

Исследование геометрических параметров углеродных нанотрубок в композитах методом растровой электронной микроскопии

Ю.С. Зыбина

Национальный исследовательский университет «МИЭТ»,

e-mail: juliaZybina@gmail.com

Механические свойства нанокompозитных материалов, используемых в области медицины, значительно улучшает армирование углеродными нанотрубками (УНТ), что делает актуальной задачу характеристики их формы и геометрических параметров в композитах.

В настоящей работе проведены исследования УНТ в матрице бычьего сывороточного альбумина методом растровой электронной микроскопии с последующей цифровой обработкой изображений.

Микрофотографии УНТ во вторичных электронах были получены в растровом электронно-ионном микроскопе Helios NanoLab 650 при ускоряющем напряжении 5 кВ с применением иммерсионного режима. Обработка экспериментальных данных проводилась в среде MatLab, в которой была реализована программа для определения формы нанотрубок, их длины и диаметра.

Алгоритм основан на применении к исходному изображению процедуры пороговой бинаризации, позволяющей выделить нанотрубку на фоне матрицы композита в виде двух линий - контуров, расстояние между которыми соответствует диаметру УНТ. Полиномиальная аппроксимация контуров, степень которой определяется методом наименьших квадратов, даёт возможность описать форму нанотрубки и найти её длину. Затем полиномиальные кривые разбиваются на локальные участки, к которым строятся перпендикуляры в направлении противоположного контура. Диаметр УНТ соответствует расстоянию между основанием перпендикуляра на одном контуре и его точкой пересечения с другим контуром. Величина диаметра вычисляется вдоль нанотрубки с заданным шагом, и определяется его среднее значение и среднеквадратическое отклонение.

Таким образом, разработанный подход к обработке изображений УНТ позволяет определять их форму, измерять диаметр и длину и сравнивать нанотрубки между собой.

Особенности процесса совмещения шаблона в сканирующей ионной нанолитографии на диэлектрических подложках

К.К. Лаурентьев, К.А. Царик

Национальный исследовательский университет «МИЭТ»,

e-mail: lavrkk@list.ru

Одна из перспективных технологий, ионная литография сочетает наноразмерное разрешение, высокую производительность и возможность создания литографического рисунка без изготовления дорогостоящего шаблона. Однако существует проблема совмещения в процессе выполнения сложного маршрута ввиду накопления зарядов на изолирующих поверхностях.

В работе исследована возможность внедрения лазерной оптической литографии в маршрут ионной литографии. Для совмещения файла шаблона, управляющего ионным пучком, необходимо визуализировать нанесенные на пластину знаки совмещения. Сформированные методом лазерной оптической литографии (с программным шаблоном) металлические знаки совмещения имели форму непрерывной сетки. Фоторезист ФП-617 наносился поверх применяемого резиста, чувствительного к ионному пучку (высокомолекулярного ПММА или ЭПП-20). Исследования показали, что процесс обратной фотолитографии металлической сетки не оказывает воздействия на слой резиста для ионной литографии. Экспериментально показана возможность визуализации заземлённой металлической сетки на сапфировой подложке во вторичных электронах, инициированных ионным пучком, и совмещения положения пучка по данной сетке. Доза воздействия ФИП при сканировании во время совмещения недостаточна для экспонирования резиста и не влияет на его растворимость в проявителе.

Результаты показывают, что разработанная литографическая методика идеально вписывается в маршрут изготовления мощного СВЧ-транзистора с высокой подвижностью электронов на основе AlGaIn/AlN/GaN гетероструктур с наноразмерным затвором.

Работа выполнена при поддержке Гранта Президента РФ № 14.Y30.14.1922-МК.