

8. Chaus, A.S. Effect of silicon and germanium on the structure and properties of cast high-speed steel / A.S. Chaus // *Met. Sci. Heat Treat.* – 2009. – Vol. 51. – № 1–2. – P. 33–39.

9. Chaus, A.S. Effect of boron on cast tungsten–molybdenum high–speed steels / A.S. Chaus // *Phys. Met. Metallogr.* – 2001. – Vol. 91. – № 5. – P. 463–473.

10. Казенас, Е.К. К вопросу о давлении паров металлов / Е.К. Казенас, Г.К. Астахова // *Известия РАН. Металлы.* – 1997. – № 2. – С. 18–33.

11. Chaus, A.S. Special features of microstructure of W-Mo high-speed steel modified with titanium diboride / A.S. Chaus, F.I. Rudnickii, M. Bogachik, P. Úradník // *Metal Science and Heat Treatment.* – 2011. – Vol. 52. – № 11–12. – P. 575–580.

12. Chaus, A.S. Microstructural and properties evaluation of M2 high speed steel after inoculating addition of powder W and WC / A.S. Chaus // *Materials Science and Technology.* – 2014. – Vol. 30. – № 9. – P. 1105–1115.

13. Chaus, A.S. Effect of modifying tungsten additions on formation of primary structure of R6M5-type high-speed steel / A.S. Chaus, Ya. Porubski // *Phys. Met. Metall.* – 2012. – Vol. 113. – № 11. – P. 1068–1078.

14. Chaus, A.S. Effect of heat treatment on the structure of cast high-speed steel of type R6M5 modified with tungsten additives / A.S. Chaus, Ya. Porubski // *Met. Sci. Heat Treat.* – 2014. – Vol. 55. – № 11–12. – P. 583–591.

15. Chaus, A.S. Structural transformations during heat treatment of W-Mo cast high-speed steel modified using titanium diboride / A.S. Chaus, M. Bogachik, P. Úradník // *Phys. Met. Metallogr.* – 2011. – Vol. 112. – № 5. – P. 470–479.

К.В. Чернякова¹, Р. Карпич², И.А. Врублевский¹

¹УО «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники», Минск, Беларусь

²ГНИИ «Центр физических наук и технологий», Вильнюс, Литва

АНАЛИЗ И ОБРАБОТКА СЭМ ИЗОБРАЖЕНИЙ ПОВЕРХНОСТИ ПЛЕНОК НАНОПОРИСТОГО ОКСИДА АЛЮМИНИЯ С ПОМОЩЬЮ IMAGEJ

Введение

Изучение особенностей морфологии и структуры нанопористых материалов является одной из важных задач современного материаловедения. Создание и разработка новых наноструктурированных материалов, содержащих массивы наноразмерных пор, невозможны без определения размеров пор и плотности их распределения. При анализе изображений объекта исследования с нанопористой микроструктурой необходимо, в первую очередь, решить следующие задачи: проведение

сегментации, фильтрование недостатков микроструктуры и выделение объектов исследования из фона, определение пределов объектов и распознавание образов. Правильность выполнения сегментации изображения является важной предпосылкой успешности последующего анализа.

В настоящее время разработаны и доступны различные прикладные программы для анализа изображений. Среди многообразия программного обеспечения с учетом их функциональных возможностей наиболее успешны следующие прикладные программы – Phatom, Optimas, Видиотест, Image Expert Pro, ImageJ, Avizo и Smart-eye. Для исследований выбрали программу ImageJ, обладающую всеми необходимыми алгоритмами для обработки изображений: высокочастотное и низкочастотное фильтрование, выделение пределов изображений, арифметические и логические операции, коррекция яркость/контраст [1, 2]. Цифровая обработка изображений в данной программе использовали для анализа морфологии поверхности пленок нанопористого анодного оксида алюминия.

Изучение свойств анодных пленок оксида алюминия вызывает большой интерес благодаря уникальности самоорганизованной нанопористой структуры пленок, а также возможности управления структурными параметрами на этапе их формирования. Эти достоинства обеспечивают широкое применение пленок нанопористого анодного оксида алюминия в нанотехнологии для создания различных наноструктур, нанопористых мембран, ячеек памяти и оптических элементов [3–5].

Цель данной работы – использование программы ImageJ, алгоритмы которой позволяют анализировать характеристики пористой структуры пленок по данным сканирующей электронной микроскопии (СЭМ).

1. Методика эксперимента

В экспериментах использовали Al-фольгу толщиной 100 мкм (99,99 %, AlfaAesar). Поверхность образцов обезжиривали в 1,5 М растворе NaOH при 80 °С в течение 15 с, а затем выдерживали 120 с в 1,5 М растворе HNO₃ и высушивали на воздухе. Затем образцы анодировали с двух сторон в 0,3 М водном растворе щавелевой кислоты в потенциостатическом режиме при напряжении 40 В до полного окисления алюминия. Анодирование проводили в двухэлектродной стеклянной ячейке при постоянной температуре (18,0 ± 0,1) °С с использованием термостата F 12 (Julabo).

Морфологию полученных образцов изучали с помощью СЭМ на микроскопе Zeiss DSM 982. Напряжение на ускоряющем электроде варьировали от 10 до 20 кВ.

Для обработки и анализа характеристик нанопористой структуры пленок

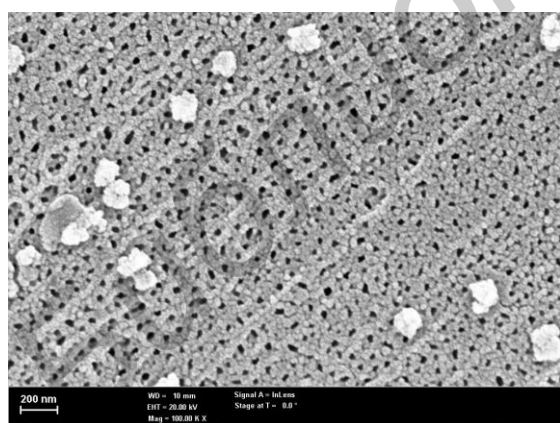
анодного оксида алюминия в программе ImageJ использовали следующий алгоритм:

- 1) фильтрование изображения для исключения случайного шума;
- 2) предварительная сегментация для выделения однородных областей;
- 3) коррекция объекта для определения порога яркостей;
- 4) окончательная сегментация с использованием определенного фонового значения, позволяющая полностью определить объекты;
- 5) анализ выделенных объектов.

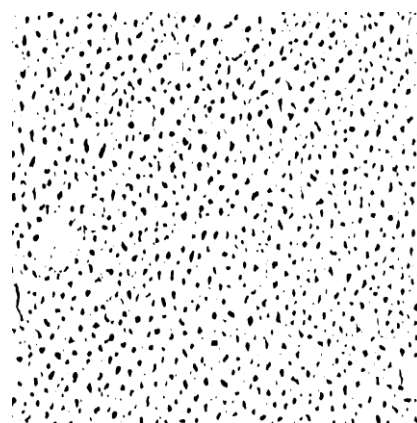
Программа ImageJ позволяет вычислять площади и статистические показатели пиксельных значений различных выделенных вручную или при помощи пороговых функций областей на изображениях. Эта программа поддерживает стандартные функции обработки изображений, такие как логические и арифметические операции между изображениями, манипуляции с контрастностью, свертки, Фурье-анализ, повышение резкости, сглаживание, обнаружение границ. Программа позволяет также производить различные геометрические преобразования, масштабирование, поворот или отражение. Конечной задачей анализа изображений является статистическая обработка результатов, полученных при измерении характеристик объекта с пористой структурой, определение средних значений диаметров пор, а также построение графиков для визуализации процесса анализа.

2. Результаты и обсуждение

Исследуемые образцы пленок пористого анодного оксида алюминия имели равномерное распределение пор по поверхности (рисунок 1).



a



б

Рисунок 1 – СЭМ-изображение поверхности пленки пористого анодного оксида алюминия (а) и конечный вид (б) для идентификации пор после преобразования в черно-белую графику с помощью ImageJ

Для оценки геометрических параметров пористости анодных пленок была выбрана методика, основанная на анализе морфологии поверхности по данным СЭМ с помощью ImageJ.

Приводим примеры начальных (рисунок 1) и конечных (рисунок 2) результатов работы программы по обработке СЭМ-изображений для полученных пленок пористого анодного оксида алюминия.

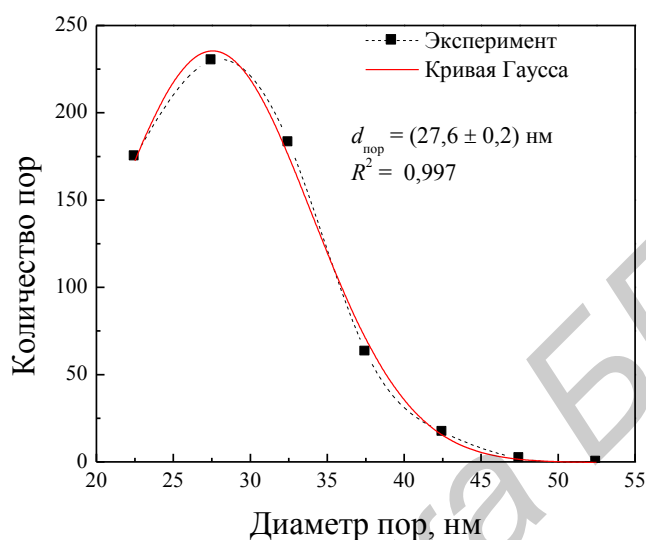


Рисунок 2 – Результаты обработки изображения в программе ImageJ пленок пористого оксида алюминия, полученных в 0,4 М водном растворе щавелевой кислоты

Работа с использованием программы ImageJ включала в себя несколько этапов. В начале для получения информации о размере пор проводили калибровку области изображения. В меню настройки (Settings) выбирали функцию «Calibrate Spatial Measurements» и проводили линию заданной длины. В качестве такой линии выбирался маркер, находящийся в правом нижнем углу СЭМ-изображения. В появляющемся диалоговом окне выбирали требуемую размерность и задавали длину линии. После завершения калибровки изображения переходили к основным операциям для измерения размеров пор.

На первом этапе оттенки серого цвета, присутствующие на СЭМ-изображении, импортировали в ImageJ (рисунок 1,а). Затем задавали размеры анализируемой области, обрезали изображение до выбранного размера, а остальную часть преобразовывали в настоящее черно-белое изображение (рисунок 1,б). На втором этапе перед началом преобразования в ImageJ выбирали пороговое значение серого, выше которого связанные пиксели

преобразовывались в черные, а ниже – в белый. Для анализа лучше всего подходят СЭМ-изображения, где наблюдается значительный контраст оттенков серого между круглыми порами. На третьем этапе с помощью установок программы автоматически удаляли мелкие темные объекты и таким образом проводили очистку изображения. В конце цикла работы программы получали данные для построения гистограммы распределения пор определенного диаметра на анализируемой поверхности (рисунок 2).

Согласно результатам, представленным на рисунке 2, пленки пористого анодного оксида алюминия имели размер пор $(27,6 \pm 0,2)$ нм. Полученный результат хорошо согласуется с данными имеющимися в литературе для пленок пористого анодного оксида алюминия, формируемых в электролите водного раствора щавелевой кислоты при 40 В [6].

Заключение

Проведенное исследование позволило сделать вывод, что программа ImageJ для анализа микроизображений является подходящим инструментом для количественного анализа морфологии поверхности пленок анодного оксида алюминия с наноразмерными порами. Результаты обработки в программе ImageJ позволили рассчитать значение среднего диаметра пор пленок анодного оксида алюминия, полученного в водном растворе щавелевой кислоты. Для визуализации процесса анализа были построены графические зависимости распределения диаметра пор по размерам с использованием пакета Origin.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке гранта БРФФИ Ф15ЛИТ-018 и гранта Литовского министерства образования и науки № ТАВ ЛВ-12/2015 и ГПНИ "Физическое материаловедение, новые материалы и технологии" задание 1.41.

Литература

1. Bodla, K.K. Microtomography-based simulation of transport through open-cell metal foams / K.K. Bodla, Y.M. Murthy, S.V. Garimella // Numerical Heat Transfer. – Part A. – 2010. – P. 527–544.
2. Whitehouse, D. Handbook of Surface Metrology / D. Whitehouse. – Bristol and Philadelphia, 1994. – 988 p.
3. Lee, W. Porous anodic aluminum oxide: anodization and templated synthesis of functional nanostructures / W. Lee, S.-J. Park // Chem. Rev. – 2014. – Vol. 114. – P. 7487–7556.
4. Polymer nanoimprinting using an anodized aluminum mold for structural coloration / T. Kikuchi [et al.] // Appl. Surf. Sci. – 2015. – Vol. 341. – P. 19–27.
5. Chemical and structural modifications of nanoporous alumina and its optical

properties / A. Brzózka [et al.] // Springer Series in Materials Science. – 2015. – Vol. 220. – P. 219–288.

6. Sulka, G.D. Highly ordered anodic porous alumina formation by self-organised anodizing and template-assisted fabrication of nanostructured materials / G.D. Sulka // Nanostructured materials in electrochemistry. – 2008. – P. 1–116.

**Черчук В.А.¹, Коваленко Д.Л.¹, Васькевич В.В.¹, Москвичёв М.И.¹,
Судник Л.В.², Русыкин А.С.¹**

¹УО «Гомельский государственный университет
имени Франциска Скорины», Гомель, Беларусь

²ГНУ «Институт порошковой металлургии» НАН Беларуси,
Минск, Беларусь

ОПТИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЗОЛЬ-ГЕЛЬ ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ ДИОКСИДА ТИТАНА СОДЕРЖАЩИЕ ОКСИДЫ МЕТАЛЛОВ И РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ

Введение

Исследование и разработка фотокаталитически активных золь-гель материалов на основе TiO_2 , соактивированных наночастицами металлов и редкоземельными элементами представляют, как фундаментальный интерес, так и открывают широкие прикладные возможности по созданию покрытий обладающих свойствами фотокаталитической самоочистки. Данная работа рассматривает наиболее перспективные технологические подходы к созданию наноструктурированных материалов на основе TiO_2 , получаемых золь-гель методом, с целью фотокаталитически активных процессов. Диоксид титана широко исследуется благодаря своей высокой фотокаталитической активности (ускорение протекания химических реакций). В присутствии ультрафиолетового излучения диоксид титана расщепляет молекулы воды на свободные радикалы – гидроксильные группы OH^\cdot и супероксидные анионы O_2^\cdot . Покрытия на основе диоксида титана могут осаждаться с помощью различными методами, самым известным является метод центрифугирования. Для достижения необходимого качества покрытий часто после осаждения следует отжиг, в процессе которого структура пленок меняется от аморфной до кристаллической, происходят фазовые превращения, изменяется шероховатость поверхности [1]. В связи с этим значительный интерес представляет отжиг в кислородосодержащей атмосфере. В данной работе представлены опτικο-механические свойства синтезированных покрытий, на