области нанотехнологии: если в 2000 году было опубликовано 1197 работ, то в 2004 в свет вышло уже 4138 публикаций. Первая заявка на патент в области нанотехнологии в Китае была подана в 1986 году, а в октябре 2007 количество таких заявок на патенты составило 18629, причем примерно 30% из них были утверж-

дены Государственным офисом интеллектуальной собственности Китая (SIPO).

В 1999 году Министерство науки и техники КНР, предшественником которого была SSTC, приступило к реализации национального базового проекта "Наноматериалы и наноструктуры", в числе объектов которого – фундаментальные исследования таких материалов, как нанотрубки [3].

Результаты не замедлили сказаться:

- Ученые физического института CAS создали в 1996 году метод выращивания многостенных углеродных нанотрубок (УНТ), характеризующийся тем, что удалось контролировать как диаметр, так и их направленный рост. Эти особенности определяют свойства и технологический потенциал таких материалов. Эта же самая исследовательская группа в 1999 году синтезировала УНТ с самым маленьким в мире диаметром (0,5 нм).
- Сотрудники университета Tsinghua изготовили УНТ, которые после соответствующей термической обработки могут быть использованы в различных макроскопических объектах, например, в пуленепробиваемых жилетах, а также в изделиях, блокирующих электромагнитные волны.
- В институте исследования металлов CAS (г. Shenyang) в 2002 году обнаружены сверхпластичные свойства наноструктурированной меди, прочность которой на растяжение в 10 раз выше, чем у обычного аналога при сохранении

* Начало. Окончание – Наноиндустрия, 3/2010

электропроводности, сравнимой с этим параметром для чистой меди.

- Ученые Fudan университета разработали и продемонстрировали стратегию синтеза стабильных многокомпонентных материалов, таких, как например, смешанные фосфаты и оксиды металлов, а также бораты металлов, характеризующихся разнообразием пористых структур. Создание таких материалов может привести к появлению новых катализаторов, приборов фильтрации, появлению технологий, связанных с молекулярными взаимодействиями, возникающими на наноразмерных расстояниях [1].
- Отделы физики исследовательского центра в области нанотехнологии Foxconn университета Синьхуа и Пекинского университета в 2008 году провели совместную разработку термоакустического громкоговорителя на основе тонких пленок из УНТ. Выращенная на кремниевой пластине диаметром 100 мм суперсовмещенная УНТ-матрица может быть полностью преобразована в непрерывную тонкую пленку шириной 10 см и длиной 60 м, на которой в дальнейшем могут быть размещены около 500 громкоговорителей размерами 10x10 см. Это – прозрачные, гибкие и растягиваемые громкоговорители, которым могут быть приданы различные формы.

Они могут монтироваться без пространственных ограничений на различных изолирующих поверхностях. Кроме того, тонкие пленки из УНТ могут использоваться в малогабаритных приборах – головных телефонах и устройствах звуковой сигнализации. Эксперты отмечают, что разработанная технология открывает возможности создания новых подходов для реализации громкоговорителей и других акустических устройств [4].

Следует отметить также ряд реализуемых в настоящее время программ в области нанотехники:

- Исследование микроструктур и физических свойств материалов на наноразмерном уровне (начата в 2002 г.).
Цель: поиск новых принципов, методологий и технических приемов снятия на наноразмерном уровне характеристик микроструктур, а также физических свойств наноструктур; разработка спектроскопии потерь энергии электронов, совмещенной с просвечивающей электронной микроскопией с высокими пространственным (2 Å) и энергетическим (0,2 эВ) разрешениями; одномолекулярной вибрационной спектроскопии и криогенной сканирующей туннельной микроскопии с поляризацией спина.
- Свойства и применение наноразмерных материалов и структур (начата в 2005 г.).



Рис. 1 Организационная структура проведения исследований и разработок в области нанотехнологии в Китае

Цель: разработка контролируемого синтеза нескольких видов наноматериалов и наноструктур, интеграция технических требований с процессами совместимости с ИТ, обеспечение базы для дальнейшего исследования наноматериалов и конструкций наноприборов; взаимосвязь микроструктуры и внутренних свойств материалов с точки зрения перспективности и потенциальных их применений.

Таблица 1. Фирмы Китая, выпускающие наноматериалы

Фирмы	Изделия
Adapowder	Наноразмерный алмазный порошок
AlphaNano Technology	УНТ и другие наноматериалы
Arry International Group	УНТ и другие наноматериалы
Chengdu Alpha Nano Technology	УНТ и различные нанопорошки
Chengyin Technology	Нанопорошки
China Rare Metal Material	Наноразмерные металлы, оксиды, сплавы, неорганические химические соединения
Chongyi Zhangyan Tungsten	Нанопорошки вольфрама и карбида вольфрама
HeJi	УНТ
Huizhou TianYi rare Material	Нанопорошки
Jiangsu Changtai Nanometer Material	Наночастицы
Jinri Diamond	Наноразмерные алмазные материалы
NaBond	Наноматериалы
Sun Nanotech	УНТ
Shanghai Allrun Nano Science & Technology	Наноматериалы
Shanghai Huzheng Nano Technology	Наночастицы
Shanghai Shanghui Nano Science and Technology	Наноматериалы
Shenzhen Nano-Technologies	УНТ
Shenzhen JinGangYuan New Material Development	Наноалмазы и связанные с ними изделия
Shenzhen Junye Nano Material	Металлические наночастицы
Shenzhen nanotechnologies	УНТ
Sokang Nano	Нанопокртия, модули для нановоздушной и нановодной очистки
TIPE	Нанопотокатализаторы
TitanPE Technology	Нанопотокатализаторы
Yantai Jialong Nano Industry	Наноматериалы
Yunnan Great Group	УНТ
Zibo ShineSo Chemical New Material	Керамические нанопорошки
CNano Technology	Крупнейший в мире изготовитель УНТ. Успешно решает задачу по достижению выпуска 500 т в год многостенных УНТ

- Нанотоксикологическое исследование синтезируемых наноматериалов (начата в 2006 г.).

Цель: исследование взаимодействий между наночастицами и биологическими барьерами, выяснение внутренних биологических маршрутов и способов проникновения наночастиц в человеческий организм, исследование их биологической активности; связанные с наночастицами абсорбция, распределение, метаболизм, выделения и их токсичность в организме; взаимосвязь между нанотоксичностью и наноразмерными характеристиками; моделирование биологической защиты от наноматериалов.

- Фундаментальные исследования в молекулярной электронике (начата в 2006 г.).

Цель: изучение материалов для молекулярной электроники на молекулярном уровне.

- Фундаментальные и прикладные исследования микроструйной техники в химии и биомедицине (начата в 2007 г.).

Цель: обеспечение высокопроизводительного, недорогого, низкорасходного химического синтеза в микроструйных каналах; теория микроструйной техники, технические приемы и методы отбора лекарств, диагностика болезней [1].

Организационная структура развития нанотехнологии Китая представлена на рис.1 [5].

Нанотехнологическая отрасль промышленности Китая характеризуется высокими темпами роста. Общий объем рынка наноматериалов в 2005 году составил 513,5 млн. долл., а в 2006 – уже 601,5 млн. Ежегодный прирост этого рынка в последние шесть лет составляет 15%. В коммерческую деятельность с изделиями на базе нанотехнологии вовлечены около 1000 предприятий. Около 50% из них расположены в провинциях Пекина, Шанхая, Гуандонга, Джиангсу, Дзеджианг. Основные продукты – наноразмерные порошки оксидов, УНТ, фуллерены, содержащие наноматериалы покрытия различных типов. Всего в Китае установлено более 30 линий по производству материалов с годовым выпуском, оцениваемым

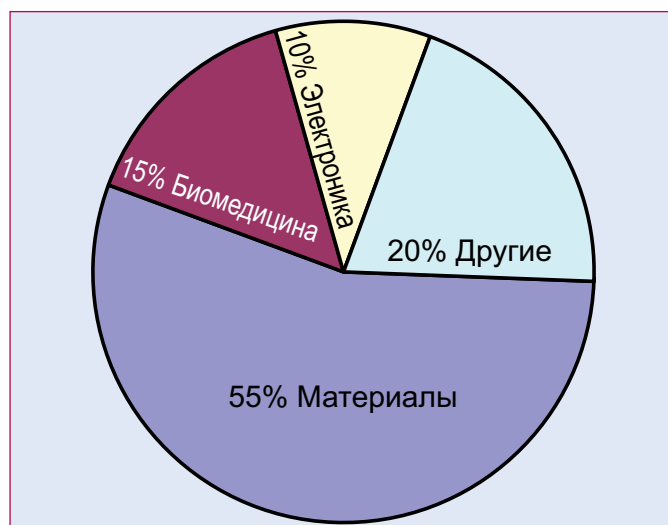


Рис.2 Распределение нанотехнологии по областям применения

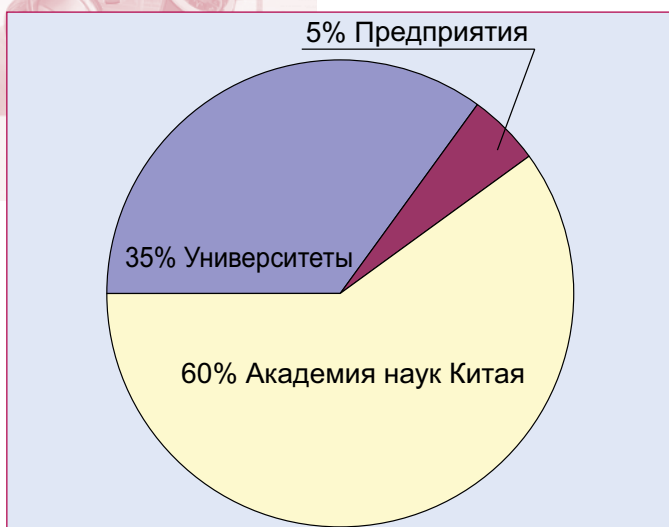


Рис.3 Учреждения, выполняющие исследования и разработки в области нанотехнологии

мым в 30 т. Другие продукты включают антибактериальные катализаторы и фотокатализаторы [1]. Основные фирмы и организации, выпускающие наноматериалы, представлены в табл.1 [6, 7].

На рис.2 приведено распределение нанотехнологии по областям применения.

На рис.3 приведены данные по распределению учреждений, выполняющих исследования и разработки в области нанотехнологии [1].

В июле 2001 году Министерством науки и техники Китая по согласованию с Национальным комитетом развития и программ, Министерством образования, Китайской академией наук, Национальным комитетом фонда естественных наук был разработан план стратегии развития национальной нанотехнологии на период 2001–2010 годы [8].

В 10 пятилетнем плане (2001–2005) был сделан акцент на следующих моментах:

- усиление фундаментальных и прикладных исследований в области нанотехнологии;
- исследование возможных применений нанотехнологии в зависимости от требований рынка и в соответствии с целями национального развития; содействие промышленному освоению нанотехнологии с акцентом на массовое производство, образование и исследования;
- создание нанотехнологического центра и активное формирование инновационной национальной нанотехнологической системы.

Основные задачи в сфере развития нанотехнологии:

- совмещение исследований и разработок с требованиями рынка;
- ускорение междисциплинарных исследований и разработок;
- поддержка фундаментальных и прикладных исследований с уделением особого внимания защите прав интеллектуальной собственности.

Намечаются следующие направления применения нанотехнологии.

- Обработка материалов.

Ожидается, что будет обеспечено их экологически чистое массовое производство при низкой стоимости. Изобилие полезных ископаемых в Китае создает базу для развития инновационных наноструктурных и нанofункциональных материалов. Акцент сделан на разработке теплостойких высокопрочных и легких материалов, перспективных для использования в космической навигации и на транспорте. Серьезное внимание уделяется подготовке и обработке нанofункциональных материалов для применения в информационных технологиях, технике связи, медицинской аппаратуре, здравоохранении, для охраны окружающей среды.

Другие области связаны с разработкой нанокатализаторов, нанодетергентов и веществ, поддерживающих горение с целью улучшения традиционных источников энергии; использованием нанотехники для очистки воздуха и обработки воды. Благодаря значительному сокращению количества выделяющихся нежелательных продуктов горения разрабатываемые технологии могут также улучшить использование традиционных источников энергии.

В план включены исследования по негативному воздействию нанотехнологии на окружающую среду, программы стимулирования использования нанотехнологии в таких отраслях промышленности, как химическое приборостроение, конструкционные материалы, текстильная промышленность.

Особое внимание уделяется ускоренному выполнению междисциплинарных работ и объединению нанотехнологии с биотехнологией, биомедицинскими разработками и традиционной медицинской техникой. Цели работ: использование нанотехнологии для биологического обнаружения, диагноза и лечения болезней; подготовка высокоэффективной медицины; улучшение диагностики; разработка технологий для повышения сопротивляемости растений болезням и насекомым, обеспечения гибкой связи со средой; рост урожайности в сельском хозяйстве [9].

- Изготовление и интеграция наносистем на кристалле.

Нанотехнология позволит обеспечить устойчивое и воспроизводимое манипулирование атомами и самовыращивание структур, а также технологию создания сверхплотных устройств памяти, выполнение операций интеграции и герметизации при реализации наносистем на кристалле. Развитие многофункциональных систем с высокой степенью интеграции, обеспечивающих повышенные значения быстродействия и плотности хранения информации и снижение потребляемой мощности по сравнению с современными системами.

Планируется разработка наноэлектромеханических систем (НЭМС), систем для оптической обработки сигнала, оптоэлектронных приборов посредством совмещения традиционной технологии (top-down) и нанотехнологии (bottom-up),

используя микроручевую обработку, технологии травления, физические, химические и биологические методы формирования рисунка.

Признано, что использование сканирующей туннельной микроскопии и трехмерных измерений позволит определять характеристики отдельных молекул, наноструктур, а также параметры биохимических реакций в клетках.

В ходе выполнения десятилетнего плана правительство Китая осуществляло поддержку промышленной ориентации нанотехнологии, стимулировало корпорации, занимающиеся перспективными технологиями и построением производственной базы. За основу был взят принцип тесного сотрудничества между правительственными и научными организациями, университетами и промышленными фирмами с целью объединения усилий ученых, технологов, администраторов, производственников и финансистов, интегрирования технологического, промышленного и финансового капитала, совмещения промышленного механизма и рискованных инвестиций для ускорения индустриализации нанотехнологии и обеспечения экономического роста благодаря их использованию [9].

По категории правительственного финансирования в 2005 финансовом году по текущему курсу валют Китай занимал пятое место. По категории финансирования по паритету покупательной способности Китай был на втором месте после США [10].

По статистическим данным, финансирование нанонауки и нанотехнологии в Китае возрастало из года в год и в 2005–2009 годах. В этот же период, по крайней мере, 1536 проектов в названии имели слово “nanometer”, а финансирование составило 680 млн. юаней [11].

Таблица 2. Технологии, с которыми связываются наиболее вероятные прорывы в последующие 10 лет

Информация и телекоммуникации	
1	Новое поколение мобильной телекоммуникационной техники
2	Сети следующего поколения
3	Наноразмерные ИС (технология изготовления 90/65-нанометровых схем на пластинах диаметром 300 мм)
4	Обработка информации на китайском языке
Наука о жизни и биотехнология	
5	Функциональная геномика
6	Медицинская биотехнология
7	Биоинформатика
8	Функциональная протеомика
9	Технология выращивания новых трансгенных структур
Новые материалы	
10	Наноматериалы и нанотехнологии

В 11 пятилетнем плане (2006–2010) особый акцент сделан на стратегическую роль независимой инновационной деятельности. Считается, что это может быть достигнуто при соблюдении пяти инициатив:

- Ускорение освоения технологических инновационных систем, что будет способствовать организации как базового, так и рыночного предприятия.
- Улучшение рыночной среды для технологических инноваций.
- Реализация политики, связанной с финансовыми, налоговыми, банковскими операциями и правительственной поддержкой.
- Использование мировых научно-технических ресурсов.
- Усиление мероприятий по защите авторских прав [12].

В табл.2 представлены 10 технологий, с которыми связываются наиболее вероятные прорывы в последующие 10 лет.

Как видно из табл.2, в области нанотехнологии намечено промышленное освоение интегральных схем с проектными нормами 90 нм и менее, развитие наноматериалов и нанотехнологии [12].

В январе 2006 года в Китае состоялся научно-технический конгресс, на котором была принята программа среднесрочного и долгосрочного научно-технического развития (2006–2020). Были идентифицированы приоритеты и подтверждена цель увеличения инвестиций на исследования и разработки до 2,5% от ВВП к 2020 году (табл.3) [13].

Таблица 3. Затраты на исследования и разработки

Год	Затраты на исследования и разработки (все источники, млрд. долл.)	% от ВВП	Государственное финансирование	
			млрд. долл.	% от общих затрат
2004	24,60	1,23	8,70	35
2010	45,00	2,00	18,00	40
2020	113,00	2,50	–	–

Финансирование осуществляется по четырем фундаментальным стратегическим программам, на выполнение которых уже выделены значительные суммы. По каждому из направлений на последующие 15 лет ожидается выделение более 1 млрд. долл. [13].

Одно из этих направлений представляет нанотехнология. Считается, что освоение новых наноматериалов и наноборудования – главная задача развития современных материалов. Основные проекты в области нанотехнологии включают базовые технологии нанoeлектроники и нанобиологии, исследования, разработки и промышленное освоение новых функциональных материалов, развитие МЭМС на субмикронном уровне.

Рынок нанотехнологических приборов и систем Китая, составивший в 2005 году 5,4 млрд. долл., увеличится в 2010

году до 31,4 млрд.долл. и в 2015 – до 144,9 млрд. Их доля на мировом рынке превысит 6% в 2010 году и 16% – в 2015. Основные сегменты – наноматериалы, наноэлектроника, нанотехника для биологии и науки о жизни [14].

Естественно, для выполнения поставленных планов и реализации программ требуются значительные научно-технические и производственные ресурсы. По неполным статистическим данным, к выполнению планов и программ в области нанотехники в КНР привлекаются более 250 университетов, свыше 20 исследовательских институтов CAS и 300 промышленных предприятий с использованием труда свыше 6000 научных сотрудников [15].

ЛИТЕРАТУРА

1. Research Report on Chinese High-Tech Industries. U.S. China Economic and Security Review Commission. Prepared by NSD Bio Group, LLC. January 2009.
2. **Ch. Bai.** Absent of Nanoscience in China. *Science*, 1 July 2005, v. 309, no. 5731, pp. 61–63.
3. **C.L. Bai.** Nanotechnology Centers in China. *Asia Pacific Nanotech Weekly*, 2004, v. 2, № 11.
4. **X. Lin et al.** Flexible, Stretchable, Transparent Carbon Nanotube Thin Film Loudspeakers. *Nano Letters.*, 2008, v. 8, № 12, pp. 4539–4545.
5. **R.R. Appelbaum.** China's Industrial Policy and its Impact on U.S. Companies, Workers and the American Economy. March 24, 2009. www.uscc.gov/hearings.
6. Nanomaterial Suppliers. www.nanowerk.com/nanotechnology/nanomaterial/supplies_alist.php?letter
7. World Largest Carbon Nanotube Manufacturing Plant With Annual Capacity of 500 tons Commissioned. www.nanowerk.com.
8. R.R. Appelbaum et al. China's (Not So Hidden) Developmental State: becoming a Leading Nanotechnology Innovator in the 21st Century.
9. **H. Gu, Ju. Schulte.** Scientific Development and Industrial Application of Nanotechnology in China.
10. **R.R. Appelbaum.** Nanotechnology in a Global Context: The Case of China March 29–30, 2007.
11. China Nano Status. www.nanotechchina.org
12. **D.F. Simon.** China's Emerging Innovation Trajectory: Nanotechnology and the Role of the Year Medium to Long-Term S&T Plan. February 6, 2007.
13. **H. Xin, G. Yidong.** China Bets Big on Big Science. *Science*, 17 March 2006, v. 311, pp. 1548–1549.
14. Nanotechnology in China is focusing on innovations and new products. www.physorg.com.
15. Nanotechnology in China. www.aznano.com.