

Бескаталитический синтез углеродных наноструктур в условиях ограниченного реакционного объема

Приображенский С.Ю.^{1,2}, Мынбаева М.Г.¹, Гущина Е.В.¹, Смирнов А.Н.¹, Давыдов В.Ю.¹, Лебедев А.А.¹

sergei.prioby@mail.ioffe.ru

¹ ФТИ им. А.Ф. Иоффе, Санкт-Петербург, Россия

² СПбГЭТУ «ЛЭТИ», Санкт-Петербург, Россия

В работе описан эффект самоорганизованного роста углеродных наноструктур в зазоре между двумя пластинами SiC без использования металлических катализаторов. Исходная ширина зазора соответствовала высоте атомных ступеней, заранее сформированных на поверхностях пластин. Рост происходил в условиях ВЧ-нагрева в вакууме при подаче паров кремния из внешнего источника (монокристаллического Si). Установлено, что пространственное ограничение в сочетании с избыточным давлением паров Si создает условия для формирования субмикронного реакционного объема, в котором образуются дискретные капли кремниевого расплава, обогащенные углеродом, источником которого служат контактирующие поверхности SiC.

Данные атомно-силовой микроскопии (АСМ) показали наличие плотных пучков вертикальных наноструктур, локализованных вдоль ступеней на поверхности SiC. Методом комбинационного рассеяния света (КРС) установлено, что наноструктуры представляют собой одностенные углеродные трубки (ОУНТ). В спектрах КРС зафиксированы типичные для ОУНТ G-мода (~ 1594 см⁻¹), D-мода (1352 см⁻¹), а также радиальные «дышащие моды» (RBM). По частотному положению RBM определен диапазон диаметров нанотрубок 1.1–2.1 нм. Наряду с этим в спектрах КРС присутствовали узкие линии на частоте 1050 см⁻¹, характерные для коротких одномерных углеродных цепочек поплинового типа (карбина) [1]. Дополнительно наблюдалось появление мод на частоте ~ 1086 см⁻¹, которые также можно отнести к проявлению колебаний одинарных связей sp¹-углеродных цепочек, частота которых смещается под влиянием Ван-дер-Ваальсова взаимодействия в плотных пучках. Присутствия каких-либо углеродных фаз на поверхности SiC между пучками ОУНТ выявлено не было.

На основе полученных результатов предложена схема процесса самоорганизации иерархических углеродных наноструктур в ограниченном объеме. Ключевыми моментами процесса являются: (1) стадия образования «реакционного объема» — капель кремниевого расплава и (2) обогащение расплава углеродом за счёт реакционного взаимодействия с SiC. Полученные результаты расширяют представления о фазовых превращениях в системе Si-SiC и предлагают новый подход к созданию сложных наноархитектур на полупроводниковых подложках.

Ссылки

1. B. Pan, J. Xiao, J. Li, P. Liu, C. Wang, G. Yang, Carbyne with finite length: The one-dimensional sp carbon, Sci. Adv. (2015), 1, e1500857.