

**ТЕМА: Приборостроение. Определение понятий «нанотехнологии» и «наноматериалы». Процессы самосборки и самоорганизации. Зондовые технологии и атомная инженерия. Нанолитография. Основные методы получения наноматериалов. Углеродные наноструктуры, их получение и свойства.**

*Цель занятия:* Рассмотрение основных понятий: «нанотехнологии» и «наноматериалы». Формирование представлений о принципах работы зондовых технологий, атомной инженерии и нанолитографии.

Содержание

Понятие «нано» произошло от греческого слова «нанос» — что означает карлик. «Нанометр» — это единица измерения длины равная одной миллиардной части метра. Это примерно в 100 тысяч раз тоньше человеческого волоса. Как представить себе такой размер? Проще всего это сделать с помощью денег: нанометр и метр соотносятся по масштабу как копеечная монета и земной шар

**Нанотехнологии** – это способы создания наноразмерных структур, которые придают материалам и устройствам полезные, часто непривычные для нас свойства. Нанотехнология позволяет поместить частицу лекарства в нанокапсулу и точно нацелить на пораженную болезнью клетку, не повредив соседние. Фильтр, пронизанный бесчисленными нанометровыми каналами, которые пропускают воду, но слишком тесны для примесей и микробов, тоже продукт нанотехнологий (рис.1)



Рисунок 1. - Нанотехнологии

В лабораториях нанотехнологов уже испытывают суперматериалы — углеродные волокна, в тысячи раз прочнее стали, покрытия, делающие предмет невидимым. Создание материалов с такими замечательными свойствами стало

возможно благодаря тому, что нанотехнологи работают с веществом на атомном и молекулярном уровне.

**Наноматериалы** — материалы, созданные с использованием наночастиц и/или посредством нанотехнологий, обладающие какими-либо уникальными свойствами, обусловленными присутствием этих частиц в материале. К наноматериалам относят объекты, один из характерных размеров которых лежит в интервале от 1 до 100 нм (рис.2)



Рисунок 2. - Наноматериалы

Наноматериалы имеют необычные свойства, так как у них есть следующие особенности:

- с уменьшением размера частиц значительно увеличивается значение поверхностей раздела, так как она у вещества с настолько мелкими частицами становится очень большой, причем свойства поверхностей раздела в нанометровом интервале отличаются от свойств поверхностей раздела у обыкновенных материалов. Например, на них обычно нет толстого слоя присоединенных частиц газов и других веществ.

- размер частиц по мере их уменьшения может быть соизмерим с характерными размерами некоторых физических явлений, например, интерференции. Поэтому наночастицы не всегда можно обнаружить оптическими методами, например, в световой микроскоп;

- частицы вещества, измельченного до наноразмеров, имеют практически совершенное кристаллическое строение, и поэтому сильно отличаются по свойствам от соответствующих неизмельченных веществ.

При измельчении материала до наноразмеров его свойства кардинально меняются. Например, сильно уменьшается температура плавления, что обусловлено значительно большей свободной энергией таких частиц. Также наночастицы металлов могут приобретать свойства неметаллов и наоборот.

Для **получения наноматериалов** используют различные методы: порошковая металлургия, кристаллизация из аморфного состояния, интенсивная

пластическая деформация, различные методы нанесения наноструктурных покрытий (химическое и электролитическое осаждение) и т.д.

**Зондовая технология** представляет собой совокупность методов обработки и изменения свойств материала на уровне отдельных атомов, молекул и элементов нанометровых размеров с помощью острейшего зонда с одновременной визуализацией и контролем процесса.

Вообще слово технология произошло от греческих слов *techne* — искусство, мастерство, умение и *logos* — слово, учение. В такой трактовке зондовая нанотехнология является вершиной человеческой мудрости и искусства создания приборов и устройств из отдельных атомов и молекул.

В основе зондовой нанотехнологии лежат уникальные приборы с зондом — сканирующий туннельный микроскоп (СТМ) и атомно-силовой микроскоп (АСМ).

**Нанолитография** — это область техники в нанотехнологиях, связанная с разработкой структур нанометрового масштаба. В переводе с греческого это слово можно разделить на три части: «нано» — карлик, «лит» — камень и «графи» — писать или «крошечные буквы на камне». Сегодня это слово расширилось, чтобы охватывать проектирование структур в диапазоне от  $10^{-9}$  до  $10^{-6}$  метров или структур в нанометровом диапазоне (рис.3)

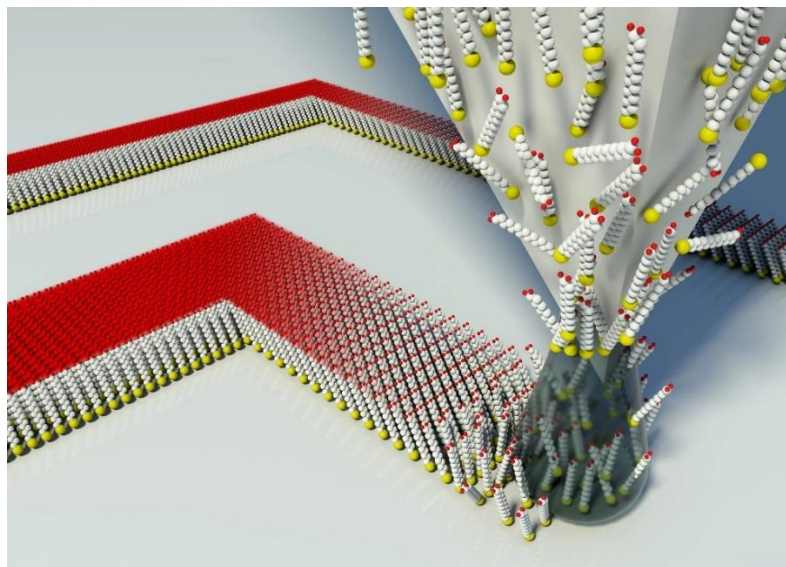


Рисунок 3. - Нанолитография

Все нанолитографические методы можно разделить на две категории: те, которые вытравливают молекулы, оставляя желаемую структуру, и те, которые непосредственно записывают желаемую структуру на поверхность (аналогично тому, как 3D-принтер создает структуру).

**Самосборка** (англ. *self-assembly*) — процесс образования упорядоченной надмолекулярной структуры или среды, в котором в практически неизменном

виде принимают участие только компоненты (элементы) исходной структуры, аддитивно составляющие или «собирающие», как части целого, результирующую сложную структуру (рис.4)



Рисунок 4. - Самосборка

Основными методами самосборки в системах из наночастиц являются следующие:

1. Самосборка с помощью молекулярного взаимодействия, как это делает ДНК при репликации.
2. Самосборка с помощью внутримолекулярного взаимодействия, как это делают молекулы белков
3. Использование внешнего магнитного и электрического полей. Они могут ориентировать наночастицы и начать процесс самосборки
4. Использование потока жидкости, в которой находятся наночастицы, особенно ламинарного, без перемешивания слоев текущей жидкости
5. Использование вспомогательной твердой поверхности для временной фиксации наночастиц

В настоящее время самосборку в основном используют для получения нанопленок из различных наночастиц.

Производства собственных микросхем имеются только у развитых стран, так как поддерживать в рабочем состоянии заводы микросхем – сложная и дорогостоящая задача. Основными мировыми производителями микросхем являются AMD, INTEL, TSMC. В Республике Беларусь микросхемы производят предприятия, входящие в научно-производственное объединение под управлением ОАО «Интеграл».

Однако у микроэлектроники есть серьезное ограничение: при уменьшении размеров транзистора его потребляемая мощность сильно растет и при этом его эффективность уменьшается. Поэтому невозможно уменьшать транзисторы (и делать более эффективные микросхемы) бесконечно. Возможность преодоления



этого затруднения обозначил физик мирового уровня Р. Фейнман, отметив в 1959 г., что «там, внизу, еще очень много места». Он говорил о нанотехнологиях<sup>i</sup>.

Следует отметить, что из-за чрезвычайно высокой химической активности наночастицы почти всех веществ агрессивны химически, и поэтому могут проявлять ядовитые свойства. Это называют нанотоксичностью.

На основе этих особенностей появилась отдельная отрасль электроники – нанoeлектроника<sup>ii</sup>, которая активно использует структуры и эффекты, появляющиеся при наноразмерах.

Одним из наиболее значительных эффектов является кулоновская блокада<sup>iii</sup>: электрон, попавший в наночастицу вещества, заряжает ее отрицательно и своей кулоновской силой отталкивания не позволяет другим электронам заходить в эту наночастицу. На этом эффекте уже создан прототип одноэлектронного транзистора<sup>iv</sup> (рисунок 5,6), который способен перемещать электроны за счет колебаний маятника, имеющего наноразмеры.

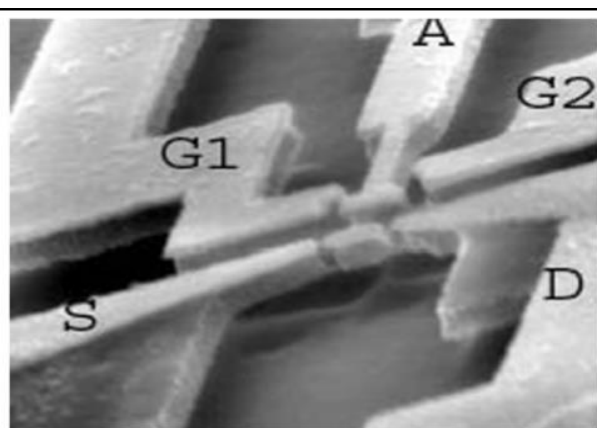
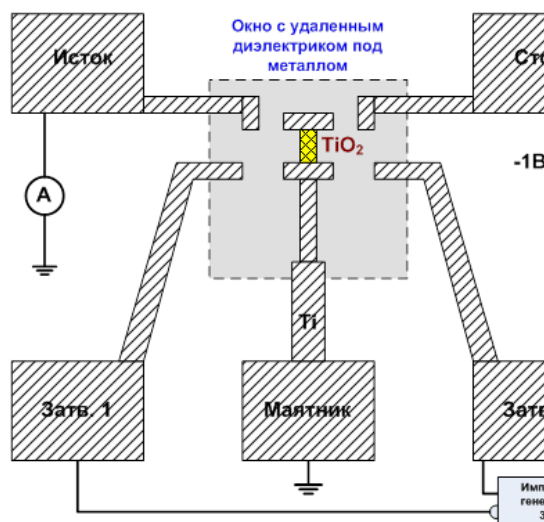


Рисунок 5. – Устройство одноэлектронного транзистора



<https://studfile.net/preview/5701969/page:12/>

Рисунок 6 – Микрофотография одноэлектронного транзистора.

Обозначения (соответствуют устройству одноэлектронного транзистора)

G1 – затвор 1

G2 – затвор 2

S – исток

A – маятник

D – сток



[https://www.electronics.ru/files/article\\_pdf/0/article\\_638\\_558.pdf](https://www.electronics.ru/files/article_pdf/0/article_638_558.pdf)

Принцип действия транзистора прост: электроны из истока попадают в сток только с помощью маятника, который, как паром, может транспортировать лишь счетное их число из-за кулоновской блокады. Маятник движется только тогда, когда на затвор 1 и затвор 2 подают управляющее напряжение заданной формы. Таким образом можно обеспечить управляемый транспорт отдельных электронов, что позволит контролировать ток через транзистор. Отмечается, что этот «механический» транзистор лишен недостатков, связанных с протеканием тока у обычного микроэлектронного прибора, и поэтому его можно уменьшать гораздо сильнее без потери мощности и уменьшения эффективности.

Отдельным источником инноваций в области нанoeлектроники являются **углеродные нанотрубки (УНТ) и графен**.

Первичным элементом графена является плоская ячейка из шести атомов углерода, объединенных прочными химическими связями в правильный шестиугольник, называемый бензольным кольцом. Графен представляет собой двумерную систему колец, образующую лист. Уникальным материалом графен делают два его свойства. Во-первых, графен отличается исключительно высоким качеством, сочетающим его химическую чистоту и совершенство структуры. Исключительно высокая электропроводность графена также обусловлена его идеальной структурой. Электроны могут перемещаться по ней, не испытывая рассеяния на несовершенствах структуры или чужеродных атомах. Второе уникальное свойство графена состоит в том, что электроны проводимости движутся в нем намного быстрее, чем в обычных металлах и полупроводниках (скорость движения всего на два-три порядка меньше скорости света).

Перспективными областями использования графена считается создание высокопрочных композитных материалов, автоэмиссионных катодов, создание сверхпроводящих транзисторов сверхбыстродействующих устройств и транзисторов со спиновыми клапанами, сверхчувствительных химических детекторов, прозрачных и проводящих покрытий для ЖК-дисплеев и солнечных элементов.

Если свернуть графеновый лист в трубку, получится углеродная нанотрубка (рисунок 7). Нанотрубки – это одни из первых наноструктур, полученных человечеством искусственно. Нанотрубки имеют замечательные физические и химические свойства, основными из которых являются следующие:

- нанотрубки могут быть диэлектриками, полупроводниками и сверхпроводниками, причем без изменения их материала. При добавлении примесей свойства нанотрубок могут сильно меняться.
- нанотрубки могут изменять свои магнитные свойства от идеального диамагнетика до ферромагнетика.
- прочность нанотрубок на два порядка выше прочности лучших сталей, многократный изгиб (на частотах в сотни ГГц) не приводит к усталостному разрушению.
- нанотрубки демонстрируют широкий спектр химических реакций с различными веществами, возможность замены или достраивания в нанотрубку отдельных атомов, возможность построения наноструктур атом за атомом, выдающиеся абсорбционные свойства;
- нанотрубки обладают электронной эмиссией, что позволяет строить на их основе излучающие приборы, например, сверхтонкие дисплеи; при облучении или освещении нанотрубки меняют свое сопротивление или геометрические размеры, что создает предпосылки получения сверх малых фотоприемных устройств с высоким разрешением.

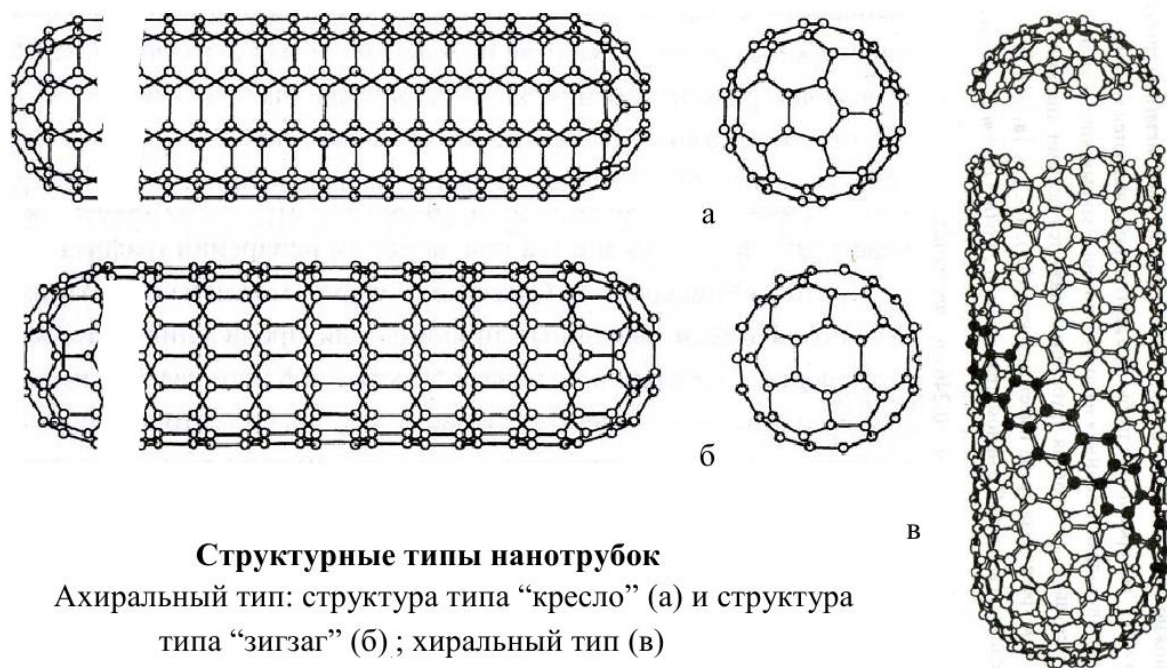


Рисунок 7. - углеродная нанотрубка

## Видео по теме: Нанотехнологии



<https://youtu.be/b9T0lzOvz5g>

---

<sup>i</sup> *Нанотехнология* – область фундаментальной и прикладной науки и техники, имеющая дело с совокупностью теоретического обоснования, практических методов исследования, анализа и синтеза, а также методов производства и применения продуктов с заданной атомной структурой путём контролируемого манипулирования отдельными атомами и молекулами.

<sup>ii</sup> *Нанoeлектроника* – раздел электроники, который изучает теоретические аспекты и практическое применение свойств наноматериалов и наночастиц для создания электронных изделий.

<sup>iii</sup> *Кулоновская блокада* – явление, при котором помещенный в наночастицу электрон не позволяет остальным электронам передвигаться в ту же наночастицу за счет своей кулоновской силы отталкивания.

<sup>iv</sup> *Одноэлектронный транзистор* – транзистор, ток в котором контролируется путем управления перемещением счетного количества электронов (в идеале – одного электрона). Обыкновенные транзисторы управляют потоком электронов, число которых велико и может быть определено лишь условно.