

**Всероссийский конкурс научно-исследовательских работ студентов вузов в области
нанотехнологий и наноматериалов**

Раздел конкурса

Наноинженерия

ВУЗ Рязанский государственный радиотехнический университет

Факультет электроники

Кафедра биомедицинской и полупроводниковой электроники

Нанокуглеродные структуры

Выполнил:

Студент Маслов А.В.

Научный руководитель д.ф.-м.н., профессор Холомина Т.А.

2009 г.

Аннотация

У углерода имеется три аллотропных вида – графит, алмаз и фуллерен. Каждый этот вид обладает своими уникальными свойствами, но имеются и объединяющие их признаки. К общим можно отнести то, что они состоят из атомов углерода и каждый из этих видов при определенных условиях может переходить в другой вид. Исходя из последнего свойства сейчас получают искусственные алмазы из графита, сжигая его при температуре 2400 °С при давлении свыше 10 ГПа[1].

Отличительным признаком графита является его слоистая структура. Каждый слой состоит из атомов углерода, имеющих форму правильных шестиугольников ковалентно связанных друг с другом. Соседние слои удерживаются между собой силами Ван-дер-Ваальса. Прочность последних слабая, поэтому вещество можно легко «расслоить».

Если касаться второго аллотропного состояния углерода называемым алмаз, то здесь структура решетки разительно отличается. Она представляет собой трехмерную тетраэдрическую структуру, где каждый атом углерода связан ковалентной связью с четырьмя другими атомами. Расстояния между частицами кристаллической решетки постоянно и равняется 0.154 нм. каждый атом в решетке сильно связан с другими и образует как бы одну гигантскую макромолекулу. Поэтому алмаз обладает высокой прочностью, благодаря высокой энергии ковалентных связей.

В молекулах фуллерена атомы углерода расположены в вершинах правильных шести- и пятиугольников. Из которых составлена поверхность сферы или эллипсоида. Самый симметричный и наиболее полно изученный представитель семейства фуллеренов – фуллерен C₆₀, в котором углеродные атомы образуют многогранник, состоящий из 20 шестиугольников и 12 пятиугольников и напоминающий футбольный мяч. Так как каждый атом углерода фуллерена C₆₀ принадлежит одновременно двум шести- и одному пятиугольнику, то все атомы в C₆₀ эквивалентны. Однако не все связи имеют одинаковую длину: общая сторона для двух шестиугольников равна 0.139 нм, общая сторона для шести- и пятиугольника, длиннее и равна 0.144 нм.

Высшие фуллерены, содержащие большее число атомов углерода (до 400), образуются в значительно меньших количествах и часто имеют довольно сложный изомерный состав. Среди наиболее изученных высших фуллеренов можно выделить C_n, n = 74, 76, 78, 80, 82 и 84[2].

Разнообразие углеродных структур на этом не ограничивается, так как существует углеродный каскад который напоминает форму трубы – так называемая нанотрубка.

Сейчас наноуглерод активно внедряется в компьютерную индустрию и электронику. Уже в ближайшем будущем могут появиться плоские эмиссионные мониторы. Работающие на матрице из нанотрубок, и позволяющие получить изображение высокого качества и четкости. Использование фуллеренов в качестве иглы для сканирующего туннельного микроскопа позволяет производить более детальный анализ при изучении различных материалов[3].

Тенденция к миниатюризации приведет к тому, что современные элементы различных схем заменят их нанометровыми аналогами. Использование топливных ячеек на основе нанотрубок дают нам возможность увеличить время работы различных устройств питания для сотовых телефонов и портативных компьютеров.

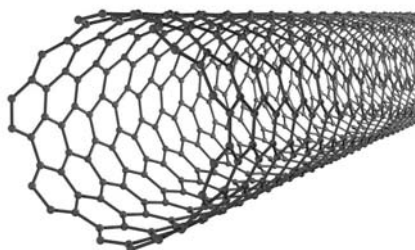
Содержание

1. Введение.....	4
2. Классический углерод	4
3. Фуллерены и нанотрубка	5
4. Свойства углеродных нанотрубок.....	6
5. Применение углеродных наноструктур	7
6. Список используемых источников.....	11

1.



фуллерен, названный именем архитектора Бакминстера Фуллера, задолго до этого использовавшего подобную структуру из пяти- и шестиугольников при построении куполов.



луковицы.

Сейчас наноуглерод активно внедряется в компьютерную индустрию и электронику. Уже в ближайшем будущем могут появиться плоские эмиссионные мониторы, работающие на матрице из нанотрубок, и позволяющие получить высококлассное изображение высокой четкости. Использование фуллеренов в качестве игла для сканирующего туннельного микроскопа позволит производить более детальный анализ при изучении различных материалов. Тенденция к миниатюризации приведет к тому, что современные элементы различных схем заменят их нанометровые аналоги. Использование топливных ячеек на основе нанотрубок дают нам возможность увеличить время работы различных устройств питания для сотовых телефонов и портативных компьютеров.

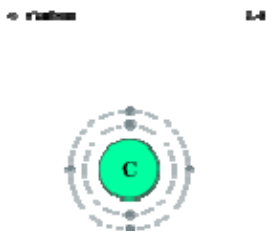
Введение

История наноуглерода начинается в 1985 году, когда обнаружили одну из форм – фуллерен. Английский ученый Г. Крого вел исследования с целью обнаружить жизнь в межзвездном пространстве. Будущий нобелевский лауреат пытался создать такой углеродный объект, который объяснял бы полосы поглощения в межзвездной среде. Со своими коллегами из США – Керлом и Смолли ему удалось экспериментально обнаружить устойчивое соединение из 60 и 70 атомов углерода. Самое удивительное, что только на основе этого факта стабильности, им удалось предсказать их структуру. Так и появился

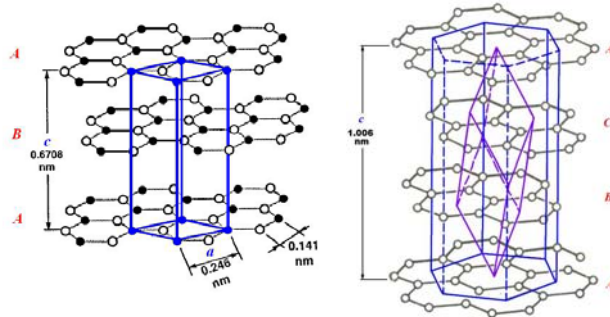
До этого считалось, что углерод имеет два аллотропных вида углерода – графит и алмаз. Оказалось же, что атомы углерода могут образовывать замкнутую полую сферу, которая по форме напоминает футбольный мячик. Через пять лет был придуман метод получения фуллеренов в макроскопических количествах. А в последующие 5-6 лет были получены в эксперименте еще несколько родственных форм углерода: углеродные нанотрубки, углеродные

2. Классический углерод

Любое вещество состоит из атомов и молекул, связанных между собой химическими связями. Атомарный состав вещества, это обычный углерод, а значит мы имеем дело с субстанцией, которые состоят из одних и тех же атомов, только ведут они себя в разных ситуациях по-разному, отсюда имеют различные свойства. Это объясняется тем, что атомы



углерода, вступая в связи, образуют присущую каждому веществу кристаллическую решетку и вид связи между атомами.



При исследовании графита, используя специальный микроскоп, то можно обнаружить, что он имеет слоистую структуру. Каждый такой слой состоит из атомов углерода, имеющих форму правильных шестиугольников ковалентно связанных друг с другом. Соседние слои удерживаются между собой силами Ван-дер-Ваальса. Прочность последних слабая, поэтому вещество можно легко «расслоить».

Если касаться второго аллотропного состояния углерода называемым алмаз, то здесь структура решетки разительно отличается. Она представляет собой трехмерную тетраэдрическую структуру, где каждый атом углерода связан ковалентной связью с четырьмя другими атомами. Расстояние между частицами кристаллической решетки постоянно и равняется 154 нм. Каждый атом в решетке сильно связан с другими и образует как бы одну гигантскую макромолекулу. Поэтому алмаз обладает высокой прочностью, благодаря высокой энергии ковалентных связей.

3. Фуллерены и нанотрубки

В молекулах фуллеренов атомы углерода расположены в вершинах правильных шести- и пятиугольников, из которых составлена поверхность сферы или эллипсоида. Самый симметричный и наиболее полно изученный представитель семейства фуллеренов — фуллерен (C_{60}), в котором углеродные атомы образуют многогранник, состоящий из 20 шестиугольников и 12 пятиугольников и напоминающий футбольный мяч. Так как каждый атом углерода фуллерена C_{60} принадлежит одновременно двум шести- и одному пятиугольнику, то все атомы в C_{60} эквивалентны, что подтверждается спектром ядерного магнитного резонанса (ЯМР) изотопа ^{13}C — он содержит всего одну линию. Однако не все связи С-С имеют одинаковую длину. Связь $C=C$, являющаяся общей стороной для двух шестиугольников, составляет 1.39 А, а связь С-С, общая для шести- и пятиугольника, длиннее и равна 1.44 А. Кроме того, связь первого типа двойная, а второго — одинарная, что существенно для химии фуллерена C_{60} .

Следующим по распространённости является фуллерен C_{70} , отличающийся от фуллерена C_{60} вставкой пояса из 10 атомов углерода в экваториальную область C_{60} , в результате чего молекула C_{70} оказывается вытянутой и напоминает своей формой мяч для игры в регби.

Так называемые высшие фуллерены, содержащие большее число атомов углерода (до 400), образуются в значительно меньших количествах и часто имеют довольно сложный изомерный состав. Среди наиболее изученных высших фуллеренов можно выделить $C_n, n=74, 76, 78, 80, 82$ и 84.

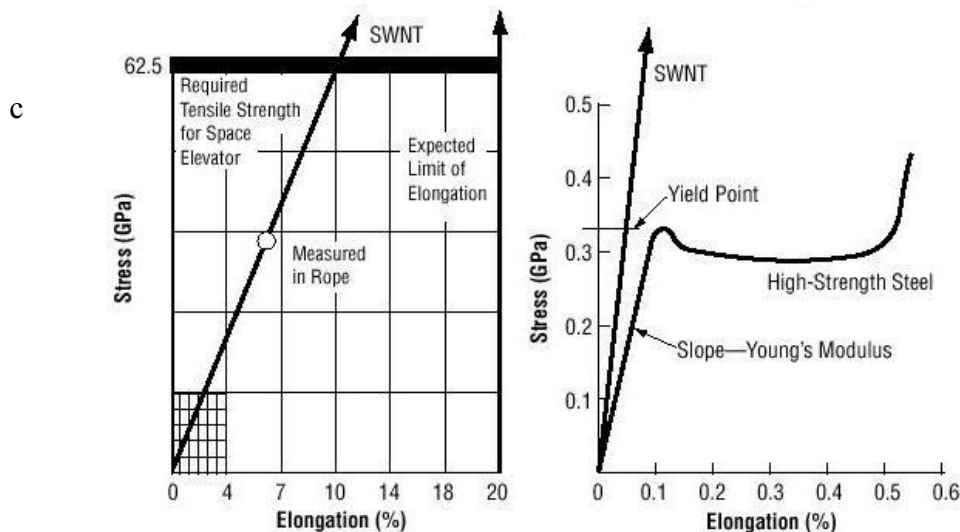
Разнообразие углеродных структур на этом не ограничивается, так как существует углеродный каскад который напоминает форму трубы — так называемая нанотрубка. Считается, что они были открыты японским ученым Индзимой в 1991 году, хотя существует и более ранние свидетельства их открытия. Нанотрубка состоит из порядка миллиона атомов углерода. Ее длина составляет несколько десятков микрон, а диаметр около одного нанометра. Свойства этой молекулы тоже уникальны — будучи в 100 тысяч раз, тоньше человеческого волоса, она

демонстрирует хорошую прочность: плотность нанотрубок в шесть раз меньше плотности металла, но по прочности они превосходят сталь в 50-100 раз.

Как показывают результаты экспериментов и численного моделирования, модуль Юнга однослойной нанотрубки достигает величины 1-5ТПа.

4. Свойства углеродных нанотрубок.

Кроме отличительно прочности нанотрубки обладают другими свойствами,



которые могут применяться технологии будущего. Одной из проблем, которые ученые стремятся решить в будущем является,

выращивание нанотрубок необходимой длиной. Сейчас максимальная длина составляет около одного миллиметра. Безусловно, это сильно повлияет на будущие технологии: ведь «трос» толщиной с человеческий волос, способный удержать груз в сотни килограмм, найдет себе бесчисленное множество применений.

Вследствие малых размеров углеродных нанотрубок только в 1996 году удалось непосредственно измерить их удельное электрическое сопротивление четырёхконтактным способом.

На полированную поверхность оксида кремния в вакууме наносили золотые полоски. В промежуток между ними напыляли нанотрубки длиной 2-3 мкм. Затем на одну из выбранных для измерения нанотрубок наносили 4 вольфрамовых проводника толщиной 80 нм. Каждый из вольфрамовых проводников имел контакт с одной из золотых полосок. Расстояние между контактами на нанотрубке составляло от 0,3 до 1 мкм. Результаты прямого измерения показали, что удельное сопротивление нанотрубок может изменяться в значительных пределах – от $5,1 \cdot 10^{-6}$ до 0,8 Ом/см. Минимальное удельное сопротивление на порядок ниже, чем у графита. Большая часть нанотрубок обладает металлической проводимостью, а меньшая проявляет свойства полупроводника с шириной запрещённой зоны от 0,1 до 0,3 эВ.

Французскими и российскими исследователями (из ИПТМ РАН, Черноголовка) было открыто ещё одно свойство нанотрубок, как сверхпроводимость. Они проводили измерения вольт-амперных характеристик отдельной однослойной нанотрубки диаметром ~1нм, свернутого в жгут большого числа однослойных нанотрубок, а также индивидуальных многослойных нанотрубок. Сверхпроводящий ток при температуре, близкой к 4К, наблюдался между двумя сверхпроводящими металлическими контактами. Особенности переноса заряда в нанотрубке существенно отличаются от тех, которые присущи обычным, трехмерным проводникам и, по-видимому, объясняются одномерным характером переноса.

Также де Гиром из Университета Лозанны (Швейцария) было обнаружено интересное свойство: резкое (около двух порядков величины) изменение проводимости при небольшом, на $5-10^\circ$, изгибе однослойной нанотрубки. Это свойство может расширить область применения нанотрубок. С одной стороны, нанотрубка оказывается готовым высокочувствительным преобразователем механических колебаний в электрический сигнал и обратно (фактически это - телефонная трубка длиной в несколько микрон и диаметром около нанометра), а, с другой стороны, это - практически готовый датчик мельчайших деформаций. Такой датчик мог бы найти применение в устройствах, контролирующих состояние механических узлов и деталей, от которых зависит безопасность людей, например, пассажиров поездов и самолетов, персонала атомных и тепловых электростанций и т. п.

Как показали эксперименты, открытая нанотрубка обладает капиллярными свойствами. Чтобы открыть нанотрубку, надо удалить верхнюю часть – крышечку. Один из способов удаления заключается в отжиге нанотрубок при температуре 850°C в течение нескольких часов в потоке углекислого газа. В результате окисления около 10% всех нанотрубок оказываются открытыми. Другой способ разрушения закрытых концов нанотрубок – выдержка в концентрированной азотной кислоте в течение 4,5 часов при температуре 2400°C . В результате такой обработки 80% нанотрубок становятся открытыми.

Первые исследования капиллярных явлений показали, что жидкость проникает внутрь канала нанотрубки, если её поверхностное натяжение не выше 200 мН/м . Поэтому для ввода каких-либо веществ внутрь нанотрубок используют растворители, имеющие низкое поверхностное натяжение. Так, например, для ввода в канал нанотрубки некоторых металлов используют концентрированную азотную кислоту, поверхностное натяжение которой невелико (43 мН/м). Затем проводят отжиг при 4000°C в течение 4 часов в атмосфере водорода, что приводит к восстановлению металла. Таким образом были получены нанотрубки, содержащие никель, кобальт и железо.

Наряду с металлами углеродные нанотрубки могут заполняться газообразными веществами, например водородом в молекулярном виде. Эта способность имеет практическое значение, ибо открывает возможность безопасного хранения водорода, который можно использовать в качестве экологически чистого топлива в двигателях внутреннего сгорания. Также ученые смогли поместить внутрь нанотрубки целую цепочку из фуллеренов с уже внедренными в них атомами гадолиния.

5. Применение углеродных наноструктур.

За необычные электрические свойства нанотрубок сделали их одним из основных материалов нанoeлектроники. Сейчас созданы опытные образцы полевых транзисторов на основе одной нанотрубки: прикладывая запирающее напряжение несколько вольт, ученые научились изменять проводимость однослойных нанотрубок на 5 порядков.

Также нанотрубки нашли применение в компьютерной индустрии. Например, созданы и опробованы прототипы тонких плоских дисплеев, работающих на матрице из нанотрубок. Под действие напряжения, прикладываемого к одному из концов нанотрубки, с другого конца начинают испускать электроны, которые попадают на фосфоресцирующий экран и вызывают свечение пикселя. Получающееся при этом зерно изображения будет фактически малым: порядка микрона.

В 1996 году было обнаружено, что отдельные углеродные нанотрубки могут самопроизвольно свиваться в канатики из 100-500 волокон-трубочек, причем

прочность этих канатиков оказалась больше, чем у алмаза. Точнее говоря, они в 10-12 раз прочнее и в 6 раз легче стали.

Компания Nantero сделала заявление о разработке плат памяти принципиально нового образца, созданных на основе нанотехнологии. Nantero Inc. активно занимается разработкой новых технологий, в частности, уделяет немалое внимание поиску способов создания энергонезависимой оперативной памяти (RAM) на основе углеродных нанотрубок. В своем выступлении представитель компании объявил о том, что они находятся на шаге от создания плат памяти емкостью 10Гб. В связи с тем, что в основе строения устройства лежит нанотрубки, новую память предлагается называть NRAM (Nonvolatile (энергонезависимая) RAM).

Так же нанотрубки нашли применение в измерительной технике. К примеру их выдающийся свойства используются для измерения массы частиц крайне малых размеров. При размещении взвешиваемой частицы на конце нанотрубки резонансная частота уменьшается. Если нанотрубка калибрована (т.е. известна ее упругость), можно по смещению резонансной частоты определить массу частицы.

Высокие значения модуля упругости углеродных нанотрубок позволяют создавать композиционные материалы, обеспечивающих высокую прочность при сверхвысоких упругих деформациях. Из такого материала можно будет сделать сверхлегкие и сверхпрочные ткани для одежды пожарных и космонавтов.

Нанотрубки могут быть использованы в качестве нанотрубопроводов для транспортировки жидкости, они смогут так же играть роль наконечника для шприцев с точно выверенным количеством нанок капель. Нанотрубки могут применяться как наносверла, нанопинцеты, острия для сканирующих туннельных микроскопов. Нанотрубки с достаточно толстыми стенками – выполняют роль наноконтейнеров и нанокапсул. Нанотрубки из соединений на основе кремния, включая карбид кремния, особенно хороши для изготовления механических изделий, так как эти материалы прочны и эластичны.

5.1. Нанорулоны кинообоев

Учёные из британского Университета Суррея создали нанокомпозитный полимерный материал, который светит в сто раз ярче, чем обычные полимерные светодиоды. Более того, применение углеродных нанотрубок позволило существенно увеличить срок службы полимера. Учёные надеются создать с помощью нового материала принципиально новые осветительные устройства и плоские дисплеи, светоизлучающим элементом которых будут светодиоды.

Панели на основе органических светодиодов (OLED) на сегодняшний день обладают одним существенным недостатком – коротким сроком службы, особенно для полимеров, излучающих в синем диапазоне видимого света. Короткий срок службы ограничивает круг применения таких панелей лишь небольшими устройствами – дисплеями мобильных телефонов, портативных плееров, автомагнитол и так далее.

Внедрение нанотрубок в объем полимерного материала группой британских исследователей имело целью именно увеличение срока его службы. Эффект увеличения продолжительности жизни органических молекул в данном случае может быть связан с проявлением новой многомерной структуры химических связей, а также с возникновением квантовых эффектов, способных повлиять на механизмы переноса заряда и испускания фотонов.

Как признает Саймон Хейнли, один из руководителей международного проекта, включающего научные группы из Британии, США и Китая, идея применить нанотрубки в качестве наноразмерного наполнителя полимерной матрицы сама по себе не нова. Большое количество исследователей во всем мире, бьющихся над улучшением свойств современных органических светодиодов, пытались найти

применение перспективному материалу. Однако многочисленные неудачи этих проектов были связаны с тем, что в объеме полимера нанотрубки функционируют в качестве «захватов» носителей заряда.

Многостенные нанотрубки углерода представляют собой что-то вроде свернутого в трубочку полотна, сотканного многочисленными связями углерод-углерод. Атомы углерода при этом связаны между собой электронизбыточными двойными ковалентными связями между собой. Это обстоятельство обеспечивает высокую электронную проводимость данного материала, и явление захвата носителей заряда приводит к резкому снижению излучающей способности полимера.

Перед тем как внедрить нанотрубки углерода в объем полимера, они подвергали их химической обработке с помощью кислот. При этом, как правило, происходит частичное разрушение поверхностных двойных связей углерод-углерод. Именно это обстоятельство, по мнению ученых, и привело к возникновению нового механизма транспорта электронов к светоизлучающим областям полимерных молекул. Эффективность излучения при этом увеличилась в 100 раз по сравнению с обычным полимерным материалом.

В перспективе OLED-технологии должны практически полностью вытеснить доминирующие в наши дни жидкокристаллические (ЖК) панели благодаря ряду принципиальных преимуществ. Изображение в ЖК-мониторах и телевизорах получается пропусканием белого света через слои матриц, поляризующих и фильтрующих электромагнитное излучение. Ни одна современная люминесцентная лампа не позволяет получить идеального «белого» излучения, что существенно осложняет задачу достоверной цветопередачи.

Полимерные светодиоды же, в свою очередь, являются самостоятельными источниками монохроматического света подобно люминофорам, применяющимся в электронно-лучевых трубках старых мониторов и телевизоров. Это обуславливает существенно большую достоверность их цветопередачи, яркость и контрастность. Кроме того, OLED-дисплеи потребляют меньшее количество энергии по сравнению с ЖК-панелями именно ввиду отсутствия необходимости дополнительной подсветки.

5.2. Память на основе нанотрубок

Современные винчестеры пока выдерживают конкуренцию с устройствами хранения информации на основе микросхем флэш-памяти, предоставляя покупателю больший объем дискового пространства за меньшие деньги. Но сомнений в том, что через несколько лет флэш-память станет наиболее востребованным типом информационных накопителей, нет – постепенная миниатюризация микросхем позволяет не только повышать информационную емкость накопителей, но и делает их все более дешевыми. Но и век флэш-памяти вряд ли будет долгим – на горизонте уже появляются устройства нового поколения, которые обещают еще большую информационную емкость вкупе с высочайшими скоростями доступа к данным. Среди таких разработок фигурирует память на основе углеродных нанотрубок, а приглядеться к ней внимательнее заставляют сообщения о резком повышении скоростных характеристик устройств, которые теперь могут соперничать и с флэш-памятью.

Впрочем, к успеху ученые шли долго – главным достоинством ячеек памяти на основе углеродных нанотрубок долгое время оставалось лишь рекордная компактность. Теперь же пришло время радикального улучшения скоростных характеристик устройств – сотрудники Технологического Университета Хельсинки и их коллеги из Университета Jyväskylä, разработали память, скорость которой увеличена сразу в сто тысяч раз. Такой «апгрейд» позволил устройствам на основе

углеродных нанотрубок опередить в плане скорости флэш-память. Причем даже не в разы, а на два порядка (в сто раз).

Главное достижение финских ученых – использование в качестве изолирующего материала оксида гафния, который используется для изоляции затвора. Именно благодаря такому нововведению удалось снизить время процедуры чтения/записи информации до сотни наносекунд, тогда как предыдущим достижением для «углеродной памяти» являлось значение в несколько миллисекунд, а аналогичный параметр для флэш-памяти составляет микросекунды. Более того, указанные значения могут оказаться не окончательными, ведь пока не ясно – достигнут ли предел скорости записи/чтения информации ячейкой памяти, либо просто измерительное оборудование не способно фиксировать более скоростные процессы. Вполне может оказаться, что производительность памяти куда выше указанных цифр в сотни наносекунд.

Конструкция ячейки памяти в данном случае выглядит следующим образом: углеродная трубка «лежит» в горизонтальном положении и двумя своими концами контактирует с электродами. Непосредственно под ней, отделенный тонким слоем изолятора, располагается затвор, который и управляет процессом чтения/записи информации. Такая структура уже длительное время применяется для создания памяти на основе углеродных нанотрубок, и лишь скоростные параметры устройств оказывались не на высоте. Оксид гафния исправил и этот недочет.

Следующим этапом работ исследователей становится объединение множества ячеек памяти в единую интегральную микросхему – до этого момента проводились исследования единичных ячеек памяти. Впрочем, существует и еще одна проблема – при отключении питания память сохраняет свое состояние в течение лишь нескольких дней. Другими словами, направлений исследований и разработок пока предостаточно, и вряд ли углеродные нанотрубки в ближайшее время смогут прописаться в персональных компьютерах.

5.3. Нанотрубки в роле детектора света

Исследователи Национальной Лаборатории Sandia National Laboratories, расположенной в Ливерморе, штат Калифорния, сообщили о разработке первого устройства, реагирующего на полный спектр оптического диапазона электромагнитных волн. Как и многие уникальные приборы, разработанные с применением нанотехнологий, новинка основана на углеродных нанотрубках. Область применения детектора чрезвычайно широка: ячейки солнечных батарей с рекордной высокой эффективностью, цифровые фотокамеры, способные работать даже при очень низкой освещенности, искусственная сетчатка и пр.

Более ранние исследования приводили к разработке устройств на основе нанотрубок, способных работать со светом весьма узкого диапазона длин волн, в том числе и ультрафиолета. Но до сих пор еще ни кому не удавалось создать прибора, реагирующего на весь спектр оптического диапазона электромагнитных волн. Это достижение сразу же было отмечено многими физиками и исследователям, заявившими о прорыве в области оптоэлектроники.

Главное достижение исследователей заключается в применении особого типа молекул, которые способны изменять свою форму при воздействии света определенного диапазона длин волн. Соединенные с углеродными нанотрубками такие молекулы, изменяя собственную форму, приводят к изменению электронной проводимости нанотрубок. Измерение последней и позволяет получить информацию о интенсивности света. Для того, чтобы с помощью такой конструкции создать детектор оптического излучения широкого диапазона, необходимо применение нескольких модификаций светочувствительных молекул, реагирующих на красный,

зеленый и синий свет. Как мы знаем, подобная «технология» используется в случае светочувствительных клеток сетчатки глаза человека.

На данный момент исследования еще очень далеки от логического завершения, однако уже сейчас видны сильные стороны углеродных нанотрубок. С их помощью ученые могут создавать детекторы высочайшего разрешения, ведь диаметр поперечного сечения нанотрубок составляет всего лишь несколько нанометров. Более того, так как площадь пучка светочувствительных элементов может быть очень небольшой, то появляется возможность фокусировки света на очень небольшой площади, что повышает светочувствительность сенсоров. У такого подхода есть и другое существенное достоинство. Детекторы на основе углеродных нанотрубок можно формировать на гибкой полимерной подложке, что делает их дешевыми в изготовлении и абсолютными безвредными для организма человека. Последний факт особенно важен в случае использования сенсоров в качестве искусственной сетчатки.

В данный момент ученые решают задачу разработки дешевой и быстрой технологии формирования массива углеродных нанотрубок и нанесения тончайшего слоя светочувствительного материала. Пока процесс создания уникальных фотосенсоров слишком долг, дорогостоящ, но самое главное, пока не удастся сформировать равномерного массива нанотрубок и слоя хромоморфного материала. Это приводит к значительному снижению эффективности устройств, которые пока не готовы для полномасштабного применения в технике, электронике и медицине.

5.4. Нанотрубка в роли транзистора

Для того, чтобы сделать транзистор на основе нанотрубок, уже не нужно прилагать дополнительных усилий: делать между ними полимерные переходы и т.п. Как установили ученые из Калифорнийского университета UCSD и университета Клемсона, Y-образная нанотрубка полностью выполняет функции транзистора, обладая при этом более высоким быстродействием.

В статье, которая будет опубликована в сентябрьском выпуске журнала Nature Materials, а сейчас доступна он-лайн, исследователи описывают Y-нанотрубки, которые, по их мнению, могут заменить современные МОП (MOS - металл-оксид-полупроводниковые) транзисторы и послужить основой новой элементной базы.

“Впервые выращенная нанотрубка становится нанотранзистором без какой-либо дальнейшей обработки, - говорит Прабхакар Бандару, профессор из UCSD. - Использование этих наноструктур в современной электронике позволит существенно уменьшить размеры и ускорить производительность компьютерных чипов и других электронных устройств, работающих на полупроводниковых транзисторах”.

Быстрое развитие микроэлектроники в конце XX-го века обусловлено, в первую очередь, постепенным уменьшением размеров транзисторов, которые стали базовым блоком почти всех бытовых и промышленных устройств.

Однако в конце текущего десятилетия будет достигнут предел миниатюризации транзисторов. По словам специалистов Intel, изготовление транзистора размером менее 100 нанометров сопряжено с большими трудностями и без радикального изменения производственного процесса невозможно вообще.

Выход из этой ситуации - использование Y-нанотрубок длиной всего несколько десятков нанометров. Как говорит Бандару, благодаря свойствам нанотрубки ее можно использовать в качестве основы для нового класса транзисторов и других полупроводниковых приборов.

6. Список используемых источников

1. <http://ru.wikipedia.org/>
2. <http://www.gazeta.ru/>
3. <http://www.3dnews.ru/>