

Получение нанотрубок

Разрядно-дуговой метод

Разрядно-дуговой метод, примененный Ииджимой, по сей день остается самым популярным. В этом методе для получения углеродных нанотрубок использует термическое распыление графитового электрода в плазме дугового разряда, горящей в атмосфере гелия. Этот метод, лежащий также в основе наиболее эффективной технологии производства фуллеренов, позволяет получить нанотрубки в количестве, достаточном для детального исследования их физико-механических свойств. Процесс синтеза осуществляется в камере, заполненной гелием под давлением около 500 Торр (рис. 1). На торцевой поверхности катода образуется осадок, в котором формируются углеродные нанотрубки. Наибольшее количество нанотрубок образуется, когда ток плазмы минимален и его плотность составляет около 100 А/см^2 . В экспериментальных установках напряжение между электродами обычно составляет около 15–25 В, ток разряда несколько десятков А, а расстояние между концами графитовых электродов 1–2 мм. В процессе синтеза около 90% массы анода осаждается на катоде.

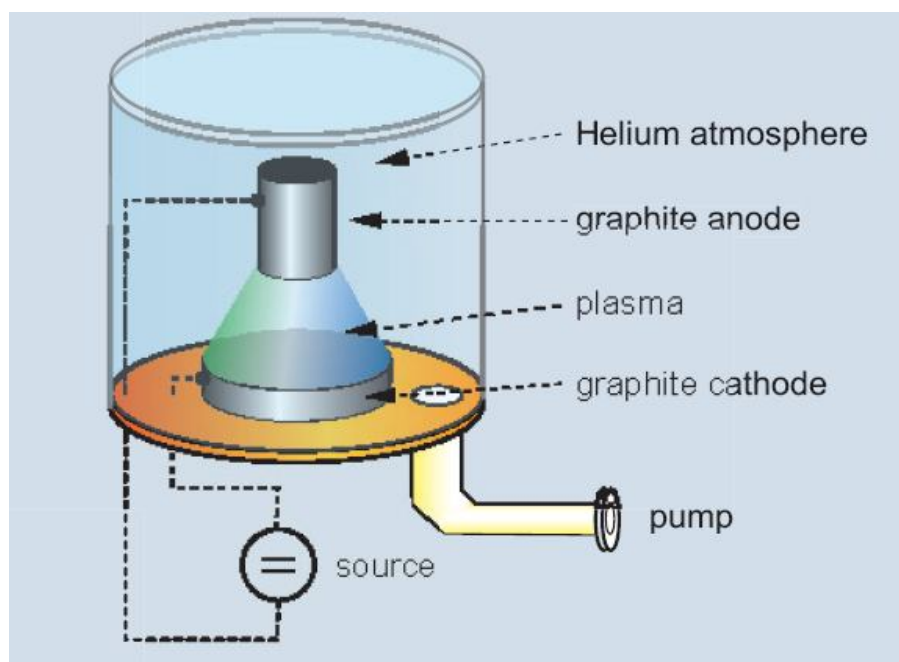


Рис. 1. Камера для разрядно-дугового метода получения нанотрубок в

атмосфере гелия, включающая анод и катод из графита, источник напряжения и насос.

Образующиеся нанотрубки имеют длину порядка 40 мкм. Они нарастают на катоде перпендикулярно плоской поверхности его торца и собираются в цилиндрические пучки диаметром около 50 мкм. Пространство между пучками нанотрубок заполнено смесью неупорядоченных наночастиц и одиночных нанотрубок. Содержание нанотрубок в углеродном осадке (депозите) может приближаться к 60%.

Продукты распыления содержат, наряду с частицами графита, также некоторое количество фуллеренов, осаждающихся на охлажденных стенках разрядной камеры, а также на поверхности катода, более холодного, чем анод. Для разделения компонентов полученного осадка используется ультразвуковое диспергирование. Катодный депозит помещают в метанол и обрабатывают ультразвуком. В результате получается суспензия, которая после добавления воды подвергается разделению на центрифуге. Крупные частицы сажи прилипают к стенкам центрифуги, а нанотрубки остаются плавающими в суспензии. Затем нанотрубки промывают в азотной кислоте и просушивают в газообразном потоке кислорода и водорода в соотношении 1 : 4 при температуре 750°C в течение 5 мин. В результате такой обработки получается достаточно легкий и пористый материал, состоящий из многослойных нанотрубок со средним диаметром 20 нм и длиной около 10 мкм.

Метод химического осаждения из пара

Так называемым методом химического осаждения из пара, т.е. простым пропусканием углеводорода (чаще всего ацетилена) над кобальтом или никельсодержащим катализатором при температурах 600-800°C, тоже можно получить углеродные нанотрубки (рис. 2).

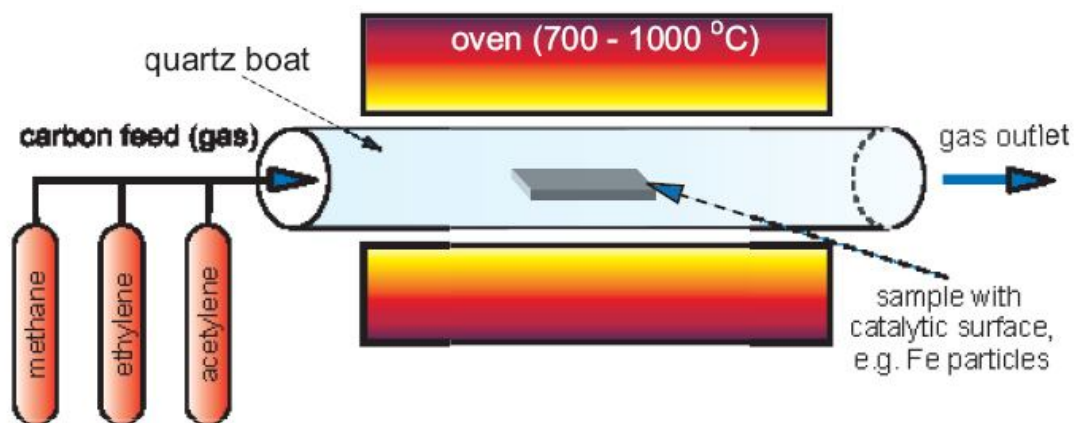


Рис. 2. Схема установки для получения нанотрубок методом химического осаждения из пара. В кварцевую ампулу, помещенную в печь и нагретую до 700-1000 °С, подаются метан, этилен или ацетилен. Нанотрубки растут в присутствии переходных металлов.

Метод лазерной абляции

Возможно, самый изощренный метод заключается в обстреле помещенной в вакуумную камеру графитовой мишени импульсным лазером. Выбитый лазерным импульсом углерод оседает на близко расположенную холодную подложку в виде нанотрубок. Добавляя в мишень разные катализаторы, применяя одновременно несколько лазеров с разной длиной волны излучения, можно добиться получения разных видов нанотрубок.

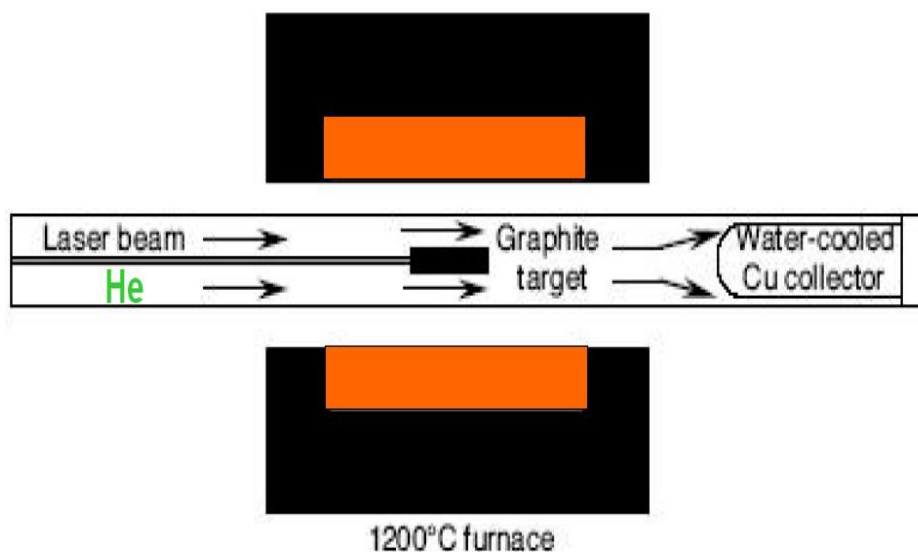


Рис. 3. Схема установки для получения нанотрубок методом лазерной абляции. Источник лазерного излучения, печь нагретая до 1200°C, графитовая мишень, охлажденный коллектор на поверхности которого растут нанотрубки.

Профессор, доктор химических наук

П.Н.Дьячков

1. S. Iijima, Helical microtubules of graphitic carbon, Nature (London) 354, 56 (1991).
2. П.Н. Дьячков. Углеродные нанотрубки: строение, свойства, применения. Москва, Издательство Бином, Лаборатория знаний, 2006, 293 с.