

ФИЗИКА ПОЛУПРОВОДНИКОВ И ДИЭЛЕКТРИКОВ

УДК 620.3

DOI: 10.17223/00213411/62/5/59

С.Д. ШАНДАКОВ, М.С. РЫБАКОВ, И.М. ЧИРКОВА, Д.М. РУССАКОВ, А.И. ВЕРШИНИНА,
М.В. ЛОМАКИН, А.В. КОСОБУЦКИЙ, Ю.С. ПОПОВ

ВЛИЯНИЕ СУБМИКРОННЫХ ЧАСТИЦ АНТРАЦИТА НА УСЛОВИЯ АЭРОЗОЛЬНОГО СИНТЕЗА И СВОЙСТВА УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК*

Выполнены исследования свойств однослойных углеродных нанотрубок (ОУНТ), полученных CVD-методом с летучим катализатором с использованием этилового спирта и частиц угля (антрацита и полуантрацита). Определены структурные и колебательные характеристики продуктов синтеза. Обнаружено, что обогащение реакционной смеси частицами антрацита повышает концентрацию CO и CH₄ в реакционной зоне, что способствует росту ОУНТ. Сравнение спектров комбинационного рассеяния света показывает увеличение содержания полупроводниковых ОУНТ малого диаметра, при этом набор индексов хиральности получаемых нанотрубок остается неизменным.

Ключевые слова: однослойные углеродные нанотрубки, аэрозольный метод, угольные частицы.

Введение

Расширение производства углеродных нанотрубок (УНТ) зависит от развития схем синтеза нанотрубок с использованием недорогого сырья. Ряд выполненных исследований показали, что в качестве недорогого и легкодоступного источника углерода может выступать каменный уголь. Эксперименты по синтезу УНТ с использованием углей различных марок в подавляющем большинстве работ проводились на электродуговых установках. Однако синтез электродуговым методом либо методом плазменной струи вряд ли может выиграть от применения угля вследствие высоких энергетических затрат обоих подходов, что делает несущественной экономию на стоимости исходных материалов. Более предпочтительным является использование каменного угля в менее энергозатратных установках синтеза методом химического осаждения из газовой фазы (CVD). Однако изучению возможностей использования угля на установках CVD для получения углеродных нанотрубок посвящено чрезвычайно мало работ [1].

В предыдущей работе [2] выполнено исследование возможностей аэрозольного CVD-метода для синтеза УНТ с использованием частиц рядового угля марки К с содержанием углерода 89 %. Эксперименты показали увеличение выхода однослойных УНТ (ОУНТ) при введении в реакционную смесь относительно малой доли угля (~ 1000 част./млн) и снижение выхода при добавках угля свыше 3000 част./млн. В настоящей работе проанализировано влияние угля более высокой степени углефикации, а именно антрацита (А) с содержанием углерода 94–97 %, а также полуантрацита (Т), добываемых в Кузбассе.

Получение образцов и методы исследований

Технология синтеза основана на использовании этанола и ферроцена в качестве источников углерода и железа соответственно [3, 4]. Раствор ферроцена (Sigma Aldrich, 98 %) в этаноле (95.6 %) вводился в реакционную зону в виде аэрозольных частиц, полученных с помощью ультразвукового небулайзера. В отличие от общепринятых методов получения пленок (сеток) УНТ из суспензий, аэрозольная технология дает возможность осаждать прозрачные и гибкие слои «чистых» ОУНТ непосредственно на выходе из реактора путем фильтрации газового потока или непосредственного осаждения на любую подложку [5]. В установке использовалась горизонтальная печь с кварцевой трубкой внутренним диаметром 21 мм и зоной нагрева длиной 40 см. Синтез проводился при установочной температуре 825 °С. Частицы аэрозоля (размером примерно до 5 мкм) вносились в реактор потоком аргона через охлаждаемый водой наконечник, что позволяет получить высокий температурный градиент. Этанол с ферроценом (200 част./млн) подавался при постоянном расходе около 0.2 см³/мин при расходе аргона 400 см³/мин, проходящего через небулайзер, и таком же рас-

* Работа выполнена в рамках госзадания Минобрнауки РФ (проект № 3.6418.2017/8.9).

Уважаемые читатели!

Доступ к полнотекстовой версии журнала
«Известия высших учебных заведений. Физика»
осуществляется на платформе
Научной электронной библиотеки eLIBRARY.RU
на платной основе:

<https://elibrary.ru/contents.asp?titleid=7725>