**Анализ методов исследования наноматериалов**

Студ. Мустафаев М.Г.

Кафедра электронных приборов.

Северо-Кавказский горно-металлургический институт (государственный технологический университет)

Рассмотрены методы исследования структуры наноматериалов и их особенности.

Задачи получения достоверной информации о размерах кристаллов (слоев, включений и пор) и их распределения применительно к наноматериалам часто осложняются многими факторами. Поэтому желательно использовать, по крайней мере, два независимых метода. Эффективность результатов исследования наноматериалов зависит от правильного выбора и применения методов изучения их структуры.

Методы просвечивающей электронной микроскопии (ПЭМ) и рентгеноструктурного анализа (РСА) – это основные методы изучения структуры наноматериалов [1, 2]. В отдельных случаях используют спектры комбинационного рассеяния (рамановская спектроскопия, например, для определения диаметра графитовых нанотрубок), мессбауэровская спектроскопия (для измерения, например, размера кластеров железа по интенсивности линий спектра), измерение объема сорбированных газов (для определения эффективных диаметров открытых нанопор и наночастиц), рентгеновская абсорбционная спектроскопия (для расчета координационных чисел из экспериментальных кривых радиального распределения атомов), малоугловое рассеяние рентгеновских лучей и нейтронов (для оценки распределения наночастиц и нанопор по размерам) и др.

Кроме РСА важную информацию о форме и размере зерен дают электронно-микроскопические исследования. Измерение размера структурных составляющих наноматериалов осуществляется электронно-микроскопическими методами с помощью изображений прямого разрешения и темнопольных изображений с компьютерной обработкой результатов измерений для массивов, содержащих обычно не менее 1000 – 2000 кристаллитов.

Для изучения топографии поверхности пленок и изломов применяют сканирующий электронный микроскоп и атомно-силовой микроскоп.

Сканирующая туннельная микроскопия. Свойства поверхности образцов изучаются путем приложения небольшого напряжения (0,01 – 10 В) и регистрации туннельного тока в зазоре (примерно несколько атомных диаметров) между электропроводящим острием (зондом) и исследуемой поверхностью металлов, полупроводников и других проводящих материалов. Туннельный ток зависит от химического состава и особенностей рельефа. Эта информация дополняется данными спектроскопических измерений. Полученные результаты характеризуют топографию, химические и электронные свойства поверхности. С помощью сканирующего туннельного микроскопа можно не только осуществлять собственно микроскопические исследования с подробной аттестацией поверхностной структуры, но и зондом перемещать отдельные атомы по поверхности, т.е. проводить модификацию поверхности.

Атомно-силовая микроскопия. Сканированием с помощью зонда регистрируют вариации силового взаимодействия кончика иглы с исследуемой поверхностью. Игла расположена на конце специальной консольной балки (кантилевера), способной изгибаться под действием небольших сил взаимодействия ван-дер-ваальсового типа, возникающих между вершиной иглы и исследуемой поверхностью. Деформация кантилевера регистрируется с помощью чувствительных датчиков, что дает возможность после соответствующих преобразований воссоздать с высоким разрешением топографию исследуемой поверхности.

Высокоразрешающая просвечивающая электронная микроскопия. Для излучения тонких особенностей структуры наноматериалов используют высокоразрешающие просвечивающие электронные микроскопы с ускоряющим напряжением не менее 200 кВ, позволяющие получить разрешение по точкам не менее 0,20 нм. Информация о составе и кристаллической структуре изучаемых образцов можно получить микродифракционными исследованиями, а также регистрацией рентгеновского излучения, возбуждаемого взаимодействием электронного пучка с образцом.

За счет уменьшения диаметра пучка и повышения чувствительности детекторов удается добиться пространственного разрешения порядка 0,5 нм с пределом детекции около 100 атомов.

Сканирующая электронная микроскопия высокого разрешения. В сканирующих электронных микроскопах высокого разрешения изображение рельефа получают при сканировании пучком электронов по поверхности образца. Использование специальных катодов с полевой эмиссией значительно повышает эффективность получения качественных изображений с разрешением 1 – 1,5 нм.

Получение достоверной информации об исследуемых наноматериалах, их физико-химических и структурных свойствах существенно зависит от правильного выбора и применения методов исследования.

**Список литературы**

1. Штанский Д.В. Просвечивающая электронная микроскопия высокого разрешения в нанотехнологических исследованиях // Российский химический журнал. 2002, Т.46. №5. С.81.

2. Головин Ю.И. Введение в нанотехнологию. М.: Машиностроение. № 1, 2003.