

Содержание:

1. Введение

2. Нанотехнология :

2.1 Наночастицы

2.2 Определения и терминология

3. Методы исследования

4. Нанотехнологии в различных отраслях промышленности :

4.1 Компьютеры и микроэлектроника

4.2 Робототехника

4.3 Нанотехнологии в искусстве

4.4 Наномедицина и химическая промышленность

5. История нанотехнологий в России

6. Форумы и выставки

7. Заключение

1. Введение

История

Многие источники, в первую очередь англоязычные, первое упоминание методов, которые впоследствии будут названы нанотехнологией, связывают с известным выступлением Ричарда Фейнмана «В том мире полно места» (англ. «There's Plenty of Room at the Bottom»), сделанным им в 1959 году в Калифорнийском технологическом институте на ежегодной встрече Американского физического общества. Ричард Фейнман предположил, что возможно механически перемещать одиночные атомы, при помощи манипулятора соответствующего размера, по крайней мере, такой процесс не противоречил бы известным на сегодняшний день физическим законам.

Этот манипулятор он предложил делать следующим способом. Необходимо построить механизм, создававший бы свою копию, только на порядок меньшую. Созданный меньший механизм должен опять создать свою копию, опять на порядок меньшую и так до тех пор, пока размеры механизма не будут соизмеримы с размерами порядка одного атома. При этом необходимо будет делать изменения в устройстве этого механизма, так как силы гравитации, действующие в макромире, будут оказывать все меньшее влияние, а силы межмолекулярных взаимодействий и Ван-дер-Ваальсовы силы будут все больше влиять на работу механизма. Последний этап — полученный механизм соберёт свою копию из отдельных атомов. Принципиально число таких копий неограниченно, можно будет за короткое время создать произвольное число таких машин. Эти машины смогут таким же способом, поатомной сборкой, собирать макровещи. Это позволит сделать вещи на порядок дешевле — таким роботам (нанороботам) нужно будет дать только необходимое количество молекул и энергию, и написать программу для сборки необходимых предметов. До сих пор никто не смог опровергнуть эту возможность, но и никому пока не удалось создать такие механизмы. Вот как Р. Фейнман описал предполагаемый им манипулятор:

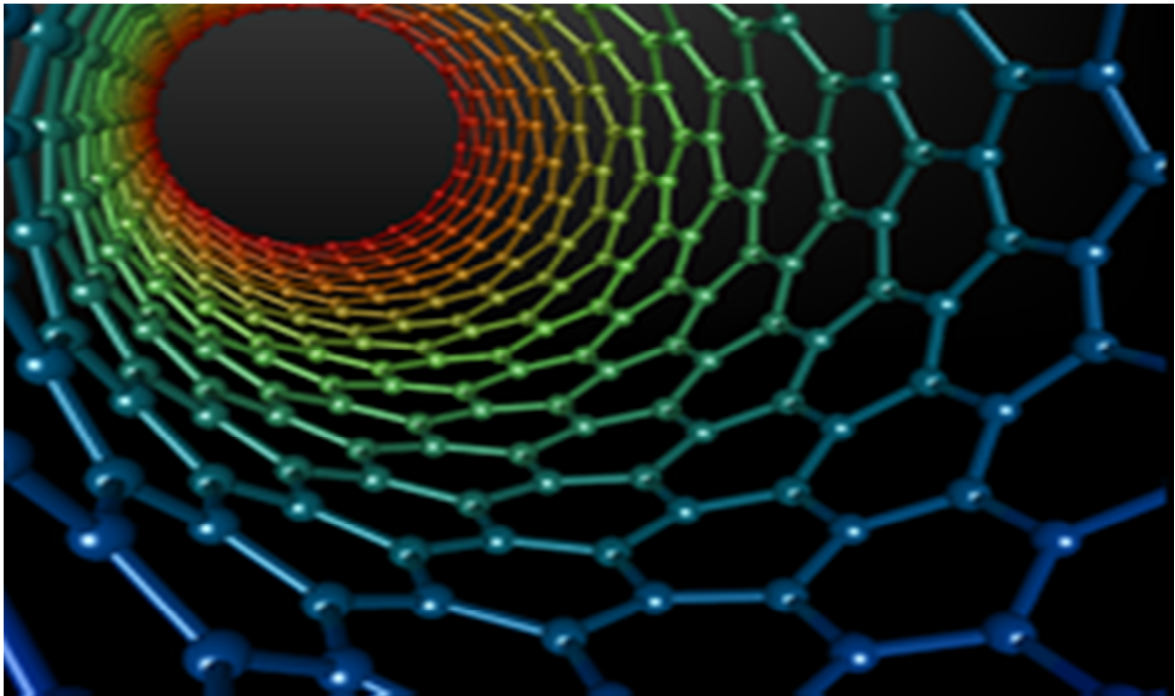
Я думаю о создании системы с электрическим управлением, в которой используются изготовленные обычным способом «обслуживающие роботы» в виде уменьшенных в четыре раза копий «рук» оператора. Такие микромеханизмы смогут легко выполнять операции в уменьшенном масштабе. Я говорю о крошечных роботах, снабженных серводвигателями и маленькими «руками», которые могут закручивать столь же маленькие болты и гайки, сверлить очень маленькие отверстия и т. д. Короче говоря, они смогут выполнять все работы в масштабе 1:4. Для этого, конечно, сначала следует изготовить необходимые механизмы, инструменты и руки-манипуляторы в одну четвертую обычной величины (на самом деле, ясно, что это означает уменьшение всех поверхностей контакта в 16 раз). На последнем этапе эти устройства будут оборудованы серводвигателями (с уменьшенной в 16 раз мощностью) и присоединены к обычной системе электрического управления. После этого можно будет пользоваться уменьшенными в 16 раз руками-манипуляторами! Сфера применения таких микро роботов, а также микромашин может быть довольно широкой — от хирургических операций до транспортирования и переработки радиоактивных материалов. Я надеюсь,

что принцип предлагаемой программы, а также связанные с ней неожиданные проблемы и блестящие возможности понятны. Более того, можно задуматься о возможности дальнейшего существенного уменьшения масштабов, что, естественно, потребует дальнейших конструктивных изменений и модификаций (кстати, на определённом этапе, возможно, придется отказаться от «рук» привычной формы), но позволит изготовить новые, значительно более совершенные устройства описанного типа. Ни что не мешает продолжить этот процесс и создать сколько угодно крошечных станков, поскольку не имеется

ограничений, связанных с размещением станков или их материалоемкостью. Их объем будет всегда намного меньше объема прототипа. Легко рассчитать, что общий объем 1 млн уменьшенных в 4000 раз станков (а следовательно, и масса используемых для изготовления материалов) будет составлять менее 2 % от объема и массы обычного станка нормальных размеров. Понятно, что это сразу снимает и проблему стоимости материалов. В принципе, можно было бы организовать миллионы одинаковых миниатюрных заводиков, на которых крошечные станки непрерывно сверлили бы отверстия, штамповали детали и т. п. По мере уменьшения размеров мы будем постоянно сталкиваться с очень необычными физическими явлениями. Всё, с чем приходится встречаться в жизни, зависит от масштабных факторов. Кроме того, существует ещё и проблема «слипания» материалов под действием сил межмолекулярного взаимодействия (так называемые силы Ван-дер-Ваальса), которая может приводить к эффектам, необычным для макроскопических масштабов. Например, гайка не будет отделяться от болта после откручивания, а в некоторых случаях будет плотно «приклеиваться» к поверхности и т. д. Существует несколько физических проблем такого типа, о которых следует помнить при проектировании и создании микроскопических механизмов. В ходе теоретического исследования данной возможности, появились гипотетические сценарии конца света, которые предполагают, что нанороботы поглотят всю биомассу Земли, выполняя свою программу саморазмножения (так называемая «серая слизь» или «серая жижа»).

Первые предположения о возможности исследования объектов на атомном уровне можно встретить в книге «Opticks» Исаака Ньютона, вышедшей в 1704 году. В книге Ньютон выражает надежду, что микроскопы будущего когда-нибудь смогут исследовать «тайны корпускул»[4].

Впервые термин «нанотехнология» употребил Норио Танигути в 1974 году. Он назвал этим термином производство изделий размером несколько нанометров. В 1980-х годах этот термин использовал Эрик К. Дрекслер в своих книгах: «Машины создания: грядёт эра нанотехнологии» («Engines of Creation: The Coming Era of Nanotechnology») и «Nanosystems: Molecular Machinery, Manufacturing, and Computation». Центральное место в его исследованиях играли математические расчёты, с помощью которых можно было проанализировать работу устройства размерами в несколько нанометров.



2. Нанотехнология — междисциплинарная область фундаментальной и прикладной науки и техники, имеющая дело с совокупностью теоретического обоснования, практических методов исследования, анализа и синтеза, а также методов производства и применения продуктов с заданной атомной структурой путём контролируемого манипулирования отдельными атомами и молекулами.

Нанотехнология, нанонаука — это наука и технология коллоидных систем, это коллоидная химия, коллоидная физика, молекулярная биология, вся микроэлектроника. Принципиальное отличие коллоидных систем, к которым относятся облака, кровь человека, молекулы ДНК и белков, транзисторы, из которых собираются микропроцессоры, в том, что поверхность таких частиц или огромных молекул чрезвычайно велика по отношению к их объёму. Такие частицы занимают промежуточное положение между истинными гомогенными растворами, сплавами, и обычными объектами макромира, такими, как стол, книга, песок. Их поведение, благодаря высокоразвитой поверхности, сильно отличается от поведения и истинных растворов и расплавов, и объектов макромира. Как правило, такие эффекты начинают играть значительную роль, когда размер частиц лежит в диапазоне 1-100 нанометров: отсюда пришло замещение слова коллоидная физика, химия, биология на нанонауку и нанотехнологии, подразумевая размер объектов, о которых идет речь.

2.1 Наночастицы

Современная тенденция к миниатюризации показала, что вещество может иметь совершенно новые свойства, если взять очень маленькую частицу этого вещества. Частицы размерами от 1 до 100 нанометров обычно называют «наночастицами». Так,

например, оказалось, что наночастицы некоторых материалов имеют очень хорошие каталитические и адсорбционные свойства. Другие материалы показывают удивительные оптические свойства, например, сверхтонкие пленки органических материалов применяют для производства солнечных батарей. Такие батареи, хоть и обладают сравнительно низкой квантовой эффективностью, зато более дешёвы и могут быть механически гибкими. Удаётся добиться взаимодействия искусственных наночастиц с природными объектами наноразмеров — белками, нуклеиновыми кислотами и др. Тщательно очищенные наночастицы могут самовыстраиваться в определённые структуры. Такая структура содержит строго упорядоченные наночастицы и также зачастую проявляет необычные свойства.

Нанообъекты делятся на 3 основных класса: трёхмерные частицы, получаемые взрывом проводников, плазменным синтезом, восстановлением тонких плёнок и т. д.; двумерные объекты — плёнки, получаемые методами молекулярного наслаивания, CVD, ALD, методом ионного наслаивания и т. д.; одномерные объекты — висеры, эти объекты получают методом молекулярного наслаивания, введением веществ в цилиндрические микропоры и т. д. Также существуют нанокompозиты — материалы, полученные введением наночастиц в какие-либо матрицы. На данный момент обширное применение получил только метод микролитографии, позволяющий получать на поверхности матриц плоские островковые объекты размером от 50 нм, применяется он в электронике; метод CVD и ALD в основном применяется для создания микронных плёнок. Прочие методы в основном используются в научных целях. В особенности следует отметить методы ионного и молекулярного наслаивания, поскольку с их помощью возможно создание реальных монослоёв.

Особый класс составляют органические наночастицы как естественного, так и искусственного происхождения.

Поскольку многие физические и химические свойства наночастиц, в отличие от объемных материалов, сильно зависят от их размера, в последние годы проявляется значительный интерес к методам измерения размеров наночастиц в растворах: анализ траекторий наночастиц, динамическое светорассеяние, седиментационный анализ, ультразвуковые методы.

2.2 Определения и терминология

Есть мнение, что на сегодняшний день в мире нет стандарта, описывающего, что такое нанотехнологии, что такое нанопродукция. В Еврокомиссии создана специальная группа, которой дали два года на то, чтобы разработать классификацию нанопродукции. Среди подходов к определению понятия «нанотехнологии» имеются следующие:

1. В Техническом комитете ISO/TK 229 под нанотехнологиями подразумевается следующее:

знание и управление процессами, как правило, в масштабе 1 нм, но не исключаящее масштаб менее 100 нм в одном или более измерениях, когда ввод в действие размерного эффекта (явления) приводит к возможности новых применений;

использование свойств объектов и материалов в нанометровом масштабе, которые отличаются от свойств свободных атомов или молекул, а также от объемных свойств вещества, состоящего из этих атомов или молекул, для создания более совершенных материалов, приборов, систем, реализующих эти свойства.

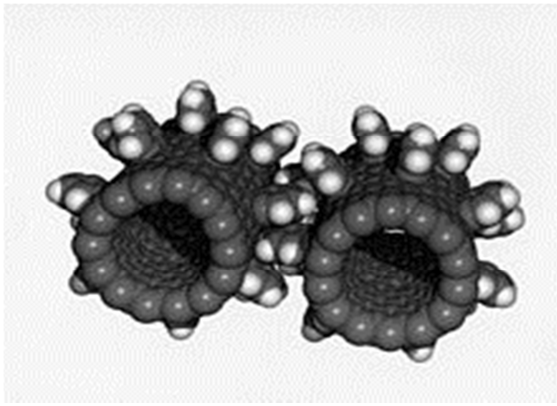
2. Согласно «Концепции развития в Российской Федерации работ в области нанотехнологий на период до 2010 года» (2004 г.) [источник не указан 899 дней] нанотехнология определяется как совокупность методов и приемов, обеспечивающих возможность контролируемым образом создавать и модифицировать объекты, включающие компоненты с размерами менее 100 нм, хотя бы в одном измерении, и в результате этого получившие принципиально новые качества, позволяющие осуществлять их интеграцию в полноценно функционирующие системы большего масштаба.

Практический аспект нанотехнологий включает в себя производство устройств и их компонентов, необходимых для создания, обработки и манипуляции атомами, молекулами и наночастицами. Подразумевается, что не обязательно объект должен обладать хоть одним линейным размером менее 100 нм — это могут быть макрообъекты, атомарная структура которых контролируемо создаётся с разрешением на уровне отдельных атомов, либо же содержащие в себе нанообъекты. В более широком смысле этот термин охватывает также методы диагностики, характерологии и исследований таких объектов.

Нанотехнологии качественно отличаются от традиционных дисциплин, поскольку на таких масштабах привычные, макроскопические технологии обращения с материей часто неприменимы, а микроскопические явления, пренебрежительно слабые на привычных масштабах, становятся намного значительнее: свойства и взаимодействия отдельных атомов и молекул или агрегатов молекул (например, силы Ван-дер-Ваальса), квантовые эффекты.

Нанотехнология и в особенности молекулярная технология — новые, очень мало исследованные дисциплины. Основные открытия, предсказываемые в этой области, пока не сделаны. Тем не менее, проводимые исследования уже дают практические результаты. Использование в нанотехнологии передовых научных достижений позволяет относить её к высоким технологиям.

Развитие современной электроники идёт по пути уменьшения размеров устройств. С другой стороны, классические методы производства подходят к своему естественному экономическому и технологическому барьеру, когда размер устройства уменьшается ненамного, зато экономические затраты возрастают экспоненциально. Нанотехнология — следующий логический шаг развития электроники и других наукоёмких производств.



Шестерни молекулярного размера на основе нанотрубок.

3. Методы исследования

В силу того, что нанотехнология — междисциплинарная наука, для проведения научных исследований используют те же методы, что и «классические» биология, химия, физика. Одним из относительно новых методов исследований в области нанотехнологии является сканирующая зондовая микроскопия. В настоящее время в исследовательских лабораториях используются не только «классические» зондовые микроскопы, но и СЗМ в комплексе с оптическими микроскопами, электронными микроскопами, спектрометрами комбинационного (рамановского) рассеяния и флюоресценции, ультрамикротоматами (для получения трёхмерной структуры материалов).

Сканирующие зондовые микроскопы (СЗМ, англ. SPM — Scanning Probe Microscope) — класс микроскопов для получения изображения поверхности и её локальных характеристик. Процесс построения изображения основан на сканировании поверхности зондом. В общем случае позволяет получить трёхмерное изображение поверхности (топографию) с высоким разрешением. Сканирующий зондовый микроскоп в современном виде изобретен (принципы этого класса приборов были заложены ранее другими исследователями) Гердом Карлом Биннигом и Генрихом Рорером в 1981 году. За это изобретение были удостоены Нобелевской премии по физике за 1986 год, которая была разделена между ними и изобретателем просвечивающего электронного микроскопа Э. Руска. Отличительной СЗМ особенностью является наличие: зонда,

системы перемещения зонда относительно образца по 2-м (X-Y) или 3-м (X-Y-Z) координатам, регистрирующей системы.

Регистрирующая система фиксирует значение функции, зависящей от расстояния зонд-образец. Обычно регистрируемое значение обрабатывается системой отрицательной обратной связи, которая управляет положением образца или зонда по одной из координат (Z). В качестве системы обратной связи чаще всего используется ПИД-регулятор.

Основные типы сканирующих зондовых микроскопов:

Сканирующий атомно-силовой микроскоп

Сканирующий туннельный микроскоп

Ближнепольный оптический микроскоп.

Принцип работы

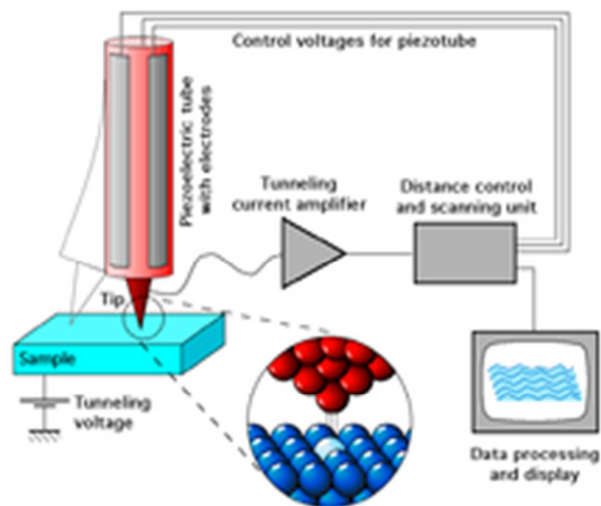
Работа сканирующего зондового микроскопа основана на взаимодействии поверхности образца с зондом (кантилевер, игла или оптический зонд). При малом расстоянии между поверхностью и зондом действие сил взаимодействия (отталкивания, притяжения, и других сил) и проявление различных эффектов (например, туннелирование электронов) можно зафиксировать с помощью современных средств регистрации. Для регистрации используют различные типы сенсоров, чувствительность которых позволяет зафиксировать малые по величине возмущения. Для получения полноценного растрового изображения используют различные устройства развертки по осям X и Y (например, пьезотрубки, плоскопараллельные сканеры).

Основные технические сложности при создании сканирующего зондового микроскопа:
Конец зонда должен иметь размеры сопоставимые с исследуемыми объектами.
Обеспечение механической (в том числе тепловой и вибрационной) стабильности на уровне лучше 0,1 ангстрема.
Детекторы должны надежно фиксировать малые по величине возмущения регистрируемого параметра.
Создание прецизионной системы развёртки.
Обеспечение плавного сближения зонда с поверхностью.



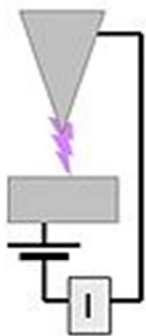
Схема работы атомно-силового микроскопа.

Схема работы сканирующего туннельного микроскопа.



Scanning Probe Microscopy (SPM)

Scanning Tunneling
Microscopy (STM)



Atomic Force
Microscopy (AFM)



Scanning Near-field
Optical Microscopy
(SNOM)



Сканирующий туннельный микроскоп (СТМ) — для получения изображения используется туннельный ток между зондом и образцом, что позволяет получить информацию о топографии и электрических свойствах образца. Атомно-силовой микроскоп (АСМ) — регистрирует различные силы между зондом и образцом. Позволяет получить топографию поверхности и её механические свойства. Сканирующий ближнепольный микроскоп (СБОМ) — для получения изображения используется эффект ближнего поля.

4. Нанотехнологии в различных отраслях промышленности :

4.1 Компьютеры и микроэлектроника

Центральные процессоры — 15 октября 2007 года компания Intel заявила о разработке нового прототипа процессора, содержащего наименьший структурный элемент размерами примерно 45 нм. В дальнейшем компания намерена достичь размеров структурных элементов до 5 нм. Основной конкурент Intel, компания AMD, также давно использует для производства своих процессоров нанотехнологические процессы, разработанные совместно с компанией IBM. Характерным отличием от разработок Intel является применение дополнительного изолирующего слоя SOI, препятствующего утечке тока за счет дополнительной изоляции структур, формирующих транзистор. Уже существуют рабочие образцы процессоров с транзисторами размером 32 нм и опытные образцы на 22 нм.

Жёсткие диски — в 2007 году Питер Грюнберг и Альберт Ферт получили Нобелевскую премию по физике за открытие GMR-эффекта, позволяющего производить запись данных на жестких дисках с атомарной плотностью информации.

Сканирующий зондовый микроскоп — микроскоп высокого разрешения, основанный на взаимодействии иглы кантилевера (зонда) с поверхностью исследуемого образца. Обычно под взаимодействием понимается притяжение или отталкивание кантилевера от поверхности из-за сил Ван-дер-Ваальса. Но при использовании специальных кантилеверов можно изучать электрические и магнитные свойства поверхности. СЗМ может исследовать как проводящие, так и непроводящие поверхности даже через слой жидкости, что позволяет работать с органическими молекулами (ДНК). Пространственное разрешение сканирующих зондовых микроскопов зависит от характеристик используемых зондов. Разрешение достигает атомарного по горизонтали и существенно превышает его по вертикали.

Антенна-осциллятор — 9 февраля 2005 года в лаборатории Бостонского университета была получена антенна-осциллятор размерами порядка 1 мкм. Это устройство насчитывает 5000 миллионов атомов и способно осциллировать с частотой 1,49 гигагерц, что позволяет передавать с её помощью огромные объёмы информации.

Плазмоны — коллективные колебания свободных электронов в металле. Характерной особенностью возбуждения плазмонов можно считать так называемый плазмонный резонанс, впервые предсказанный Ми в начале XX века. Длина волны плазмонного резонанса, например, для сферической частицы серебра диаметром 50 нм составляет примерно 400 нм, что указывает на возможность регистрации наночастиц далеко за границами дифракционного предела (длина волны излучения много больше размеров частицы). В начале 2000-го года, благодаря быстрому прогрессу в технологии изготовления частиц наноразмеров, был дан толчок к развитию новой области нанотехнологии — наноплазмонике. Оказалось возможным передавать

электромагнитное излучение вдоль цепочки металлических наночастиц с помощью возбуждения плазмонных колебаний.

4.2 Робототехника

Молекулярные роторы — синтетические наноразмерные двигатели, способные генерировать крутящий момент при приложении к ним достаточного количества энергии.

Нанороботы — роботы, созданные из наноматериалов и размером сопоставимые с молекулой, обладающие функциями движения, обработки и передачи информации, исполнения программ. Нанороботы, способные к созданию своих копий, то есть самовоспроизводству, называются репликаторами. Возможность создания нанороботов рассмотрел в своей книге «Машины создания» американский учёный Эрик Дрекслер. Вопросы разработки нанороботов и их компонентов рассматриваются на профильных международных конференциях.

Молекулярные пропеллеры — наноразмерные молекулы в форме винта, способные совершать вращательные движения благодаря своей специальной форме, аналогичной форме макроскопического винта.

С 2006 года в рамках проекта RoboCup (чемпионат по футболу среди роботов) появилась номинация «Nanogram Competition», в которой игровое поле представляет из себя квадрат со стороной 2,5 мм. Максимальный размер игрока ограничен 300 мкм.

4.3 Нанотехнологии в искусстве

Ряд произведений американской художницы Наташи Вита-Мор касается нанотехнологической тематики.

В современном искусстве возникло новое направление «наноарт» (наноискусство) (англ. nanoart) — это вид искусства, связанный с созданием художником скульптур (композиций) микро- и нано-размеров (10^{-6} и 10^{-9} м, соответственно) под действием химических или физических процессов обработки материалов, фотографированием полученных нано образов с помощью электронного микроскопа и обработкой черно-белых фотографий в графическом редакторе (например, Adobe Photoshop) .

Нанороботам и их роли в социальном прогрессе посвящена композиция «Nanobots» российской группы Re-Zone.

4.4 Наномедицина и химическая промышленность

Направление в современной медицине, основанное на использовании уникальных свойств наноматериалов и нанообъектов для отслеживания, конструирования и изменения биологических систем человека на наномолекулярном уровне.

ДНК-нанотехнологии — используют специфические основы молекул ДНК и нуклеиновых кислот для создания на их основе четко заданных структур.

Промышленный синтез молекул лекарств и фармакологических препаратов четко определенной формы (бис-пептиды).

5. История нанотехнологий в России

В 2000 году правительство России разработало и приняло программу «Военная наноэлектроника Вооружённых Сил Российской Федерации на период до 2010 года».

21 августа 2001 года была принята Федеральная целевая научно-техническая программа «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития науки и техники на 2002—2006 годы». 14 ноября 2002 года постановлением правительства России в эту программу были добавлены разделы, связанные с нанотехнологиями и нанонаукой.

6 июля 2006 года была принята Федеральная целевая программа «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007—2012 годы», после чего финансирование по направлениям нанотехнологий и нанонауки возросло.

24 апреля 2007 года президент России В. В. Путин выступил с президентской инициативой «Стратегия развития nanoиндустрии».

26 апреля 2007 года В. В. Путин в послании Федеральному Собранию назвал нанотехнологии «наиболее приоритетным направлением развития науки и техники»[2]. По мнению Путина, для большинства россиян нанотехнологии сегодня — «некая абстракция вроде атомной энергии в 30-е годы».

4 мая 2008 года правительство России приняло «Программу развития nanoиндустрии в Российской Федерации до 2015 года», согласно которой объём производства продукции nanoиндустрии в России должен составить к 2015 году более 900 млрд руб. Общий объём финансирования этой программы до 2015 года планируется в размере около 318 млрд руб.

8 октября 2008 года было создано «Нанотехнологическое общество России», в задачи которого входит «просвещение российского общества в области нанотехнологий и формирование благоприятного общественного мнения в пользу нанотехнологического развития страны»

6 октября 2009 года президент России Д. А. Медведев на открытии Международного форума по нанотехнологиям в Москве заявил: «Все мы должны сделать так, чтобы нанотехнологии стали одной из мощнейших отраслей экономики. Именно к такому сценарию развития я вас призываю». Д. А. Медведев предложил Минобрнауки увеличить количество специальностей в связи с развитием потребности в квалифицированных кадрах для нанотехнологий.

26 апреля 2010 года в городе Рыбинске открылся завод по производству монолитного твёрдосплавного инструмента с многослойным наноструктурированным покрытием[5]. Это первое нанотехнологическое производство в России.[5] РОСНАНО потратила на финансирование этого проекта около 500 млн рублей[5]. Глава российского научного центра «Курчатовский институт» М. В. Ковальчук заявил: «РОСНАНО в Рыбинском проекте сыграла очень важную роль в цепочке между научной организацией, финансирующим

органом и конечным производством. Мы за бюджетные деньги создали интеллектуальную собственность, а затем с помощью РОСНАНО коммерциализовали её и легально продали производителям лицензию на её использование. Таким образом, благодаря этой госкорпорации наша технология была превращена в коммерческий продукт

6. Форумы и выставки

Роснано 2010

Первый в России Международный форум по нанотехнологиям Rusnanotech прошел в 2008 году, впоследствии ставший ежегодным. Работа по организации Международного форума по нанотехнологиям проводилась в соответствии с Концепцией, одобренной наблюдательным советом ГК «Роснано» 31 января 2008 г. и распоряжением Правительства Российской Федерации № 1169-р от 12.08.2008 г. Форум прошел с 3 по 5 декабря 2008 г. в г. Москве в Центральном выставочном комплексе «Экспоцентр». Программа Форума состояла из деловой части, научно-технологических секций, стендовых докладов, докладов участников Международного конкурса научных работ молодых ученых в области нанотехнологий и выставки.

Всего в мероприятиях Форума приняло участие 9024 участника и посетителя из России и 32-х зарубежных стран, в том числе:

4048 участника конгрессной части Форума

4212 посетителя выставки

559 стендист

205 представителей СМИ освещали работу Форума

В 2009 году в мероприятиях Форума принял участие 10 191 человек из 75 регионов Российской Федерации и 38 зарубежных стран, в том числе:

4 022 участника конгрессной части Форума

9 240 посетителя выставки

951 стендист

409 представителей СМИ освещали работу Форума

В 2010 году в работе форума приняли участие почти 7200 человек. Среди посетителей экскурсий, специально организованных Фондом «Форум Роснано» для школьников, собрались участники Всероссийской интернет-олимпиады по нанотехнологиям, и ученики школ, оказавшиеся впервые в центре крупного нанотехнологического события. Специально для посещения Форума приехали школьники из г. Чебоксары, г. Тула, Г.Ростова-на-Дону.

Экскурсоводами стали аспиранты МГУ им. Ломоносова, включенные в процесс подготовки нанотехнологической олимпиады.

7. Заключение

«Все мы должны сделать так, чтобы нанотехнологии стали одной из мощнейших отраслей экономики. Именно к такому сценарию развития я вас призываю». Д. А. Медведев