

УДК 539.24

ОБРАБОТКА И АНАЛИЗ ИЗОБРАЖЕНИЙ ПОВЕРХНОСТИ АНОДНЫХ ПЛЕНОК С НАНОПОРИСТОЙ СТРУКТУРОЙ В ПРОГРАММЕ IMAGEJ

АЛЬ-КАМАЛИ М.Ф.С.Х., магистрант, ВРУБЛЕВСКИЙ И.А., в.н.с.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Ключевые слова: imageJ, цифровая обработка изображения, СЭМ изображение, нанопористые пленки, оксид титана.

Реферат: описана методика цифровой обработки и анализа изображений пленок с нанопористой структурой по данным сканирующей электронной микроскопии с использованием программы ImageJ. На примере нанопористых пленок TiO_2 показано, что результаты измерений позволяют рассчитать средний диаметр пор, а также стандартное отклонение. Графические зависимости для визуализации процесса анализа представлены в виде гистограммы численного распределения диаметра пор по размерам.

Изучение морфологических и структурных характеристик материалов с нанопористой структурой является одной из трудных и важных задач материаловедения. Это объясняется тем, что создание новых материалов с улучшенными характеристиками, имеющих массивы высокоупорядоченных наноразмерных пор, невозможны без определения размеров пор и плотности их распределения. В данной работе для анализа морфологии поверхности выбраны пленки нанопористого оксида титана. Такие пленки вызывает большой интерес благодаря своей уникальной самоорганизованной нанопористой структуре, а также потенциальной возможности управления ее размерными параметрами, что открывает перспективы для широкого применения в конструкциях газовых сенсоров, солнечных элементов, фотокаталитических и биосовместимых покрытиях [1, 2].

В своих исследованиях авторы использовали программу "ImageJ". Данной программой содержат все необходимые алгоритмы для обработки изображений: высокочастотного и низкочастотного фильтрования, выделение пределов изображений, арифметических и логических операций, коррекции яркость/контраст [3–5].

Целью работы было использование алгоритмов анализа изображений для определения геометрических параметров пленок нанотрубчатого TiO_2 с наноразмерными порами. Решение таких задач, включающих анализ и обработку изображений, проводилось при помощи программного продукта ImageJ, алгоритмы работы которого позволяли анализировать характеристики сотовой структуры пористых пленок по данным сканирующей электронной микроскопии (СЭМ).

Структура пористых пленок представляла собой плотно упакованные массивы нанотрубок оксида титана, ориентированных перпендикулярно металлической подложке. Морфологию полученных образцов изучали с помощью СЭМ на микроскопе Zeiss DSM 982. Напряжение на ускоряющем электроде варьировали от 10 до 20 кВ. На рисунке 1а представлена микрофотография пленок нанотрубчатого TiO_2 , полученных анодированием в электролите на основе этиленгликоля с добавками фторид-ионов. Как видно из рисунка 1а, сформированные пленки характеризовались узким распределением пор по размерам.

Для обработки и получения характеристик нанопористой структуры пленок использовалась следующая последовательность алгоритмов в программе «ImageJ»:

- 1) фильтрование изображения с целью исключения случайного шума;
- 2) предыдущая сегментация, которая направлена на выделение однородных областей;
- 3) коррекция объекта с целью определения порога яркостей;
- 4) окончательная сегментация с использованием определенного фонового значения, что позволяет полностью определить объекты;
- 5) анализ выделенных объектов с целью определения их параметров.

На рис. 1–2 представлены пример начальных (рисунки 1а и 1б) и конечных (рисунок 2) результатов работы программы по обработке СЭМ изображений для пленок нанотрубчатого TiO_2 .

Работа с использованием программы ImageJ включала в себя несколько этапов. В начале для получения информации о размере пор необходимо провести калибровку области изображения. В меню настройки (Settings) выбирается функция Calibrate Spatial Measurements и проводится линия заданной длины. В качестве такой линии выбирается маркер, обычно находящийся в правом нижнем углу микрофотографии. В появляющемся диалоговом окне выбирается нужная размерность и задается длина линии. После того как проведена калибровка изображения, переходят непосредственно к операциям для измерения размеров пор.

На первом этапе оттенки серого цвета, присутствующие в СЭМ изображении, импортировались в ImageJ (рисунок 1а). Затем задавались размеры анализируемой области, проводили обрезание до выбранного размера и остальное изображение преобразовывали в настоящее черно-белое изображение (рисунок 1б). На втором этапе, перед преобразованием, в программе ImageJ выбирали значение порогового серого, выше которого связанные пиксели преобразовывались в черный цвет, в свою очередь ниже которого пиксели преобразовывались в чисто белый цвет.

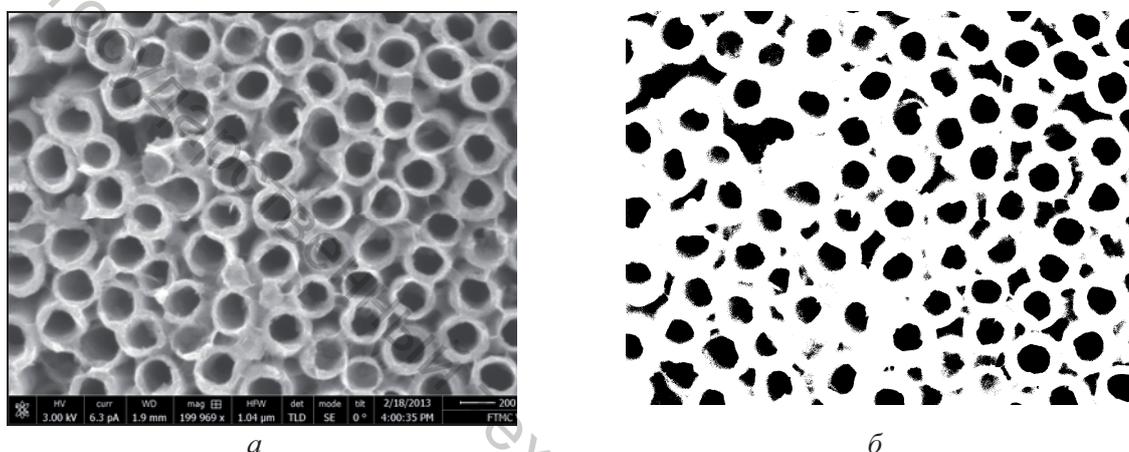


Рисунок 1 – СЭМ изображение поверхности нанопористых пленок нанотрубчатого TiO_2 (а) и ее окончательный вид (б) для идентификации пор после преобразования в черно-белую графику с помощью компьютерной программы ImageJ

Режимы получения пленок: напряжение анодирования 50 В, продолжительность анодирования – 40 мин; отжиг на воздухе при 500 °С в течение 2 ч.

Для проведения анализа лучше всего подходило СЭМ изображение, где имелся значительный контраст в оттенках серого между круглыми порами. На третьем этапе, с помощью установок программы автоматически удалялись мелкие темные объекты и, таким образом, проводилась очистка изображения. В конце цикла программа выдавала данные для построения гистограммы распределения пор определенного диаметра на анализируемой поверхности (рисунок 3).

Как видно из результатов, представленных на рис. 2, пленки нанотрубчатого TiO_2 имели размер пор 50,3 нм. Полученный результат хорошо согласуется с данными в литературе для размеров пор пленок нанотрубчатого TiO_2 , формируемых в электролите на основе этиленгликоля с добавками фторид-ионов.

Таким образом, показано, что микроскопические методы анализа морфологии поверхности являются достаточно простыми и очень информативными методами изучения пористой структуры нанопористых пленок TiO_2 . Проведенное изучение позволило сделать вывод, что программа ImageJ для анализа микроизображений является подходящим инструментом для количественного определения параметров микроструктуры пленок TiO_2 с наноразмерными порами. Она поддерживает стандартные функции обработки изображений, такие, как логические и арифметические операции между изображениями, манипуляции с контрастностью, свертки, Фурье-анализ, повышение резкости, сглаживание, обнаружение границ и медианный фильтр. Результаты измерений в программе ImageJ позволяют рассчитать средний диаметр пор

нанотрубчатых пленок TiO_2 , а также стандартное отклонение. Построение графических зависимостей для визуализации процесса анализа реализуется в виде гистограмм или кривых численного распределения диаметра пор по размерам с использованием математического пакета Origin компании OriginLab Corporation.

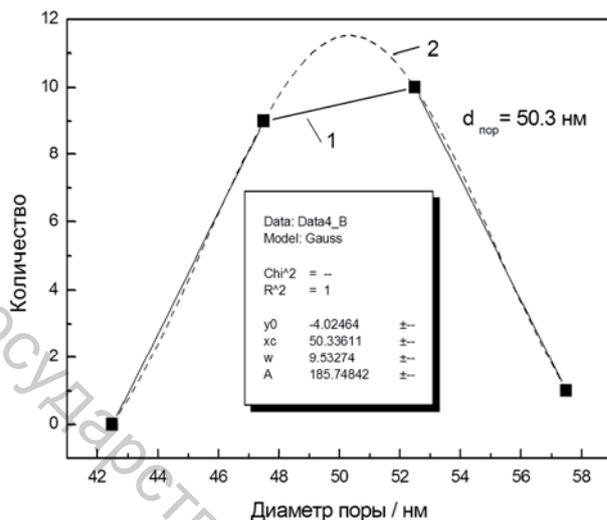


Рисунок 2 – Распределение пор по диаметру (1) и подгоночная кривая Гаусса (2), полученные по результатам обработки СЭМ изображения нанопористых пленок TiO_2 (рисунок 2а) с помощью компьютерной программы ImageJ

Литература:

1. Морозов А. Н., Михайличенко А. И. // Химическая промышленность сегодня. 2013. № 5. С. 74–78.
2. Lazarouk S., Xie Z., Chigrinov V. et al. // Japanese Journal of Applied Physics. 2007. Vol. 46, No. 7A. P. 4390-4394.
3. Serra J. Image Analysis and Mathematical Morphology. London. 1992.
4. Bodla KK, Murthy JY, Garimella SV. // Numerical Heat Transfer. 2010. Part A. 58(7). P. 527.
5. Feldkamp L.A., Davis L.C., Kress J.W. // J. Microsc. 1997. Vol. 185. P.67–75.

УДК 677.023.76:004.9

ОБРАБОТКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ ЗАВИСИМОСТИ ПРИКЛЕЯ ПРЯЖИ ОТ ДАВЛЕНИЯ В ОТЖИМНЫХ ВАЛАХ И СКОРОСТИ ШЛИХТОВАНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА STATISTICA

БАРАБАНЩИКОВА И.С., ВОРОНИН С.Ю., доцент

Ивановский государственный политехнический университет,
г. Иваново, Российская Федерация

Ключевые слова: регрессионная математическая модель, приклей пряжи, диаграмма Парето, пакет прикладных программ.

Реферат: в среде пакета прикладных программ STATISTICA 6.0 получена регрессионная математическая модель изменения величины приклея в зависимости от давления и скорости шлихтования. Проведена оптимизация полученной математической модели в среде табличного процессора MS Excel.