

МАТРИЧНЫЙ СИНТЕЗ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК В ОТКРЫТЫХ ПОРАХ Al_2O_3

Кода В.Ю., Нищенко М.М., Лихторович С.П., Приходько Г.П., Бричка С.Я., Бричка А. В.
Институт металлофизики им. Г.В. Курдюмова НАН Украины, бульв. Акад. Вернадского, 36,
Киев, 03142 Украина

Институт химии поверхности НАН Украины, пр. Ген. Наумова, 17, Киев, 03164 Украина
E-mail: pozit@imp.kiev.ua

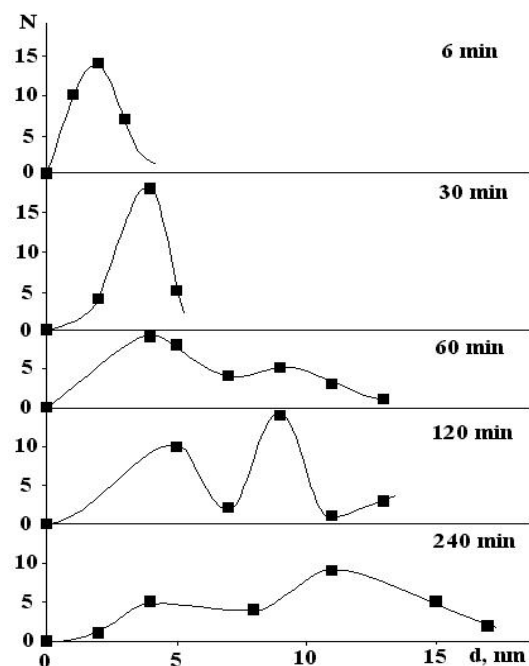


Рис. Распределение нанотрубок по толщине стенок для различного времени синтеза.

Ориентированные нанотрубки выращены матричным методом в упорядоченной системе нанопор на мембранах Al_2O_3 пиролизом дихлорметана (CH_2Cl_2) в инертной атмосфере аргона при 500°C [1]. После отделения углеродных нанотрубок от матрицы, они исследовались методами просвечивающей электронной микроскопии (ТЕМ) и электронно-позитронной аннигиляции (ЭПА). С увеличением времени пиролиза от 5 до 240 мин внешний диаметр нанотрубок (равный внутреннему среднему диаметру нанопор двух типов 44 и 62 нм) не изменяется, а толщина стенок растёт до 30 графитовых слоёв, приводя к уменьшению внутреннего диаметра нанотрубок. На начальной стадии процесса один замкнутый в цилиндр углеродный слой формируется за 45 с. Со временем скорость роста нанотрубок уменьшается, при этом разброс значений толщин стенок увеличивается (рис.) и появляется второй пик около 10 нм, что

обусловлено наличием пор двух значений диаметров [2]. В трубках меньшего диаметра толщина стенок больше. Среднее межслоевое расстояние между слоями в нанотрубках по данным ЭПА составляет $0,355 \pm 0,003$ нм. Это превышает на 0,02 нм значение межслоевого расстояния для графита 0,335 нм.

Образование тонкостенных многослойных нанотрубок описывается в рамках модели последовательного роста оболочек внутри свободной полости нанотрубки. Средняя скорость встраивания атомов углерода в квазиодномерную углеродную цепочку при формировании внутреннего слоя практически не зависит от диаметра нанотрубок. Эта скорость для отдельной нанотрубки длиной 100 мкм (равной толщине мембраны) – $7,5 \cdot 10^6$ атомов углерода в секунду (время синтеза 30 мин.).

Завершающим этапом сворачивания каждого из внутренних слоёв является установление ковалентных связей при сшивке свободных краёв растущих внутренних цилиндрических углеродных слоёв. Уменьшение потенциальной энергии атомов в слое на значение поверхностной энергии сшитых свободных концов компенсируется повышением упругой энергии. Появление упругих сил приводит к наблюдаемому увеличению расстояния между слоями в нанотрубке. Расчет проведен в соответствии с данными электрон-позитронной аннигиляции.

Литература

1. А.В. Бричка, Г.П. Приходько, С.Я. Бричка, В.М. Огенко, А.И. Сенкевич // Укр. хим. журн., 69, №8, с. 67-70 (2003).
2. М.М. Нищенко, В.Ю. Кода, С.П. Лихторович, Г.П. Приходько, С.Я. Бричка, А.В. Бричка, Н.И. Даниленко // Металлофиз. новейшие технол., 26, №10, с. 1277-1287 (2004).