

Синтез многослойных углеродных нанотрубок на поверхностях различной геометрии и морфологии с использованием многослойных катализаторов

Бетке И.А.^{1,2}, Гареев Т.И.², Зайцев О.В.^{1,2}

¹Новосибирский государственный университет, Новосибирск, Россия

²Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе СО РАН, Новосибирск, Россия

betkeigor@gmail.com

Вертикальные массивы углеродных нанотрубок (УНТ) могут быть синтезированы методом химического осаждения из газовой фазы на плотно упакованных матрицах каталитических наночастиц железа, никеля или кобальта. За счёт наличия единственного выделенного направления роста УНТ, такие массивы обладают выраженной анизотропией тепло- и электропроводящих свойств [1] и имеют большие перспективы для систем управления тепловыми потоками в микроэлектронике [2].

В работе изучалось влияние структуры каталитических субстратов на параметры синтезируемых УНТ - их высоты, плотности, среднего диаметра и кристалличности. Каталитические поверхности создавались методом магнетронного напыления на металлических подложках. В простейшем варианте каталитический слой представляет собой тонкую (до 10 нм) пленку железа. Для каталитического роста нанотрубок эта пленка подвергается отжигу в водородной среде при температуре 700 °С, что приводит к формированию сетки наночастиц с диаметром 15-20 нм в случае существенного дисбаланса когезии пленки катализатора и адгезии к материалу подложки.

Для улучшения плотности каталитических матриц, эффективной регуляции их среднего размера и увеличения времени жизни катализатора были синтезированы слоистые гетероструктуры с чередованием слоёв железа и оксида алюминия. Распределение частиц катализатора на поверхности определяется исходной толщиной верхнего слоя железа, морфологией пленки оксида алюминия и диффузией атомов железа через буферный слой из подлежащего слоя.

На этапе синтеза в реакционную зону подаются смеси аргона, водорода и ацетилена. При взаимодействии ацетилена с поверхностью катализатора углерод частично растворяется в наночастицах железа. По достижении пересыщения раствора углерода в железе он десорбируется на поверхности в виде графеноподобной гексагональной решетки. УНТ механически выравнивают друг друга, формируя вертикально ориентированный «лес» при расстоянии между зародышевыми каплями, сопоставимом с диаметром трубок.

Для характеристики синтезированных УНТ использовались оптическая и электронная микроскопия, спектроскопия комбинационного рассеяния. По оптическим снимкам с расширенным фокусом для серии образцов определены распределения высот в зависимости от координаты вдоль потока, обсуждаются причины бимодальных распределений. Найденны корреляции структурных свойств и параметров УНТ со структурой каталитических слоев. Предложена модель, связывающая концентрацию дефектов и скорость роста УНТ с эффективностью диффузии атомов железа через барьерный слой.

1. Esconjauregui S. et al. Growth of ultrahigh density vertically aligned carbon nanotube forests for interconnects // ACS nano. 2010. Т. 4. №. 12. С. 7431-7436.

2. Nahm M. G. et al. A review: controlled synthesis of vertically aligned carbon nanotubes // Carbon letters. 2011. Т. 12. №. 4. С. 185-193.

Работа выполнена при поддержке государственного задания ИТ СО РАН (проект №122022800487-2).

Авторы выражают благодарность к.ф.-м.н. Нерушеву О.А. и к. ф.-м. н. Пильнику А.А. за постановку задачи и помощь в проведении исследований и интерпретации полученных результатов.