

Устройство и методы производства углеродных нанотрубок

Студенты Белятко Д. А., Лешкевич М. Э.

Научный руководитель – Пацеко Е. К.

Белорусский национальный технический университет

г. Минск

Углеродные нанотрубки представляют из себя протяженные цилиндрические структуры углерода, которые имеют длину до нескольких сантиметров и диаметр от одного до нескольких десятков нанометров. На данный момент существуют технологии, которые позволяют сплести их в нити неограниченной длины. Они могут состоять из одной или нескольких графеновых плоскостей, свернутых в трубку, которые обычно заканчиваются полусферической головкой. [1]

Диаметр нанотрубок составляет несколько нанометров, то есть несколько миллиардных долей метра. Стенки углеродных нанотрубок выполнены из шестиугольников, в вершинах которых находятся атомы углерода (рис. 1). На электронные, механические, химические свойства влияет тип строения, который может быть совершенно разным. Однослойные трубки в меньшей степени дефектны, однако после отжига при высокой температуре в инертной атмосфере удается получить и бездефектные варианты трубок. Нанотрубки с большим количеством слоев отличаются от однослойных нанотрубок более широким разнообразием вариаций их конфигураций и форм. [2]

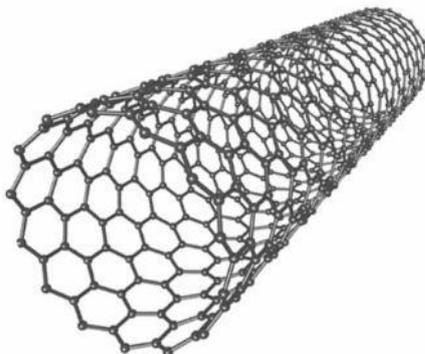


Рисунок 1 – Конфигурация однослойной углеродной нанотрубки

На рисунке 2 показана технология получения нанотрубок методом лазерного испарения. Сущность этого метода в том, что образец графита испаряется с благодаря мощному лазерному импульсу в парах инертного газа аргона. Образец заключен в прочной кварцевой трубке, которую нагревают в муфельной печи до температуры 1200 °С. Осаждение растущих нанотрубок происходит в охлаждаемом водой медном коллекторе. На поверхность мишени наносят некоторое количество кобальта и никеля в качестве катализатора. потоком инертного газа подхватывает атомы углерода, выбрасываемые внутрь кварцевой трубки после каждой вспышки лазера, и переносят к медному коллектору, где происходит окончательное образование нанотрубок. При таком методе создания нанотрубок, они имеют средний диаметр около 10...20 нм, а длина нанотрубок не превышает 100 микрон.

Технология получения нанотрубок с использованием вольтовой дуги. Сущность метода заключается в том, что нанотрубки получают, зажигая дугу между двумя графитовыми электродами, находящимися друг от друга на расстоянии 1 мм. В атмосферу гелия погружаются электроды под давлением порядка 66...67 кПа. Напряжение зажигания порядка составляет величину порядка 20-25 В. на отрицательном электроде осаждаются нано-

трубки, а частицами катализатора покрывается положительный электрод. В качестве катализаторов могут использоваться не только кобальт или никель, но также и другие металлы, такие как железо, молибден, золото, иттрий и многие другие. Общепринято представление о том, что частицы катализатора являются зародышами образования нанотрубок, но относительно конкретного механизма воздействия частиц катализатора единого мнения нет. Согласно одной из гипотез, атомы катализатора оббегают растущую нанотрубку по диаметру и способствуют присоединению к ней новых атомов углерода слой за слоем. Следует отметить, что без катализатора также возможно образование нанотрубок, но они в большинстве случаев получаются многослойными (то есть вложенными одна в другую). В любом случае, в процессе синтеза обычно получается смесь нанотрубок разных типов и в различных пропорциях, которую нужно дополнительно разделять для получения заданного типа нанотрубок в чистом виде.

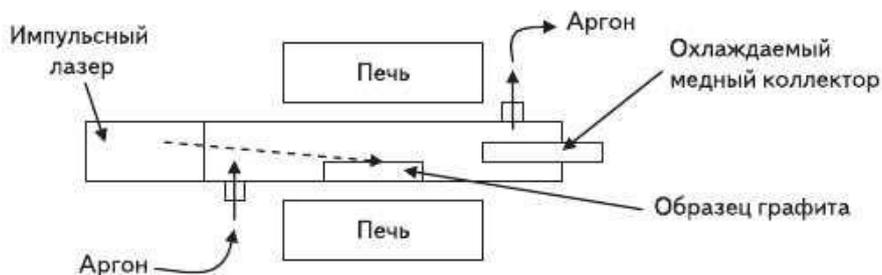


Рисунок 2 – Схема технологии получения углеродных нанотрубок лазерным методом

На сегодняшний момент CVD технология получения нанотрубок (метод химического осаждения из паровой фазы (chemical vapor deposition)) наиболее перспективный, потому что он позволяет получать готовый продукт в непрерывном режиме и обеспечивает более гибкое управление параметрами техпроцесса их создания. Принцип действия установки (рис. 3) основан на разложении метана под действием температуры или другого углеродсодержащего газа и осаждении атомов углерода на более холодной, покрытой частицами катализатора, подложке. Происходит рост нанотрубок под воздействием катализатора на подложке. Подложка помещена в емкость, разогреваемую каким-либо способом до рабочей температуры процесса 1100 °С. Стабильный технологический цикл производства нанотрубок не позволяет организовать применение чистого метана в качестве исходного сырья, поскольку в результате разложения метана при высокой температуре на подложке осаждаются не только нанотрубки, но также большое количество аморфных соединений углерода, которые покрывают частицы катализатора и тем самым инактивируют их, прерывая процесс роста нанотрубок. Группа японских ученых предложила добавлять в состав газовой смеси пары воды из расчета 1/10 000 часть водяного пара на остальные части газовой смеси для борьбы с этим явлением, в число которых кроме метана могут также входить какие-либо инертные газы. Аморфный углерод стал эффективно связываться в результате добавления водяного пара, оставляя частицы катализатора в активном состоянии, что позволило организовать непрерывный цикл получения нанотрубок. Кроме того, добавление водяного пара также позволило улучшить характеристики получаемого продукта. В частности, удалось получить более упорядоченные пакеты нанотрубок. [3]



Рисунок 3 – Схема CVD технологии получения нанотрубок

Литература

1. Маркетинговые исследования. Новые технологии и материалы, наука, инновации, нанотехнологии: [Электронный ресурс]. М., 1999-2020. URL: <https://research.techart.ru>. (Дата обращения: 30.10.2020).
2. Консалдинг и аутсорсинг в области чистых технологий: [Электронный ресурс]. М., 2007-2020. URL: <http://www.cleandex.ru>. (Дата обращения: 02.11.2020).
3. Компоненты и технологии: [Электронный ресурс]. М., 2020. URL: <https://kit-e.ru>. (Дата обращения: 02.11.2020).