

Нанотехнология

Нанотехнология — это 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.

В Техническом комитете 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.

Итак, 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. Например, 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 не намного, зато экономические затраты возрастают экспоненциально. Нанотехнология — следующий логический шаг развития электроники и других наукоёмких производств. Нанотехнология является логическим продолжением и развитием микротехнологии. (Микротехнология - совокупность науки, изучающей микрообъекты, и технологий работы с объектами порядка микрометра, стала основой для создания современной микроэлектроники. Сотовые телефоны, компьютеры, интернет, разнообразная бытовая, промышленная и потребительская электроника, всё это неузнаваемо изменило как мир, так и человека).

Столь же сильно изменит мир и нанотехнология. Нанотехнологии требуют очень больших вычислительных мощностей, чтобы смоделировать поведение атомов, и высокоточных электрических и механических приспособлений, чтобы упорядочить атомы и молекулы разных материалов в новом порядке. Таким образом создается новая материя, создаются материалы с новыми, нужными человеку свойствами. Перечислим только некоторые из них. Это прозрачный и гибкий материал с легкостью пластика и твердостью стали, гибкое пластиковое покрытие, представляющее собой солнечную батарею, материал для электрода электрической батареи, которая

в десятки и сотни раз сильнее «обычной». Нанотехнология уже позволяет получить гибкие пластиковые экраны с толщиной бумажного листа, и оптимальной яркостью, компактную электронику на основе соединений углерода, с уникальными размерами и энергоемкостью. Нанотехнологии - это легкие и гибкие конструктивные и строительные материалы, высокоэффективные фильтры для воздуха и воды, принципиально новые лекарства и косметика, стремительное удешевление стоимости полета в космос, и многое-многое другое. Пока все нанотехнологические материалы стоят очень дорого. Но, как и в случае компьютерной отрасли, массовое производство приведет к резкому снижению цены.

История возникновения и развития

Многие источники первое упоминание методов, которые впоследствии будут названы нанотехнологией, связывают с известным выступлением Ричарда Фейнмана «Там внизу много 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 микророботов, 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,

потребуется дальнейших конструктивных изменений и модификаций (кстати, на определенном этапе, возможно, придется отказаться от «рук» привычной формы), но позволит изготовить новые, значительно более совершенные устройства описанного типа. Ничто 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. Все, с чем приходится встречаться в жизни, зависит от масштабных факторов. Кроме того, существует еще 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»). Впервые термин «нанотехнология» употребил Норио Танигути в 1974 году.

Он назвал этим термином производство изделий размеров порядка нанометров. В 1980-х годах этот термин использовал Эрик К. Дрекслер, особенно в своей книге «Машины создания: грядёт эра нанотехнологии» («Engines of Creation: The Coming Era of Nanotechnology»), которая вышла в 1986 году. Этим термином он называл новую область науки, которую он исследовал в своей докторской диссертации в Массачусетском Технологическом Институте (МТИ). Результаты своих исследований он впоследствии опубликовал в книге «Nanosystems: Molecular Machinery, Manufacturing, and Computation». Главную роль в его исследованиях играли математические расчёты, поскольку с их помощью до сих пор можно проанализировать предположительные свойства и разработать устройства размеров порядка нанометров. В основном сейчас рассматривается возможность механического манипулирования молекулами и создание самовоспроизводящихся манипуляторов для этих целей. Как уже было сказано, это позволит многократно удешевить любые существующие продукты и создать принципиально новые, решить все существующие экологические проблемы. Также такие манипуляторы имеют огромный медицинский потенциал: они способны ремонтировать повреждённые клетки человека, что приводит фактически к реальному техническому бессмертию человека. С другой стороны, создание наноманипуляторов может привести к сценарию «серой жижи». Также предполагают возможным сценарий, когда определённая группа людей получает полное управление над таким манипулятором и использует его, чтобы полностью утвердить свою власть над другими людьми. Если этот сценарий осуществится, получится идеальная монополия, которую, по-видимому, невозможно будет уничтожить.

Исторический экскурс

Основы нанотехнологии были заложены еще во второй половине XIX века в связи с развитием коллоидной химии. В 1857 г. М. Фарадей впервые

получил устойчивые коллоидные растворы (золи) золота, имеющие красный цвет. В 1861 г. Т. Грэм удалось провести коагуляцию золей и превратить их в гели. Он также ввел деление веществ по степени дисперсности структуры на коллоидные (аморфные) и кристаллоидные (кристаллические). Кристаллическое или аморфное состояние вещества зависит, прежде всего, от его собственных свойств, а затем от условий, при которых происходит переход в твердое состояние. В 1869 г. химик И. Борщов высказал гипотезу, что вещество в зависимости от условий может быть получено и в кристаллоидном (склонность к образованию кристаллов), и в коллоидном (аморфном) состоянии. Изменяя соответствующим образом условия перехода вещества в твердое состояние, можно получить в кристаллическом состоянии типично аморфные вещества (каучук, клей, стекло) и, наоборот, в аморфном (стеклообразном) состоянии получить типично кристаллические вещества (металлы и поваренную соль). Поскольку в XIX веке для наблюдения объектов и измерения их размеров существовали только оптические микроскопы, которые не позволяли обнаруживать частицы в коллоидных растворах и зерна в коллоидных веществах, то коллоидными называли вещества с ультравысокой степенью дисперсности, частицы, волокна, зерна и пленки которых нельзя обнаружить в оптические микроскопы, имеющие разрешение 300 нм при использовании белого света и 150 нм при использовании ультрафиолетового излучения. В 1892 г. Д. Ивановским была открыта первая биологическая коллоидная частица – вирус мозаичной болезни табака, а в 1901 г. У. Рид выделил первый вирус человека – вирус желтой лихорадки. Следует отметить, что вирусы имеют характерные размеры от 40 до 80 нм. В 1903 г. Р. Зигмонди и Р. Зидентопфом был изобретен оптический ультрамикроскоп, имеющий разрешение до 5 нм и позволивший наблюдать коллоидные частицы. Ультрамикроскоп построен на принципе наблюдения в отраженном свете, благодаря чему становятся видимыми более мелкие объекты, чем в обыкновенном микроскопе. С

помощью ультрамикроскопа Р. Зигмонди удалось установить, что в коллоидных растворах (золях) золота желтого цвета частицы имеют размеры 20 нм, красного – 40 нм, а синего – 100 нм. В 1904 г. П. Веймарном установлено: Между миром молекул и микроскопически видимых частиц существует особая форма вещества с комплексом присущих ей новых физико-химических свойств – ультрадисперсное или коллоидное состояние, образующееся при степени его дисперсности в области 10^{-5} – 10^{-7} см, в котором пленки имеют толщину, а волокна и частицы – размер в поперечнике в диапазоне 1,0–100 нм.

Все дисперсные системы являются гетерогенными, так как состоят из сплошной непрерывной фазы – дисперсионной среды и находящихся в ней раздробленных частиц – дисперсной фазы. Обязательное условие их существования – взаимная нерастворимость дисперсной фазы и дисперсионной среды. Коллоидные системы часто называются ультрамикрогетерогенными, чтобы подчеркнуть, что граница раздела фаз в них не может быть обнаружена с помощью оптических микроскопов. Если частицы дисперсной фазы имеют одинаковые размеры, системы называются монодисперсными, а если разные, то – полидисперсными системами. Свойства веществ и материалов зависят от их структуры, характеризующейся связанными между собой и влияющими на такие свойства уровнями. Первый уровень структуры называется кристаллическим и характеризует пространственное расположение атомов, ионов и молекул в кристаллической решетке твердого тела, на которое может накладываться влияние точечных дефектов (вакансий, атомов в междоузлиях, чужеродных атомов). Точечные дефекты подвижны и во многом определяют диффузионные и электрические свойства материалов, особенно полупроводников. Второй уровень связан с присутствием в твердом теле различных линейных и плоскостных дефектов структуры (дислокаций), число которых в единице объема возрастает при механических нагрузках, приводящих к появлению внутренних напряжений

в материале. Подобно точечным дефектам дислокации подвижны, а их плотность и способность к перемещению в твердом теле определяют механические свойства материалов, особенно металлов. Третий уровень структуры – это объемные дефекты типа пор и капилляров, которые могут создаваться в материалах в процессе их формирования или использования. Они связаны с отсутствием некоторых участков твердого тела. Все вещества в твердом состоянии можно разделить на монокристаллические, поликристаллические, аморфные (или нанокристаллические) и молекулярные твердые растворы. Если упорядоченное расположение частиц (атомов, молекул или ионов), отражаемое элементарной ячейкой, сохраняется во всем объеме твердого тела, то образуются монокристаллы. Если упорядоченность структуры сохраняется в макроскопических (>100 мкм) и микроскопических ($>0,1$ мкм) участках твердого тела (см.табл. 1), то образуются поликристаллические вещества с так называемыми кристаллитами или зернами кристаллитов соответствующих размеров и пространственно разориентированными друг относительно друга кристаллическими решетками. До середины 80-х годов прошлого века считалось, что в аморфных веществах отсутствует упорядоченное расположение частиц. Однако проведенные с помощью высокоразрешающих электронных просвечивающих, сканирующих туннельных и силовых атомных микроскопов исследования, особенно на металлических стеклах, позволили обнаружить у аморфных веществ кристаллиты или зерна с размерами в субнанометровом диапазоне. Таким образом, аморфные вещества и материалы характеризуются ультрадисперсной (коллоидной) степенью раздробленности зерен кристаллической фазы, и их можно называть нанокристаллическими. В молекулярных твердых растворах, как и в жидких, обычно называемых истинными растворами или просто растворами, распределенное вещество равномерно перемешано с молекулами дисперсионной среды на молекулярном уровне. Поэтому молекулярные

твердые и жидкие растворы, не имеющие фаз и поверхностей раздела, являются системами гомогенными. Кристаллическое состояние вещества всегда более устойчиво, чем аморфное (нанокристаллическое), поэтому самопроизвольный переход из аморфного состояния в кристаллическое возможен, а обратный – нет. Примером может служить расстекловывание – самопроизвольная кристаллизация стекла при повышенных температурах. Дисперсные системы, в том числе коллоидные, классифицируются по степени дисперсности, агрегатному состоянию дисперсной фазы и дисперсионной среды, интенсивности взаимодействия между ними, отсутствию или образованию структур. Многообразие коллоидных систем обусловлено тем, что образующие их фазы могут находиться в любом из трех агрегатных состояний; иметь неорганическую, органическую и биологическую природу. В газообразной дисперсионной среде могут быть диспергированы только жидкости и твердые тела, так как все газы при не очень высоких давлениях неограниченно растворяются друг в друге. Дисперсные системы с газообразной дисперсионной средой называются аэрозолями. Туманы представляют собой аэрозоли с жидкой дисперсной фазой, а дымы – аэрозоли с твердой дисперсной фазой. Простейшим примером аэрозоля является табачный дым, средний размер твердых частиц которого – 250 нм, тогда как размеры частиц сажи или вулканического пепла могут быть меньше 100 нм, и их аэрозоли относятся к ультрадисперсным (коллоидным) системам. В жидкой дисперсионной среде могут быть диспергированы газы, жидкости и твердые тела. Пены – это дисперсия газа в жидкости. Эмульсии – дисперсные системы, в которых одна жидкость раздроблена в другой, не растворяющей ее жидкости. Наибольшее значение для химии и биологии имеют коллоидные системы, в которых дисперсионной средой является жидкая фаза, а дисперсной фазой – твердое вещество, называемые коллоидными растворами или золями, часто лиозолями. Если дисперсионной средой является вода, то такие золи

называются гидрозолями, а если органическая жидкость, то – органозолями. Коллоидные растворы очень важны, так как с ними связаны многие процессы, протекающие в живых организмах. В твердой дисперсионной среде могут быть диспергированы газы, жидкости и твердые тела. Системы, в которых газ находится в виде отдельных замкнутых ячеек, разделенных твердой дисперсионной средой, называются твердыми пенами или капиллярно дисперсными системами. К твердым пенам относятся пенопласты, пенобетон, пемза, шлак, металлы с включением газов, различные пористые материалы (активированный уголь, силикагель, древесина), а также мембраны и диафрагмы, фотонно-кристаллические волокна, кожа, бумага, ткани.

Таким образом, под коллоидами понимается не отдельный класс веществ, а особое состояние любого вещества, характеризующееся, прежде всего, определенными размерами частиц. Под наноструктурированием твердого тела следует понимать перевод вещества или материала в коллоидное (ультрадисперсное) состояние, т.е. создание в структуре физических или химических фаз субнанометровых размеров, которые можно рассматривать как своеобразные наночастицы, отделенные от остальной структуры поверхностями раздела. Такими наночастицами, кроме механически диспергированных нанопорошков, являются: - нанокристаллические зерна; - наноразмерные полиморфные фазы; - наноразмерные структурные дефекты (наноблоки); - поверхностные наноструктуры (ямки, выступы, канавки, стенки); - объемные наноструктуры (поры и капилляры); - наноразмерные химические фазы из чужеродных атомов или молекул, сформированные на его поверхности или в объеме и имеющие волокнисто- или корпускулярнообразную форму; - наноразмерные структуры, образующиеся в результате физического или химического осаждения из газовой или жидкой фазы (фуллерены, углеродные нанотрубки); - пленки веществ наноразмерной толщины, сформированные в

периодической последовательности; - макромолекулы, полимолекулярные ансамбли, молекулярные пленки, молекулярные комплексы типа "хозяин – гость" (наличие распределения по размерам является признаком, отличающим наночастицы от макромолекул); наноразмерные и наноструктурированные биологические структуры (вирусы, протеины, гены, белки, хромосомы, молекулы ДНК и РНК). Коллоидное состояние вещества – это качественно особая форма его существования с комплексом присущих ей физико-химических свойств. По этой причине область естествознания, изучающая объективные физические и химические закономерности гетерогенного ультрадисперсного состояния вещества, высокомолекулярных соединений (полимеров, комплексных соединений и молекулярных ансамблей) и межфазовых поверхностей, сформировалась в начале XX века в самостоятельную дисциплину – коллоидную химию. Быстрое развитие коллоидной химии обусловлено большим значением изучаемых этой наукой явлений и процессов в различных областях человеческой практики. Такие, казалось бы, совершенно различные направления, как жизненные процессы в организмах, образование многих минералов, структура и урожайность почв тесно связаны с коллоидным состоянием вещества. Коллоидная химия является также научной основой промышленных производств многих материалов. По мере развития технических средств формирования и манипулирования нанообъектами, а также методик их исследования в коллоидной химии стали выделяться более специализированные дисциплины, такие как химия полимеров и физическая химия поверхности (конец 1950-х годов), супрамолекулярная химия (конец 1970-х годов). Исследование и изучение наноразмерных и наноструктурированных биологических структур (протеинов, генов, хромосом, белков, аминокислот, ДНК, РНК), являющихся предметом биологии ультрадисперсных систем, привело к созданию в 30–50-х годах вирусологии, в 60-х годах молекулярной биологии и в последней четверти XX века генетики и иммунохимии. Если

размеры материала хотя бы в одном измерении меньше критических длин, характеризующих многие физические явления, у такого материала появляются новые уникальные физические и химические свойства квантовомеханической природы, которые изучает и использует для создания новых устройств физика низкоразмерных структур, являющаяся наиболее динамично развивающейся областью современной физики твердого тела. Результатом исследований низкоразмерных систем (квантовые ямы, провода и точки) стало открытие принципиально новых явлений – целочисленный и дробный квантовый эффект Холла в двумерном электронном газе, вигнеровская кристаллизация квазидвумерных электронов и дырок, обнаружение новых композитных квазичастиц и электронных возбуждений с дробными зарядами. Область коллоидной химии, изучающая процессы деформирования, разрушения и образования материалов и дисперсных структур, выделилась в физико-химическую механику твердых тел и ультрадисперсных структур. Она сформировалась в середине XX века благодаря работам академика П. Ребиндера и его школы как новая отрасль знания, пограничная коллоидной химии, молекулярной физике твердого тела, механике материалов и технологии их производства. Основной задачей физико-химической механики является создание конструкционных материалов с заданными свойствами и оптимальной для целей их применения структурой. Еще одной отраслью, которая изучает и создает элементы, структуры и приборы в субнанометровом диапазоне, является микроэлектроника, в которой можно выделить наноэлектронику (разработка и производство интегральных схем с субнанометровыми размерами элементов – интегральных наносхем (ИНС), молекулярную электронику, функциональную электронику наноструктурированных материалов и наноэлектромеханические системы (НЭМС).

Суммируя изложенное, можно сформулировать определение: нанотехнология – это контролируемое получение веществ и материалов в

коллоидном (ультрадисперсном, наноструктурированном с размерами структурных элементов в диапазоне 1,0–100 нм) состоянии, исследование и измерение их свойств и характеристик и использование их в различных отраслях науки, техники и промышленности. Все термины, связанные с созданием и изучением коллоидного (наноструктурированного) уровня структуры материи под брендом "нанотехнология", автоматически получили приставку "нано", хотя до середины 1980-х годов они назывались соответственно: механика, фотоника, кристаллография, химия, биология и электроника ультрадисперсных или коллоидных систем; а предметы их исследования носили названия: ультрадисперсные порошки и композиты, аэро-, гидро- и органозоли, обратимые и необратимые гели, ультрадисперсная керамика и т.д. Возникновение интереса к коллоидному состоянию вещества под брендом "нанотехнология" в последние годы обусловлено, во-первых, его уникальными свойствами, а во-вторых, развитием и созданием технологического и контрольно-измерительного оборудования для получения и исследования субнаноразмерного уровня структуры материи: его физики, химии и биологии. Вместо открытия новых материалов и явлений в результате счастливого случая или хаотических исследований контролируемый перевод вещества в наноструктурированное (коллоидное) состояние, называемый концепцией нанотехнологии, позволяет делать это систематически. Вместо того чтобы находить наночастицы и наноструктуры с хорошими свойствами с помощью интуиции, знание законов образования и стабилизации ультрадисперсных систем открывает возможность их искусственного конструирования по определенной системе. Особенно интересным оказалось приобретение некоторыми хорошо известными веществами совершенно новых свойств при наноразмерах. Наноструктурированные (коллоидные) системы, в соответствии с их промежуточным положением между миром атомов и молекул и миром микроскопических и макроскопических тел, могут быть получены двумя

основными путями: диспергированием, т.е. измельчением (дроблением) крупных систем, и конденсацией, т.е. образованием наносистем из атомов, молекул, кластеров и наноструктур. Методы получения наноструктурированных систем по первому пути называются диспергационными, а по второму – конденсационными. Существуют смешанные методы получения наноструктурированных систем, которые называются соответственно диспергационно-конденсационными и конденсационно-диспергационными. В традиционной наноэлектронике при изготовлении интегральных наносхем (ИНС) по классической КМОП-технологии контролируемое наноструктурирование функциональных слоев (ФС) на кремниевых пластинах обеспечивается проекционным (фотошаблоны и наностампы) масочным (резистивные маски) литографическим паттернированием. При этом используется стратегический подход диспергирования или подход "сверху вниз" (top-down), т.е. осуществляется локальное удаление ненужных областей ФС путем их травления. Точность воспроизведения размеров элементов структур в горизонтальной плоскости обеспечивается с помощью резистивных масок, сформированных в процессах литографии. В связи с этим, подчеркивая используемый стратегический подход диспергирования или "сверху вниз", традиционную промышленную наноэлектронику удобнее называть D-наноэлектроникой (D-nanoelectronics). Конденсационные методы (нелитографические методы синтеза), использующие для получения наноструктурированных систем подход "снизу вверх" (bottom-up), можно разделить на две группы: традиционные и новые, созданные в рамках последних достижений нанотехнологий.

Сканирующая зондовая микроскопия

Одним из методов, используемых для изучения нанообъектов, является сканирующая зондовая микроскопия. В рамках сканирующей зондовой микроскопии реализованы как не оптические, так и оптические методики.

Исследований свойств поверхности с помощью сканирующего зондового микроскопа (СЗМ) проводят на воздухе при атмосферном давлении, вакууме и даже в жидкости. Различные СЗМ методики позволяют изучать как проводящие, так и не проводящие объекты. Кроме того, СЗМ поддерживает совмещение с другими методами исследования, например с классической оптической микроскопией и спектральными методами. С помощью сканирующего зондового микроскопа (СЗМ) можно не только увидеть отдельные атомы, но также избирательно воздействовать на них, в частности, перемещать атомы по поверхности. Учёным уже удалось создать двумерные наноструктуры на поверхности, используя данный метод. Например, в исследовательском центре компании IBM, последовательно перемещая атомы ксенона на поверхности монокристалла никеля, сотрудники смогли выложить три буквы логотипа компании, используя 35 атомов ксенона. При выполнении подобных манипуляций возникает ряд технических трудностей. В частности, требуется создание условий сверхвысокого вакуума (10^{-11} тор), необходимо охлаждать подложку и микроскоп до сверхнизких температур (4-10 К), поверхность подложки должна быть атомарно чистой и атомарно гладкой, для чего применяются специальные методы её приготовления. Охлаждение подложки производится с целью уменьшения поверхностной диффузии осаждаемых атомов.

Наноматериалы - это материалы, структурированные на уровне молекулярных размеров или близком к ним. Структура может быть более или менее регулярной или случайной. Поверхности со случайной наноструктурой могут быть получены обработкой пучками частиц, плазменным травлением и некоторыми другими методами. Что касается регулярных структур, то небольшие участки поверхности могут быть структурированы "извне" - например, с помощью зондового сканирующего микроскопа (см. ниже). Однако, достаточно большие (~ 1 мк и больше) участки, а также объёмы вещества могут быть структурированы, видимо, только способом самосборки

молекул. Самосборка широко распространена в живой природе. Структура всех тканей определяется их самосборкой из клеток; структура клеточных мембран и органоидов определяется самосборкой из отдельных молекул. Самосборка молекулярных компонентов разрабатывается как способ построения периодических структур для изготовления нанoeлектронных схем, и здесь были достигнуты заметные успехи. В медицине материалы с наноструктурированной поверхностью могут использоваться для замены тех или иных тканей. Клетки организма опознают такие материалы как "свои" и прикрепляются к их поверхности. В настоящее время достигнуты успехи в изготовлении наноматериала, имитирующего естественную костную ткань. Так, Jeffrey D. Hartgerink, Samuel I. Stupp и другие использовали трехмерную самосборку волокон около 8 нм диаметром, имитирующих естественные волокна коллагена, с последующей минерализацией и образованием нанокристаллов гидроксиапатита, ориентированных вдоль волокон. К полученному материалу хорошо прикреплялись собственные костные клетки, что позволяет использовать его как "клей" или "шпатлёвку" для костной ткани. Представляет интерес и разработка материалов которые обладают противоположным свойством: не позволяют клеткам прикрепляться к поверхности. Одним из возможных применений таких материалов могло бы стать изготовление биореакторов для выращивания стволовых клеток. Дело в том, что, прикрепившись к поверхности, стволовая клетка стремится дифференцироваться, образуя те или иные специализированные клетки. Использование материалов с наноразмерной структурой поверхности для управления процессами пролиферации и дифференциации стволовых клеток представляет собой огромное поле для исследований. Мембраны с нанопорами могут быть использованы в микрокапсулах для доставки лекарственных средств и для других целей. Так, они могут применяться для фильтрации жидкостей организма от вредных веществ и вирусов. Мембраны

могут защищать нанодатчики и другие вживляемые устройства от альбумина и подобных обволакивающих веществ.

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 дешевы и могут быть механически гибкими. Удастся добиться взаимодействия искусственных наночастиц с природными объектами наноразмеров — белками, нуклеиновыми кислотами и др. Тщательно очищенные наночастицы могут самовыстраиваться в определенные 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, 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 нанокомпозиты — 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. Прочие методы в основном используются в научных целях. В

особенности следует отметить методы ионного и молекулярного насаивания, поскольку с их помощью возможно создание реальных монослоёв. Проводятся предклинические испытания средств на основе фуллереновых наносфер C_{60} с упорядоченно расположенными на их поверхности химическими группами. Эти группы могут быть подобраны таким образом, чтобы связываться с заранее выбранными биологическими мишенями. Спектр возможных применений чрезвычайно широк. Он включает борьбу с вирусными заболеваниями такими, как грипп и ВИЧ, онкологическими и нейродегенеративными заболеваниями, остеопорозом, заболеваниями сосудов. Например, наносфера может содержать внутри атом радиоактивного элемента, а на поверхности - группы, позволяющие ей прикрепиться к раковой клетке. В Институте экспериментальной медицины (Санкт-Петербург) использовали фуллерен с поливинилпирролидоном (ПВП). Это соединение хорошо растворимо в воде, а полости в его структуре близки по размерам молекулам C_{60} . Полости легко заполняются молекулами фуллерена, и в результате образуется водорастворимый продукт с высокой антивирусной активностью. Поскольку сам ПВП не обладает антивирусным действием, вся активность приписывается молекулам C_{60} . В пересчете на фуллерен его эффективная доза составляет примерно 5 мкг/мл, что значительно ниже соответствующего показателя для ремантадина (25 мкг/мл), традиционно используемого в борьбе с вирусом гриппа. Наносферы могут использоваться и в диагностике, например, как рентгеноконтрастное вещество, прикрепляющееся к поверхности определенных клеток и показывающее их расположение в организме. Особый интерес вызывают дендримеры. Они представляют собой новый тип полимеров, имеющих не привычное линейное, а ветвящееся строение. Собственно говоря, первое соединение с такой структурой было получено еще в 50-е годы, а основные методы их синтеза разработаны в основном в 80-е годы. Термин "дендримеры" появился раньше, чем "нанотехнология", и первое время они

между собой не ассоциировались. Однако последнее время дендримеры все чаще упоминаются именно в контексте их нанотехнологических (и наномедицинских) применений. Это связано с целым рядом особых свойств, которыми обладают дендримерные соединения. Среди них: предсказуемые, контролируемые и воспроизводимые с большой точностью размеры макромолекул; Наличие в макромолекулах каналов и пор, имеющих хорошо воспроизводимые формы и размеры; способность к высокоизбирательной инкапсуляции и иммобилизации низкомолекулярных веществ с образованием супрамолекулярных конструкций "гость-хозяин".

Самоорганизация наночастиц

Одним из важнейших вопросов, стоящих перед нанотехнологией — как заставить молекулы группироваться определенным способом, самоорганизовываться, чтобы в итоге получить новые материалы или устройства. Этой проблемой занимается раздел химии — супрамолекулярная химия. Она изучает не отдельные молекулы, а взаимодействия между молекулами, которые способны упорядочить молекулы определённым способом, создавая новые вещества и материалы. Обнадёживает то, что в природе действительно существуют подобные системы и осуществляются подобные процессы. Так, известны биополимеры, способные организовываться в особые структуры. Один из примеров — белки, которые не только могут сворачиваться в глобулярную форму, но и образовывать комплексы — структуры, включающие несколько молекул протеинов (белков). Частицы размерами порядка нанометров имеют одно свойство, которое очень мешает их использованию. Они могут образовывать агломераты, то есть слипаться друг с другом. Так как наночастицы многообещающи в отраслях производства керамики, металлургии, эту проблему необходимо решать. Одно из возможных решений — использование веществ — дисперсантов, таких как цитрат аммония (водный

раствор), имидазолин, олеиновый спирт (нерастворимых в воде). Их можно добавлять в среду, содержащую наночастицы.

Микро- и нанокапсулы. Для доставки лекарственных средств в нужное место организма могут быть использованы миниатюрные (~1 мк) капсулы с нанопорами. Уже испытываются подобные микрокапсулы для доставки и физиологически регулируемого выделения инсулина при диабете 1-го типа. Использование пор с размером порядка 6 нм позволяет защитить содержимое капсулы от воздействия иммунной системы организма. Это дает возможность помещать в капсулы инсулин-продуцирующие клетки животного, которые иначе были бы отторгнуты организмом. Микроскопические капсулы сравнительно простой конструкции могут взять на себя также дублирование и расширение естественных возможностей организма.

Нанотехнологические сенсоры и анализаторы

Использование микро- и нанотехнологий позволяет многократно повысить возможности по обнаружению и анализу сверхмалых количеств различных веществ. Одним из вариантов такого рода устройства является "лаборатория на чипе" (lab on a chip). Это пластинка, на поверхности которой упорядоченно размещены рецепторы к нужным веществам, например, антитела. Прикрепление молекулы вещества к рецептору выявляется электрическим путем или по флюоресценции. На одной пластинке могут быть размещены датчики для многих тысяч веществ. Такое устройство, способное обнаруживать буквально отдельные молекулы может быть использовано при определении последовательности оснований ДНК или аминокислот (для целей идентификации, выявления генетических или онкологических заболеваний), обнаружения возбудителей инфекционных заболеваний, токсических веществ. Устройство размером в несколько миллиметров может быть помещено на поверхности кожи (для анализа веществ, выделяемых с потом) или внутри организма (в полость рта,

желудочно-кишечный тракт, под кожу или в мышцу). При этом оно сможет сообщать о состоянии внутренней среды организма, сигнализировать о любых подозрительных изменениях.

Нанотехнологии в текстильной промышленности

Волна нанотехнологий показала огромный успех в текстильной и швейной промышленности, которые, как правило, очень традиционны. Использование нанотехнологий позволяют текстильной промышленности стать многофункциональной и производят ткани со специальными качествами, в том числе антибактериальные, УФ-защитные, легкие чистые, водоотталкивающие, грязнестойкие. Во многих случаях позволяют экономить ресурсы в производстве. Возможно, одним из наиболее широко признанных из современных достижений нанотехнологий является купальный костюм, в котором плавает олимпийский чемпион Майкл Фелпс, на счету которого несколько мировых рекордов. На этот костюме есть тонкий слой, нанесенный плазменным методом, для отражения молекул воды, помогающий плавать с минимальным сопротивлением. Одним из применений нанотехнологий в текстильной промышленности являются полимерные материалы для изготовления обычного волокна, такие как полиэстер, полиамид и полипропилен на наноуровне. Нановолокна имеют хорошие свойства, такие как высокая площадь поверхности, малый диаметр волокна, хорошую фильтрацию и высокую проницаемостью. Существует значительный потенциал для выгодных применений нанотехнологий в текстильной промышленности. Удачное применение нанотехнологий может быть использовано для достижения повышения производительности текстильной промышленности. Нанотехнологии преодолевают ограниченное применение традиционных методов, чтобы придать определенные качества текстильным материалам. Однако, есть еще много факторов, которые надо принять во внимание до промышленной коммерциализации нанопродуктов.

Помимо стоимости, ключевым моментом является вопрос о последствиях неконтролируемого выброса наночастиц.

Нанотехнологии в автомобильной промышленности

Буквально каждый узел или компонент в конструкции автомобиля может быть в значительной степени усовершенствован при помощи нанотехнологий. Одним из наиболее перспективных и многообещающих направлений применения (в том числе коммерческого) достижений современной нанотехнологии является область наноматериалов и электронных устройств. Уже существуют легко очищающиеся и водоотталкивающие покрытия для материалов, основанные на использовании диоксида кремния. В форме наночастиц это вещество приобретает новые свойства, в частности, высокую поверхностную энергию, что и позволяет частицам SiO_2 при высыхании коллоидного раствора прочно присоединяться к различным поверхностям, в первую очередь к родственному им по составу стеклу, образуя, тем самым, сплошной слой наноразмерных выступов. Покрытие из наночастиц кремнезема делает обработанную поверхность гидрофобной - на поверхности с плёнкой из SiO_2 капля воды касается субстрата лишь немногими точками, что во много раз уменьшает Ван-дер-ваальсовы силы и позволяет силам поверхностного натяжения жидкости сжать каплю в шарик, который легко скатывается по наклоненному стеклу, унося с собой накопившуюся грязь. В силу наноразмерной толщины, такие покрытия совершенно невидимы, а благодаря биоинертности кремнезема - безвредны для человека и окружающей среды. Они устойчивы к ультрафиолету и выдерживают температуры до $400\text{ }^\circ\text{C}$, а действие водоотталкивающего эффекта длится в течение 4 месяцев. Что касается в прямом понимании самоочищающихся поверхностей, то такая технология основана на использовании диоксида титана. Принцип действия материала с таким покрытием заключается в следующем. При попадании ультрафиолетового излучения на нанопокрывтие из TiO_2 происходит

фотокаталитическая реакция. В ходе этой реакции испускаются отрицательно заряженные частицы - электроны, а на их месте остаются положительно заряженные дырки. Благодаря появлению комбинации плюсов и минусов на поверхности, покрытой катализатором, содержащиеся в воздухе молекулы воды превращаются в сильные окислители - радикалы гидроокиси (НО), которые в свою очередь окисляют и расщепляют грязь, а также нейтрализуют различные запахи и убивают микроорганизмы. Кроме покрытий для стекол также разработаны и выпускаются составы с аналогичным действием для тканей, металла, пластика, керамики - и все они имеют потенциал для применения в автомобильной промышленности.

Большой интерес представляют нанотехнологии для создания перспективных автомобилей на топливных элементах. С помощью нанотрубок предполагается решить проблему надежного и безопасного хранения водорода на борту транспортного средства, так как наряду с металлами и жидкостями углеродные нанотрубки (УНТ) могут заполняться газообразными веществами и связывать большое его количество. Работы по использованию УНТ для хранения водорода проводят и сами автопроизводители. Нанотрубки перспективны для усовершенствования конструкции самих топливных элементов. В процессе роста УНТ и УНВ (углеродных нановолокон) образуются случайным образом ориентированные спиралевидные нанотрубки, что приводит к образованию значительного количества полостей и пустот нанометрового размера. В результате удельная поверхность материала нанотрубок достигает значений около $600 \text{ м}^2/\text{г}$. Столь высокая удельная поверхность открывает возможность их использования прежде всего в фильтрах и подложках катализаторов топливных элементов.

Сейчас конструкторы "гибридных" автомобилей уже сталкиваются с потребностью в компактных, легких и высокочемких аккумуляторных батареях. Стоит напомнить, что ставшие традиционными кислотные аккумуляторы не годятся, в силу большой массы, громоздкости,

экологической "небезупречности". С ростом парка гибридов, а также с массовым появлением водородных автомобилей на ТЭ потребность в автономных источниках хранения электрической энергии возрастет еще больше. Нанотехнологии предлагают ряд решений данной проблемы. В силу того, что большинство автомобилей будущего будет работать на электрической тяге, гораздо больший интерес станет представлять использование фотоэлементов в конструкции автомобиля. В этом отношении нанотехнология позволяет создавать долговечные, ультратонкие и гибкие преобразователи солнечного света. Кроме того, использование нанотехнологических принципов позволит получать солнечные панели с КПД до 80-90%.

Направления использования нанотехнологий в сельском хозяйстве

Направления использования нанотехнологий в сельском хозяйстве связаны с воспроизводством сельскохозяйственных видов, переработкой конечной продукции и улучшением ее качества. Нанотехнологии уже используют для обеззараживания воздуха и различных материалов, в том числе кормов и конечной продукции животноводства; обработки семян и урожая в целях его сохранения. Их применяют при стимуляции роста растений; лечении животных; улучшении качества кормов. Есть опыт внедрения этих технологий для уменьшения энергоемкости производства, оптимизации методов обработки сырья и увеличения выхода конечной продукции; разработки новых упаковочных материалов, позволяющих долго сохранять конечную продукцию. Большинство из них связано с пищевой промышленностью, с использованием наноматериалов для упаковки пищи или определения и, в отдельных случаях, нейтрализации опасных токсинов, аллергенов или патогенов. Развиваются проекты по созданию и улучшению пищевых добавок, получению растительного масла с нанодобавками, которые препятствуют поступлению холестерина в кровь млекопитающих.

Другие направлены на развитие более эффективных и средосберегающих агротехнологий. Например, использование наноматериалов для очистки вод в агроэкосистемах. Или их применение для переработки отходов растениеводства в этанол. В животноводстве разрабатывают методы использования нанодобавок в целях уменьшения доз ростовых факторов и гормонов, нейтрализации патогенов на ранних стадиях их контакта с животными. Большие надежды в применении нанотехнологий обнаруживаются и в агропромышленном комплексе. Увеличение производства и качества переработки сельскохозяйственного сырья, увеличение ресурса работы спецтехники, повышения сроков хранения, получение высококачественной пищевой продукции и кормов - все эти задачи агробизнеса могут решить нанотехнологии. Употребление нанотехнологий в овощеводстве. Мониторинг разработанных нанотехнологических процессов и наноматериалов подтверждает, что применение нанопрепаратов в растениеводстве обеспечивает повышение устойчивости к неблагоприятным погодным условиям и увеличение выхода готовой продукции. Почти для всех технических и продовольственных культур - картофеля, зерновых, овощных, плодово-ягодных, хлопка и льна показатели урожая увеличились в 1,5-2 раза. Нанотехнологии уже активно внедряются при послеуборочной обработке подсолнечника, табака и картофеля, хранении яблок в регулируемых средах, озонировании воздушной среды. В свете последних открытий нанотехнологий была изучена биологическая роль кремния в живых организмах и изучена биологическая активность органических соединений кремния - силатранов. Силатраны, являющиеся клеточным образованием и содержащие кремний, оказывают физиологическое действие на живые организмы на всех этапах эволюционного развития от микроорганизмов до человека. Применение кремнеорганических биостимуляторов в растениеводстве позволяет повысить холодостойкость, выносливость к жаре и засухе, помогает

благополучно выйти из стрессовых погодных ситуаций (возвратные заморозки, резкие перепады температуры и т. д.), усиливает защитные функции растений к болезням и вредителям. Препараты снимают угнетающее, седативное действие химических реагентов по защите растений при комплексных обработках. Суперсовременное направление нанобиотехнологии (нанотехнологии в биологии) в растениеводстве - это создание культурных растений, особенно устойчивых к насекомым вредителям. В животноводстве нанотехнологии целесообразно использовать в технологических процессах, где они дают вспомогательное превосходство. При формировании микроклимата в помещениях, где содержатся животные и птицы, их использование позволяет заменить энергоемкую приточно-вытяжную систему вентиляции электрохимической очисткой воздуха с обеспечением нормативных параметров микроклимата: температура, влажность, газовый состав, микробиообсемененность, запыленность, скорость движения воздуха, устранение запахов с сохранением тепловыделений животных. Российские ученые применяют на практике экологически чистую нанотехнологию электроконсервирования силосной массы зеленых кормов электроактивированным консервантом. Делается это взамен дорогостоящих органических кислот, требующих соблюдения строгих мер техники безопасности. Такая новая нанотехнология повышает сохранность кормов до 95%. В животноводстве и птицеводстве при приготовлении кормов нанотехнологии обеспечивают повышение продуктивности в 1,5-3 раза, сопротивляемость стрессам, и падеж уменьшается в 2 раза. Наноприборы, которые могут имплантироваться в растения, животных, позволяют автоматизировать многие процессы и передавать в реальном времени необходимые данные. Нанотехнологии в переработке агропродукции Новая наноэлектротехнология комбинированной сушки зерна основана на том, что в нагретом зерне создается избыточное давление влаги при температуре ниже температуры кипения воды.

Вследствие этого ускоряется фильтрационный перенос влаги из зерновки на поверхность в капельножидком состоянии. С поверхности влага выпаривается горячим воздухом. Расход энергии на сушку зерна по сравнению с традиционной конвективной сокращается в 1, 3 раза и более, снижаются микроповреждения семян до 6%, их посевные качества улучшаются на 5%. Для низкотемпературной досушки и обеззараживания зерна дополнительно использовали озон, что уменьшило количество бактерий в 24 раза и снизило в 1, 5 раза энергозатраты. Применительно к АПК внедрение нанотехнологий сулит увеличение объемов сельскохозяйственной продукции и повышение ее качества. Нанотехнологии могут быть применены в различных отраслях АПК: растениеводство, ветеринарная медицина, животноводство, переработка продуктов жизнедеятельности животных и отходов сельхозпродукции, переработка, хранение, упаковка сельскохозяйственной продукции. Например, в настоящее время в животноводстве успешно применяются наночастицы серебра в фильтрах и других деталях оборудования молочной промышленности для ингибирования процессов брожения и скисания молока. Наночастицы железа и других микроэлементов включают в состав премиксов для повышения жизнестойкости животных и их продуктивности. Нанотехнологии применяются при упаковке и хранении пищевых продуктов. При помощи наночастиц серебра, обладающих активным антимикробным действием, можно эффективно дезинфицировать различные виды продуктов. Активно сегодня применяются ДНК-технологии, которые позволяют выявить гены, ассоциированные с хозяйственно-ценными признаками, устойчивости к стрессам, инфекционным болезням, а также гены носители рецессивных мутаций – генетических аномалий.

Нанотехнология и экология

Проблема экологии занимала человечество с давних времён. А с ростом прогресса, соответственно, загрязнением окружающей среды, проблемы экологии становятся всё более важными. В последнее время их всё чаще пытаются решить с помощью нанотехнологий. Нанотехнология - это область науки и техники, которая занимается совокупностью теоретических и практических методов исследования, анализом и синтезом и методами изготовления и применения продукции, которая имеет заданную атомную структуру. Производство таких продуктов осуществляется контролируемым манипулированием отдельными молекулами и атомами. Применение нанотехнологий помогает значительно снизить загрязнение окружающей среды. Методы нанотехнологии применяют в самых разных областях во многих странах мира. Занимаются этой наукой и в России - в последнее время она применяется всё чаще. Уже имеется немало достижений в нанотехнологиях, которые помогают уменьшить вредное влияние на окружающую среду: например, эта наука даёт новые возможности переработки мусора, очистки воды, определения ртути и так далее. Дальнейшие исследования дадут новые результаты, а, значит, и новые возможности. В наше время развитие науки нанотехнологии, а также промышленности, с ней связанной, показывает на развитость государства. Однако нанотехнология - новая наука, и, несмотря на свои преимущества и достоинства, вызывает и опасения. Впрочем, у любой медали всегда две стороны. Поэтому, несмотря на множество явного положительного влияния нанотехнологий на жизнь современных людей, наночастицы могут наносить и вред, используясь в некоторых отраслях. Нанотехнологии в наши дни используются почти во всех сферах современной жизни. Наночастицы используются, например, даже в косметике и парфюмерии. Так, наночастицы оксида титана содержатся в некоторых солнцезащитных кремах. Эти наночастицы поглощают излучение ультрафиолета с большой эффективностью, что, несомненно, делают такие кремы куда более

эффективными, чем обычные. Однако впоследствии были проведены исследования, которые показали, что, например, углеродные нанотрубки оказывали губительное воздействие на крыс. Углеродные нанотрубки, попадая в лёгкие крыс, вызывали сильные нарушения, а затем разносились кровью по организму. Или, например, были изобретены носки, содержащие наночастицы серебра. Таким образом, носки не приобретают неприятный запах. Но исследования показали, что при стирке эти наночастицы попадают в воду, в которой могут вызвать сильные нарушения работы мозга и функций размножения организмов, живущих в воде. Так как практически все канализационные воды попадают в природные водоёмы, это может нанести вред не только организмам, живущих в них, но и людям. Главная проблема в том, что наночастицы проникают сквозь абсолютно все очистительные фильтры, которые существуют на наш день. Поэтому, так как использование нанотехнологий становится всё более активным, произойдёт и некоторая революция в экологии. Будут создаваться специальные фильтры, задерживающие наночастицы. И, конечно, практически все новые технологии чаще всего в первую очередь применяются в военной отрасли. Если применять нанотрубки при создании взрывчатых веществ, то, во-первых, это обеспечит огромную силу взрыва, во-вторых, нанотрубки, рассеивающиеся в воздухе, могут нарушать работу органов и клеток людей. Впрочем, страшилки можно рассказывать про любое новое явление. Так как нанотехнологии видимо облегчают жизнь человека, то можно предположить, что, во-первых, нанотехнологии будут использовать не во всех отраслях, а только в тех, где это необходимо. И, во-вторых, вскоре негативное влияние наночастиц будет изучено и будут придуманы новые методы защиты.