

Влияние *in situ* синтезированного графена на электрические и теплофизические свойства алюминий-графеновых композитов

Елшина Л.А.¹, Мурадымов Р.В.¹

yolshina06@rambler.ru

¹ ИВТЭ УрО РАН

Механизм синтеза алюминий-графенового композиционного материала “*in situ*” состоит в химическом взаимодействии углеродсодержащего прекурсора с алюминием под слоем расплавленных галогенидов щелочных металлов с выделением на поверхности расплавленного алюминия углерода и дальнейшей диффузии атомов углерода в объем расплавленного алюминия. При превышении предела растворимости углерода в алюминии образуются углеродные кластеры, которые при дальнейшем медленном застывании соединяются в графеновые пленки. Методом СЭМ показано, что графен не образует непрерывную сеть в алюминий-графеновом композите, оставаясь в виде многочисленных отдельных прозрачных для вторичного электронного излучения листов. Формирование двух- и трехслойного графена в алюминиевой матрице без образования карбида алюминия Al_4C_3 было подтверждено методами КР спектроскопии, РФЭС и ПЭМ. По данным атомно-силовой микроскопии листы графена с характеристическими углами 120° имеют среднюю толщину 1 нм, что соответствует трехслойному графену, они равномерно распределены по поверхности шлифа алюминий-графенового композита. Достигнуто равномерное распределение углерода по объёму металлической матрицы, пленки графена не локализованы на границах зёрен и глубоко интегрированы в теле зерна, благодаря чему кристаллизация носит однородный характер. По данным сравнительного рентгенофазового анализа алюминия и алюминий-графенового композита, содержащего от 0.1 до 1 масс. % углерода, дифрактограмма композита соответствует алюминию с измененной текстурой. При образовании графеновых пленок в кристаллической структуре алюминия происходит общее сжатие объёма ячейки Бравэ на 0.12 % несимметричным образом - только за счёт одного типа симметрии (220). По-видимому, атомы углерода занимают позиции преимущественно по этому виду плоскостей, что согласуется с предположением о регулярном типе кристаллизации углерода по нормали. Измеренная теплопроводность графеновых композитов с концентрацией 0.05 и 0.10 масс. % графена при 50-580 °C на 21 % выше теплопроводности чистого алюминия, составляя при комнатной температуре величину – 280 Вт/м·К, что равно 71% теплопроводности меди, а измеренное при комнатной температуре электрическое сопротивление алюминий-графеновой проволоки на 5.6-9.0 % ниже электрического сопротивления проволоки из высокочистого алюминия и составляет 63 % электросопротивления меди. Основной причиной столь существенного увеличения электро- и теплопроводности алюминий-графеновых композитов следует считать введение графена, обладающего самой высокой теплопроводностью от 4800 до 5300 Вт/м·К в зависимости от количества слоев и дефектности, в металлическую алюминиевую матрицу. Очевидно, что даже невысокие содержания пленок двух- и трехслойного совершенного графена без образования побочных продуктов на границе раздела алюминий-графен могут существенно улучшить электрические и теплофизические свойства графеновых композитов по сравнению с исходным металлом.

Благодарности

В работе использовано оборудование Центра коллективного пользования «Состав вещества» ИВТЭ УрО РАН и «Современные нанотехнологии» УрФУ им. Б.Н.Ельцина. Работа выполнена в соответствии с бюджетным планом Института № 125020501555-3