

УДК 621.3.4:537.533.35

РАЗРАБОТКА МЕТОДА КОНТРОЛЯ И ИДЕНТИФИКАЦИИ НАНОРАЗМЕРНЫХ ОБЪЕКТОВ ПО ИХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИМ СПЕКТРАМ

© А.В. Закурко, В.Н. Чернышов, В.П. Шелохвостов

Zakurko A.V., Chernyshov V.N., Shelokhvostov V.P. Elaboration of the method of control and identification of nanoobjects according to their power spectrums. The universal method of identification of nanoobjects located in various conditions and media is given. The method is implemented by special means of electron op-tics and mathematical analysis of graphic information.

Развитие нанотехнологии требует создания новых методов и средств контроля параметров технологических процессов синтеза наноструктурных материалов (тип, процентное содержание и др.). Перспективной представляется разработка резонансных систем оперативного контроля наноматериалов на основе тест-объектов (квантовых эталонов нанообъектов). При создании тест-объектов необходимо контролировать соответствие свойств получаемых эталонов и реальных нанообъектов. Параметром характеристики в этом случае может служить энергетический спектр, как наиболее полно отражающий особенности квантовых структур [1].

Аналитические и экспериментальные исследования показали возможность применения теневого электронно-оптического метода муара для визуализации энергетических спектров нанообъектов, находящихся в различных состояниях и средах, при создании условий взаимодействия спектра с электронным потоком. Была разработана методика получения топологического изображения полей малых возмущений, выявляющая спектр исследуемого объекта по неоднородностям электрического поля экспериментально подобранной визуализирующей системы [2]. Предложена модель взаимодействия поля, формируемого при воздействии спектра нанообъекта, с электронным потоком, показывающая связь между геометрией изображения и распределением напряженности электрического поля в зазоре системы [3].

Разработана методика создания образцов для исследований и контроля нанообъектов, включающая непосредственное размещение в системе визуализации нанообъектов меди вакуумным напылением с получением островковой структуры, и приготовление тест-объекта наноструктурной меди на основе водной среды. Осуществлялся контроль полученных структур методами электронной микроскопии и кондуктометрии [4]. Для исследований также использовались готовые биологические тест-объекты фирмы «Heel» (Германия).

Полученные муаровые картины для выявления содержащихся энергетических спектров и их идентификации обрабатывали по разработанной двухэтапной методике математической обработки. Для фильтрации

изображения и оценки наличия спектра нанообъекта применяли вейвлет-преобразование [5], для определения параметра идентификации – фрактальной размерности – фрактальный анализ [6].

На основе разработанных методик был создан метод контроля и идентификации наноразмерных объектов и тест-объектов по их энергетическим спектрам.

Производили подготовку образцов исследований: нанообъектов меди и тест-объектов наноструктурной меди. Поочередно включали полученные образцы в цепь визуализирующей системы и источника питания для создания условий переноса энергетического спектра исследуемого нанообъекта в поле.

Создавали в колонне электронографа расходящийся электронный поток, проходящий через систему визуализации и сетку, фиксировали изображение поля в виде муаровой картины двойным экспонированием одной фотопластины.

Осуществляли математическую обработку муаровой картины с получением фрактальной размерности изображения поля, которая в обоих случаях составила 1,364.

Для подтверждения достоверности разработанного метода проводили исследование тест-объекта наноструктурной меди известным способом обнаружения и идентификации химических и биологических объектов в растворах высокого разбавления по структурным изменениям среды, который показал наличие меди в контролируемой водной среде [7].

При помощи разработанного метода проводили исследования биологических тест-объектов *Cholera* и *Staphylococcinum*. В результате фрактальные размерности составили соответственно 1,291 и 1,277.

Полученные в результате апробации метода экспериментальные данные подтвердили его достоверность и адекватность предложенной физико-математической модели.

Таким образом, разработан новый универсальный метод контроля и идентификации наноразмерных объектов и тест-объектов, позволяющий с высокой достоверностью осуществлять идентификацию и контролировать соответствие свойств наноматериалов и их тест-объектов.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Ляхно В.Д.* Кластеры в физике, химии, биологии. Ижевск: НИЦ Регулярная и хаотическая динамика, 2001.
2. *Закурко А.В., Шелохостов В.П., Иванов В.П., Луканцов С.А.* Применение метода электронно-оптического муара для визуализации и анализа полей различной физической природы // Вестн. Тамб. ун-та. Сер. Естеств. и техн. науки. Тамбов, 2000. Т. 5, вып. 2-3. С. 342–344.
3. *Закурко А.В., Шелохостов В.П.* Методика расчета сложных электрических полей малых возмущений // Повышение эффективности средств обработки информации на базе математического моделирования: VII Всерос. науч.-техн. конф. Тамбов, 2004. С. 513–517.
4. *Макарчук М.В.* Резонансный метод и устройство идентификации углеродных нанообъектов в процессе их синтеза: автореф. дис. ... канд. техн. наук / ТГТУ. Тамбов, 2005.
5. *Гонсалес Р.* Цифровая обработка изображений в среде MATLAB. М.: Техносфера, 2006.
6. *Федер Е.* Фракталы. М.: Мир, 1991.
7. *Шеришорин Д.А.* Метод и устройство контроля присутствия химических веществ и биологических объектов в растворах высокой степени разведения: дис. ... канд. техн. наук. Тамбов, 2004.

БЛАГОДАРНОСТИ: Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, гранты № 06-08-00673-а, 07-08-00584-а.

Поступила в редакцию 2 октября 2007 г.