

Министерство образования Республики Беларусь  
Учреждение образования  
Белорусский государственный университет  
информатики и радиоэлектроники

УДК

Санько

Оксана Витальевна

Количественный анализ электронно-микроскопических изображений  
нанопористого анодного оксида алюминия

**АВТОРЕФЕРАТ**

на соискание степени магистра технических наук  
по специальности 1-41 80 03 нанотехнологии и наноматериалы  
(в электронике)

---

Научный руководитель

Врублевский Игорь Альфонсович

к.т.н., доцент

---

Минск 2019

Работа выполнена на кафедре микро- и наноэлектроники учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»

Научный руководитель:

**Врублевский Игорь Альфонсович,**  
Кандидат технических наук, доцент, ведущий научный сотрудник НИЛ 5.3 учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»

Рецензент:

**Бойправ Ольга Владимировна,**  
Кандидат технических наук, доцент кафедры защиты информации учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»

Защита диссертации состоится «24» июня 2019 г. года в 9.00 часов на заседании Государственной комиссии по защите магистерских диссертаций в учреждении образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники» по адресу: 220013, г.Минск, ул. П.Бровки, 6, 1 уч. корп., ауд. 114, тел.: 293-89-26, e-mail: [kafme@bsuir.by](mailto:kafme@bsuir.by).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники».

## **ВВЕДЕНИЕ**

Изучение особенностей морфологии и структуры нанопористых материалов является одной из важных задач современного материаловедения. Создание и разработка наноструктурированных материалов, содержащих массивы наноразмерных пор, невозможны без определения размеров пори плотности их распределения.

На данный момент разработано и доступно множество прикладных программ для анализа изображений. Среди них с учетом функциональных возможностей наиболее успешны: Photom, Optimas, Видеотест, Image Expert Pro, ImageJ, Smart-eye. Исходя из заданных условий, а также возможностей, была выбрана программа ImageJ, обладающая всеми необходимыми функциями для обработки изображений и находящейся в свободном доступе.

Наибольшую трудность представляет собой разработка методов решения интеллектуальных задач, таких, как распознавание, понимание изображений. Факт непрерывного появления все новых и новых методов и алгоритмов решения таких задач говорит об отсутствии в среде исследователей удовлетворенности качеством уже существующих разработок.

Таим образом, применение методов компьютерного анализа микроскопических изображений для получения полной картины о характеристиках морфологических объектов является одним из наиболее распространенным и эффективным методом.

## **ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ**

### **Актуальность темы исследования**

История создания методов цифровой обработки и понимания изображений составляет уже более полувека. За это время было создано необозримое количество алгоритмов самого разного назначения. Многие из них весьма эффективно применяются для решения различных, как правило, узкоспециализированных задач цифровой обработки изображений. Наибольшую трудность представляет собой разработка методов решения интеллектуальных задач, таких, как распознавание, понимание изображений. Но и для содержательно более простых задач реставрации изображения, выделения контура, сегментации и т.п., нельзя говорить о том, что используемые для их решения подходы позволяют получать решения, адекватные более или менее широкому спектру внешних условий. Сам факт непрерывного появления все новых и новых методов и алгоритмов решения таких задач говорит об отсутствии в среде исследователей удовлетворенности качеством уже существующих разработок.

В связи с этим весьма актуальным представляется применение методов

компьютерного анализа микроскопических изображений оксидов с целью получения количественной информации о размерах, форме и расположении морфологических объектов, оценке степени упорядочения пористого массива.

### **Степень разработанности проблемы**

Исследование в области получения характеристик морфологических объектов посредством количественного анализа СЭМ-изображений анодного оксида алюминия осуществлялось на основе работ В. Стругайло, Т. Фисенко, Р. Вудса и других авторов.

Среди большого числа исследований по этой теме необходимо отметить работы В. Сойфера, Р. Гонсалеса, А. Денисов.

Одним из недостатков разработанных алгоритмов является недостаточно высокое качество получаемых результатов. Данная работа направлена на устранение недочетов и улучшение точности получаемых данных.

### **Цель и задачи исследования**

Целью диссертации является разработка программного модуля количественного анализа мезоскопической структуры самоорганизованных нанопористых и нанотрубчатых оксидных пленок.

Для выполнения поставленной цели в работе были сформулированы следующие задачи:

- проанализировать литературу по проблеме количественного анализа микроскопических изображений, в том числе самоорганизованных нанопористых оксидных пленок;

- провести количественный анализ микроскопических изображений поверхности нанопористых анодных оксидов алюминия с применением программного комплекса ImageJ;

- разработать алгоритм компьютерной обработки и последующего анализа СЭМ изображений пленок анодного оксида алюминия с наноразмерными порами;

- апробировать разработанный алгоритм.

**Объектом** исследования является нанопористый анодный оксид алюминия.

**Предметом** работы выступают способы исследования и алгоритмы обработки СЭМ-изображений.

**Область исследования.** Содержание диссертационной работы соответствует образовательному стандарту высшего образования второй степени (магистратуры) специальности 1-41 80 03 «Нанотехнологии и наноматериалы в электронике».

### **Теоретическая и методологическая основа исследования**

В основу диссертации легли результаты известных исследований российских и зарубежных авторов в области программного моделирования подобных алгоритмов и моделей, предназначенных для обработки микроскопических изображений.

**Информационная база** исследования для регрессионного и классификационного анализа сформирована на основе статистических данных.

**Научная новизна** диссертационной работы заключается в экспериментальном подтверждении, что на поверхности пористого оксида алюминия в результате процесса конкуренции при росте получают развитие поры с наибольшим диаметром. Поры с малым диаметром являются неразвитыми и останавливаются в развитии.

#### **Основные положения, выносимые на защиту**

1. Модель разработанного алгоритма, позволяющего получить более точные данные исследуемых объектов.

2. Экспериментальные данные, полученные в среде ImageJ на основе разработанного алгоритма, позволившие наблюдать дееспособность разработанного способа.

**Теоретическая значимость** диссертации заключается в том, что экспериментально подтверждена применимость статистических методов для обработки массивов данных наноразмерных объектов.

**Практическая значимость** диссертации состоит в том, что на основе статистических методов анализа определены параметры нанопористых структур, таких как: диаметр пор и межпоровое расстояние.

#### **Апробация и внедрение результатов исследования**

Результаты исследования были неоднократно представлены 54 научная конференция БГУИР; 55 научная конференция БГУИР

#### **Публикации**

Основные положение работы и результаты диссертации изложены в шести опубликованных работах общим объемом 5,0 п.л. (авторский объем 5,0 п.л.), в том числе две в журналах, входящих в перечень ведущих периодических изданий ВАК, авторским объемом 2,4 п.л.

**Структура и объем работы.** Структура диссертационной работы обусловлена целью, задачами и логикой исследования. Работа состоит из введения, трёх глав и заключения, библиографического списка и приложений. Общий объем диссертации – 76 страниц. Работа содержит 69 рисунков, 1 формулу.

## **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

Во **введении** рассмотрено современное состояние проблемы обработки СЭМ изображений нанопористых оксидов, определены основные направления исследований, а также дается обоснование актуальности темы диссертационной работы.

**В общей характеристике работы** сформулированы ее цель и задачи, показана связь с научными программами и проектами, даны сведения об объекте исследования и обоснован его выбор, представлены положения, выносимые на защиту, приведены сведения о личном вкладе соискателя, апробации результатов диссертации и их опубликованность, а также, структура и объем диссертации.

**В первой главе** рассматриваются методы цифровой обработки изображений, приводится общее описание самоорганизованных пленок на алюминии.

**Во второй главе** приведен анализ современного состояния методов и программ для проведения СЭМ изображения.

**В третьей главе** представлены результаты обработки СЭМ изображений полученных образцов разработанным алгоритмом на основе выбранной программы.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Анализ и обработка структуры нанопористых пленок анодного оксида алюминия заключаются в определении диаметров и количества реальных пор, отсеивании дефектов поверхности, которые могут оказать влияние на выводы о пористости исследуемой структуры.

При проведении исследования нанопористых пленок анодного оксида алюминия берётся образец, ломается так, чтобы можно было увидеть срез исследуемой структуры, далее, при помощи оборудования рассчитываются размеры пор. Однако данный метод имеет ряд минусов, а именно:

- высокая погрешность расчётов;
- исследователь не получает реальные размеры, учитывая наличие дефектов и погрешности приборов;
- для анализа структуры необходимо деформировать объект исследования, а именно разрушить;
- неудобность проведения эксперимента и последующих исследований;
- невозможность отсеивания, а также устранения дефектов структуры;
- финансово нерентабельное исследование;

В данном дипломном проекте приводится новый способ исследования структуры нанопористых пленок анодного оксида алюминия, включающий в себя компьютерную обработку СЭМ изображений поверхности исследуемого образца.

Были проведены следующие работы и выполнены следующие задачи:

- проведен количественный анализ микроскопических изображений поверхности нанопористых анодных оксидов алюминия с применением программного комплекса ImageJ;

– разработана методика анализа СЭМ-изображений с помощью программных средств с целью получения количественных параметров объектов изображения;

– разработан алгоритм количественного анализа микроструктуры самоорганизованных нанопористых пленок анодного оксида алюминия;

– апробирован разработанный программный модуль для расчета морфологических функций радиального распределения объектов (ячеек, пор).

Разработанный в дипломном проекте алгоритм помогает решить проблемы, с которыми сталкивались ранее исследователи.

Данный способ анализа структуры нанопористых пленок анодного оксида алюминия позволяет провести расчёты количества и диаметров пор без изменения исследуемой пленки. Для получения данных о пористости образца необходимо лишь СЭМ изображение и бесплатный программный комплекс ImageJ, с помощью которого изображение поверхности обрабатывается. Данное ПО самостоятельно рассчитывает необходимые нам показатели, далее при помощи построения распределения Гаусса мы получаем реальное распределение пор в пленке, отсеивая дефекты поверхности, влияющие на ручные расчёты.

Таким образом в данном дипломном проекте разработан и описан алгоритм компьютерной обработки СЭМ изображений нанопористой структуры пленок анодного оксида алюминия, позволяющий без повреждений образца получить реальное распределение пор в пленке, а также их размеры и количество. Данный алгоритм решает проблемы ручного анализа нанопористых структур, также разработка данного алгоритма менее затратна для лаборатории, т.к. программный комплекс бесплатный, следовательно, для анализа и обработки нанопористых пленок анодного оксида алюминия необходимо меньше рабочих и времени, что, безусловно, является преимуществом перед другими способами анализа данных структур.

### **Список опубликованных работ**

[1] Цифровая обработка изображений наноразмерных элементов на наноструктурированной поверхности материалов с помощью программы ImageJ / Х. Т. Динь, О. В. Санько, К. В. Чернякова, И. А. Врублевский // Доклады БГУИР. – 2019. - № 4 (122). – С. 79-84.

[2] Using the imagej software for determining parameters of microstructure of nanoporous materials by the results of sem image processing / O. V. Sanko and others // BIG DATA Advanced Analytics: collection of materials of the fourth international scientific and practical conference, Minsk, Belarus, May 3 – 4, 2018 / editorial board: M. Batura [etc.]. – Minsk, BSUIR, 2018. – P. 136 – 138.