

## **НАНОТЕХНОЛОГИЯ. НАНОТРУБКИ И СПОСОБЫ ИХ ФОРМИРОВАНИЯ**

*Работа выполнена под руководством к. т. н., доц. Шелохвостова В. П.*

*ТГТУ, кафедра «Материалы и технологии»*

Нанотехнология — совокупность методов и приемов манипулирования веществом на атомном и молекулярном уровнях с целью производства конечных продуктов с заранее заданной атомной структурой. Нанотехнологии обеспечивают возможность контролируемым образом создавать и модифицировать объекты, включающие компоненты с размерами менее 100 нм, имеющие принципиально новые качества и позволяющие осуществлять их интеграцию в полноценно функционирующие системы большего масштаба.

Одним из наиболее перспективных наноматериалов являются нанотрубки. Нанотрубки - трубки нанометрических размеров, состоящие из отдельных атомов углерода и имеющие искусственную структуру. Предназначаются для коммуникаций, передачи энергии и сигналов, а также построения новых материалов на базе углерода.

Идеальная нанотрубка представляет собой свернутую в цилиндр графитовую плоскость, т.е. поверхность, выложенную правильными шестиугольниками, в вершинах которых расположены атомы углерода.

Параметром, указывающим координаты шестиугольника, который в результате сворачивания плоскости должен совпасть с шестиугольником, находящимся в начале координат, называется хиральностью нанотрубки и обозначается набором символов (т, п). Хиральность нанотрубки определяет ее электрические характеристики.

Как показали наблюдения, выполненные с помощью электронных микроскопов, большинство нанотрубок состоят из нескольких графитовых слоев, либо вложенных один в другой, либо навитых на общую ось.

На рис. 1 представлена идеализированная модель однослойной нанотрубки. Такая трубка заканчивается полусферическими вершинами, содержащими наряду с правильными шестиугольниками, также по шесть правильных пятиугольников. Наличие пятиугольников на концах трубок позволяет рассматривать их как предельный случай молекул фуллеренов, длина продольной оси которых значительно превышает их диаметр.

Структура однослойных нанотрубок, наблюдаемых экспериментально, во многих отношениях отличается от представленной выше

идеализированной картины. Прежде всего, это касается вершин нанотрубки, форма которых, как следует из наблюдений, далека от идеальной полусферы.

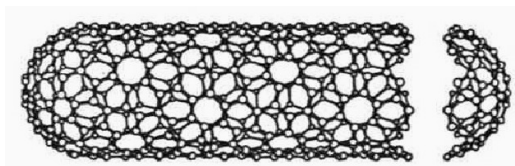


Рис. 1. Модель однослойной нанотрубки

Многослойные нанотрубки отличаются от однослойных значительно более широким разнообразием форм и конфигураций как в продольном, так и в поперечном направлении. Возможные разновидности поперечной структуры многослойных нанотрубок представлены на рис. 2. Структура типа «русской матрешки» представляет собой совокупность коаксиально вложенных друг в друга однослойных нанотрубок (рис. 2 а). Другая разновидность этой структуры, показанная на рис. 2 б, представляет собой совокупность вложенных друг в друга коаксиальных призм. Наконец, последняя из приведённых структур (рис. 2 в), напоминает свиток. Для всех приведённых структур расстояния между соседними графитовыми слоями близко к величине 0,34 нм, т.е. расстоянию между соседними плоскостями кристаллического графита. Реализация той или иной структуры в конкретной экспериментальной ситуации зависит от условий синтеза нанотрубок.

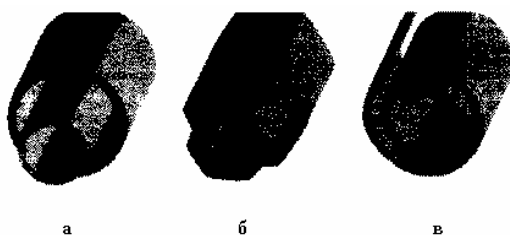


Рис. 2. Модели поперечных структур многослойных нанотрубок: а. «русская матрешка»; б. шестигранная призма; в. свиток.

Следует иметь в виду, что идеализированная поперечная структура нанотрубок, в которой расстояние между соседними слоями близко к значению 0,34 нм и не зависит от аксиальной координаты, на практике

искажается вследствие возмущающего воздействия соседних нанотрубок [1].

Нанотрубки можно сформировать из твердотельной пленки почти любого материала. Используемые сегодня методы основаны на освобождении тонкой пленки от подложки с помощью селективного травления и ее скручивании (рис. 3).

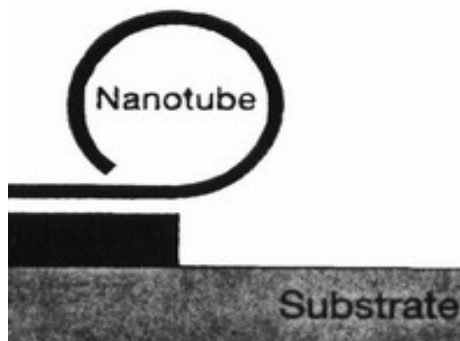


Рис. 3. Скручивание нанотрубки

В традиционном методе на поверхность подложки осаждают жертвенный слой, а поверх него - тонкую пленку. По мере удаления селективным травлением жертвенного слоя под тонкой пленкой ее свободный конец приподнимается и закручивается в сторону нетронутой травлением части пленки и ложится на нее, формируя нанотрубку. В дугом методе на подложку осаждают жертвенный слой, а на него бислой из материала 1 и материала 2, имеющих разные постоянные решетки, причем материал 1 имеет большую постоянную решетки, чем материал 2. Как только бислой освобождают от подложки (тем же приемом, что и в традиционном методе), его свободный конец поднимается вверх и закручивается. Если время травления небольшое, но такое, что конец бислоя успевает сделать полный оборот, образуется одностенная нанотрубка. Большее время травления ведет к образованию многостенной нанотрубки [2].

В основе многих технологических применений нанотрубок лежит такое их свойство, как высокая удельная поверхность (в случае однослойной нанотрубки около 600 кв. м. на 1/г), что открывает возможность их использования в качестве пористого материала в фильтрах и т.д.

Возможно использование нанотрубок с высокой удельной поверхностью в качестве электродов для электролитических конденсаторов с большой удельной мощностью.

Углеродные нанотрубки хорошо себя зарекомендовали в экспериментах по использованию их в качестве покрытия, способствующего образованию алмазной пленки. Как показывают фотографии, выполненные с помощью электронного микроскопа, алмазная пленка, напыленная на пленку нанотрубок, отличается в лучшую сторону в отношении плотности и однородности зародышей от пленки, напыленной на  $C_{60}$  и  $C_{70}$ .

Такие свойства нанотрубки, как ее малые размеры, меняющаяся в значительных пределах в зависимости от условий синтеза, электропроводность, механическая прочность и химическая стабильность, позволяют рассматривать нанотрубку в качестве основы будущих элементов микроэлектроники. Расчетным путем доказано, что введение в идеальную структуру нанотрубки в качестве дефекта пары пятиугольник–семиугольник изменяет ее электронные свойства. Нанотрубка с внедренным в нее дефектом может рассматриваться как гетеропереход металл–полупроводник, который, в принципе, может составить основу полупроводникового элемента рекордно малых размеров.

Нанотрубки могут служить основой тончайшего измерительного инструмента, используемого для контроля неоднородностей поверхности электронных схем.

Интересные применения могут получить нанотрубки при заполнении их различными материалами. При этом нанотрубка может использоваться как в качестве носителя заполняющего ее материала, так и в качестве изолирующей оболочки, предохраняющей данный материал от электрического контакта, либо от химического взаимодействия с окружающими объектами [3].

### Список литературы

1. Елецкий А.В. Углеродные нанотрубки//УФН, т.167(9), с.945, 1997.
2. Nature, 2001 410, p168
3. Раков Э.Г. Химия и применение углеродных нанотрубок//Успехи химии, 2001, с.934-973