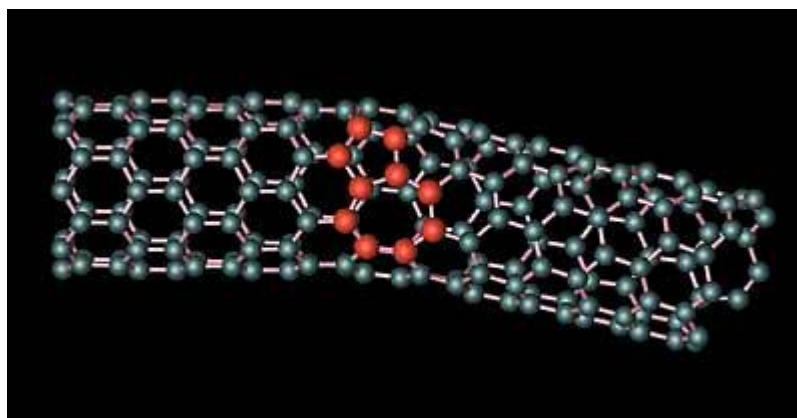


IT-байки: нанотрубки - будущее электроники?

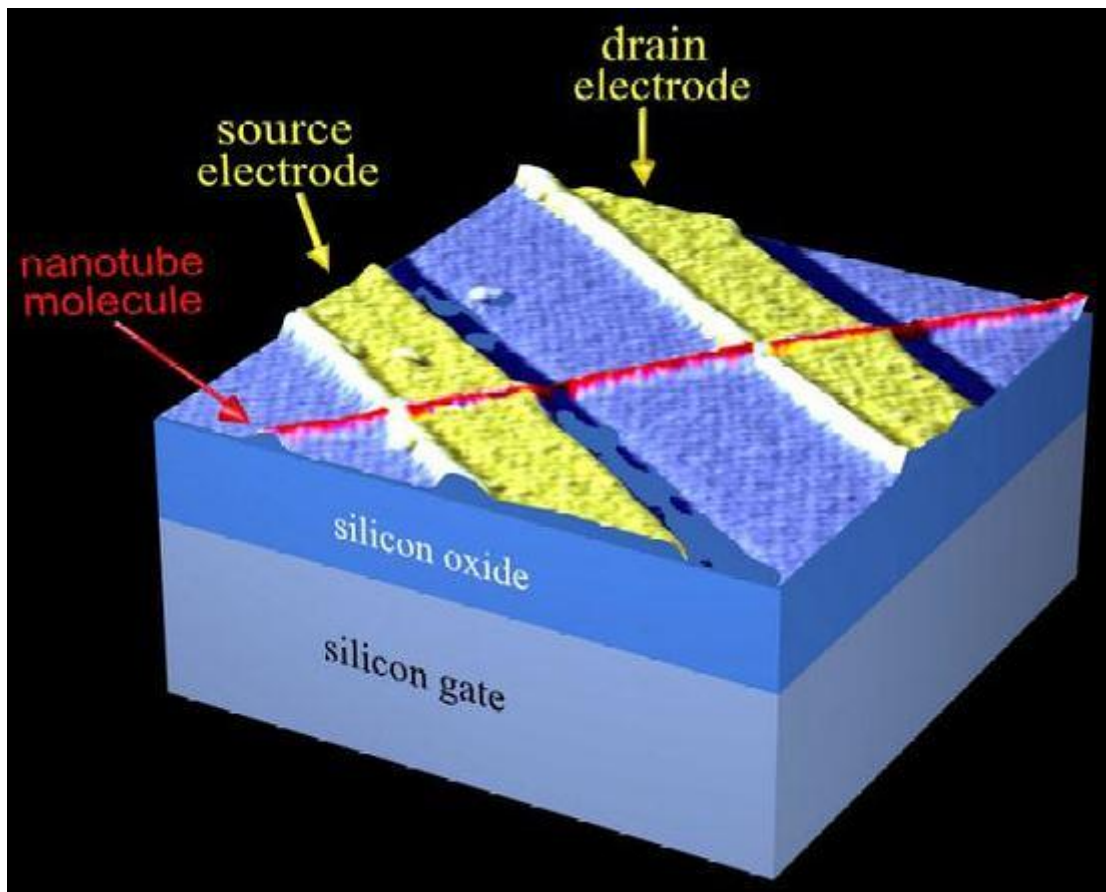
Автор: Сергей Лурье

Дата: 11/11/2007

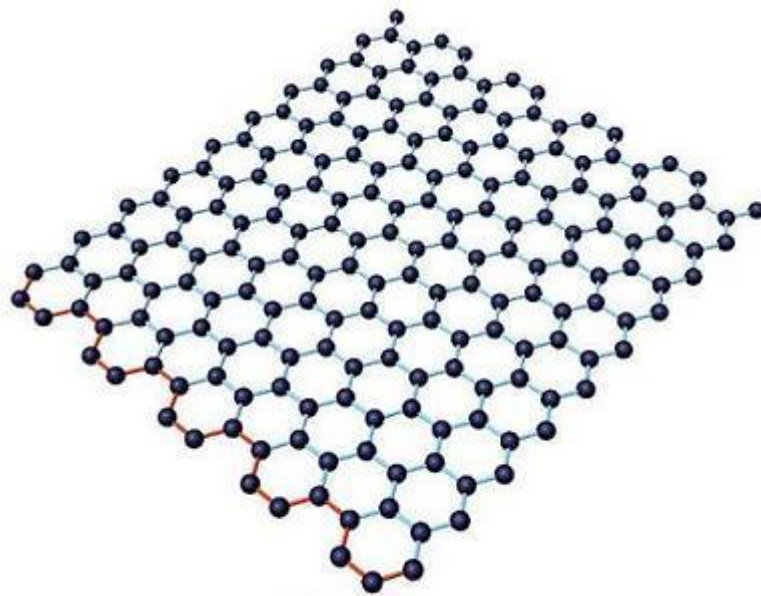
В одной из наших предыдущих байк мы уже затронули тему нанотехнологий, рассказав о том, как это все начиналось. Тогда мы отметили, что началом всплеска интереса к нанотехнологиям стало открытие фуллеренов, состоящих из атомов углерода, но обладающих принципиально иными свойствами, нежели известные к тому моменту графит или алмаз. Сегодня мы более подробно остановимся на нанотрубках и их применении в нанoeлектронике.



Почему именно на нанотрубках? Все дело в том, что хотя фуллерены были открыты в 1970-х годах, об их практическом применении начали говорить лишь в конце 1990-х, то есть, около двадцати лет они представляли лишь академический интерес, да и сейчас перспективы внедрения фуллеренов в конечные продукты до конца не ясны. Совсем по-другому обстоят дела с нанотрубками, которые, как принято считать, были открыты в 1991 году сотрудником компании NEC Ииджимой (хотя, повторимся, первые упоминания об «одномерных» наноскопических объектах из углерода датируются аж 1952 годом). Уже спустя семь лет ученые из научно-исследовательской лаборатории ИВМ создали первый транзистор, представлявший два электрода из платины с нанотрубкой посередине, и в майском выпуске журнала Nature за 1998 предположили, что такой транзистор будет лучше кремниевого.

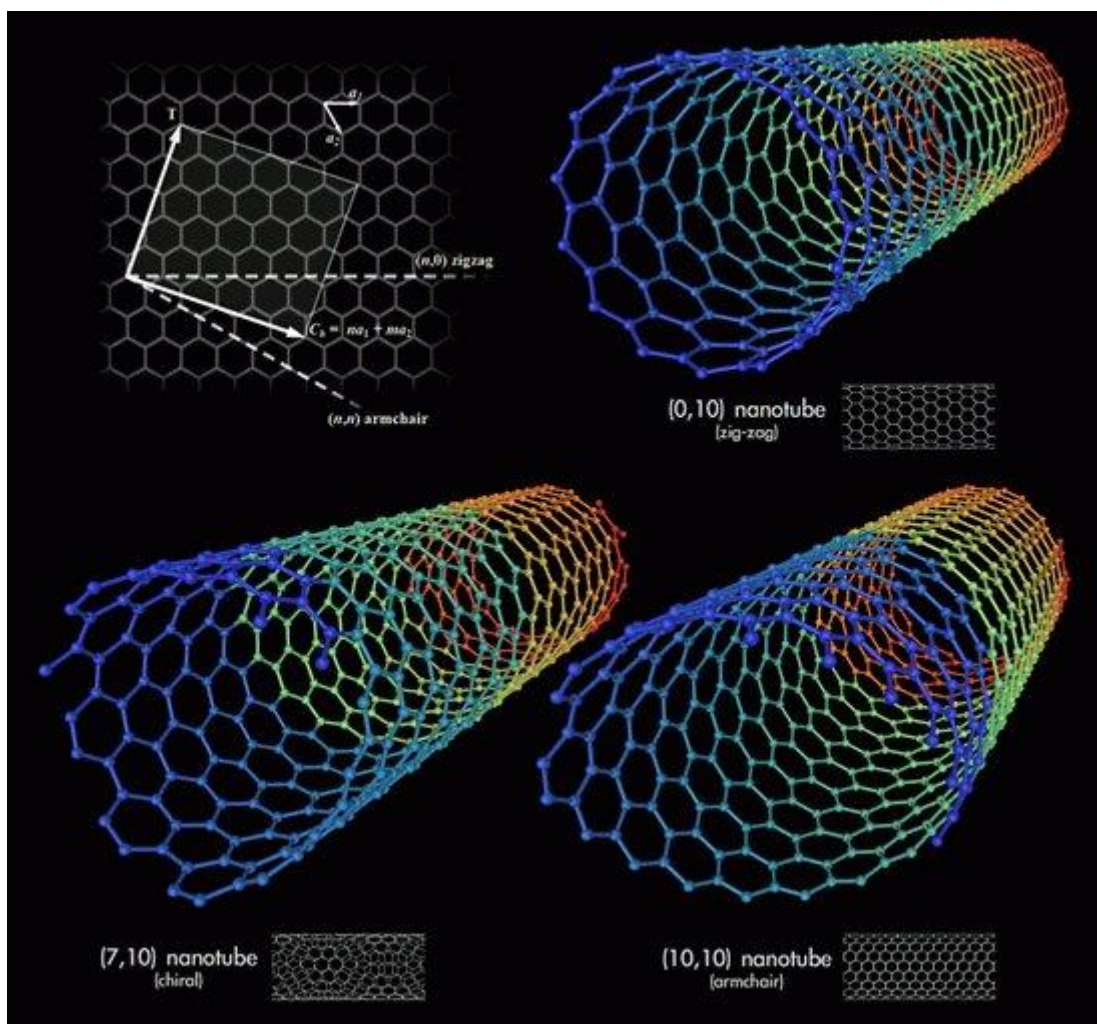


Гораздо более высокий интерес к нанотрубкам, нежели к фуллеренам, объясняется тем, что они намного более технологичны – с протяженными объектами легче работать, чем с наноскопическими «шариками» фуллеренов, их легче использовать в электронике или иной технике. Кроме нанотрубок, немалый интерес ученые проявляют и к открытому после них плоскому аллотропу углерода – графену. В некотором приближении графен можно считать двумерным, а нанотрубки – одномерным аллотропом углерода.



Однако, у нанотрубок есть одно интересное свойство – их способность проводить электрический ток зависит от хиральности. Дабы не вдаваться в излишние детали,

поясним это так: вектор хиральности выражается двумя числами (n , m), определяющими направление «закручивание» графеновой плоскости вокруг оси цилиндра. В зависимости от хиральности, нанотрубки могут быть как проводниками, так и полупроводниками.



Несколько сложнее дело обстоит с многостенными нанотрубками. В рамках одной (более распространенной) модели их структуру принято представлять несколькими одностенными нанотрубками, вложенными одна в другую, в рамках другой – многократно свернутым слоем графена. В публикации сотрудников ИВМ в 1998 утверждалась возможность использования как одно-, так и многостенных углеродных нанотрубок.

Помимо того варианта создания транзистора из нанотрубок между электродами из платины или золота, что так любит ИВМ, в 2002 году был предложен иной вариант полевого транзистора – из двух скрещенных нанотрубок (тоже многостенных). А в публикации Nature Materials в 2006 году описывались синтезированные специальным образом Y-образные одностенные углеродные нанотрубки, представляющие собой готовый полевой транзистор с затвором, истоком и стоком. И, по мнению большинства экспертов, именно одностенные нанотрубки представляют большой интерес для нанoeлектроники. Потому что к сегодняшнему дню уже придумано довольно много способов синтеза одностенных углеродных нанотрубок заданной хиральности, ведутся работы по разработке методик их интеграции в готовые устройства. Одностенные нанотрубки также проявляют ряд специфических свойств, которые также должны оказаться полезными для чипов будущего. Например, излучения и поглощения квантов света в активно используемом промышленностью инфракрасном диапазоне.

Что касается многостенных нанотрубок, для которых порой просто невозможно определить хиральность, то на их базе могут быть созданы перспективные новые материалы, например, троса, о котором мы рассказывали в [материале про конкурс NASA](#).

Как было сказано выше, уже придумана масса способов синтеза нанотрубок заданной хиральности и, как следствие, заданной электропроводности, придуманы способы легирования нанотрубок и управления концентрацией носителей заряда p- или n-типа. Как видим, есть практически полная аналогия с тем, как это делается для обычных полупроводников – кремния, германия, арсенида и нитрида галлия, только размеры элементов полупроводниковых устройств в случае нанотрубок составляют единицы нанометров (если речь идет о диаметрах одностенных нанотрубок). Тогда как для полупроводниковых транзисторов, интегрируемых в интегральные схемы высокой плотности, на сегодня рекордным является размер 45 нм. Это, к слову, еще один аргумент против многостенных нанотрубок, обладающих сравнимым с этой величиной, и, во многих случаях, даже большим диаметром.

Однако, несмотря на все свои преимущества, технология углеродных нанотрубок пока еще далека от того, чтобы быть внедренной в массовое производство. Во-первых, процент выхода готовых нанотрубок значительно ниже порога коммерческого внедрения – попросту говоря, пока что их производство слишком дорого, хотя прогресс в направлении снижения себестоимости идет семимильными шагами – в 2000 году 1 грамм одностенных углеродных нанотрубок стоил где-то 1500 долларов, в 2007 году – от 70 до 100 долларов. Во-вторых, технологии интеграции нанотрубок в готовые устройства находятся в начальной стадии разработки – именно малые размеры нанотрубок являются главным препятствием эффективного манипулирования с ними. В-третьих, до сих пор недостаточно проработаны электронные алгоритмы управления интегральными схемами на нанотрубках, которые, очевидно, будут значительно отличаться от алгоритмов работы обычных ИС.

В то же время, если верить компании NEC, которой принадлежат эксклюзивные права на коммерческое использование углеродных нанотрубок, первая микросхема на их основе должна поступить в продажу уже в 2010 году. Так что ждать осталось совсем немного. Но и традиционная полупроводниковая технология не стоит на месте. Так что углеродное будущее электроники совсем не очевидно. В будущих публикациях мы обязательно расскажем о том, какие разработки ведутся в направлении улучшения свойств полупроводниковых микроэлектронных устройств.