



ЕВРОПЕЙСКАЯ
КОМИССИЯ

Исследование содружества

Нанотехнологии Новинки завтрашнего дня



Нанотехнологии и нанонауки,
Многофункциональные материалы, основанные на знаниях,
А также новые производственные процессы и устройства

Интересуетесь Европейскими научными исследованиями?

RTD info – наш ежеквартальный журнал, который держит Вас в курсе основных событий (данные, проекты, события, и т.п.). Имеется в наличии на английском, французском и немецком языках. Бесплатный пробный экземпляр или свободную подписку можно получить по адресу:

Европейская Комиссия
Генеральный директорат по научным исследованиям
Отдел информации и коммуникации
В-1049 Брюссель
Факс (32-2) 29-58220
E-mail: research@cec.eu.int
Интернет: http://europa.eu.int/comm/research/rtdinfo/index_en.html

Редактор: Европейская Комиссия
Генеральный директорат по научным исследованиям
Генеральный директорат — Промышленные технологии
Отдел G.4 — Нанонауки и нанотехнологии

Контактные лица: Др. Ренцо Томеллини, Др. Анжела Хулман

E-mails: renzo.tomellini@cec.eu.int, angela.hullmann@cec.eu.int

Url: <http://cordis.europa.eu.int/nanotechnology>

Нанотехнологии

Новинки завтрашнего дня

Брошюра была создана в рамках проекта, финансируемого Немецким Федеральным Министерством образования и исследований (BMBF) и была составлена Ассоциацией германских инженеров – Технологическим Центром (VDI-TZ). Европейская Комиссия выражает свою благодарность Немецкому федеральному министерству образования и исследований за предоставление разрешения перевести данное издание и сделать его доступным для Европейской общественности. Особая благодарность Др. Розите Коттоне (BMBF) и Др. Вольфгангу Лутеру (VDI-TZ) за их содействие при координации.



Опубликовано: Европейская Комиссия, Генеральный директорат по научным исследованиям

Финансировано: Bundesministerium für Bildung und Forschung BMBF (Федеральное Министерство образования и исследований), Берлин

Координация: Future Technologies Division, VDI Technologiezentrum GmbH, Düsseldorf

Автор: Др. Матиас Шуленбург, Кельн

Макет: Сьюзи Коппенс, BergerhofStudios, Кельн

*Europe Direct – это служба, которая поможет Вам найти ответы на вопросы
о Европейском Союзе*

Бесплатная телефонная линия:

00800 6 7 8 9 10 11

ПРЕДУСМОТРЕННОЕ ПРАВОМ УВЕДОМЛЕНИЕ

Ни Европейская Комиссия, ни любое другое лицо, действующее от имени Европейской Комиссии, не несет ответственность за использование следующей информации.

Убеждения, выраженные в данном издании, принадлежат автору и не выражают в обязательном порядке убеждения Европейской Комиссии.

Большое количество дополнительной информации по Европейской Комиссии имеется в наличии в Интернете. Доступ через сервер Europa (<http://europa.eu.int>).

Данные по каталогизации в конце данного издания.

Люксембург: Служба по официальным изданиям Европейского Сообщества, 2006

ISBN 92-79-00336-4

© Европейское Сообщество, 2006

Воспроизведение разрешено только с уведомления источника.

Printed in Belgium

НАПЕЧАТАНО НА БЕЛОЙ БУМАГЕ БЕЗ СОДЕРЖАНИЯ ХЛОРА

Предисловие

Нанотехнологии – это новый подход к пониманию и освоению свойств вещества в нано-масштабе: один нанометр (одна биллионная часть метра) является длиной небольшой молекулы. На этом уровне вещество проявляет особенные и зачастую поразительные свойства, и границы между установленными научными и техническими дисциплинами постепенно исчезают. Следовательно, нанотехнологии имеют междисциплинарный характер.



При описании нанотехнологий часто указывают на «разрушительный» или «революционный» потенциал относительно их возможного влияния на направление промышленного производства. Нанотехнологии предлагают возможные решения многих текущих проблем с помощью меньших по размеру, но более легких, устойчивых и высокоэффективных материалов, компонентов и систем, что одновременно может открыть целый ряд новых возможностей в производстве и сбыте. Можно ожидать, что нанотехнологии внесут значительный вклад в решение глобальных и экологических задач. Основанное на нанотехнологиях производство и применение продукции, отвечающей принципу экономии ресурсов и сокращения выбросов, открывает широкие перспективы.

В настоящее время был достигнут огромный прогресс в мировых нанотехнологических гонках. Европа ранее занималась многими программами по нанотехнологии, начиная с середины до конца 90-х. Впоследствии была разработана прочная база знаний, и сейчас необходимо удостовериться, что Европейская промышленность и общество могут извлечь пользу из этих знаний посредством разработки новых продуктов и технологических процессов.

Нанотехнология является предметом последнего обсуждения Комиссии («Вперед к Европейской стратегии по нанотехнологиям»). В данном Обсуждении предлагается не только ускорить исследования в нанонауках и нанотехнологиях, но и принять во внимание некоторые другие взаимозависимые факторы:

- Большая согласованность национальных исследовательских программ и инвестиции должны гарантировать обеспечение Европы командами и инфраструктурой («poles of excellence»), которые могут пополняться на международном уровне. Параллельно, сотрудничество между исследовательскими организациями в государственном и частном секторе по всей Европе является наиболее важным в достижении достаточной критической массы.
- Нельзя игнорировать другие факторы конкурентоспособности, такие, как адекватная метрология, правила и права интеллектуальной собственности с тем, чтобы проложить дорогу к проводимым промышленным инновациям и привести к конкурентным преимуществам, как для больших, так и для малых и средних предприятий.
- Мероприятия, связанные с образованием и обучением, имеют большое значение; в частности, одним из европейских стремлений является совершенствование предпринимательского характера исследователей, а также положительного отношения инженеров-технологов к изменениям. Осуществление настоящих междисциплинарных исследований в нанотехнологии также может потребовать новых подходов к образованию и обучению в исследованиях и промышленности.
- Социальные аспекты (такие, как общественная информация и коммуникации, проблемы здравоохранения и охраны окружающей среды, а также оценка риска) являются следующими ключевыми факторами, обеспечивающими ответственное развитие нанотехнологии и соответствие ее ожиданиям людей. Доверие общественности и инвесторов будет решающим в ее долгосрочном развитии и плодотворном применении.

Цель данной брошюры - показать, что такое нанотехнология, и что она может предложить гражданам Европы.

Ецио Андрета
Директор «Промышленных Технологий»
Генеральный Директорат по исследованиям
Европейская Комиссия

Предисловие к русскому изданию

По всей видимости, нанотехнологии помогут совершить революционный скачок в области воздействия и применения свойств материалов в особых целях. Они откроют пути к созданию новых продуктов со значительно усовершенствованными, а иногда и абсолютно новыми функциями и предназначением. И потому нанотехнологии сыграют решающую роль в решении проблем 21 века. В равной степени они важны и в обеспечении и упрочении позиции наших стран как центров исследований и инноваций, тем самым способствуя созданию новых рабочих мест.

Будущая конкурентоспособность продукции многих важных промышленных секторов, таких как автомобильная, химическая, фармацевтическая промышленность, информационные технологии и оптика, в значительной степени зависит от исследований и открытий в нано-мире. Нанотехнологии предлагают возможные решения многих текущих проблем с помощью меньших по размеру, но более быстрых и высокоэффективных компонентов, что одновременно может открыть целый ряд новых возможностей сбыта.

Можно ожидать, что нанотехнологии внесут значительный вклад в решение глобальных и экологических проблем. Основанное на нанотехнологиях производство и применение продукции, отвечающей принципу экономии ресурсов и сокращения выбросов, откроет широкие перспективы в области устойчивого развития. Помимо непосредственной пользы для окружающей среды, сюда относятся и возможности приведения в равновесие с природой жизни и способов передвижения человека, а также оптимизация медицинского обслуживания. Нанотехнологии обладают потенциалом создания умных, высокоэффективных и универсальных систем, подобных уже существующим в природе и появившимся в ходе эволюции. Они предоставляют человечеству возможность более эффективно и с меньшими побочными эффектами приспособлять природные условия к своим нуждам.

Цель данной брошюры – привлечь внимание общественности к этой важной области технологий будущего, и тем самым вызвать более широкое обсуждение возможностей, перспектив в данной области, а также потенциальных рисков. Новые технологии все более овладевают умами общественности, но, только осознавая возможные последствия, мы сможем направлять технологическое развитие в русло, наиболее приемлемое как для индивида, так и для общества в целом.

С помощью русского издания этой брошюры мы надеемся повысить интерес широкой российской общественности к этой перспективной области исследований, которая теперь является важной приоритетной областью международного сотрудничества.

Михаил Ковальчук
Ученый секретарь Совета при Президенте РФ
по науке, технологиям и образованию
Член-корреспондент Российской Академии Наук



Содержание

- 3 Предисловие
- 5 Предисловие к русскому изданию
- 6-7 Содержание



Путешествие в НАНО-КОСМОС

- 8-9 **Атом: старая идея и новая реальность**
- 10-15 **Нано-технологии в природе**

Инструменты и процессы

- 16-17 **Увидеть нано-космос глазами**
- 18-19 **Письменные принадлежности**
- 20-21 **Новые импульсы для науки**
- 22-23 **Конструирование материи на нано-уровне**



Нано-технологии в обществе



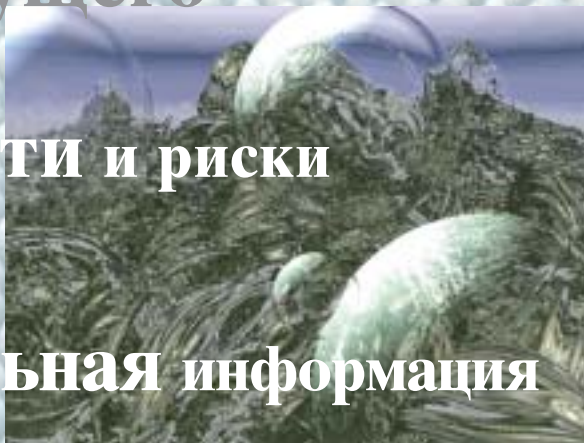
- 24-29 **В мире схем: нано-электроника**
- 30-31 **Нано-технологии в будущей повседневной жизни**
- 32-35 **Мобильность**
- 36-39 **Здоровье**
- 40-43 **Энергетика и окружающая среда**
- 44-45 **Нано-технологии для спорта и отдыха**

46-47 **Картины будущего**

48-49 **Возможности и риски**

Дополнительная информация

- 50 **Как стать нано-инженером?**
- 51 **Контакты, ссылки, источники**
- 52-53 **Глоссарий**
- 54 **Иллюстрации**



Путешествие в НАНО-КОСМОС

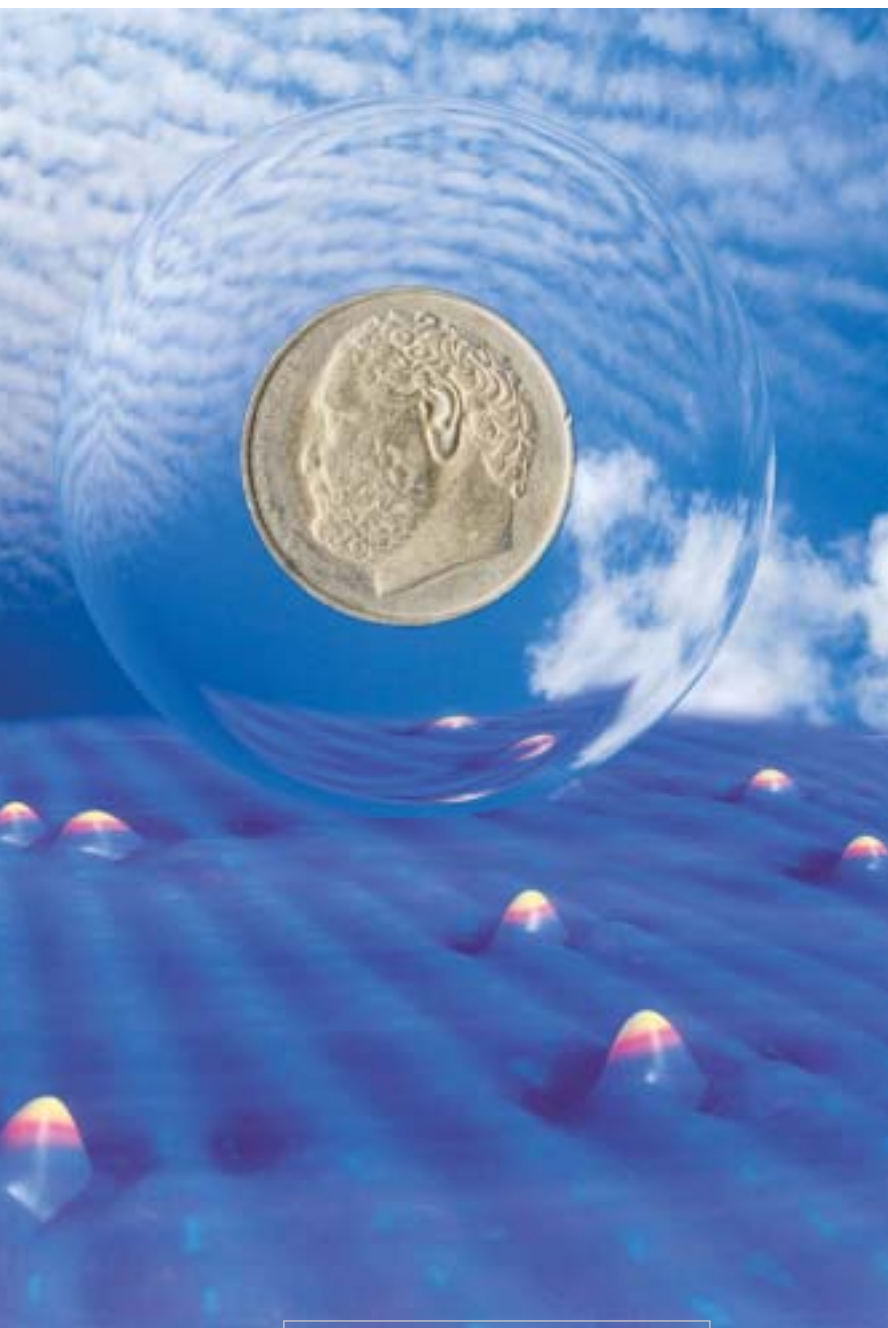
Атом: старая идея и новая реальность

Амедео Авогадро
(1776-1856),
профессор физики в
Турине, первый, кто
подверг анализу
дождевую каплю.



Наш материальный мир состоит из атомов. Об этом более чем 2400 лет назад заявил греческий философ Демокрит. Благодарные потомки увековечили его профиль на монете достоинством в 10 драхм, которая имела широкое хождение, несравнимое однако с хождением атомов. В одной капле дождя содержится около 1 000 000 000 000 000 000 атомов, ведь они очень малы, размером всего лишь в одну десятую нанометра, который в свою очередь составляет всего лишь одну миллионную миллиметра.

Диаметр атома магния находится в таком же отношении к теннисному мячу, как теннисный мяч к земному шару. Попробуйте это представить, когда будете принимать очередную таблетку магния!



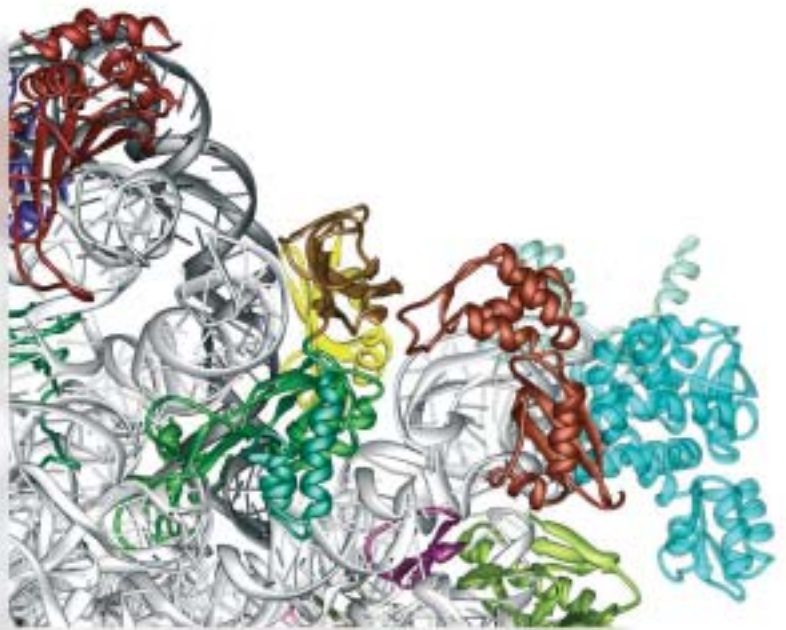
Несколько веков спустя римский писатель Лукреций посвятил атомам поэму: «Вселенная состоит из бесконечного пространства и бесконечного числа минимальных частиц, атомов, также бесконечно разнообразных ... Атомы отличаются формой, размером и весом; они тверды, неизменяемы, предел физической делимости...»

Все это было замечательно, но на данном этапе являлось не более чем чистой спекуляцией. Долгое время этими вопросами больше никто не занимался.

В 17 веке знаменитый астроном Иоганн Кеплер занялся изучением снежинок и в 1611 году опубликовал свои идеи: их правильная форма может быть объяснена только простотой и одинаковостью строительных блоков. Идея атома вновь начала завоевывать популярность.

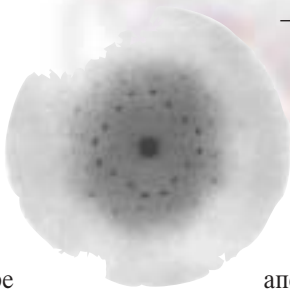


Дух Демокрита витает над нано-картиной, море беспредельных возможностей.



Структура таких биологических наномашин как рибосомы расшифровывается кристаллографическими методами Адой Йонат, DESY (Немецкий Центр Синхротронных Исследований)

Ученые, работавшие с минералами и кристаллами, принимали существование атомов как данность. Однако, в 1912 году в Мюнхенском Университете было получено прямое доказательство их существования: кристалл сульфата меди рассеивал рентгеновский свет подобно тому, как тканевая поверхность зонта рассеивает свет фонаря должен состоять из собранных доченную подобно ткани зонта на рынке горе



зонта рассеивает – кристалл был атомов, в упорядоченную структуру, нитям в или лежащей апельсинов.

Современные аналитические приборы могут показать сложнейшие по устройству компоненты живой материи в наномасштабе.

Наконец, в 1980х годах был создан прибор под названием сканирующий туннельный микроскоп, который может не только показывать отдельные атомы в кристалле – многие считали первые изображения подделкой – но и нащупать их и подвигать.

Теперь все было готово для отправки в совершенно новое путешествие – в нанотехнологию.

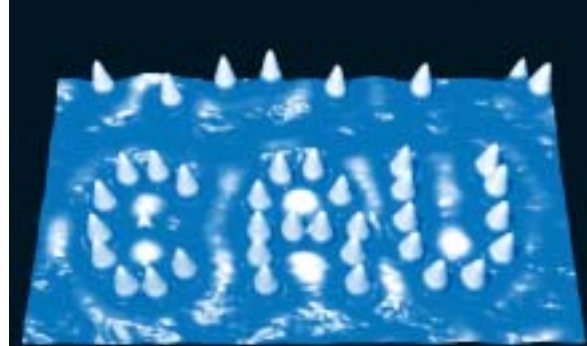
Причина, по которой атомы в кристалле агаются доченно, Материя принять удобную наиболее является упорядоченная структура. Даже орехи, если их встряхнуть в чашке, образуют правильный рисунок, а атомам это сделать еще проще.



которой атомы в расположении проста. старается наиболее удобной правильной, структура. Даже орехи, если их встряхнуть в чашке, образуют правильный рисунок, а атомам это сделать еще проще.



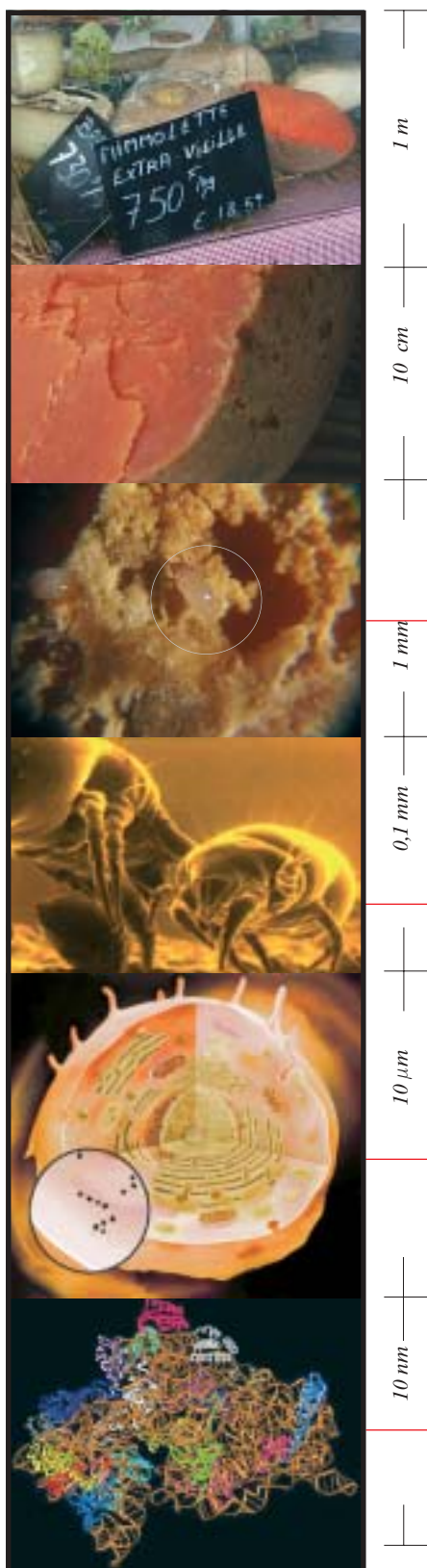
Профессор Берндт, г. Киль, воспроизводит эмблему университета Христиана-Альбрехта с помощью атомов магния



Тем не менее, простые рисунки не всегда самые легко воспроизводимые. Под воздействием сил самосборки материя Земли за миллиарды лет приобрела чрезвычайно сложные, и даже живые формы.

Нанотехнологии в природе

Нанотехнологи очень дорожат живой природой. За четыре миллиарда лет своего существования природа нашла удивительные решения проблем, с которыми ей пришлось столкнуться. Характерно, что жизнь структурирует материю вплоть до мельчайших деталей, вплоть до уровня атомов. То же самое намереваются сделать и нанотехнологи.



1 m

10 cm

1 mm

0,1 mm

10 μ m

10 nm

Атомы обычно не любят. При упоминании о них мы обычно представляем ужасы взрывов и опасность радиации. Но это относится только к технологиям, имеющим дело с ядром атома. Нанотехнологии занимаются оболочкой атома, именно на этом масштабе они и вступают в игру.

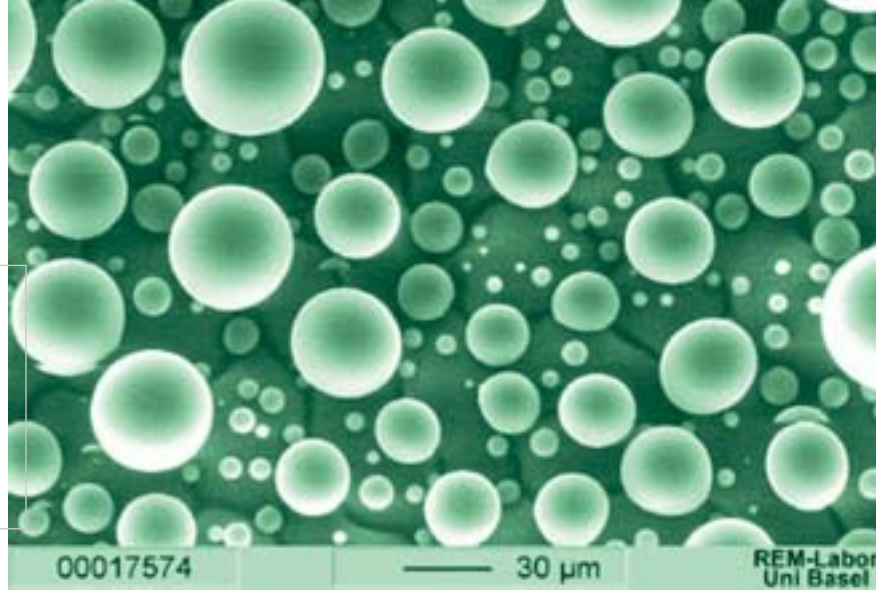
Для того чтобы окончательно убедиться в том, что атомы не есть нечто необычное и что в правильном сочетании они даже могут быть приятными на вкус, возьмем в качестве пункта отправления в нанокосмос обыкновенный сыр.

Крошечные отверстия в сыре Мимолетт, производимом в Бельгии, выдают его секрет: сыр обитает! Его производители признают, что деятельность крошечных организмов улучшает аромат сыра. Размер этих существ составляет около одной десятой миллиметра. Специальный растровый электронный микроскоп ESEM (Биологический Растровый Электронный Микроскоп) способен разглядеть даже их. Как и другие живые существа, эти организмы тоже состоят из клеток. Размер клетки составляет микрометр. Она снабжена сложнейшим аппаратом жизнеобеспечения. Важным элементом этого аппарата являются рибосомы, производящие всевозможные белковые молекулы, в соответствии с характеристиками генного материала ДНК. Размер рибосом составляет порядка 20 нанометров. Некоторые части структуры рибосом были идентифицированы на уровне отдельных атомов. Первые плоды этого вида нанобиотехнологических исследований появились в виде новых лекарств, способных блокировать рибосомы бактерий.



Цветок лотоса очищает листья с помощью названного по нему эффекта лотоса.

Капли воды на листе настурции, изображение получено с помощью растрового электронного микроскопа для изучения в условиях окружающей среды экологического РЭМ (ESEM).

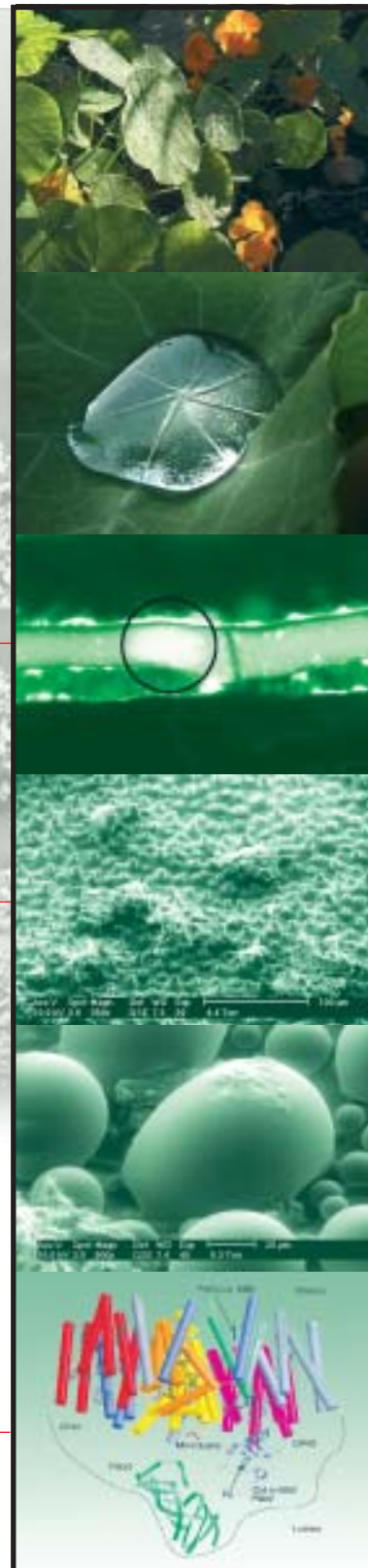


Лотос-эффект & Ко (Lotuseffekt & Co.)

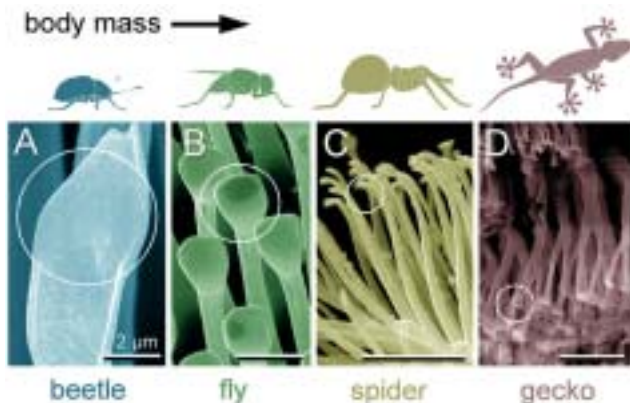
Настурция очищает листья с помощью эффекта лотоса. Растровый электронный микроскоп для изучения в условиях окружающей среды экологического РЭМ (ESEM) показывает, как капли воды скатываются с поверхности листа. Это происходит благодаря наклонной поверхности листьев, с которых вода сбегает с большой скоростью, увлекая за собой всю грязь. Эффект лотоса, исследованием которого вплотную занимался профессор Бартлотт и его коллеги в Университете Бонна, уже применяется в ряде продуктов, например в плитке для облицовки фасадов, с которой вода сбегает вместе с грязью. Использование эффекта лотоса в производстве керамической сантехники обеспечивает легкость ухода за ней.

Листья растений применяют и другие виды нанотехнологий. Их система водоснабжения контролируется форисомами, микроскопическими мышцами, которые открывают каналы в капиллярной системе растения или закрывают их, если растение повреждено. В настоящее время три института Фраунгофера и Университет Гиссена пытаются найти техническое применение мышцам растений, например в микроскопических линейных двигателях или в полноценной лаборатории на чипе (лаборатории на интегральной микросхеме).

Одной из наиболее тонких технологий в масштабе атома является процесс фотосинтеза, аккумулирующий энергию для жизни на Земле. Это дело для каждого отдельного атома. Тот, кто сможет воспроизвести этот процесс с помощью нанотехнологий, будет всегда иметь неограниченное количество энергии.



1 m
1 cm
50 μm
10 μm
1 μm
10 nm



Нанотехнологии на потолке: геккон

Гекконы могут взбежать по любой стене, бегать по потолку вниз головой и даже висеть на нем на одной ноге. Делают они это – как вы уже догадались – с помощью нанотехнологий. Лапка геккона покрыта очень тонкими волосками, которые соприкасаются с большой площадью поверхности на расстоянии нескольких нанометров. Это позволяет образоваться так называемой ван-дер-ваальсовой связи, и, несмотря на то, что сама по себе связь эта очень слаба, она удерживает вес геккона благодаря миллионам точек сцепления. Связи легко разрушаются при отцеплении, так же, как при отрывании липкой ленты, что позволяет геккону бегать по потолку. Ученые уже ждут появления искусственного «геккона».

Клейкости задерживают продвижение лейкоцитов вдоль стенок сосуда. При максимальном уровне феромона лейкоциты прилипают намертво; затем другие связывающие молекулы доставляют кровяные тельца по сосудам к месту укуса, где они обрушиваются на чужеземцев – искусство совершенного сцепления.



В Институте металловедения им. Макса Планка, Штутгарт, раскрыли секрет прикрепления жуков, мух, пауков и гекконов к поверхностям. Они удерживаются с помощью крошечных волосков, образующих ван-дер-ваальсову связь с поверхностью, на которой они сидят. Чем тяжелее существо, тем тоньше и многочисленнее волоски.

Цепляясь за жизнь

Жизнь существует потому, что ее компоненты удерживаются вместе с помощью утонченных нанотехнологических способов сцепления. Даже в случае повреждений материи, например, при укусе насекомого, место укуса краснеет из-за расширения крошечных кровеносных сосудов, по которым к месту укуса устремляются полчища лейкоцитов – белых кровяных телец. Клетки в месте укуса выделяют феромон. В зависимости от его

концентрации клетки, выстилающие стенки кровеносных сосудов, и лейкоциты доставляют связывающие молекулы, которые благодаря своей

Моллюски – мастера в искусстве сцепления

Обычные моллюски, которых готовят с овощами и ежедневно подают в ресторанах, являются мастерами искусства нанотехнологического сцепления. Когда моллюск хочет прицепиться к скале, он открывает раковину и ставит ногу на камень, выгибает ее в форме присоски и через тончайшие трубочки выстреливает потоки клейких капель, мицелл, в образовавшуюся область низкого давления, где они разрываются и из них вытекает клейкое водоотталкивающее вещество. Так мгновенно создается пенная подушка. Моллюск прикрепляется к подушке-амортизатору с помощью эластичных нитей биссуса, и в таком положении может выдержать напор приливных волн.



Мушиная лапка крупным планом.



Нога моллюска и нити биссуса.



В Институте Фраунгофера IFAM (Прикладные исследования материалов), Бремен, проводят исследования модифицированных клейких веществ моллюсков, надеясь с их помощью сделать даже тончайший костяной фарфор достаточно прочным для использования в посудомоечной машине. Рабочая группа под названием «Новые материалы и биоматериалы» в Ростке и Грейфсвальде тоже рассматривает моллюсков под микроскопом.

Разновидность стекловидной губки – эту глубоководную губку сейчас изучают как биологическую модель для волокнистой оптики.

Биоиннерализация

Моллюски способны даже на большее. Их перламутр состоит из бесчисленных крошечных кристаллов карбоната кальция в форме минерала арагонита, который сам по себе очень хрупок. Однако у моллюсков эти кристаллы удерживаются вместе с помощью спиралевидных, высокоэластичных белков. Присутствие трех процентов белков более чем достаточно для того, чтобы раковина морского ушка стала в три тысячи раз тверже простого кристалла кальцита. Морские ежи таким же способом укрепляют свои 30-сантиметровые шипы, которым становятся не страшны никакие волны.

губки считается шедевром биоиннерализации: мельчайшие первичные строительные блоки из двуокиси кремния диаметром три нанометра сначала объединяют клетки губки в сверхтонкие слои. Последние затем сворачиваются и принимают форму игл, являющихся основным элементом в плетеной структуре, которая может выдерживать высокие перепады давления.



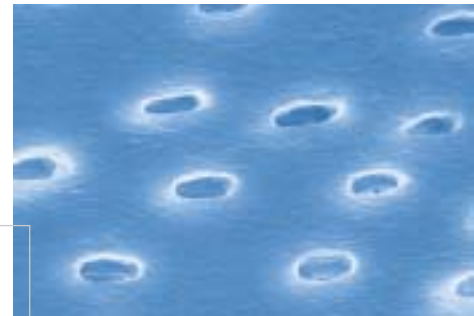
Биоиннерализация может создавать и весьма delicate структуры. На небольшом участке океанского дна недалеко от Филиппинских островов живет разновидность стекловидной губки («Venus flower basket»). Это существо изогнуто наподобие ножен турецкого кинжала, но имеет округлую форму вдоль своей длинной оси. Своим названием (дословно «цветочная корзина») губка обязана структуре внутреннего скелета ее оболочки. Он состоит из тонких игл двуокиси кремния, по своему расположению напоминающих плетеную спинку деревянного кресла. Волокна из игл переплетены под прямым углом и по диагонали. Данная разновидность стекловидной



Трехмерная биоиннеральная структура в зубной эмали коренного зуба полевки защищает рабочую поверхность от повреждения.



*Техническая биоиннерализация:
Наночастицы лечат зубы
Если зубы очень чувствительны к холодной и горькой пище, боль от соприкосновения с ней обычно объясняется наличием крошечных каналов – открытых дентиновых каналов – в зубной эмали. При помощи наночастиц фосфата кальция (апатита) и белка, произведенного фирмой SusTech (SusTech), эти каналы можно закрыть в 10 раз быстрее, чем обычными соединениями апатита. Реминерализованный слой ведет себя так же, как и собственная зубная эмаль организма.*



Нанотехнологии в природе

Путешествие в Нано-космос

Ранее стратегическое значение имела биоминерализация диатомовых водорослей. Эти микроскопические существа защищают панцирь из кремниевой кислоты, главным компонентом которой является SiO_2 , или диоксид кремния. Подобно кварцевому стеклу, также состоящему из диоксида кремния, панцири из кремниевой кислоты относительно устойчивы к действию многих коррозионных кислотных и щелочных растворов, поэтому нанотехнологи надеются использовать их в качестве реакционных сосудов для получения нанометровых кристаллов. Один из секретов получения наночастиц в ходе химических реакций состоит в ограничении объема реакции. Когда находящиеся в сосуде реактивы используются полностью, полученные в ходе реакции кристаллы остаются маленькими. В диатомовых водорослях содержится много таких нано-пор или нано-реакторов.

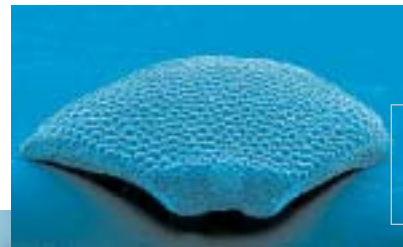
Как появляются на свет такие симпатичные на вид диатомовые водоросли? Первые ключи к разгадке нашли исследователи в Университете Регенсбурга. Они обнаружили, что в растворе кремниевой кислоты определенной концентрации представители известной группы белков, «полиаминов», могут создавать наночастицы с контролируемым диаметром от 50 до 900 нанометров; происходит это спонтанно, под действием сил самосборки. В соответствии с простыми моделями роста диатомовые водоросли образуются так же спонтанно.

Почему одно время диатомовым водорослям придавали «стратегическое значение»? В 1867 году швед Альфред Нобель обнаружил, что диатомит, диатомовая земля, образующаяся из отложений диатомовых водорослей, поглощает нитроглицерин, сдерживая таким образом склонность данного взрывчатого вещества к спонтанному взрыву. Нобель назвал эту смесь «Динамитом», и его бешеный объем продаж заложил основы фонда, финансирующего теперь Нобелевские премии.

Диатомовые водоросли – вверху, напоминают «губку Менгера» – имеют максимальную устойчивость при минимальном весе благодаря своей оптимальной форме и, вероятно, системам светуловителей для хлоропластов, в которых происходит фотосинтез.



Морская звезда *Ophiocoma wendtii* снабжена совершенной системой микролинз для оптического зрения. Вверху: звезда днем, внизу: ночью.



Бронированные чешуйки, они же микролинзы.

Нанотехнологии в природе: долгое время *Ophiocoma wendtii*, волосистая звезда размером с тарелку, являлась загадкой. Это создание с бронированным дискообразным телом с пятью лучами спешит в укрытие при первом приближении потенциальных врагов, хотя очевидно не имеет глаз. Глаза, в конце концов, нашлись в бронированном панцире звезды, сплошь усыпанном участками совершенных микролинз, превращающих все тело волосистой звезды в один сложный глаз. Снова нанотехнология? Отдельные линзы кристаллизуются таким образом, что кальцит вопреки обыкновению перестает создавать двойное изображение – так осуществляется контроль кристаллизации на нанометровом уровне. Присутствие небольшого количества магния предотвращает сферическую абберацию линз, то есть появление нежелательной цветной кромки. Таким образом, *Ophiocoma* пользуется нанотехнологическими ухищрениями, которые когда-то прославили Карла Цейсса.



Институт новых материалов (ИНМ) в Саарбрюкене разработал операции с наночастицами для нанесения хорошо защищенных и износостойких голограмм на металлические поверхности.



Даже природе такое не под силу: при производстве антикоррозийных систем зажигания-горения, например, газовых нагревателей, керамика обрабатывается nano-частицами сажи. Благодаря регулируемой проводимости керамики отпадает необходимость в трансформаторе.

За пределами возможностей природы

Нанотехнологии основываются на природных свойствах: однако возможности живой природы ограничены, она не может работать ни с высокими температурами, которые необходимы например для производства керамики, ни с металлическими проводниками. С другой стороны, современные технологии располагают возможностью создания целого ряда искусственных условий – абсолютной чистоты, холода, вакуума – при которых материя обнаруживает удивительные свойства. К ним, в частности, относятся квантовые эффекты, которые порой резко противоречат законам нашего повседневного мира. Так, частицы нано-космоса

могут приобретать волновые свойства: атом, кажущийся «твердой» сущностью, может, подобно волне, одновременно пройти сквозь два маленьких отверстия и, вынырнув, вновь стать частицей.

По мере того как размер частиц приближается к нанометру, они приобретают совершенно новые свойства. Металлы становятся полупроводниками и изоляторами. Некоторые вещества, такие как теллурид кадмия (CdTe), в нано-космосе флуоресцируют всеми цветами радуги, другие же превращают свет в электричество.

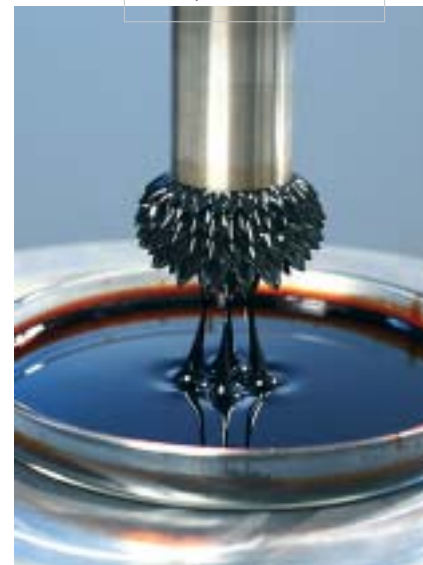
Когда частицы становятся наноскопических размеров, количество атомов на их поверхности значительно увеличивается по сравнению с количеством атомов внутри. Однако поверхностные атомы часто отличаются по свойствам

от находящихся внутри и обычно более активны и готовы к реакции. Например, наночастицы золота становятся хорошим катализатором в топливных батареях (см. также Передвижение). Еще на наночастицы можно наносить другие вещества, тогда они будут сочетать несколько свойств. Пример: керамические наночастицы с органическим покрытием, сокращающие поверхностное натяжение воды, наносятся на зеркала для ванных комнат, предотвращая их запотевание.

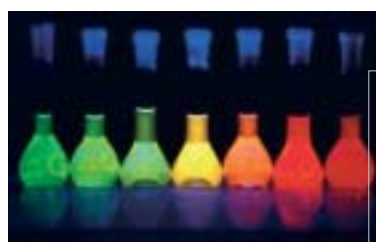
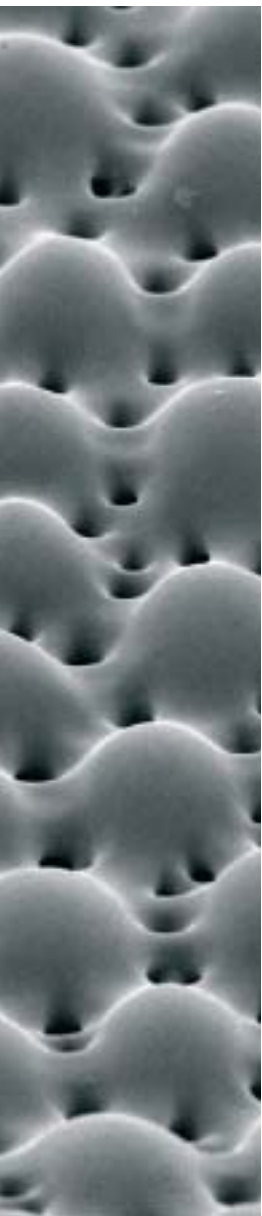
Помещенные в нефть наночастицы магнетита, оксида железа, со специальным покрытием превращают ее в ферро-жидкость, жидкость, форму которой можно изменять с помощью магнита. Ферро-жидкости находят все более широкое применение, например, в качестве уплотняющего материала для ротационных сальников в вакуумных контейнерах и при установке жестких дисков или в регулируемых демпферах колебаний для автомобилей и оборудования.

Однако не стоит страшиться сложности нанотехнологий. Ведь и в обычном яблоке есть клетки, рибосомы, ДНК, что не мешает его популярности.

Наночастицы магнетита в нефти. Форму такой жидкости можно менять с помощью магнита.



Magnetotacticum bavaricum. Магнитная бактерия может синтезировать цепи наномангнетита и использоваться в качестве стрелки компаса.



Частицы теллурида кадмия флуоресцируют, излучаемый цвет зависит только от размера частиц.

Инструменты и процессы

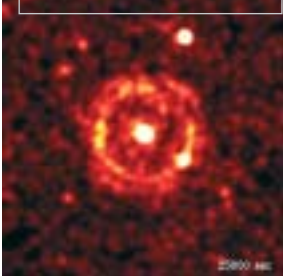
Увидеть nano-космос глазами



Нанотехнологии в космосе: средняя шероховатость отражателей европейского рентгеновского телескопа «Ньютон» составляет 0,4 нанометра, что позволяет им уловить источники рентгеновского излучения в туманности Андромеды.



Научная сенсация: вспышка гамма-излучения выжигает кольца в галактическом пылевом облаке.



Что общего у европейского рентгеновского телескопа «Ньютон» с нанотехнологиями? Он улавливает гамма-излучение от удаленных объектов с помощью 58 отражателей размером с мусорную корзину, помещенных друг в друга как луковичные слои и напыленных парами золота. Средняя шероховатость поверхности отражателей составляет всего 0,4 нанометра – рекорд для технологии, главную роль в развитии которой сыграла фирма Carl Zeiss AG.

Прецизионные рентгеновские отражатели для рентгеноспектроскопии и микроскопии создаются из нескольких сотен слоев двух разных тяжелых элементов. Требования, применяемые к таким отражателям, еще более суровые, поэтому слои могут отклоняться от идеала лишь на малую часть диаметра атома. Данный метод осваивается во Фраунгоферовском Институте материалов и технологий излучения в Дрездене.

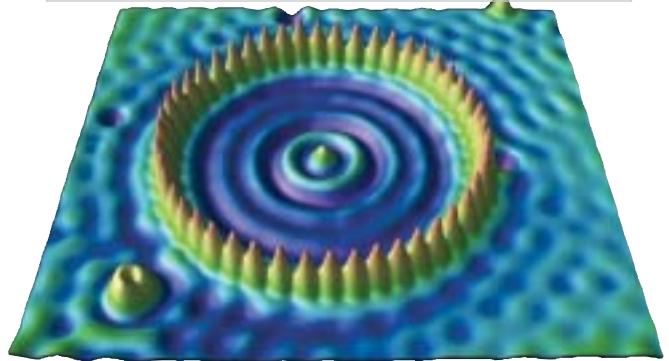
Секрет многослойного отражателя для спектра видимого света тоже открыла природа: кальмар *Euprymna scolopes*, ведущий ночной образ жизни, направляет свет от светящихся батарей вниз с помощью крошечных зеркал белков-рефлектинов, и хищникам, плывущим под ним, этот свет

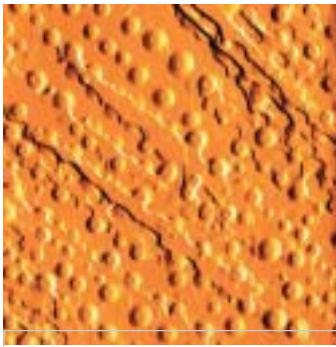
напоминает кусок звездного неба. Это открытие в сфере природных нанотехнологий было сделано недавно в Гавайском Университете.

Сканирующие зонды

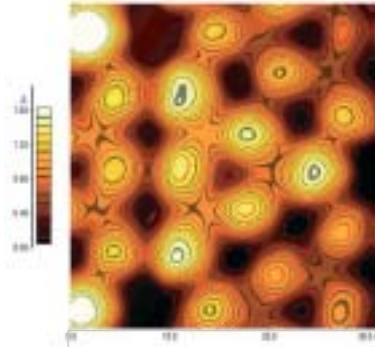
Сканирующие зонды, исполняющие роль глаз в nano-космосе, не представляют впечатляющего зрелища, хотя создание сканирующего туннельного микроскопа, прародителя всех сканирующих зондов, было отмечено Нобелевской премией. В сканирующих электронных зондах пьезокристаллы водят головку неоднократно и слегка смещая ее над объектом исследования, например, над полями атомов.

«Квантовый загон» («Quantum Corral»), Дона Эйглера, АйБиЭм (IBM). Волны внутри «загона» отображают вероятность встречи с электроном.

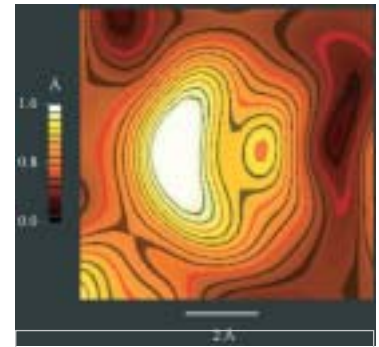




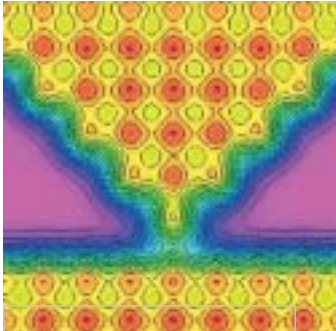
Кристалл бромистого калия с атомными ступенями. Соль на яйце, которое вы съедаете на завтрак, выглядит очень похоже.



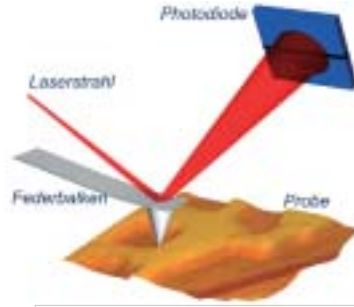
Кремний крупным планом, контуры электронной плотности видны в сканирующем силовом микроскопе.



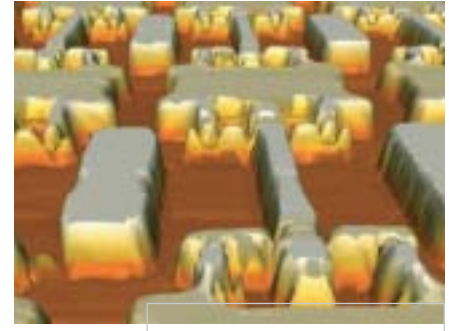
Самый ближний к чувствительной головке атом испускает два электронных облака, двигающихся по орбите, как описано в учебниках.



Схематическое изображение классического концевой острия сканирующего туннельного микроскопа.



Сканирующий силовый микроскоп: отклонение сенсорной иглы передается лазерным лучом на фотозлемент.

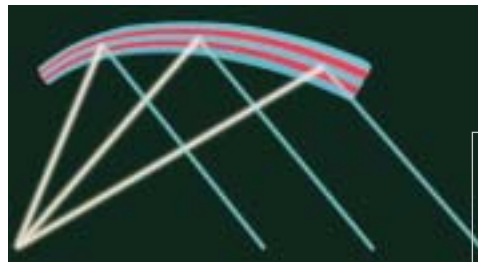


«Емкостные» зонды могут также использоваться при исследовании процессов переключения на микросхеме.

Эти движения очень малы, а расстояние от головки до атомного поля обычно меньше диаметра атома. На этом поле что-то происходит: иногда появляется ток, иногда различаются слабые магнитные поля. В зависимости от принципа измерения компьютеры интерпретируют полученные данные графически, создавая точный рисунок поля вплоть до отдельного атома.

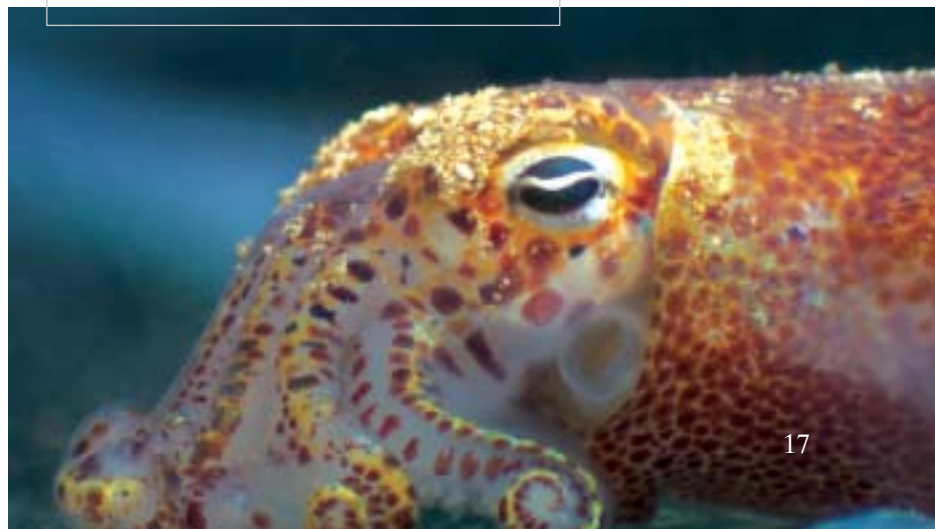
Работа сканирующего силового микроскопа отражает более тонкий процесс. Он улавливает самые слабые воздействия на самый ближний к чувствительной головке атом со стороны других атомов в атомном поле. Во время этого процесса

можно даже проникнуть взглядом в электронную оболочку атомов и раскрыть секреты предельного уровня материи. В настоящее время рекорд по разрешающей способности такого микроскопа принадлежит Университету Аугсбурга.

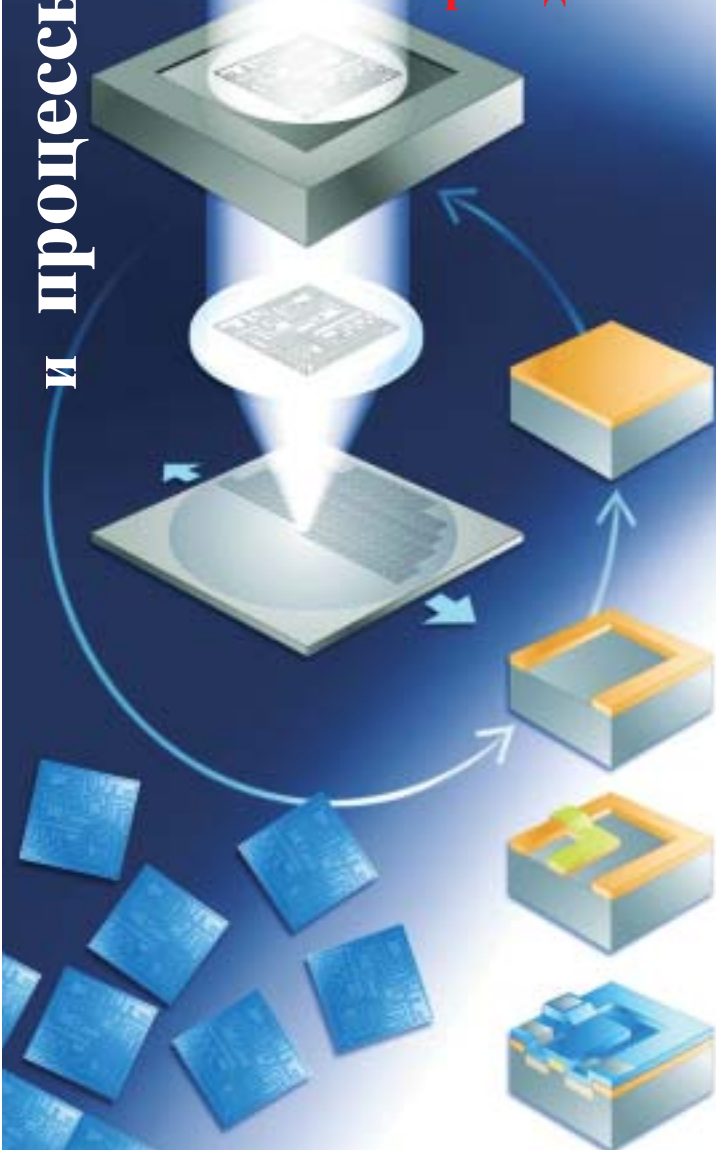


Изогнутый многослойный отражатель для высокоточного рентгеновского анализа.

Еургумна scolopes сбивает врагов с толку с помощью многослойных световых отражателей белка-рефлектина. Свет исходит от светящихся батарей.



Письменные принадлежности



Процесс литографии: Микросхема является трехмерной структурой, все ее элементы располагаются на ней на отдельных слоях. В современной, высокоточной микросхеме таких слоев должно быть 25-30, и для каждого из них требуется собственный шаблон. Структуры шаблона проецируются на пластину с помощью света и системы линз установки последовательного шагового мультиплицирования – прибора, напоминающего эпидиаскоп. Каждый новый шаблон добавляет микросхеме новую функцию, увеличивая ее сложность.

Литография

В компьютерном мире литография означает способ производства компьютерных микросхем с помощью света. В данном процессе гладко отполированная поверхность полупроводникового материала, кремниевой пластины, покрывается светочувствительным защитным слоем, на который проецируется рисунок схемы. В ходе проявки защитного слоя выявляются обработанные (или необработанные) участки пластины, которым затем придаются необходимые электрические свойства с помощью процессов травления, внедрения чужеродных атомов и осаждения. Повторением данного процесса с другими рисунками и схемами в конечном итоге создается одна из сложнейших структур, когда-либо созданных человеком – Большая Интегральная Схема, или чип. Достигнутая плотность размещения транзисторов такова, что на точке, поставленной карандашом, может уместиться полмиллиона и более транзисторов.

В современных микросхемах некоторые структуры по своим размерам меньше длины волны литографического света: для их производства используются криптон-фторидные лазеры с длиной волны 193 нанометра. Создание структур шириной 130, а скоро и 90 нанометров становится возможным благодаря ряду оригинальных оптических приемов, таких как «коррекция оптической близости» и «сдвиг фаз». В настоящее время закладываются основы экстремальной «предельной» ультрафиолетовой (EUV) литографии с длиной волны 13 нанометров, с помощью которой возможно будет нанести на кремниевую пластину структуры шириной всего лишь 35 нанометров. Естественно, что требования к материалу шаблона очень велики: при нагревании на один градус Цельсия 10-сантиметровая пластина должна расширяться не более чем на несколько десятых нанометра, то есть на несколько диаметров атома. Требования по гладкости поверхности в несколько диаметров атома также составляют чуть ли не предел принципиально возможного.

Превращение Дрездена в центр электроники знаменует успех немецкой программы поддержки исследований. В регионе было создано около 16 000 рабочих мест, а экономике страны был дан мощный толчок к развитию. В рамках проектов, поддерживаемых Министерством исследований Германии (BMBF), 44-мя партнерами из промышленности и государственных исследовательских институтов, среди которых была и 21 компания – представители среднего бизнеса, – был разработан стандарт для будущего использования силиконовых пластин диаметром 300 миллиметров для производства сложнейших интегральных схем. Ключевая роль в подобных исследованиях принадлежит Центру передовых технологий производства шаблонов в Дрездене, где разрабатываются способы структурирования наноэлектронных чипов будущего.



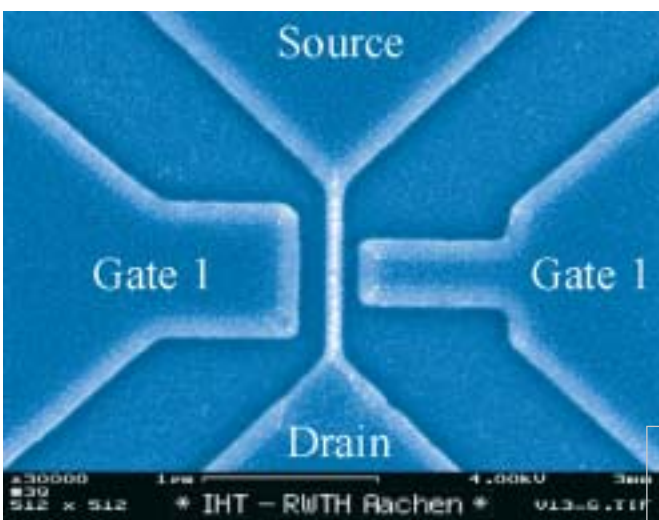
Прототип установки для экстремальной «пределной» ультрафиолетовой литографии EUV, которая будет использоваться для производства будущих поколений микросхем.

Метод nano-оттиска для среднего бизнеса

Все, кто думает о наноэлектронике, вероятно представляют себе дорогое оборудование, требующее вложений миллионов и миллиардов евро, но производящее, тем не менее, продукцию, остающуюся доступной по цене благодаря огромному объему производства. Однако существуют пути в нано-космос, доступные средним компаниям. На первый взгляд эти методы могут показаться архаичными; так, в процессе ультрафиолетового nano-оттиска происходит механическое вдавливание наноструктур в слой покрытия электронного материала-основы, такого как кремний. Шаблон с тончайшими наноструктурами сделан из кварцевого стекла, пропускающего ультрафиолетовый свет. Когда шаблон опускается в краску, импульс ультрафиолетового света вызывает полимеризацию, затвердевание светочувствительного покрытия. Затем шаблон вытаскивается, и находившийся под ним слой покрытия истончается. Обнажившийся кремний затем можно подвергнуть необходимой обработке; неоднократным повторением данного

процесса с другими шаблонами в конечном итоге создается сложная структура микросхемы с транзисторами, схемами и т.д. В ходе лабораторных испытаний были получены структуры шириной всего 10 нанометров. Данный процесс может быть использован не только в электронике, но и для структурирования металлов и пластиков. С помощью него можно создать и лабораторию на микросхеме. Стоимость аппарата для nano-оттиска в настоящий момент оценивается менее чем в миллион евро – малую долю по сравнению с подобным оборудованием, используемым на современных заводах по традиционному производству микросхем. Тем не менее, микросхемы, произведенные методом ультрафиолетового nano-оттиска, необязательно будут дешевле, так как производительность такого способа гораздо ниже. Данный метод может оказаться выигрышным для производства специальных мелких партий товара – мелких по сравнению с объемами крупносерийного производства основных производителей процессоров.

Керамика марки Церодур для шаблонов. Этот специальный вид керамики не теряет устойчивость даже в наноскопическом масштабе.



Метод nano-оттиска: В Институте полупроводниковой электроники (IHT), Ахен (RWTH – Высшая техническая школа земли Рейн-Вестфалия), уже возможно создание структур шириной 80 нанометров с помощью механических/оптических приемов. Область применения: небольшие заказы на сложнейшие микросхемы.

Новые импульсы для науки

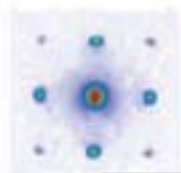
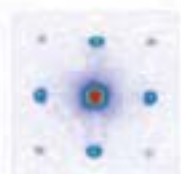
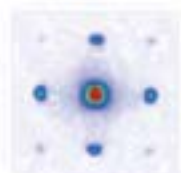
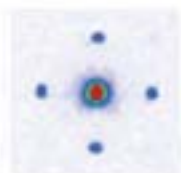
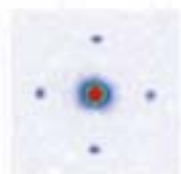
Обычный спектрометр для рентгеновского структурного анализа. Большой частью своих знаний о нано-мире наука обязана этим инструментам.

Подземный гоночный трек для быстрых электронов.



Квантовые эффекты

В Университете имени Людвиг-Максимилиана, Мюнхен, материю испытывают в наномасштабе в экстремальных условиях, при которых она порой обнаруживает удивительные свойства. Например, если пары, состоящие из сотен тысяч атомов рубидия, охладить до температуры в одну миллионную градуса выше абсолютного нуля (-273°C) и притянуть их друг к другу с помощью магнитного поля, атомы образуют конденсат Бозе-Эйнштейна, где они собираются, чтобы образовать фигуру, напоминающую шеренгу марширующих солдат. Ученые-квантовики в Мюнхене помещают этот блок атомов в трехмерное пространство стоячих лазерных волн и манипулируют им, устраивая, например, такие сильные световые ловушки, что этот блок распадается и превращается в «конденсат Мотта». Эта работа в 2001 году была отмечена Нобелевской премией по физике. Почему? Подобные исследования наполняют квантовую теорию жизнью, а именно это имеет решающее значение в нанокосмосе. Тот, кто сможет его понять и полностью освоить, сможет, например, создать более точные временные стандарты. В свою очередь, более точные часы помогут ускорить обмен данными через Интернет – так что эти на первый взгляд непонятные исследования оказываются очень даже полезными.



«Конденсат Мотта» – экзотическая разновидность материи для сверхточного измерения времени.

Рентгеновский лазер на свободных электронах XFEL – маяк в нанотехнологиях

Если все пойдет по плану, в 2012 году несколько миллиардов электронов ждут захватывающие приключения. В Центре DESY, Гамбург-Баренфельд, с помощью сверхпроводящего ускорителя электронов их разгонят до очень высоких скоростей и будут регулярно отклонять на отходящие дорожки магнитами, расположенными в 3,3 километра далее по линии ускорителя. В результате появится совершенно особый вид коротковолнового рентгеновского излучения: лазерное излучение, самое ценное из всех, когда-либо полученных учеными. С его помощью станет возможно легко определить структуру отдельной (!) биомолекулы. Для имеющихся сегодня источников рентгеновского излучения требуются совершенные кристаллы биомолекулы, которых часто нет в наличии.



Сверхпроводящие элементы для ускорения электронов.



Рентгеновские лазерные вспышки длиной в фемто (0.000000000000001) секунду помогают проследить и понять протекание химической реакции – такие реакции будут применяться в электрооптике, фотоэлектрической энергетике, в топливных батареях и фотоэлементах, а также в нанотехнологиях на самых малых масштабах.

Рентгеновские вспышки настолько коротки, что станет возможным качественно отснять различные фазы движения молекулы. С помощью рентгеновского лазера размытые очертания вихрей на картинках, полученных другими способами, приобретают четкую узнаваемую форму.

Секреты трения могут быть раскрыты. Что и как создает трение, помогут узнать наногруппы всего лишь из нескольких сотен атомов.

По сравнению с другими приборами, рентгеновский лазер XFEL – лучший помощник в исследовании свойств отдельных кластеров атомов и скоплений в несколько сотен атомов. В общем, самый грандиозный европейский проект в области нанотехнологий даст мощный толчок науке и технологиям. По всей видимости, 684 миллиона евро (в ценах 2003 года), планируемые в качестве итоговой стоимости проекта, с лихвой окупят себя не только в отношении полученных знаний, но и в твердой валюте.



Работа над лазером на свободных электронах.

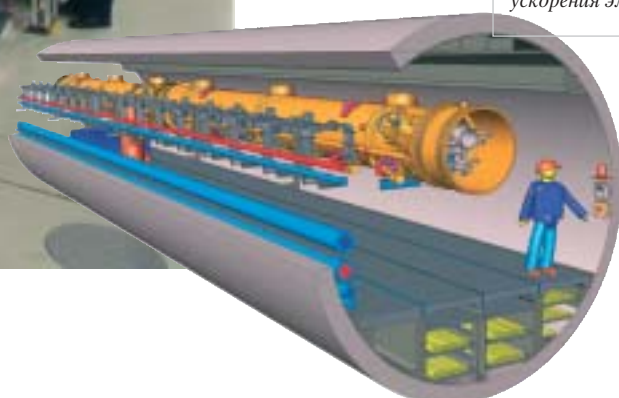


Схема подземной дорожки для ускорения электронов.

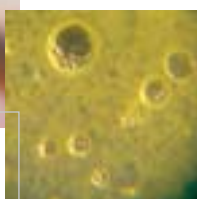
Конструирование материи на нано-уровне

Золь/гель-процессы для новых материалов

Соус Беарнэз был создан в честь короля Франции Генриха IV и был назван по имени местечка Беарн. Этот соус является отличным (во всех отношениях) примером коллоидной системы. Коллоидом называется состав, в котором множество мелких частиц находятся в устойчивом взвешенном состоянии в другом веществе. В соусе Беарнэз капли уксуса взвешены в топленом масле. Кремы и краски тоже являются



Золь/гель для короля: Соус Беарнэз, созданный в честь короля Франции Генриха IV.



Существуют сотни вариантов применения золь/гель-технологий для разных материалов. Гелеобразные золи могут образовывать нити, которые после обжига превратятся в керамические волокна. Золи также могут быть использованы в производстве нанодисперсных порошков, которые обжигаются проще, чем обычные порошки, и при более низких температурах, и одновременно выдерживают более высокие давления и температуры.

Золь/гель-технологии помогут и в производстве наисложнейших оптических элементов, таких как оптоволоконные кабели, удвоители частоты, и микролинзовые поля. Эти технологии обещают ни больше, ни меньше революцию в сфере материальных технологий.

При определенных условиях растворитель геля можно удалить таким образом, что гель сохранит свой первоначальный объем, превратившись в аэрогель – высокопористый материал очень низкой плотности.

коллоидами. Золь/гель-технологии позволяют коллоидам проникнуть в область высоких технологий.

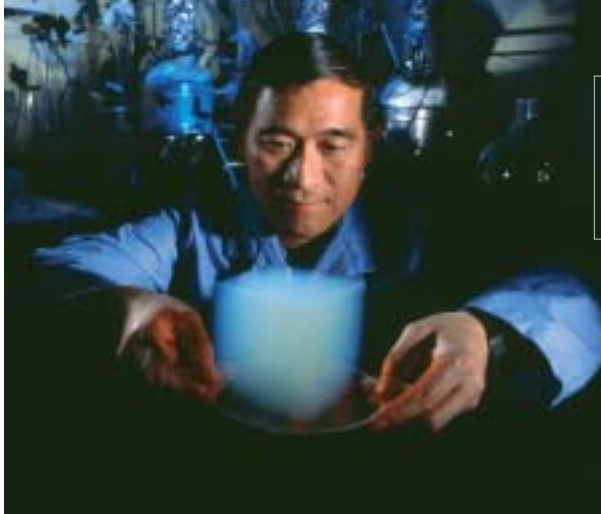
Происходит это следующим образом: золь (обычно коллоидный) готовят из растворимых соединений, например, кремния, в которых капельки, содержащие кремний, взвешены в растворе-носителе. Когда эту смесь распыляют на пластину и нагревают последнюю, раствор-носитель испаряется, а капли кремния переходят в состояние геля, образуя сетку. Затем эта гелеобразная сетка отвердевает и превращается в твердый керамический слой. Теперь пластина защищена от коррозии и царапин.



Золь/гель-реактор годится для самых мелких частиц.



Использование аэрогеля при двойном остеклении сокращает тепловые потери.



Аэрогель – пылесборник по-научному. Частицы пыли надежно упрятаны в его мягком веществе.

Аэрогель посетил комету «Уайлд 2».



Аэрогели

В аэрогелях нет ничего необычного, пекари давно уже используют их в продукте под названием меренга. Это взбитый с сахаром и запеченный яичный белок. Если взять меренгу в руки, то пальцам станет тепло. Это происходит потому, что миллионы микроскопических пузырьков внутри меренги удерживают в ней воздух. Поэтому он не может циркулировать и отдавать тепло, что делает меренгу прекрасным теплоизолятором, таким же, как полистирол. Устроенные подобным же образом аэрогели пеностекла тоже являются первоклассными теплоизоляторами.

Яичный белок бесцветен, меренга же приобретает белый цвет. Это происходит благодаря компартиментализации взбитого белка на пузырьки диаметром в микрометр. В таких тонких структурах свет расщепляется на все цвета радуги, но в конечном итоге дает белый цвет. Нанометровые поры уже не преломляют свет. Пеностекло с нанометровыми порами почти такое же светлое и прозрачное, как и обычное оконное стекло. Если использовать такую пену при двойном остеклении, получится оконное стекло с отличными теплоизоляционными свойствами.

Поскольку такие пеноматериалы состоят почти исключительно из воздуха, они называются аэрогелями. Название «гель» взято из производственного процесса: к водному раствору нужного материала добавляется катализатор, в результате образуются крошечные, тонкостенные полости, которые соединяются вместе и образуют цепи, затем группы цепей, т.е. гель, который после высыхания превращается в невесомый аэрогель.

Аэрогель, использованный компанией Хернер & Зульгер GmbH в производстве анализатора содержания кометной и межзвездной пыли (CIDA), совершил самое долгое путешествие, после того как в январе 2004 года, преодолев за 5 лет 2,3 миллиарда километров, собрал образцы пыли с кометы «Уайлд 2».

Материал, усеянный большим количеством пузырьков, имеет большую площадь внутренней поверхности. Самая большая возможная площадь внутренней поверхности принадлежит губке Менгера, что делает ее объем равным нулю. Губка существует только в воображении математиков. Однако, площадь внутренней поверхности аэрогелей достаточно велика, чтобы давать потрясающие эффекты. В куске аэрогеля размером с сахарный кубик, сделанном из углеродного материала, площадь внутренней поверхности может достигать 2 000 квадратных метров. Эти и другие свойства углеродных аэрогелей обеспечивают им устойчивое место в энерго-технологиях будущего. Их можно использовать для создания конденсаторов с емкостью до 2 500 фарад, которые будут служить аккумуляторами энергии в условиях высоких энергозатрат, например, в электромобилях. Эта удивительная пена также поможет создать улучшенные литиевые батареи, новые виды топливных батарей и т.д. Редко когда столь малое количество вещества обнаруживало такие разнообразные свойства. Типичное свойство нанотехнологий!

Губка Менгера используется математиками в качестве «универсальной кривой». Она получается при бесконечном повторении показанной ниже процедуры.



Нанотехнологии в обществе

В мире схем: наноэлектроника

Статус технологии – от ноутбука в студии до студии в ноутбуке

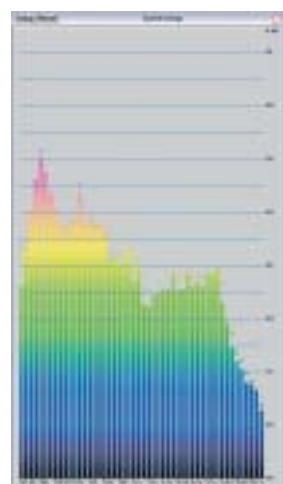


Задача: четыре с половиной минуты радиоэфира о первом полете с работающим двигателем, совершенном братьями Райт, с соответствующим звуковым оформлением. Как поступает автор программы, ценящий качество в работе, если в его распоряжении имеется персональный ноутбук?



Во-первых, он хочет взглянуть на место, где это произошло. На виртуальном глобусе виден Китихок, расположившийся на полоске земли шириной в несколько километров вдоль берегов Северной

Атлантики и граничащий с холмами Кил Девил Хилз; братьям Райт явно был слышен рокот прибора. Его можно найти в звуковых архивах, так же как и звук свежего бриза, дувшего во время первого полета, согласно описанию в Энциклопедии Британика, а заодно и шелест травы в дюнах. Двигатель вращался со скоростью 1 200 оборотов в минуту, из звуковых архивов извлекается приятный и глубокий звук двигателя старой модели Крайслера. Спектроанализатор в звуковой программе показывает правдоподобные частоты, так что пока все нормально. Первый полет длился двенадцать секунд, поэтому



выбирается отрывок, в котором в конце звук ослабевает – после того как самолет пролетает мимо микрофона, наступает эффект Доплера. Самолет летит слева направо, что можно показать с помощью изгибов панорамной картины. Шум двигателя нарастает и затухает, это регулируется с помощью эквалайзера звука. Затем появляется Орвил Райт, уверенно летящий над Кил Девил Хилз в самолете «Флайер 1», так же как он это делал 17 декабря 1903 года, а внизу шумит прибор и шелестит трава в дюнах – и все это происходит на экране ноутбука. (Другие пионеры авиации, такие как Герман Густав Вайскопф, летали еще в 1901 году, но не смогли внедрить свои изобретения в жизнь.)

Двадцать лет назад эта задача была бы не под силу одному человеку, и потребовала бы для ее решения тонны оборудования. Сегодня же все, что нужно, это персональный ноутбук, небольшой стол и несколько часов времени. Тридцать тяжелых томов энциклопедии умещаются сегодня на диске DVD, что облегчает и ускоряет поиск. Звуковая программа тоже не имеет материальной формы и хранится на жестком диске, и на ее виртуальных полках хранится бесчисленное множество звуковых эффектов.

В будущем обычной станет библиотека, умещающаяся на запястье, а также интерактивная мобильная связь.



Телестудия настолько мала, что может уместиться на ногте: Мультимедийная микросхема, контролирующая высокое разрешение экрана, потребляет столько же энергии, сколько карманный фонарь.

как в конденсаторе. Если этот эффект не принимать во внимание при конструировании микросхемы, она может выбиться из режима синхронной работы.

Даешь Нано! Ближайшее будущее

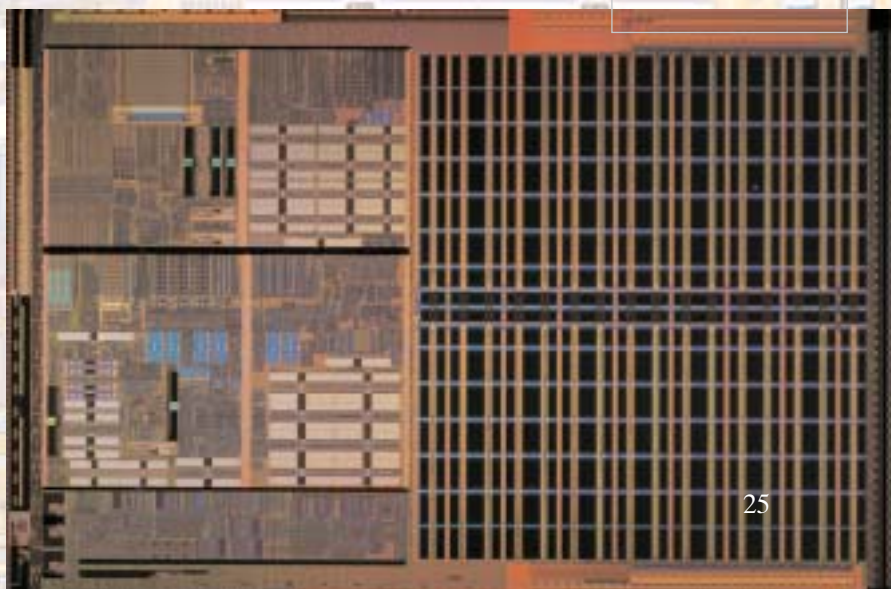
Транзисторная технология, используемая сегодня в компьютерных процессорах, называется CMOS (комплементарная структура металл-оксид-полупроводник), и была разработана, среди всего прочего, для первых электронных часов, поскольку потребляла меньше энергии по сравнению с предшественниками. С 1970х годов эксперты начали предсказывать, что через 10-15 лет эта технология достигнет предела своего развития, и предсказывают это по сей день. Но сегодня у электронной индустрии есть неопровержимый довод в пользу того, что тенденция миниатюризации ее компонентов прервется: на пути в микрокосм постепенно становятся видны подлинные строительные блоки материи – ее атомная структура. Но электронные оболочки атомов – самые маленькие компоненты, которые можно соединить вместе в нормальных условиях с целью получения технических структур. Поэтому виден фундаментальный предел. Контур проводника не может быть сколько-нибудь тоньше размера атома.

Технология CMOS уже давно доходила до пределов возможностей, иногда довольно любопытных. Цепи, соединяющие транзисторы на микросхеме, уже настолько тонки, что атомы алюминия в таких условиях теряют стабильность. Их просто смывает потоком электронов как гальку в бурном потоке. Это явление обозначается специальным термином – «электро-миграция». Решение: медные цепи, являющиеся еще лучшими проводниками, что ускоряет ток сигналов на чипе. Кроме того, цепи сегодня располагаются настолько близко друг к другу, что создается явно обнаруживаемая емкость,

Некоторые компоненты транзисторов постепенно уменьшаются до размера менее чем 20 нанометров. Это уже область квантовой теории, где проявляются туннельные эффекты: в более крупных транзисторах, там, где тока быть не должно, он начинает течь – электронный межсетевой проход дает утечку. И хотя токи очень слабые, в сумме они дают значительные потери, и процессор нагревается. Эти неконтролируемые заряды также могут вызвать логические ошибки фатального характера.

В очень тонких структурах начинают проявляться волновые свойства электрона, что и описывается квантовой теорией. Но многие ученые видят в этом возможность создания нового вида электроники, который приведет к квантовому компьютеру, открывающему совершенно новый математический мир.

64-битовый процессор от компании AMD для ПК со 106 миллионами транзисторов, нанесенных с помощью технологии 130 нанометров.



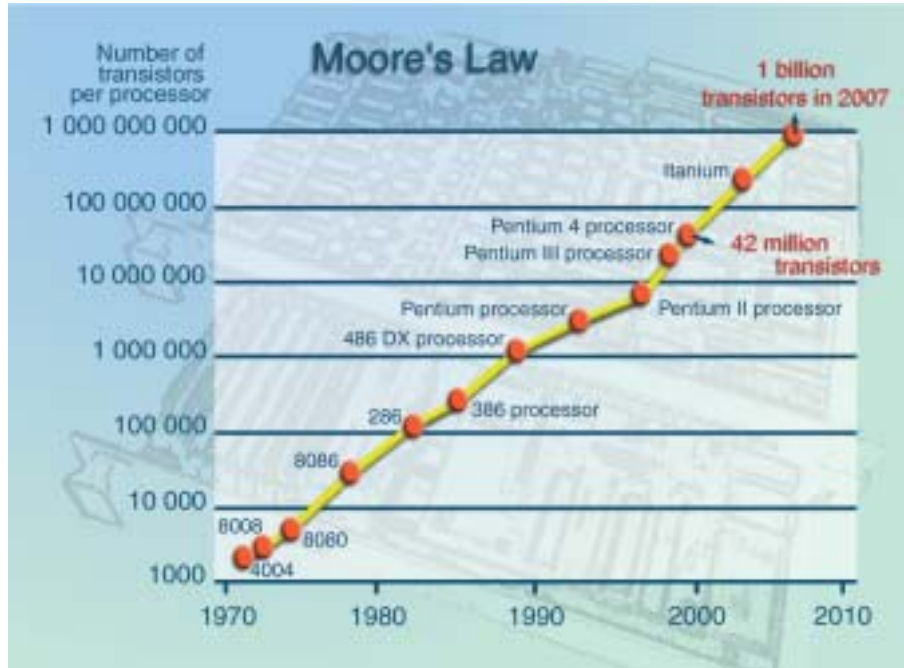
В мире схем: Наноэлектроника

Закон Мура достигает своего предела

Уже в 1965 году Гордон Мур, со-основатель фирмы Интел, осознал, что емкость микросхем удваивается каждые полтора года. Этот «закон» сейчас подвергается сомнению из-за действия человеческого фактора. В то время как число транзисторов на чипе ежегодно увеличивается на 50 процентов, аналитики жалуются, что производительность труда конструкторов микросхем увеличивается всего лишь на 20 процентов в год.

Промышленность попыталась противодействовать этой тенденции, постепенно увеличивая размер конструкторских рабочих групп, которые сегодня состоят из 250-300 человек и в таком составе становятся трудно управляемыми.

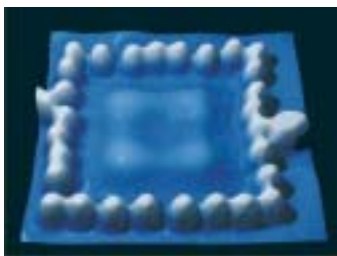
Неограниченный рост противоречит Второму Закону Мура, который гласит, что уменьшение размеров структур влечет за собой увеличение стоимости производственного предприятия. Пока эти ограничения не станут серьезным препятствием на пути дальнейшего развития, нанотехнологии по-прежнему будут играть важную роль в наноэлектронике. В настоящее время



компьютерные процессоры (CPU) уже оснащаются структурами размером менее 100 нанометров, содержащими более 100 миллионов транзисторов. Если верить Дорожной карте полупроводниковой промышленности, чьи прогнозы в основном основаны на реальных технических разработках, в ближайшие несколько лет (2010) можно ожидать появления структур размером 45 нанометров, в таком случае на одном чипе уместится более миллиарда транзисторов. Это откроет возможности, о которых сегодня мы можем только мечтать.



Крошечный островок кремния на кремниевом кристалле постепенно растворяется при 450 градусах. Знание этого процесса важно для обеспечения качества тонких кремниевых слоев.

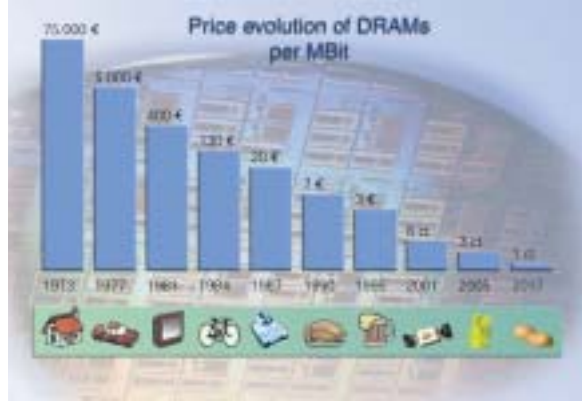
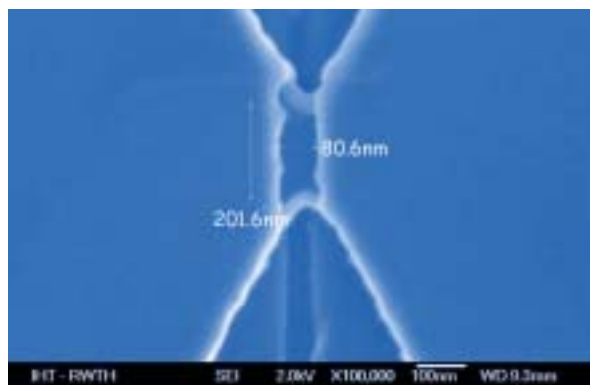


Атомы марганца на серебре, Университет Христиана-Альбрехта, г. Киль. Электроны, окруженные клеткой из атомов марганца, образуют разные рисунки, в зависимости от приложенного электрического напряжения. Подобные эффекты будут важны в электронике завтрашнего дня.

ОЗУ с изменением фазы

Современные устройства хранения данных основаны на разных технологиях, имеющих свои преимущества и недостатки. Магнито-механические накопители на жестких дисках (обычно использующиеся в современных настольных ПК) имеют очень высокую плотность элементов памяти и для хранения данных не требуют присутствия постоянного источника электрического тока, но доступ к данным в них замедлен. Динамическое ПЗУ (запоминающее устройство с произвольной выборкой) DRAM, наоборот, обеспечивает быстрый доступ, но данные должны постоянно «обновляться» посылами электрического тока. Флэш-память, используемая, например, в плеерах MP3, мобильных телефонах и цифровых камерах, сохраняет данные без постоянного источника тока, но работает не так быстро, как динамические ПЗУ и может быть использована примерно миллион раз. Будущим нанотехнологическим концепциям хранения данных, объединяющим названные выше преимущества: высокую плотность элементов памяти, скорость, хранение данных без источника тока и долгий срок службы, - удовлетворяют, как представляется сегодня, магнитные ПЗУ (MRAM) и описанные ниже ПЗУ с изменением фазы.

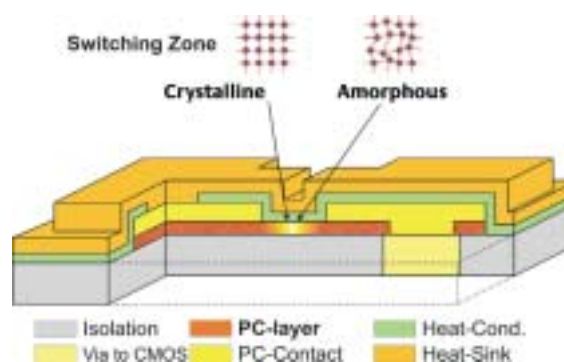
Твердая материя может находиться в двух противоположных состояниях: кристаллическом, когда атомы расположены в строгом порядке, как сосны на лесопосадках, или аморфном, когда атомы расположены бессистемно. Обычными аморфными твердыми телами являются некоторые виды стекла, например, кварцевое стекло; то же самое вещество, диоксид кремния, в царстве минералов существует в кристаллической форме, и называется горным хрусталем. В будущем мы еще много услышим об этих двух состояниях вещества – кристаллическое и аморфное - поскольку они, вероятно, сыграют определяющую роль в запоминающих устройствах



будущего. Некоторые твердые вещества более или менее легко позволяют переводить себя из аморфного состояния в кристаллическое и наоборот; такое изменение фазы, которое обычно достигается тепловым воздействием, нашло широкое применение в среде оптических ЗУ. Например, во время записи на перезаписываемый DVD с помощью теплового шока от лазерного импульса специальное покрытие на диске изменяет его фазу на конкретном участке с «кристаллической» на «аморфную», тем самым изменяя его отражательные свойства и делая возможным запись считываемой битовой комбинации. Более продолжительный и сильный лазерный импульс вновь превращает аморфный участок в кристаллический, с тем чтобы диск DVD можно было перезаписать.

Вещества с изменяющейся фазой, по всей видимости, ждет долгая служба в электронных запоминающих устройствах, или ПЗУ с изменением фазы. В этом случае фазовый переход будет осуществляться не оптическим, а электронным способом. Короткие импульсы тока делают вещество аморфным и придают ему высокое электрическое сопротивление, продолжительные импульсы возвращают его в кристаллическое состояние с низким сопротивлением. Для считывания информации запрашивается сопротивление элементов памяти.

С помощью ПЗУ с изменением фазы станет возможным достичь такой плотности элементов памяти, что можно будет уместить терабит информации – эквивалент десятичасового видео лучшего качества – на пяточке размером с почтовую марку. С такой технологией ноутбуки будут начинать работу с того места, где владелец ее закончил – начальная загрузка системы станет не нужна.



Справа: слои двоичного запоминания в ПК можно переводить из аморфного состояния в кристаллическое и обратно с помощью импульсов тока и тепла разной длительности. Эта конструкция, запатентованная Институтом полупроводниковой электроники (ИИТ, RWTH, Ахен) сочетает быструю память и малое потребление энергии.

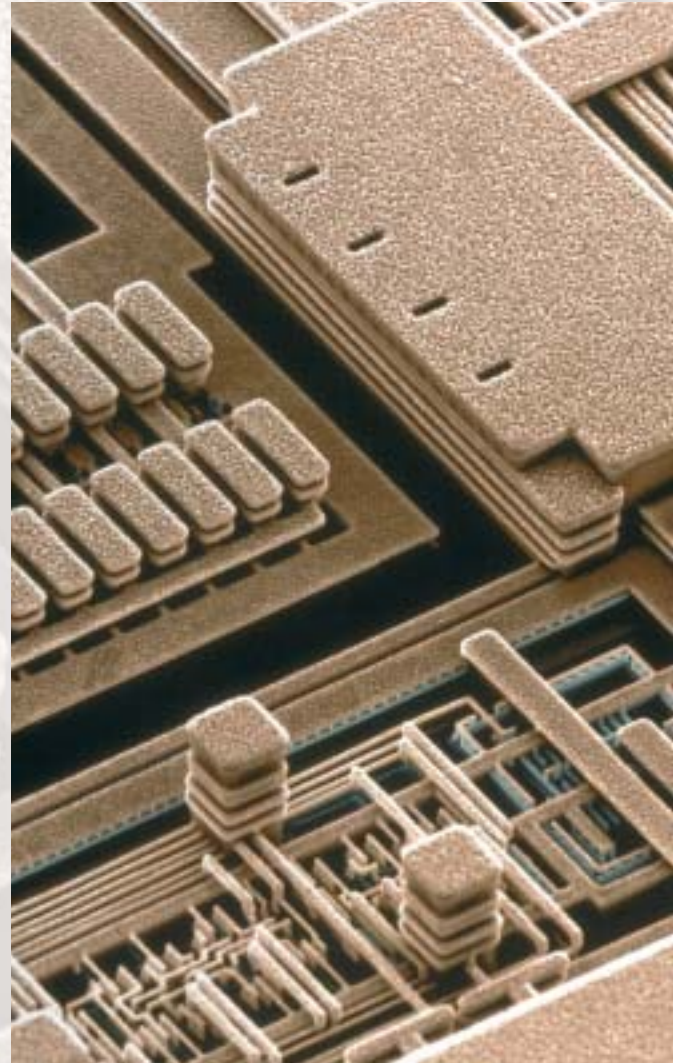
Слева: Схема компонента ПЗУ с изменением фазы.

В мире схем: Нанoeлектроника

В третье измерение – Чипы растут в высоту

Когда в Манхэттене возникла необходимость в новых офисных помещениях и жилых районах, небоскребы стали экономически выигрышным решением проблемы скудного рынка недвижимости. Конструкторы микросхем еще в самом начале подумывали о третьем измерении, но эти усилия по ряду причин ни к чему не привели.

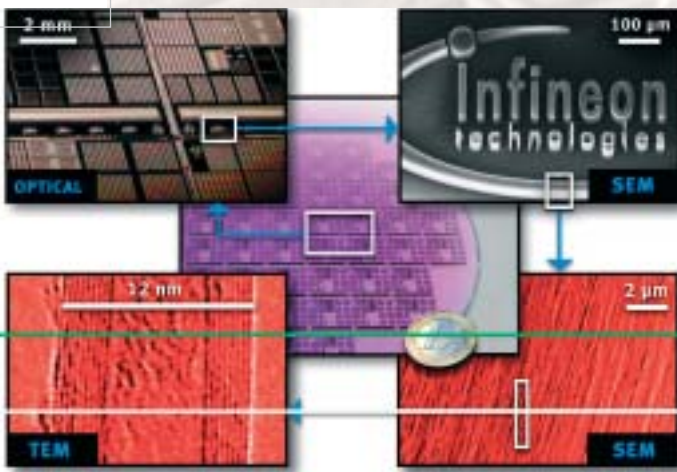
Возможно, дорогу в третье измерение нашли в компании Infineon AG, Мюнхен, которой удалось вырастить углеродные нано-трубки (CNT) на полированных силиконовых пластинах, на которые устанавливают микросхемы. Углеродные нано-трубки являются первоклассными проводниками и потому производят очень мало отработанного тепла, они же могут служить связующими звеньями (VIA) – устойчивыми к механическим воздействиям – между различными уровнями микросхемы. В перспективе, исследователи компании Infineon считают возможным разработку оригинальной трехмерной технологии для микросхем с помощью углеродных нано-трубок, тем более что, будучи отличными теплопроводниками, они могут к тому же рассеивать тепло внутри трехмерных чипов.



10 μm

Специальное выращивание углеродных нано-трубок на определенных участках силиконовой пластины при помощи совместимых с микроэлектроникой процессов.

Современное искусство: Экспериментальные структуры для спинтронных ОЗУ.

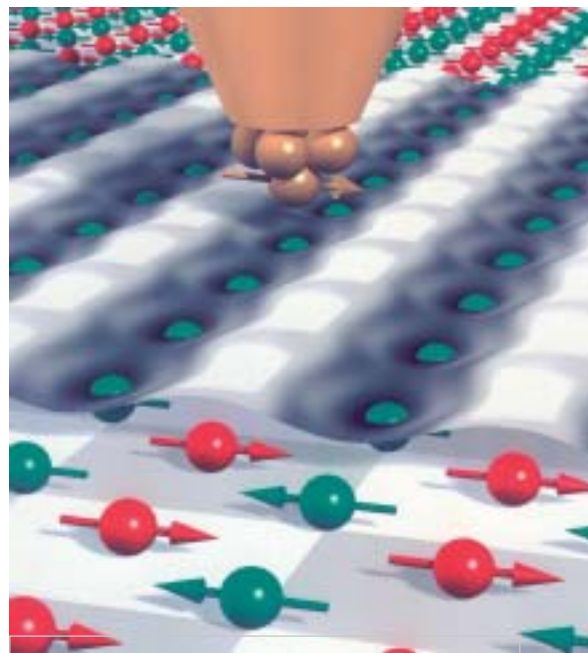




Настоящий мини-город – вытравленные медные цепи на чипе (ИВМ) под сканирующим электронным микроскопом. Современные чипы имеют до девяти уровней цепей.

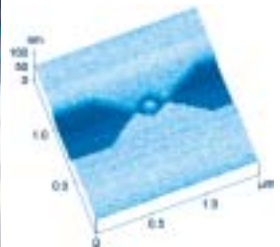


Отдельные органические молекулы на кремнии. Изображение получено с помощью сканирующего туннельного микроскопа, Рурский Университет, Бохум.

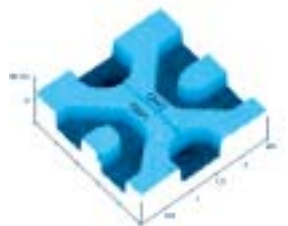


Магнитный зонд спин-поляризованного сканирующего туннельного микроскопа анализирует магнитные свойства отдельных атомов.

Упражнения для пальцев на квантовом компьютере: «интерферометр Ахаронова-Бом», созданный в Рурском Университете, Бохум, с помощью сканирующего силового микроскопа.



Туннельно-связанные квантовые провода – электроны перемещаются по проходам, которые, согласно классической теории, должны быть перекрыты. Нанотехнологически и эксперименты начинают перегонять теорию.



В магнитных ОЗУ (MRAM) – магнитных кристаллах памяти – информация хранится в спине магнитных слоев. Данная разработка интересна для основной памяти, не разрушающейся при отключении питания, и может в перспективе заменить механические жесткие диски.

«Спинтроника» также считается технологией, ведущей к созданию квантовых компьютеров, в частности, в Университете Вюрцбурга.

Новые эффекты для жестких дисков большой мощности: считывающая головка использует огромное магнитное сопротивление, полупроводниковый элемент состоит более чем из 20 нанослов.



Спинтроника – Вычислительные процессы на вращающихся электронах

Настоящую революцию, которая может продлить жизнь закону Мура, могут совершить спинтронные компоненты, которые, помимо электрических свойств электрона, используют и его магнитные характеристики – спин. Спин электрона проявляется как слабая магнитная инерция, которая вступает в сложные взаимодействия с другими магнитными условиями и потому может использоваться для электронных функций. «Спинтроника» или магнитоэлектроника уже нашла одно применение в жизни: новые жесткие диски имеют тонкослойные считывающие головки со «спиновым клапаном», которые, имея огромное магнитное сопротивление, обнаруживают очень маленькие магнитные участки, обеспечивая тем самым очень высокую плотность элементов памяти.

Нанотехнологии в будущей повседневной жизни

Пьезоподставки исключают нежелательные вибрации

Тазобедренные суставы, сделанные из биосовместимых материалов

Шлем находится в контакте с владельцем

Умная одежда измеряет пульс и дыхание

Рама из маркерных трубок при всей своей прочности легче пера



Краска с наночастицами, предотвращающими коррозию

Термо-хромное стекло, регулирующее поток света

Топливные батареи снабжают энергией сотовые телефоны и транспортные средства

Магнитные слои для компактных запоминающих устройств

Если нанотехнологии станут частью повседневной жизни, то внешне ничего кардинально не изменится. Людям по-прежнему, и даже в большей степени, будет нравиться сидеть в уличных кафе, поскольку гул двигателей внутреннего сгорания уступит место тихому жужжанию и шелесту, какой производят дверцы перегородки в фантастическом космическом корабле Энтерпрайз. Неприятный запах сжигаемого бензина уступит место слабым, едва заметным дуновениям метанола, используемого в топливных батареях. Обслуживание невероятно ускорится: электронное меню и электронные заказы автоматизируют даже работу кухонного персонала. Счет можно будет оплатить простым нажатием денежной карточки на знак евро в углу меню. Но чаевые по-прежнему будут давать мелочью – приятно слышать, как она позванивает – хотя теперь монеты будут покрыты антибактериальными наночастицами.

Зрелая наноэлектроника в перспективе обещает создание необычайно элегантных приборов, таких как персональный цифровой ассистент (PDA) в формате кредитной карточки (нет, его конечно можно и уменьшить в размере, но человеку все же хочется держать в руках что-то осязаемое).

Этот предмет будет представлять собой черную матовую монолитную интегральную схему без различных структур; черная поверхность будет аккумулировать солнечный свет и превращать его в электричество. Поверхность будет устойчивой к появлению царапин и покрыта тончайшим алмазным слоем, под которым будет находиться тонкий пьезокерамический слой, превращающий звук в электричество и наоборот, обеспечивая тем самым голосовое общение. Естественно, такой прибор сможет передавать данные с помощью света и радиоволн.



Органические светоиспускающие диоды (OLED) для дисплеев

Фотовольтаическая пленка, превращающая свет в электричество

Светоиспускающие диоды (LED) по своей мощности уже могут соревноваться с лампами накаливания

Оконные стекла со специальным покрытием против царапин и эффектом лотоса

Меню на электронной плате

Нанотрубки для дисплеев новых ноутбуков

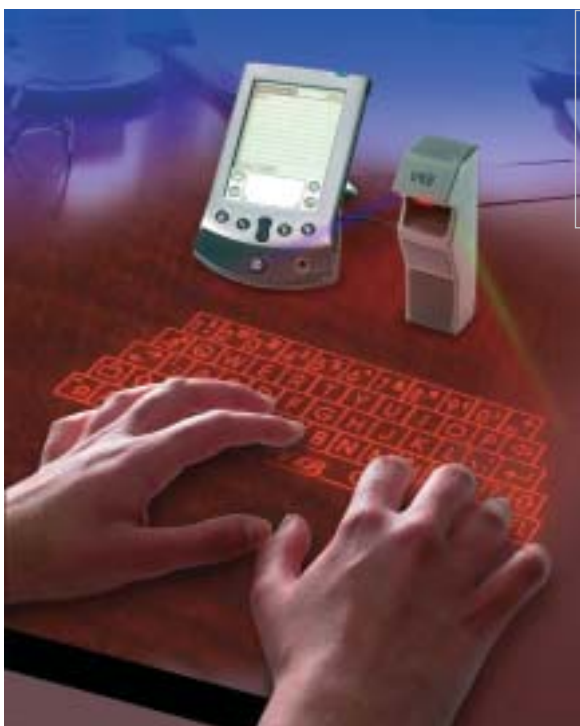
Ткани со специальным покрытием против пятен



В наноразмерах наночастицы флуоресцируют в ультрафиолетовом свете, в остальных же условиях остаются невидимыми. Они равномерно распределены в жидкостях, и потому их можно наносить на предметы с помощью струйной технологии, не изменяя конструкцию или функцию предмета. Поэтому нанопигменты являются идеальным средством защиты от подделок.



«Фото-хромное стекло»: прозрачность таких видов стекол контролируется электронным способом – технология завтрашнего дня для контроля за микроклиматом в офисных помещениях.



Виртуальная клавиатура: прикосновение к проецируемой клавише узнается системой и воспринимается как ее нажатие.

С помощью плоских линз и электронного преобразователя изображения высокого разрешения персональный ассистент сможет видеть, по требованию владельца он будет светиться как экран, и будет служить одновременно магнитофоном, фотоаппаратом, видеомагнитофоном, телевизором, сотовым телефоном, и через европейскую систему ориентации Галилей помогать находить дорогу. По вашему требованию он будет читать, переводить и объяснять меню в парижском кафе, вежливо делать заказ на разговорном французском и оплачивать счет.

Он также сможет распознавать голос и отпечатки пальцев людей, которым разрешено им пользоваться, тем самым защищая себя от чужих рук.

Как и в других машинах, в автомобилях нанотехнологии заменяют количество качеством. Их преимущество состоит в том, что они позволяют обходиться меньшим количеством материалов, поскольку находятся в ладу с природой.

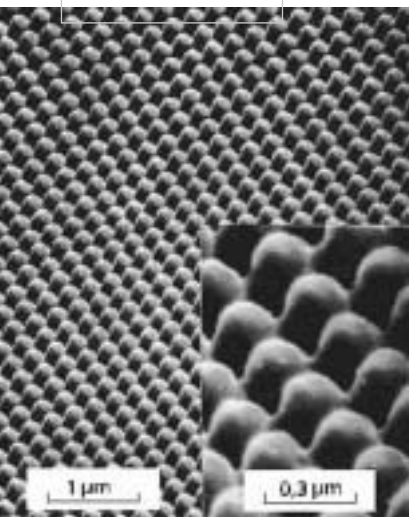
Нанотехнологии в автомобилях

Маленькие структуры создают большую картину. Периодические микроскопические поверхностные структуры предотвратят появление световых бликов в дисплеях и окнах автомобилей. В природе аналогично работает глаз моли, которой ночью необходимо видеть как можно больше, самой оставаясь при этом невидимой.

Покрытия, произведенные с помощью золь/гель-технологий и содержащие твердые наночастицы, могут сделать лобовые стекла машин устойчивыми к появлению царапин, при этом стекла останутся прозрачными, так как наночастицы настолько малы, что не рассеивают свет. Этот принцип уже используется в очках, хотя и не доведен до совершенства. В верхний слой краски на автомобиле можно внедрить структуры листа лотоса, чтобы грязь сама сбегала с машины.

Лобовые стекла с покрытием из наночастиц могут также поддерживать и электронно контролировать микроклимат, в большей или меньшей степени отражая световые и тепловые излучения. Применение этой технологии в офисах поможет экономить огромное количество энергии.

Уже сегодня нанотехнологии щедро обеспечивают освещение, необходимое в автомобиле: как и все СИД, светоиспускающие диоды в высококачественных стоп-сигналах имеют сложные системы нанопокровов, эффективно превращающие электричество в свет. Еще один плюс: СИД превращают электричество в видимый человеку свет почти мгновенно, в то время как обычным стоп-сигналам на лампочках на это требуется чуть больше времени. Разница может составить несколько метров тормозного расстояния. Яркость светодиодов настолько велика, что группы из нескольких диодов могут давать приглушенный дневной свет для фар.



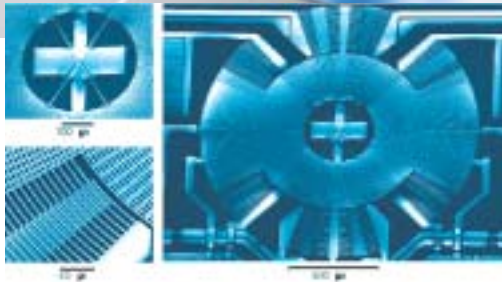
СИД в светофорах экономят время на обслуживание и энергию. И окупаются меньше, чем за год.



Современные электронные системы безопасности, такие как антиблокировочная тормозная система (ABS) или электронная программа устойчивости (ESP) приходят в действие в опасных ситуациях на дороге; системы будущего будут автоматически избегать опасностей.



Распылительная форсунка для дизельного транспорта. В будущем на нее будут наноситься алмазоподобные слои для защиты от износа толщиной всего несколько десятков нанометров.



Справа: Электроника служит безопасности: Датчик ускорения для передней подушки безопасности.



Силиконовые органы равновесия: датчик скорости вращения для стабилизации транспортного средства.

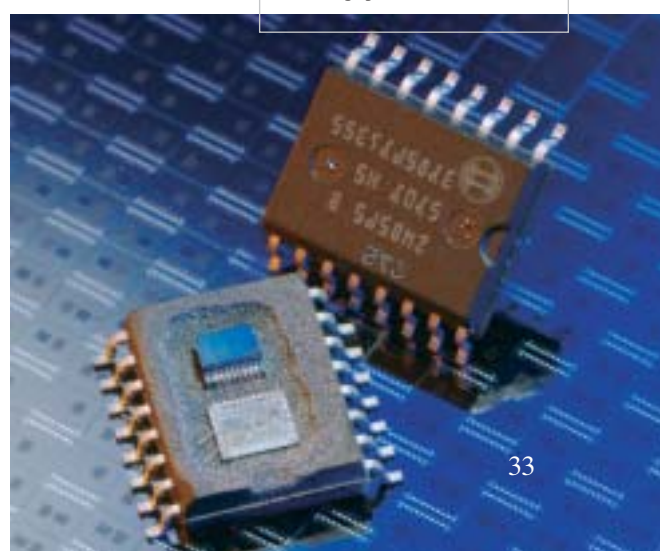
С помощью нанотехнологий верхние слои краски автомобилей можно превратить в фотоэлемент (эту задумку еще не воплотили в жизнь). Полученную энергию можно использовать для перезарядки батареи во время стоянки – это уже делается с помощью обычных фотоэлементов – или для сохранения прохлады в салоне с помощью теплоотвода. В свою очередь теплоотводная помпа

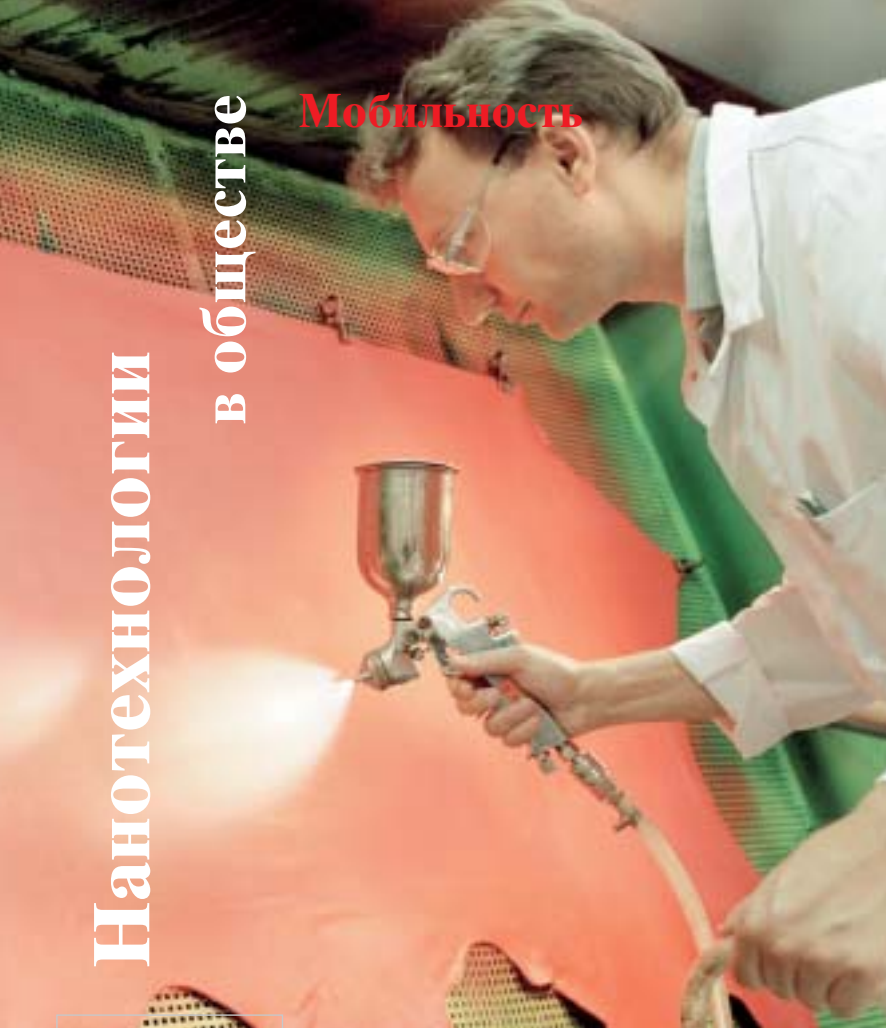
может представлять собой монолитную систему полупроводниковых нано-слоев. Если совершить обратное действие и прогнать тепло выхлопных газов двигателя внутреннего сгорания через такой полупроводник, то тепло превратится в электричество – см. также подпункт «Термоэлектрооборудование» в пункте «Энергия и окружающая среда».



Топливные батареи (смотри п. 33) превратят автомобили в экологически чистое транспортное средство. А если водородное топливо будут получать из возобновляемых источников энергии, то топливные батареи не будут наносить окружающей среде абсолютно никакого вреда.

Белые СИД настолько мощны, что могут использоваться в будущем в качестве источника света в фарах.





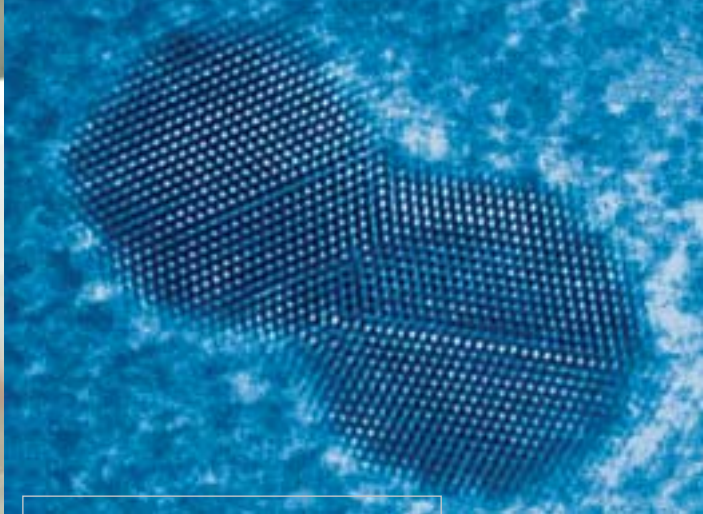
Наночастицы золота в качестве новых катализаторов.

Золото-катализатор

Нанотехнологии помогут золоту освоить новую профессию. В то время как «простое» золото сильно уступает платине по каталитическим свойствам, наночастицы золота на пористом материале-носителе являются хорошим катализатором в автомобилях: даже при запуске холодного двигателя они разлагают оксиды азота и монооксид углерода до безвредных веществ. Наночастицы золота могут стать достойными катализаторами для топливных батарей.

Все эти разработки совершенствуют и другие транспортные средства, не имеющие ничего общего с автомобилями. Например, от применения нанотехнологий, в частности топливных батарей и фотоэлементов, выиграют велосипеды, превратившись в «вечные двигатели», перемещающиеся повсюду и заряжающиеся только от света, воды и воздуха. Благодаря раме, сделанной из нановолокон углерода, они будут суперлегкими, еще у них будут диодные сигнальные фары и много других преимуществ.

Технология микросистем с защитой от вандализма в писсуарах на станциях обслуживания. Нанопокрyтия с «эффектом лотоса» еще более упростят содержание и мытье туалетов.



Ароматизирующие нанокapsулы придают коже приятный запах.

Золото предотвращает появление запахов

В настоящее время испытываются свойства наночастиц золота предотвращать появление запахов. В небольших системах кондиционирования, например, в автомобилях, они могут предотвращать запахи, появляющиеся из-за присутствия в системе бактерий. В Японии наночастицы золота уже используются в туалетах.

Нанотехнологии на станциях обслуживания

Водители уже могут увидеть технологию микросистем в действии на придорожных станциях обслуживания. В современных туалетах на унитазах ставятся датчики, которые посылают сигнал об увеличении температуры в центр электронного контроля, вызывая смыв. Необходимая электроэнергия вырабатывается мини-турбиной, приводимой в движение потоком воды во время смывания. В отличие от систем с инфракрасными датчиками, эту систему невозможно вывести из строя куском жевательной резинки.

С другой стороны, применением в писсуарах нанотехнологий достигается более простой и в то же время более сложный эффект: благодаря эффекту лотоса вода легко сбегает со стенок унитаза, проходит через жидкий слой, предотвращающий появление запахов, и исчезает бесследно – насколько это работает, покажет практика. Разумеется, эта технология годится и для жилых домов.



Благодаря своим нано-порам металлические нано-кубики от компании BASF могут хранить большие количества водорода.

Топливные батареи – прибор на все случаи жизни

Как и обычные батарейки, топливные батареи производят электричество. Однако в то время как химические составляющие обычной батарейки рано или поздно израсходуются, в топливной батарее материал с богатым запасом энергии постоянно возобновляется. Таким материалом может служить водород или другой газ или жидкость, содержащие водород, например, природный газ или рапсовое масло. В последних двух случаях водород сначала должен быть выделен в «преобразователе», а потом уже работать в топливной батарее. При соединении водорода и кислорода происходит переход электронов от водорода к кислороду. В топливной батарее эти электроны силой выталкиваются во внешнюю электрическую схему, которая обеспечивает электричеством двигатель или другой прибор. Продуктом такой реакции является обычная чистая вода.

Топливные батареи имеют высокий КПД, который зависит от вида батареи, но почти не зависит от ее размера. Выпускаются множество вариантов таких батарей. Нанотехнологии могут многое в них привнести, например, керамические пленки, наноструктурированные покрытия, нано-катализаторы.

В последние годы во всем мире было потрачено от шести до восьми миллиардов долларов на разработку технологии производства топливных батарей, так что нет причин сомневаться в значимости данной технологии. Эти бесшумные источники электричества бывают всех размеров, начиная от размера почтовой марки и заканчивая размером грузового контейнера, и, разумеется, будут применяться не только в автомобилях. Для меньших приборов источником водорода будет служить негорючая смесь метанола и воды, запас которой можно будет пополнить в супермаркете.



Топливные батареи помогут вернуть электродвигателю звание лучшего двигателя (первый электромобиль выехал на дорогу в Париже в 1881 году). Только электродвигатель может иметь КПД более 90%, и только он может одновременно служить генератором и превращать кинетическую энергию обратно в

электрическую, например, при торможении. Разумеется, в новых электромоторах и генераторах исключительные по своим свойствам магнитные материалы состоят из нано-кристаллов.

Топливные батареи будут использоваться и в домах, одновременно снабжая их электричеством и теплом.



Здоровье

Завтрак с последствиями в 2020:

Кофе еще пьют? Конечно, а апельсиновый сок? Разумеется, только упаковка может быть необычной, например, внутри может располагаться «электронный язык», проверяющий, не испортился ли сок.



Или же датчик будет снаружи, и в его работу будет входить определение возможного дефицита кальция или других элементов по пальцам, прикасающимся к упаковке; этот дефицит затем может восполнить «функциональная пища». Ею может стать обычный козий сыр – органические светоиспускающие диоды на ценнике упаковки помогут выбрать правильный сорт.

Зеркало в ванной с наноэлектронными вставками предоставляет владельцу информацию по первому требованию и несколько сдержанно относится к апельсиновому соку, так как в нем содержится сахар, а сахар способствует разрушению зубов. И вновь нужна помощь нанотехнологий: зубная паста (уже выпускается), содержащая нано-частицы

апатита и белка – природный зубной материал, возвращающий им здоровье (смотри также пункт Биоминерализация).

Дневной крем (уже выпускается) содержит наночастицы оксида цинка, борющиеся с вредным воздействием ультрафиолетового излучения. Из-за своих размеров наночастицы не видны, поэтому крем не белый, а абсолютно прозрачный.

Разведчики на кончиках пальцев

При участии нанотехнологий, наноэлектроники и технологии микросистем появится сложное оборудование для проведения анализов, которое будет по карману обычным гражданам. В будущем небольшого укола в палец будет достаточно для проведения анализа крови. А какой у нас уровень холестерина? В норме ли содержание сахара? Результаты можно будет послать по Интернету в ближайший наномедицинский центр, где могут назначить более тщательный анализ или с помощью нано-реакторов создадут индивидуальное лекарство. Попав в тело, лекарство доставляет наночастицы со специальным покрытием, которое позволяет им действовать только на источник болезни. «Доставка лекарств на дом», с точностью до мельчайших деталей. Врачи следят за подобными разработками с возрастающим интересом.

Вверху слева: пленка с наночастицами дольше сохраняет свежесть продуктов.

Вверху справа: умный упаковочный материал с полимерным чипом-ретранслятором.

Умные вещи – снабженное наноэлектроникой умное зеркало учит чистить зубы.





Диагностика завтрашнего дня. Нанотехнологии делают постоянно дорожающие методы доступными.

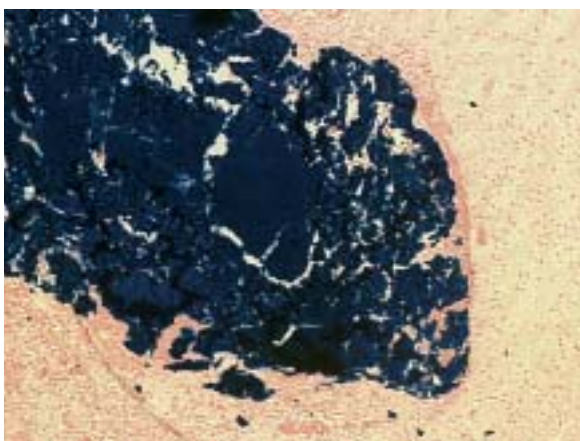
Надмолекулярные лекарственные капсулы

Водимые лекарства могут быть чрезвычайно сложными по структуре. Они будут находиться в надмолекулярных полых молекулах (в стадии разработки), транспортировочных нано-контейнерах с антенной, к которой прикреплены антитела подобных сенсорных белков. При вступлении в контакт со структурами, принадлежащими агенту, вызвавшему заболевание – например, с внешней частью раковых клеток или бактериями – антитела пристыковываются к ним и посылают сигнал в полую молекулу, которая открывается и выпускает содержимое. При помощи таких нанотехнологий большие дозы лекарств могут доставляться прямо в источник заболевания, не подвергая воздействию весь организм и сводя к минимуму побочные эффекты.

Магнитные частицы излечивают рак

Подобные приемы можно использовать для доставки магнитных наночастиц к источникам раковых опухолей. Нагретые с помощью переменного электромагнитного поля, эти частицы могут уничтожить опухоль. Наночастицы способны проникнуть и через «пропускной пункт», стоящий на пути крови в мозг, поэтому могут использоваться и для борьбы с опухолью мозга. Данный метод гипотермии

магнитной жидкостью был разработан рабочей группой под руководством биолога Андреаса Джордана. В настоящее время начались его клинические испытания.



Раковые клетки в глиобластоме мозговой опухоли «до отвала наелись» наночастицами магнетита со специальным покрытием, которые заполняют все пространство вплоть до границы здоровых клеток. Если теперь эти частицы нагреть с помощью электромагнитного поля, то опухоль станет восприимчивой к дальнейшему лечению. Медицинская апробация данного метода намечена на 2005 год.

Турникеты на чипе

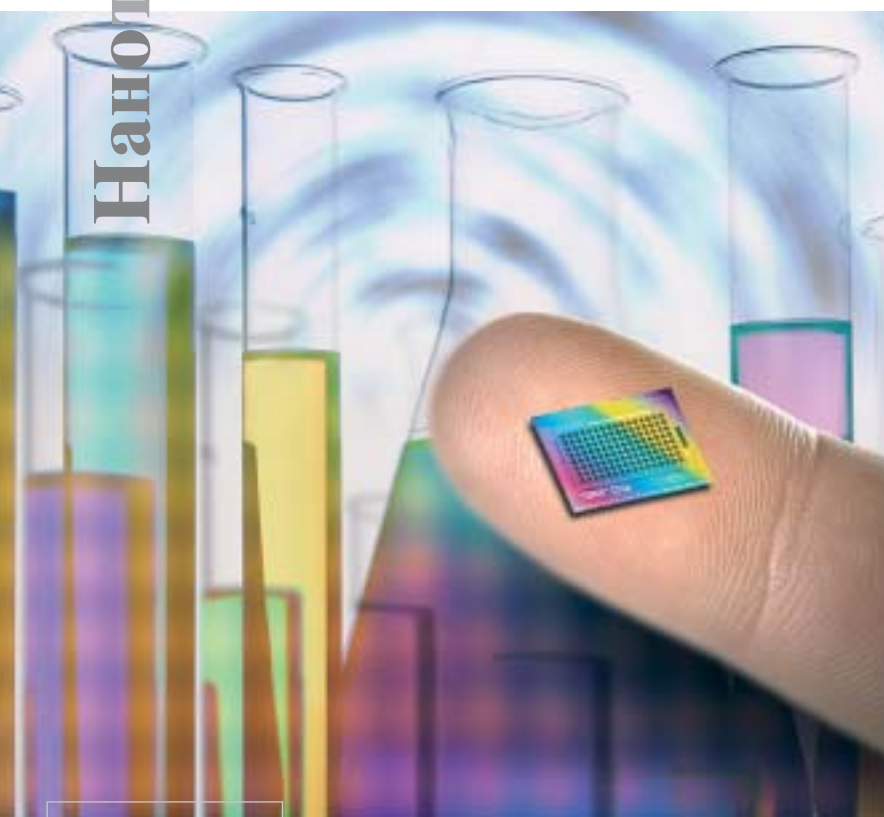
Технология микросистем и нанотехнологии – границы между ними размыты – окупят себя в медицинском секторе хотя бы путем миниатюризации и удешевления имеющихся аппаратов иногда в сотни тысяч раз и более. Это произойдет, среди всего прочего, и со сложнейшими аппаратами, способными проверить миллионы клеток, например, крови на предмет выявления определенных свойств со скоростью несколько тысяч в секунду, и рассортировать живые клетки.

Здоровье

Нанодисперсные порошки можно обжигать для получения совершенных, надежных керамических изделий, применяемых, например, в имплантатах.



Это будет делаться так: в кровь добавляются антитела, которые прикрепляются к интересующим клеткам – и только к ним – и в то же время несут на себе частицы краски, которая светится или флуоресцирует в лазерном луче. В сортировочном устройстве заключенные в оболочку клетки будут прогоняться через такой луч; когда флуоресцирующий сигнал будет замечен, электрические поля направят оболочку и клетку в приемник – методика отчасти заимствована у струйных принтеров. Сортировочные устройства



Маленькая, но сложная «лаборатория на чипе», лаборатория размером с кончик пальца.

являются очень сложными приборами, сочетающими в себе микромеханику, оптику, и сложнейшую электронику, соответственно эти устройства очень дороги. Нанотехнологии уменьшат эти сортировочные устройства размером с турникет до размеров почтовой марки, возможно даже сделают их одноразовыми, что значительно ускорит прогресс в медицине.

Для создания лаборатории на чипе планируется привлечь еще более продвинутые нанотехнологии. Ведущие разработчики утверждают, что такие лаборатории будут примерами слаженной работы миллионов наноприборов. Такие чипы будут

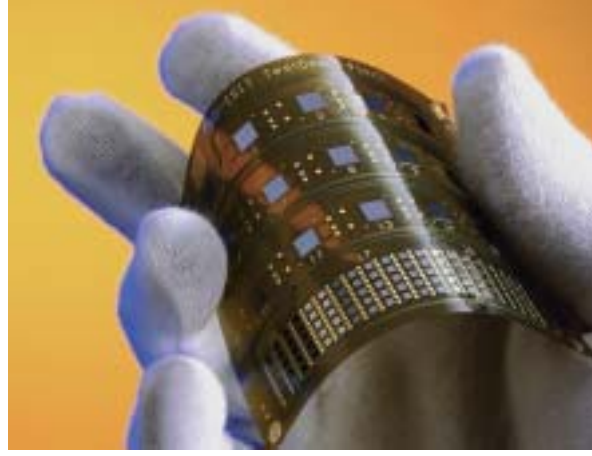
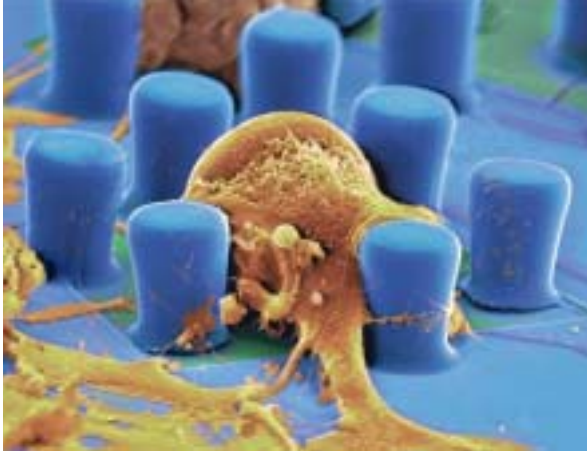
гигантскими по сравнению с размещенными на них наноприборами – площадью в несколько квадратных сантиметров. Нужно это для того, чтобы обеспечить внутри них циркуляцию жидкостей, которые в нано-космосе приобретают вязкость меда и которым, для того чтобы течь, нужно пространство. Лаборатории на чипах совершат революцию в биологии, если ученые смогут использовать нанолaborатории для того, чтобы шаг за шагом отследить процессы, происходящие в отдельных клетках. Это позволит сделать своего рода видеозапись – видеозапись жизни. И ученые не удовольствуются простым наблюдением клетки, а будут нащупывать и двигать ее, чтобы увидеть ее реакцию и раскрыть тайну жизни.



Имплантат сетчатки.

Нейропротезирование

В настоящее время к стадии испытаний приближается самонастраивающийся имплантат сетчатки – сложнейший результат применения технологии микросистем и нанотехнологий. Его задача – частично восстановить зрение в случае слепоты, вызванной *retinitis pigmentosa*. В систему входит крошечная



Присоединение нервных клеток к электрическим контактам.

Тончайшие силиконовые чипы используются в умных этикетках, которые можно поместить на упакованные продукты или одежду.

камера в оправе очков, передающая изображения окружающего мира на специальное самонастраивающееся устройство обработки сигналов. Посредством беспроводной связи устройство передает информацию об изображении внутрь пораженного глаза, где миниатюрные электроды, нанесенные на гибкую пленку и соединенные с сетчаткой, соответствующим образом стимулируют зрительный нерв. Если эта разработка окажется успешной, она станет первым человеко-машинным интерфейсом для зрения. Имплантат улитки уха уже помог многим неслышащим людям. Нанотехнологии позволят еще больше усовершенствовать подобные имплантанты.

Уход на дому

Благодаря улучшенному питанию и медицинскому обслуживанию все больше и больше людей доживают до преклонного возраста. Это прекрасно, но данный факт имеет и свою оборотную сторону: все большему количеству людей потребуется уход. Проблему отчасти решит нанoeлектроника: датчики и миникомпьютеры,

вплетенные в ткань одежды, могли бы осуществлять постоянный контроль за состоянием здоровья пожилых людей – пульсом, дыханием, обменом веществ. В случае возникновения проблем «МедКофта» автоматически уведомит о них семейного доктора или родственников. О местонахождении пациента сообщит встроенная Глобальная система ориентации (GPS) или модуль системы Галилей (будущая европейская версия GPS).

Автоматические сиделки

«Старая Европа» довольно сдержанно относится к механическим помощникам, в то время как в Японии производство движущихся роботов скоро будет поставлено на поток. Вполне возможно, это послужит толчком для разработки автоматических сиделок для обеспечения ежедневного ухода. Работа в этом направлении уже ведется. Робототехника легко интегрирует в себя все возрастающую эффективность нанoeлектронных технологий.



Роботы, обладающие чувством эмпатии, Оксфордский университет. Такие могут, конечно, охранять уток, однако к автоматическим сиделкам будут предъявляться повышенные требования.



Умная одежда: встроенная электроника озвучивает музыкальные файлы в формате MP3, помогает ориентироваться в городе и отслеживает пульс – дополнительные функции, которые обнаруживаются при тщательном рассмотрении.

СИД совершат революцию эффективности.

В отличие от технологий прошлого нанотехнологии могут сочетать экономический рост и сокращение объема потребляемых материалов.

Бизнес в стиле нано: Больше удобства с меньшими материальными затратами.

В Европе около 10 процентов производимой электроэнергии расходуется на освещение. Светоиспускающие диоды на сегодняшний день могут производить белый свет и потому способны заменить традиционные технологии. Такой переход приведет к значительной экономии ресурсов, поскольку по сравнению с обычной лампой

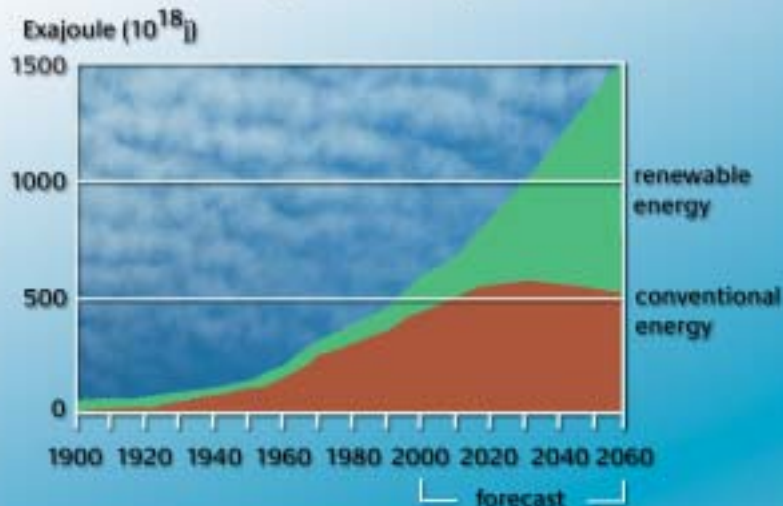
накаливания диодам для производства того же количества света требуется примерно в два раза меньше энергии, что в потенциале означает огромные возможности экономии электроэнергии в осветительном секторе промышленности.

Миллионы квартирных телевизоров на катодно-лучевых трубках вскоре будут заменены на телевизоры с жидкокристаллическим экраном (ЖК дисплеи), а позднее и с экранами на органических светоиспускающих диодах (ОСИД). Обе технологии в потенциале могут сократить потребление электроэнергии на 90 процентов. ЖК дисплеи и ОСИД производятся с помощью нанотехнологий. Если миллионы семей будут экономить по несколько киловатт каждая, результат будет исчисляться в гигаваттах – а это мощность нескольких крупных электростанций.

Работу топливных батарей можно регулировать легко и быстро. В домах уже появляются первые газовые обогреватели на природном газе, оборудованные топливными батареями; они вырабатывают как контролируемое тепло, так и электричество. Если такие нагреватели появятся в миллионах домов, их можно будет объединить в национальную сеть и через Интернет замкнуть на

Прогноз от компании Shell AG. Нанотехнологии станут самым оптимальным выбором в мире возобновляемых источников энергии.

World energy consumption





гигантские виртуальные электростанции с теоретической мощностью в сотни гигаватт. В перспективе природный газ можно будет заменить водородом из возобновляемых источников энергии. Нанотехнологии помогут применить в данных разработках новые материалы и катализаторы.

Исключительно важными в обработке жидкостей, а также в снабжении чистой питьевой водой становятся керамические мембраны с нанопорами. Такие мембраны позволят легко отфильтровывать бактерии и вирусы.

Использование солнечной энергии с помощью нанотехнологий станет реальным и прибыльным делом. Соединительные полупроводники из индия, галлия и азота уже продемонстрировали показатели работы, позволяющие достичь 50% производительности солнечной энергии. Однако производительность является лишь одним из критериев, нанотехнологии позволят значительно сократить стоимость световых коллекторов путем применения тонкослойной технологии или технологии частиц. Лабораторные образцы пленок из светочувствительных элементов с покрытиями, подобными покрытиями, используемым для обычных и органических светоиспускающих диодов, производят 100 ватт энергии при весе всего в

30 граммов – такого радикального снижения расхода материалов при производстве электроэнергии добились в Лейпциге в компании Соларион.

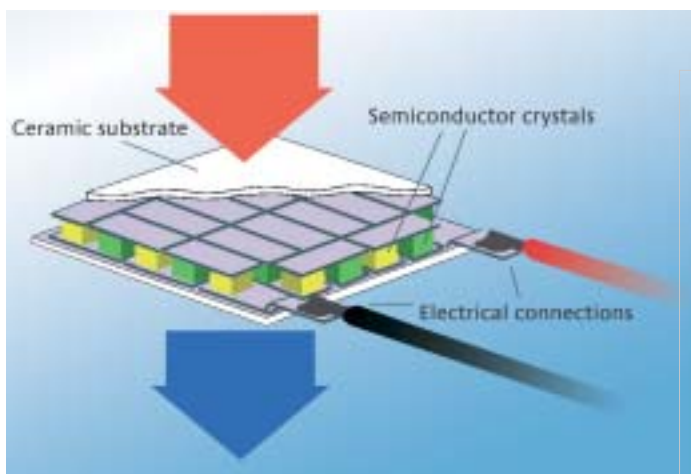
Исследователи компании Сименс заявили о достижении уровня производительности новейших органических солнечных элементов в пять процентов; эти элементы при нанесении их на пластиковую пленку станут очень доступными по цене. Фотоактивный слой в такой пленке имеет всего 100 нанометров в толщину, а срок их эксплуатации уже составляет несколько тысяч часов на свету. Ожидается, что первая продукция, произведенная по такой технологии, появится на рынке в 2005 году.

Весь спектр: Стекланный фасад одного из холлов отеля Veggis на Люцернском озере светится всеми цветами радуги благодаря 84 000 светоиспускающих диодов фирмы OSRAM.

В будущем органические светоиспускающие диоды будут использоваться во многих экранах.



Энергетика и окружающая среда



Обычный термоэлектрический модуль: полупроводниковые блоки превращают поток тепла в электрическую энергию. Нанотехнологии повышают производительность данной технологии, тем самым открывая новые рынки.



Нанотехнологии вдохнули новую жизнь во многие старые идеи, которые без них из-за неэкономичности имеющихся материалов оказались бы на обочине прогресса. Одна из таких идей касается производства электроэнергии термоэлектрическим способом.

Электричество из тепла, тепло из электричества – Термоэлектрики.

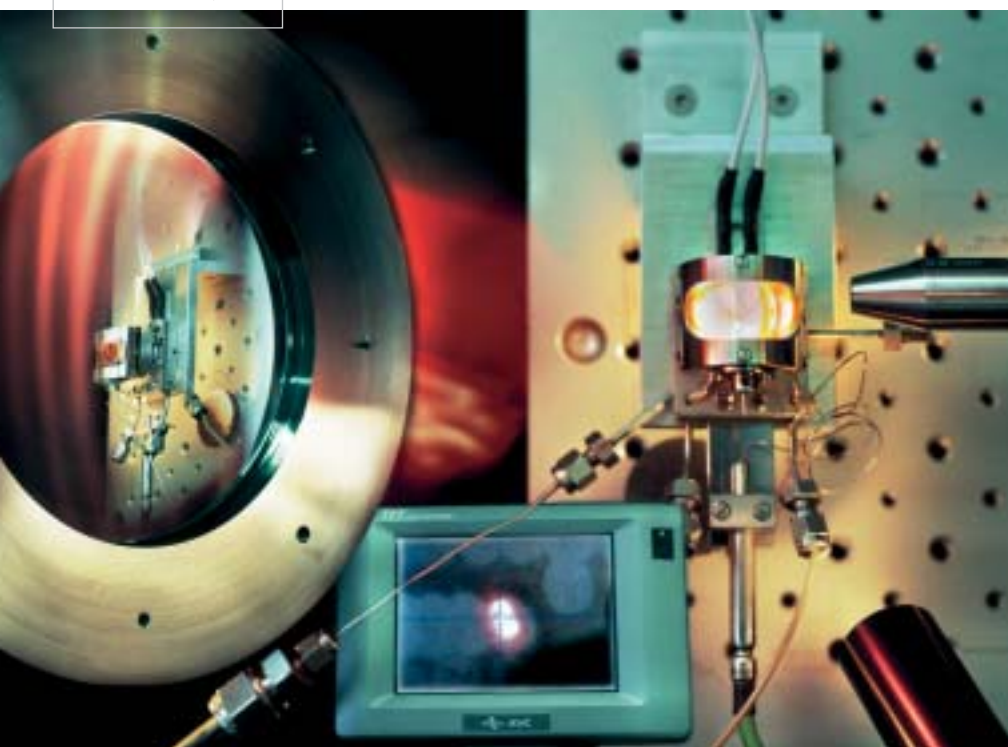
Существует целый ряд известных физических явлений, едва ли замечаемых большинством из нас, которые имели более чем скромный успех в различных сегментах рынка. Например, сумка-холодильник, которая подключается к системе электропитания автомобиля и действительно прекрасно охлаждает. Внутри нее,

оставаясь невидимым, работает принцип, оставленный в наследство французским ученым Жаном Шарлем Атаназом Пельтье, который в 1834 году открыл названное его именем явление: электрический ток, бегущий через точку соприкосновения двух разных металлов, нагревает одну из соприкасающихся сторон и охлаждает

другую. Тринадцатью годами раньше немец Томас Иоганн Зеебек обнаружил обратное явление, когда поток тепла, идущий через точку соприкосновения двух металлов, производит электричество. Обоим джентльменам ждет новый виток славы благодаря нанотехнологиям, которые позволяют разработать новые материалы, сделавшие оба явления высокопроизводительными.

Производство таких материалов опять же требует оборудования, подобного тому, какое необходимо для производства СИД. Такие аппараты наносят слой теллурида сурьмы толщиной пять нанометров на нанометровый слой теллурида висмута,

Технология химических микрореакций повышает эффективность производства даже самых экзотических веществ.





Реакторы компании Aixtron для исследований (слева) и для точного изготовления тонких слоев соединительных полупроводников (справа).

и затем повторяют этот процесс до тех пор, пока не образуется полупроводниковая пленка, которая удивила бы и порадовала господ Пельтье и Зибек: когда через нее течет ток, одна сторона пленки нагревается, а другая охлаждается. Пленку можно структурировать очень точно, так что ее можно будет использовать для охлаждения чипов или в лабораториях на чипах для обеспечения работы крошечных реакционных сосудов, в которых посредством быстрой смены температур воспроизводится ДНК. Вполне возможно, что кардинальное повышение производительности в будущем превратит элементы Пельтье в самую выигрышную технологию для всей холодильной промышленности. С другой стороны, с помощью таких термоэлектрических слоев, имея дешевый источник тепла, например, геотермальное тепло, можно очень дешево производить электричество. Исландия могла бы производить баснословные объемы энергии за счет получения водорода электролитическим способом.

В химической промышленности подобные методы позволяют бесшумно, незаметно и эффективно – благодаря нанотехнологиям – превращать огромные количества отработанного тепла в электричество.

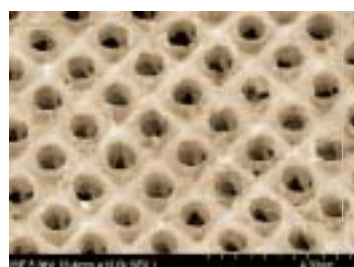
Термофотовольтаики

Термоэлектрооборудование – не единственное средство легкого превращения отработанного тепла в электричество.

Термофотовольтаики (TPV) используют (невидимое) тепловое излучение (инфракрасное излучение) горячих предметов. Нанотехнологии обитают в структурах излучателей, которые адаптируют спектр источника тепла к спектральной чувствительности термофотовольтаических ячеек.



Термофотовольтаическим ячейкам достаточно света свечи для производства электроэнергии, необходимой для работы радио.



Вольфрамовые излучатели с наноструктурированной поверхностью для адаптации инфракрасного спектра.

Нанотехнологии для спорта и отдыха

Продолжающееся совершенствование технологий, которое сейчас происходит в наномасштабе, возвращает к жизни давние идеи, воплощение которых ранее было невозможно. Одной из таких идей является полет за счет солнечной энергии.

Планер Icaré II, работающий на солнечной энергии, может выдерживать такие же нагрузки, как и обычный планер, и может самостоятельно подняться в воздух.

Вверху: В конце неофициального рекордного перелета из Штутгарта в Иену.

В июне 1979 года, Брайен Аллен перелетел на летательном аппарате «Госсамер Альбатрос» с педальным приводом через Ла-Манш и получил за это приз Кремера в размере 100 000 фунтов стерлингов. Создание Полом Маккреди невесомой конструкции «Госсамер Альбатрос» стало возможным благодаря новым материалам. В 1981 году был совершен полет на дальнейшее расстояние на очень хрупком летательном аппарате «Солар Челленджер» исключительно на солнечной энергии.

В начале 1990х в память о незадачливом пионере авиации Альбрехте Людвиге Берблингере («Портной Ульма») город Ульм объявил конкурс на проект реального летательного аппарата на солнечной энергии. В июле 1996 построенный Университетом Штутгарта планер Icaré II стал беспспорным победителем.

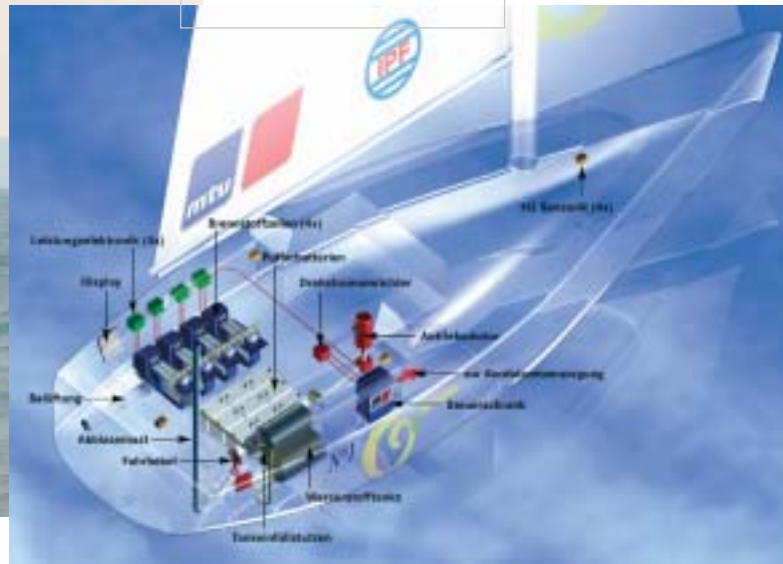
Агентство NASA спроектировало потенциальный заменитель спутников в форме экспериментального солнечного летательного аппарата ГЕЛИОС, который днем работает на солнечной энергии, а ночью на «перезаряжаемой» топливной батарее. Максимальная высота полета - почти 30 000 метров.

В 2003 году специалисты в области термодинамики, аэродинамики, электрических систем, полимерных материалов, фотовольтаиков, преобразования энергии и компьютерного моделирования – нанотехнологии хорошо представлены почти во всех этих областях – собрались в Швейцарии для обсуждения проекта запуска новых технологий для обеспечения гармоничного сосуществования с природой в будущем. Запуска в буквальном смысле слова: в рамках данного громкого проекта планируется, что примерно в 2009 году Бертран Пиккар и Брайен Джоунс, которые уже облетели Землю на воздушном шаре в 1999 году, облетят земной шар еще раз – теперь уже в беспосадочном режиме на летательном аппарате, работающем исключительно на солнечной энергии!





Яхта на топливных батареях от компании MTU, Фридрихшафен, озеро Констанц. Нанотехнологии помогут соединить в таких транспортных средствах эффективность и изящность: есть еще идея сделать паруса из ткани с фотоэлементами, но в этом случае материя должна будет быть темной.



«Воздушный червь» в Университете Штутгарта. Планируется использоваться в качестве ретрансляционной станции в радиотелефонии.

Конструкторская проработка проекта «Fuseproject». Работаящий от топливной батареи мотороллер несильно передвигается по городу.

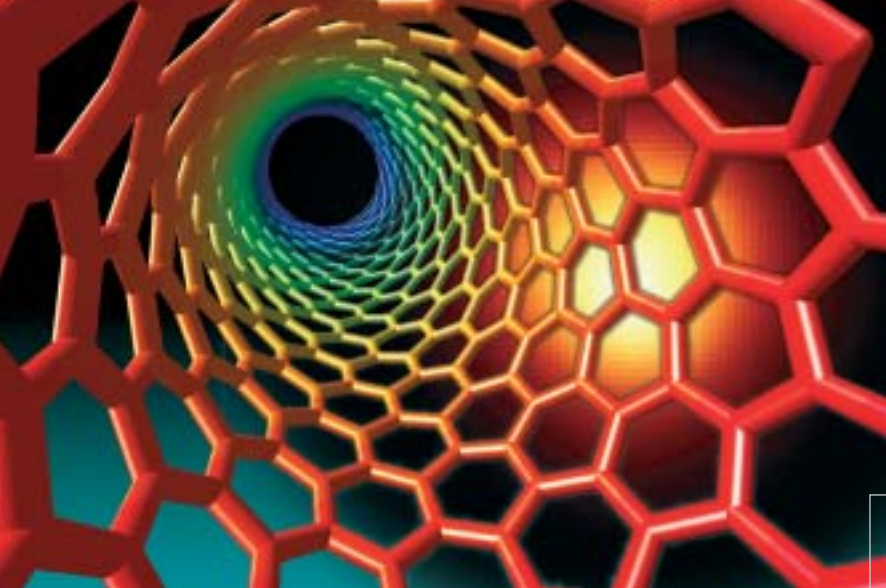
Данный проект вполне может принести новым технологиям уважение, которого они заслуживают, а также положить начало созданию целого ряда новых транспортных средств, таких как управляемые компьютерами, датчиками и системой Галилей летательные аппараты на солнечной энергии, которые к тому же могли бы бесшумно и без выхлопных газов поднимать в воздух новичков. Свобода над облаками станет безграничной. Вполне возможно, что солнечные катамараны будут рассекать гладь Мекленбургских озер; электрические велосипеды – педэлки – будут

помогать пожилым людям забираться в седло. В настоящее время во многих местах специально разрабатываются небольшие модели электротранспорта, для того чтобы спасти города с развивающейся быстрыми темпами промышленностью от исчезновения за завесой выхлопных газов.



Солнечный катамаран, построенный компанией Kopf Solar design GmbH, плавает в Гамбурге и вокруг него.





Картины будущего

Нанотрубки и Бетельгейзе, звезда-гигант, в атмосфере которой обнаруживаются фуллерены.

«Пальчиковая улица»

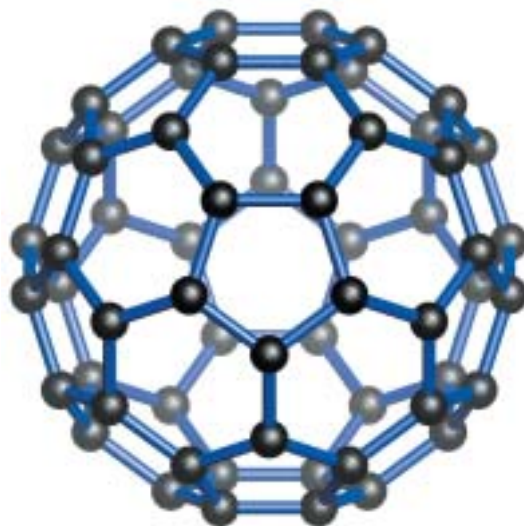
С нанотехнологиями даже самые утопические транспортные системы становятся реальностью, например, «пальчиковая улица». Если удастся создать хорошие искусственные мышцы – работа в этом направлении уже ведется – можно представить улицу, выложенную сигнальными элементами, пальцами, которые перемещают предметы, совершая действие, которое мы делаем, когда маним кого-то пальцем. Подобно тому, как клетки флагеллы (жгутики, реснички) выдувают грязь и инородные тела из легких или выталкивают парамеции. Эту картину можно бесконечно украшать; в любом случае идея создания линейных двигателей, работающих по этому принципу и приводящихся в движение растительными мышцами или «форисомами», рассматривается вполне серьезно. Другой возможностью создания искусственных мышц являются ткани из углеродных нанотрубок. Но даже эта идея уступает по своей невероятности идее создания лифта к планетам, которая вполне серьезно изучается агентством NASA и которую впервые высказал русский пионер космических исследований Константин Эдуардович Циолковский.

Константин Эдуардович Циолковский.



Углеродные нанотрубки доставят на орбиту

Идея была подсказана космосом: в оболочках старых звезд, таких как красный гигант Бетельгейзе, циркулирует множество различных элементов. Если они вступают друг с другом в химические реакции, образуются нано-кристаллы, в частности карбида кремния, оксида кремния, корунда и даже алмаза. Это подтвердилось при исследовании метеорита, образовавшегося из такой пыли. Чтобы узнать больше, ученые воспроизвели условия в этих звездных оболочках в лаборатории – и в 1985 году обнаружили следы совершенно неизвестного вещества. Им оказалось новое соединение углерода: полая молекула, по форме очень напоминающая футбольный мяч. Взгляд в космос обнаружил такую молекулу и в оболочках звезд.



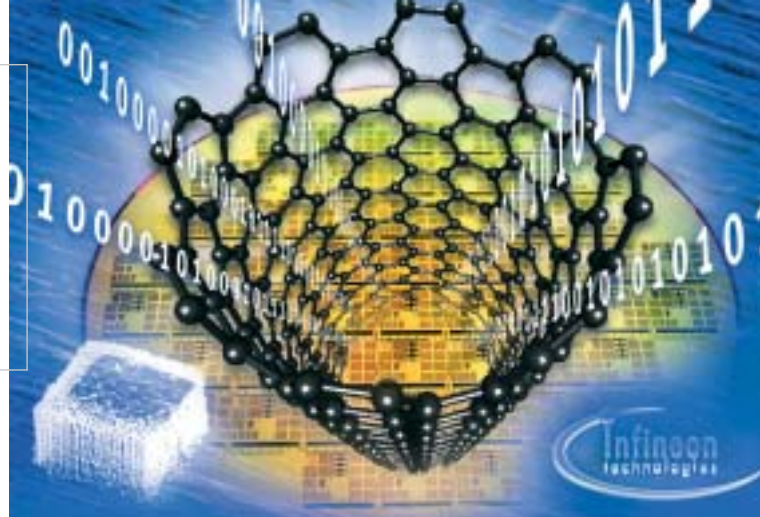
На фуллерены, полости из углеродных структур, возлагаются большие надежды в поиске экзотических материалов.



Роберт Керл с фуллеренами на кончиках пальцев, принесшими ему Нобелевскую премию.

Картина будущего: лифт к планетам.

Гигантские молекулы в роли ведущей ЭВМ: нанотрубки могут стать основой высокоэффективных микросхем будущего.



Сегодня науке известны многие разновидности углеродных структур, включая углеродные нанотрубки, крошечные углеродные трубки, которые можно сплести вместе и получить очень плотный материал. Техническая проблема массового производства таких нанотрубок, в принципе, уже решена.

Тем временем, многокомпонентным волокнам из готовых нанотрубок приписываются астрономические показатели предела прочности и вязкости разрушения. В настоящее время агентство NASA серьезно занимается проектом, целью которого является создание – с помощью своего рода индейского веревочного трюка – «лифта к планетам». По одному из сценариев с помощью обычной ракеты или спутника в космос будет протянута полоска многокомпонентного полотна из нанотрубок шириной один метр и толщиной тоньше бумаги. Один ее конец будет находиться в космосе на высоте примерно 100 000 километров, а другой будет закреплен в определенном районе Тихого океана возле экватора. Со стороны Земли полосу будет натягивать гравитационная сила, со стороны космоса – центростремительная сила. По этой полоске на орбиту Земли или даже на орбиты между Венерой и поясом астероидов можно будет транспортировать многотонные ракетные грузы. Полезные побочные продукты таких задумок: высокопрочные строительные материалы для высотных зданий, мостов и, конечно же, лифтов.

Возможности и риски

Очевидно, что нанотехнологии обладают огромным положительным потенциалом, по крайней мере, потенциалом к принесению прибыли. Нанотехнологиям приписывается огромный коммерческий потенциал в связи с инновациями во многих сферах применения. В Европе уже несколько сотен компаний занимаются коммерческим применением нанотехнологий, создавая десятки тысяч рабочих мест для высококвалифицированных специалистов. В этом отношении ученые и предприниматели единодушны: нанотехнологии вовсе не являются очередной фикцией.

Слишком хорошо, чтобы быть правдой? Теоретическая возможность появления супер-колонии уже описана в художественном произведении: в бестселлере Майкла Кричтона «Жертва» полчища умных наночастиц объединяются и образуют полуразумные создания,

которые нападают на своих создателей. В другой мрачной картине, созданной американским нанопророком Эриком Дрекслером, угроза видится в появлении так называемого «серого клея», серой массы неуправляемых нанороботов.

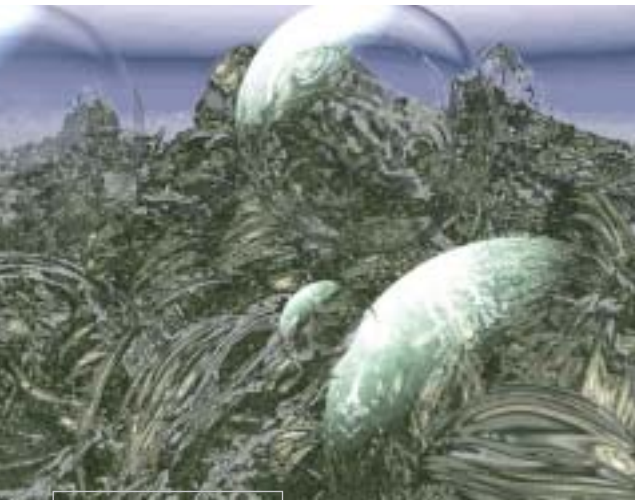
Эрик Дрекслер считает возможным создание программируемых нанороботов размером всего в миллионную долю миллиметра, способных создавать из имеющегося сырья что-то новое и большое по размеру. И если этот процесс выйдет из-под контроля, то вместо чего-то прекрасного появится этот серый клей, заразный и опасный как для человека, так и для приборов.

Большинство специалистов не воспринимают эту идею всерьез. Так, Ричард Смолли, лауреат Нобелевской премии по химии в 1996 году, указывает на особенность химических связей,

которая не позволяет соединиться друг с другом всем атомам и всем молекулам.

Уже одно это делает идею нано-бота, наноскопического робота или сборочной машины, маловероятной. Если таким «сборочным машинам» нужно будет по атомам собирать материю, им понадобятся «пальцы», в свою очередь тоже состоящие из атомов, а значит, имеющие определенную минимальную толщину. Этими пальцами придется не только хватать выбранный атом, во время сборки придется проверять каждый

Благодаря существованию проблемы «толстых и липких пальцев» сценарий с появлением «серого клея», придуманный Эриком Дрекслером, также маловероятен, как и идея о том, что нанотехнологии превратят мир в мармеладных детей.





Ричард Смолли, лауреат Нобелевской премии по химии, считает, что можно контролировать риски нанотехнологии.

атом в кубическом нанометре, и здесь пальцы только будут мешать. Но довольно об этом. К проблеме толстого пальца следует добавить проблему липких пальцев, поскольку схваченные атомы в зависимости от вида не так-то просто взять и положить, они начнут образовывать связи – это всем известное явление: не так-то легко будет снять с пальца эту клейкую частицу. Это весомые доводы, которые нелегко опровергнуть. И потому существование механических нано-ботов невозможно. Вероятно, Ричард Смолли прав: не стоит бояться появления армий неуправляемых наномашин, которые, разбушевавшись, превратят мир в серый клей.

Однако, возможно, имеются веские причины опасаться нежелательного воздействия наночастиц на человечество и окружающую среду. Так, наночастицы могут представлять опасность для здоровья, поскольку их микроскопические размеры позволяют им проникнуть в клетки тела и даже пройти сквозь биологические барьеры (такие как барьер на пути крови в мозг). Поскольку наночастицы – подобно другим видам ультрамелкой пыли, например, дизельной саже в выхлопных газах – могут вызвать неизвестные побочные эффекты, то сначала следует провести научные исследования, которые подтвердили бы их безопасность. На сегодняшний день о безопасности наночастиц

известно очень мало, поэтому ответы на главные вопросы необходимо найти как можно скорее с помощью соответствующих экспериментов nanoисследователей и токсикологов. Однако риски, кажется, можно предотвратить, так как существующие в природе наночастицы очень «липкие». Они очень быстро склеиваются в большие куски, от которых тело может легко избавиться. Нам уже известно, что некоторые наночастицы не опасны для здоровья. Поэтому они используются в солнцезащитных кремах в качестве светозащитного фактора или смешиваются с другими веществами в связанной форме, так что потребитель даже не вступает в контакт с отдельными наночастицами. В производстве тоже применяются соответствующие меры безопасности для того, чтобы исключить любой вред здоровью персонала и потребителей.

В то время как нано-боты являются чисто гипотетическими созданиями, обещания ученых, работающих на наноуровне, вполне реальны.

например, в виде высокочувствительных считывающих головок жестких дисков с тонким покрытием толщиной в двадцать и менее нанометров. Нанoeлектроника уже встроена в каждый ноутбук. Как и всякие эффективные технологии, нанотехнологии будут иметь свои побочные эффекты и упразднят многие простые задачи. Их место займут новые виды деятельности. Непрерывное обучение приобретает все большую важность, а с нанотехнологиями и оно может стать приятным занятием.

Дополнительная информация

Как стать наноинженером?

Посетив исследовательский центр, в котором серьезно занимаются нанотехнологиями, вы увидите, как в нем бок о бок трудятся представители самых разных естественно-научных специальностей: биологи, химики, инженеры всех специальностей, кристаллографы, минералоги, физики – общим знаменателем в их работе является атом и значительная часть простейшего математического аппарата. Поэтому все классические естественно-научные факультеты ведут к нанотехнологиям, хотя, например, в Университете Вюрцбурга последние начинают изучать как самостоятельную дисциплину. По словам Альфреда Форхеля с кафедры физики Университета Вюрцбурга тому, кто начал изучать нанотехнологии, нечего опасаться за перспективность этого направления (Выдержка внизу от 10/2003, Университет Вюрцбурга).

«Тенденция к миниатюризации не является модным увлечением в науке и подкрепляется огромным количеством разработок, поэтому вполне вероятно, что во многих дисциплинах, начиная от информационных технологий и заканчивая химией, прикладные исследования спустятся с микро- на наноуровень.»

Физики, химики и другие представители естественных наук могут с полным правом заявить, что всегда так или иначе были связаны с нанотехнологиями. Предметы изучения классической физики атома, изучаемые химиками молекулы – все являются обитателями нанокосмоса. Имеющиеся на сегодняшний день экспериментальные возможности, такие как тщательное атомное структурирование скоплений, слоев, микросхем, а также наличие веществ очень высокой степени очистки и исследования мельчайших биологических структур открывают новые горизонты возможностей, в том числе и для

инженерного дела. Альфред Форхель высоко оценивает перспективы трудоустройства наноинженеров:

«Разумеется, как и в других сферах бизнеса, возможность трудоустройства в нашем секторе тоже зависит от состояния экономики. Но все определяют относительно малые нюансы: естественно трудно себя проявить, если посылаешь заявки во многие компании. Мы предлагаем прохождение производственной практики на предприятиях, а это означает более близкое знакомство хотя бы с одной компанией. Кроме того, наши студенты имеют возможность писать дипломный проект, работая на предприятии, что делает их еще на один шаг ближе к работе. Плюс ко всему они изучают, по крайней мере, один не технический предмет, например, управление коммерческими предприятиями, приобретая дополнительные базовые навыки, необходимые для профессиональной деятельности».

Но без чего наноинженерам точно не обойтись, так это без хорошего естественно-научного образования, включая математическое, в Университете Вюрцбурга или где-либо еще:

Недостаточно просто мечтать о создании крошечной субмарины, плавающей в венах человека. Прежде чем дойти до этой стадии, требуется вложить огромное количество времени и усилий. Необходимо научиться описывать все математически и иметь хорошее знание таких основных предметов как физика и химия. Однако не стоит отчаиваться: ваши нано-фантазии будут вам хорошим подспорьем.

Идея запуска подложки в вены человека всего лишь киновыдумка: это не совсем про нанотехнологии, но в последних заложены большие деньги.

Контакты, ссылки, источники

Просьба учесть, что данная брошюра составлена в Министерстве Исследования Германии, BMBF, поэтому изначально предназначена для немецкоязычной аудитории. Ссылки на другие европейские факультеты, литературу и веб-сайты можно найти на Интернет-портале Европейской Комиссии, посвященном нанотехнологиям. (www.cordis.lu/nanotechnology).

Нанотехнологические специальности в Германии:

Нано-структурные технологии в Вюрцбурге

Университет Вюрцбурга
Веб-страница: <http://www.physik.uni-wuerzburg.de/nano/>
Контактный адрес: ossau@physik.uni-wuerzburg.de

Био- и нанотехнологии в Изерлоне

Технический Университет Южной Вестфалии
Веб-страница: <http://www2.fh-swf.de/fb-in/studium.bnt/bnt.htm>
Контактный адрес: Werner@fh-swf.de

Молекулярные науки в Эрлангене

Университет Эрлангена-Нюрнберга
Веб-страница: <http://www.chemie.uni-erlangen.de/Molecular-Science>
Контактный адрес: hirsch@chemie.uni-erlangen.de

Магистерский курс по Микро- и Нанотехнологиям в Мюнхене

Мюнхенский Технический Университет
Веб-страница: http://www.fh-muenchen.de/home/fb/fb06/studiengaenge/mikro_nano/home.htm
Контактный адрес: sotier@physik.fh-muenchen.de

Нано-молекулярные науки в Бремене

Бременский Международный Университет
Веб-страница: <http://www.faculty.iu-bremen.de/plathe/nanomol>
Контактный адрес: f.mueller-plathe@iu-bremen.de

Нано-структурные науки – Нано-структурные и молекулярные науки в Касселе

Кассельский Университет
Веб-страница: <http://www.cinsat.uni-kassel.de/studiengang/studiengang.html>
Контактный адрес: masseli@physik.uni-kassel.de

Экспериментальный Бакалаврский курс со степенью Бакалавра Наук по биофизике и нано-наукам в Билефельде

Университет Билефельда
Веб-страница: <http://www.physik.uni-bielefeld.de/nano.html>
Контактный адрес: dario.anselmetti@Physik.Uni-Bielefeld.de

Курс с получением диплома «Микро- и наноструктуры» в Саарбрюкене

Университет земли Саар
Веб-страница: <http://www.uni-saarland.de/fak7/physik/NanoMikro/InfoMikroNano.htm>
Контактный адрес: wz@lusi.uni-sb.de

Литературные источники:

BMBF-Programm IT-Forschung 2006 - Förderkonzept Nanoelektronik (Программа Федерального министерства образования и исследований по исследованиям в области информационных технологий 2006 – Концепт по развитию нанотехнологий)

Изд.: Федеральное министерство образования и исследований; Бонн, март 2002 г.

Vom Transistor zum Maskenzentrum Dresden,

Nanoelektronik für den Menschen (От транзистора до центра маскирования в Дрездене, нанoeлектроника для людей)

Изд.: Федеральное министерство образования и исследований; Бонн, октябрь 2002 г.

Nanotechnologie erobert Märkte- Deutsche Zukunftsoffensive für Nanotechnologie (Нанотехнология завоевывает рынки – наступление немецкой нанотехнологии в будущем)

Изд.: Федеральное министерство образования и исследований; Бонн, март 2004 г.

Bachmann, G.:

Innovationsschub aus dem Nanokosmos: Analyse & Bewertung Zukünftiger Technologien (Band 28) (Бахманн Г. Инновации из нанокосмоса: Анализ & оценка технологий будущего (том 28))

Изд.: Технологический центр VDI для BMBF; 1998 г.

Luther, W.:

Anwendungen der Nanotechnologie in Raumfahrtentwicklungen und -systemen (Лутер В. Применение нанотехнологий в космических разработках и системах (том 43))

Изд.: Технологический центр VDI, для DLR; 2003 г.

Wagner, V; Wechsler, D.:

Nanobiotechnologie II: Anwendungen in der Medizin und Pharmazie

(Вагнер В. Векслер Д. Нанобиотехнология II: применение в медицине и фармации) Определение требований технологии (Том 38)

Изд.: Технологический центр VDI, для BMBF; 2004 г.

Hartmann, U.:

Nanobiotechnologie – Eine Basistechnologie des 21. Jahrhunderts

(Гартман У. Нанобиотехнология – базисная технология 21 века. ZPT, Заарбрюкен, 2001 г.).

Rubahn, H.-G.:

Nanophysik und Nanotechnologie

Teubner Verlag 2002

(Рубан Х-Г.: Нанофизика и нанотехнологии, Издательство Тойбнер 2002)

Werkstoffinnovationen für Industrie und Gesellschaft-WING

(инновации в области материалов для промышленности и общества – ИМПО)

Изд.: Федеральное министерство образования и исследований; Бонн, октябрь 2003 г.

Интернет-ссылки

Нанотехнологический портал ЕС
www.cordis.lu/nanotechnology

Европейский Нанотехнологический Портал
www.nanoforum.org

Наногрузовик – Путешествие в нано-космос
www.nanotruck.net

Интернет-путешествие в мир десятичных долей
www.nanoreisen.de

Нанотехнологические новости и дискуссии
www.nano-invests.de

Спонсорство BMBF нанотехнологических исследований
<http://www.bmbf.de/de/nanotechnologie.php>

Нанотехнологический портал VDI-TZ
www.nanonet.de

Глоссарий

Топливная батарея: Прибор, в котором взаимодействующие без процесса горения водород и кислород (обычно берущиеся из воздуха) образуют воду с высоким выходом электроэнергии.

Нити биссуса: Другие популярные названия – «шелк» или «борода моллюска». Сложные по техническому составу нити, вырабатываемые моллюсками для прикрепления к поверхностям. С одной стороны они эластичны как резина, с другой имеют жесткость нейлона.

CNT: Углеродные нанотрубки

Скопления: Скопления мельчайших частиц, в данном случае атомов. Свойства скоплений обычно отличаются от свойств твердой формы тех же материалов, поскольку среди всего прочего в скоплениях содержится больше поверхностных атомов.

Диатомовые водоросли: Крошечные одноклеточные организмы, обитающие в пресной и соленой воде, имеющие очень сложную оболочку из диоксида кремния и воды. В диатомовых водорослях происходит фотосинтез, поэтому в них имеются светопроводящие структуры.

ДНК: Дезоксирибонуклеиновая кислота. Гигантская молекула в форме двойной спирали, содержащая информацию об устройстве организма и формулы myriad белков.

ESEM: Сканирующий электронный микроскоп для исследования в условиях окружающей среды – особый вид сканирующего электронного микроскопа, в котором допускается присутствие воздуха и влажности в держателе образца. Его линзы не проходят специальную обработку, скажем, парами золота.

Форисомы: Растительные белки, названные от латинского слова, обозначающего «створку двери»; в настоящее время исследуются как возможные претенденты на роль наноскопических искусственных мышц.

Лазер на свободных электронах: Лазерный свет генерируется ускорением потока электронов в вакуумной трубке.

Удвоитель частоты: Здесь, материал, удваивающий частоту света, например, превращающий инфракрасные лучи в зеленые.

Полупроводник: Материал, электрические свойства которого можно регулировать, превращая его в изолятор либо в проводник. Полупроводники стали одним из наиболее важных компонентов современных промышленных изделий вроде компьютеров и сотовых телефонов.

Лаборатория на чипе: Находящиеся в последней стадии разработки высокосложные микросхемы, которые с помощью микромеханики, микрожидкостей, нано-датчиков и наноэлектроники могут проводить сложнейшие исследования клеток, на которые иначе потребовались бы ресурсы целого исследовательского института. Это название употребляется и для относительно простых микроскопически отпечатанных объектоносителей.

Лейкоциты: Белые кровяные тельца, которые защищают тело, поглощая находящиеся в крови инородные тела, такие как вирусы и бактерии, а также остатки клеток и раковые клетки, или, как лимфоциты, производят антитела – особый вид клейких молекул.

Волоконно-оптическая нить: Отправляет свет на дальние расстояния по очень прозрачному материалу, обычно в целях передачи данных, но все чаще и для передачи энергии.

Литография: Здесь, метод производства микроскопических структур, обычно с помощью фотоактивного покрытия, которое обрабатывается световыми или электронными лучами, и после проявки открывает или скрывает участки поверхности для последующей гравировки или других процессов.

Шаблон: Вид прозрачной пленки с нанесенным на нее планом компьютерной микросхемы, который затем литографически переносится на силиконовые пластины.

Микролинзовые поля: Микро-оптические элементы, необходимые для передачи информации с помощью света.

Мицеллы: Крошечные сферические природные структуры, используемые, в данном случае моллюсками, в качестве транспортировочных контейнеров.

Фаза: Здесь: Условие или состояние, например, упорядоченное/разупорядоченное или кристаллическое/аморфное.

Фотосинтез: Зеленые растения, водоросли и цианобактерии (синие водоросли) получают энергию с помощью фотосинтеза. Под действием солнечного света углекислый газ и вода превращаются в них в сахара и воду. В процессе фотосинтеза выход энергии составляет ни много, ни мало – более 80 процентов.

Пьезокристаллы: При сжатии или растяжении пьезоэлементы производят электричество, например, искры зажигания в «электронных» зажигалках. И, наоборот, с помощью электрического тока параметрам пьезоэлектрического кристалла можно придать изменения вплоть до долей диаметра атома.

Белки: Большие молекулы, собранные рибосомами из аминокислот и выполняющие в клетках роль либо наноскопических инструментов, либо строительного материала для всего, начиная от хрусталика глаза до ногтей. Расшифровка протеома, суммы всех белков и их взаимодействий в клетке, только начинается.

Квантовый компьютер: Использует правила квантовой механики для решения проблем, практически неразрешимых с помощью обычных компьютеров, например, проблемы шифрования информации. Находится на теоретической стадии разработки.

Рефлектины: Особые белки, используемые организмами для создания светоотражающих структур.

Рибосомы: Нано-аппараты, производящие мириады белков и контролируемые молекулярной лентой с информацией из генетического материала ДНК.

Рентгеновское излучение: Коротковолновое электромагнитное излучение, используемое, помимо всего прочего, при анализе структуры кристаллов для определения наноскопических форм молекул.

Туннельный ток: Ток, которого по идее быть не должно, поскольку на его пути встает участок-изолятор, однако в нано-мире ток в этом случае течет, хотя и зависит от размера участка-изолятора. Благодаря этому эффекту стало возможным появление сканирующего туннельного микроскопа.

Ультрафиолетовое излучение: Коротковолновое излучение, позволяющее наносить на микросхемы тончайшие структуры.

Ван-дер-ваальсова связь: Слабая химическая связь между молекулами, образующаяся благодаря свойствам пустых мест у молекул. Ван-дер-ваальсова связь также определяет свойства воды, а значит и всех жизненных процессов.

Иллюстрации

- П. 6, верху: Kompetenzzentrum Nanoanalytik, Гамбургский Университет
П. 6, внизу: Lambda Physik AG, Геттинген
П. 7, верху: Infineon Technologies AG, Мюнхен
П. 7, внизу: BergerhofStudios, Кельн
П. 8, верху слева: Фонд химического наследия
П. 8, верху и внизу справа, внизу слева: BergerhofStudios, Кельн
П. 9, верху слева: NASA/ESA
П. 9, верху справа: DESY, Гамбург
П. 9, в центре слева: BergerhofStudios, Кельн
П. 9, внизу справа: Институт Экспериментальной и Прикладной Физики, Кильский Университет
П. 10, верху слева: REM-Labor, Университет Базеля
П. 10, Серия иллюстраций, начиная сверху: BergerhofStudios, Кельн; то же; то же; REM-Labor Университет Базеля; Нобелевский Комитет Стокгольм (измененная); DESY, Гамбург
П. 11, верху слева: Ботанический Институт, Университет Бонна
П. 11, верху справа: REM-Labor, Университет Базеля
П. 11, Серия иллюстраций, начиная сверху: BergerhofStudios, Кельн; то же; Fraunhofer Gesellschaft; Ботанический Институт, Университет Бонна; то же.; TU (Технический Университет) Берлин, FU (Свободный Университет) Берлин
П. 11, фоновая иллюстрация: BASF AG
П. 12, верху слева + справа: MPI für Metallforschung, Штутгарт
П. 12, в центре справа: ESA
П. 12, внизу слева: MPI für Metallforschung, Штутгарт
П. 13, верху слева: Ostseelabor Фленсбург, далее: BergerhofStudios, Кельн
П. 13, верху справа: Университет Флоренции, Италия
П. 13, в центре справа: Институт Палеонтологии, Университет Бонна
П. 13, внизу слева: BergerhofStudios, Кельн
П. 13, внизу справа: SusTech, Дармштадт
П. 14, верху, в центре и справа: Bell Laboratories, США
П. 14 слева: Кафедра Биохимии, Университет Регенсбурга
П. 15, верху: Институт Новых Материалов, Саарбрюкен
П. 15, в центре справа: Degussa AG Новые Наноматериалы
П. 15, внизу справа: Институт Геофизики, Мюнхенский Университет
П. 15, внизу: Институт Физической Химии, Гамбургский Университет
П. 16, верху + внизу слева: ESA
П. 16, внизу справа: Корпорация АйБиЭм (IBM)
П. 17, верху + в центре слева: Физика IV, Университет Аугсбурга
П. 17, График внизу справа: BergerhofStudios, Кельн
П. 17, внизу: Гавайский Университет, Гонолулу
П. 18, слева: Carl Zeiss SMT AG, Оберкохен
П. 19, верху справа: Carl Zeiss SMT AG, Оберкохен
П. 19, внизу слева: ИИТ RWTH Ахен
П. 19, внизу справа: Schott AG, Майнц
П. 20, верху слева: Bayer AG, Леверкузен
П. 20, внизу слева: MPI (интерфейс с передачей сообщения) для Квантовой Оптики, Гархинг
П. 21, все иллюстрации: DESY, Гамбург
П. 22, верху слева: BergerhofStudios, Кельн
П. 22, внизу справа: Институт Новых Материалов, Саарбрюкен
П. 23, верху слева: NILIT, Программа ЕС Джоуль-III
П. 23, верху справа: NASA/ESA
П. 23, внизу справа: Штутгартский Университет
П. 24, все иллюстрации: BergerhofStudios, Кельн
П. 25, верху слева: National Semiconductor, Фельдафинг
П. 25, внизу справа: Новые МикроПриборы (AMD), Дрезден
П. 26, верху справа: График: BergerhofStudios, Кельн
П. 26, в центре слева: Экспериментальная Физика IV RUB, Бохум
П. 26, внизу: Институт Экспериментальной и Прикладной Физики, Кильский университет
П. 27, верху справа: График: BergerhofStudios, Кельн
П. 27, внизу: ИИТ RWTH Ахен
П. 28, верху справа: Корпорация АйБиЭм
П. 28, внизу слева: Infineon Technologies AG, Мюнхен
П. 28, внизу справа: АйБиЭм/Infineon, Союз разработчиков MRAM
П. 29, верху: Экспериментальная физика IV RUB Бохум
П. 29, в центре: Kompetenzzentrum Nanoanalytik, Гамбургский Университет
П. 29, справа: Кафедра Нанозлектроники, RUB Бохум
П. 29, внизу: IBM Speichersysteme Deutschland GmbH, Майнц
П. 30: Siemens AG, Мюнхен
П. 31, верху справа: Nanosolutions GmbH, Гамбург
П. 31, в центре: Институт Новых Материалов, Саарбрюкен
П. 32, внизу: Siemens AG, Мюнхен
П. 32, верху: DaimlerChrysler AG
П. 32, внизу слева: Fraunhofer Allianz Оптические функциональные поверхности
П. 32, внизу справа: Университет Висконсина, Мэдисон
П. 33, верху: Robert-Bosch GmbH, Штутгарт
П. 33, в центре: Infineon Technologies AG, Мюнхен
П. 33, внизу слева: из архивов журнала «Volkswagen»
П. 33, внизу справа: Robert-Bosch GmbH, Штутгарт
П. 34, верху слева: Bayer AG, Леверкузен
П. 34, верху справа: Институт Новых Материалов, Саарбрюкен
П. 34, внизу слева: Keratag AG, Ратинген
П. 35, верху: BASF AG, Людвигшафен
П. 35, в центре: MTU Фридрихшафен
П. 35, внизу справа: Siemens AG, Мюнхен
П. 36, верху слева: Bayer AG, Леверкузен
П. 36, верху справа: Siemens AG, Мюнхен
П. 36, внизу: Infineon Technologies AG, Мюнхен
П. 37, верху слева: Siemens AG, Мюнхен
П. 37, верху справа: Siemens AG, Мюнхен
П. 37, в центре: Charité Берлин /Институт Новых Материалов, Саарбрюкен
П. 38, верху справа: BergerhofStudios, Кельн
П. 38, слева: Infineon Technologies AG, Мюнхен
П. 38, справа: IIP Technologies, Бонн
П. 39, верху слева: Siemens AG, Мюнхен
П. 39, верху справа: Fraunhofer ISIT
П. 39, в центре справа: Оксфордский Университет
П. 39, внизу слева, справа: Infineon Technologies AG, Мюнхен
П. 40, верху слева: OSRAM Опто Полупроводники GmbH, Регенсбург
П. 40, верху справа: Audi/Volkswagen AG
П. 40, внизу: График: BergerhofStudios, Кельн
П. 41, верху: Парк Отеля Веггис, Швейцария
П. 41, внизу: Siemens AG, Мюнхен
П. 42, верху слева: BergerhofStudios, Кельн
П. 42, внизу слева: Bayer AG, Леверкузен
П. 43, верху: AIXTRON GmbH, Ахен
П. 43, справа: Институт Fraunhofer Солнечных Энергосистем, Фрайбург
П. 44: Институт Авиационного Строительства, Штутгартский Университет
П. 45, верху слева, справа: MTU Фридрихшафен
П. 45, в центре слева: Институт Аэрокосмического Проектирования, Штутгартский Университет
П. 45, в центре справа: Fuseproject
П. 45, внизу: Korf Solar design GmbH, Гамбург
П. 46, верху слева: коллаж: BergerhofStudios, Кельн
П. 46, внизу справа: RWTH Ахен
П. 47, верху слева: Siemens AG, Мюнхен
П. 47, верху справа: Infineon Technologies AG, Мюнхен
П. 47, внизу: NASA
П. 48, в центре: BergerhofStudios, Кельн
П. 49: Корпорация АйБиЭм (IBM), Вставка: Siemens AG, Мюнхен



EUROPEAN
COMMISSION

Community research

European Industrial Research

Uncovering the secrets of nanotechnology



Films available from: <http://www.cordis.lu/nanotechnology>

Contact:

Renzo Tomellini, European Commission - email: renzo.tomellini@cec.eu.int

Industrial technologies websites:

http://europa.eu.int/comm/research/industrial_technologies/index_en.html

<http://www.cordis.lu/tp6/nmp.htm>

<http://www.cordis.lu/nanotechnology>



NANOTECHNOLOGIES, KNOWLEDGE-BASED MATERIALS, NEW PRODUCTION

Европейская Комиссия

EUR 21151 — Нанотехнологии – Новинки завтрашнего дня

Люксембург: Служба по официальным изданиям Европейского Сообщества, 2006

2006 — 56 П. — 21,0 x 29,7 см

ISBN 92-79-00336-4

Нанотехнология рассматривается в качестве ключевой технологии 21 века. Она может предложить решения многих существующих проблем с помощью меньших, более легких и быстрых, а также лучше работающих материалов, компонентов и систем. Нанотехнология открывает новый рынок возможностей и может также внести значительный вклад в охрану здоровья и окружающей среды.

Цель данной брошюры - рассказать общественности о нанотехнологии и, таким образом, способствовать обсуждению этой темы. Преподнося научную информацию, рассказывая о технических разработках, областях применения и возможностях в будущем, настоящая публикация дает комплексное и полноценное представление о нанотехнологии, как мы понимаем ее сегодня.