

Отзыв официального оппонента

на диссертацию Гушиной Екатерины Владимировны “Исследование механизмов локальной проводимости наноструктурированных материалов методами атомно-силовой микроскопии”, представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 – Физика конденсированного состояния

1. Актуальность темы диссертационной работы

Активное развитие материаловедения наноматериалов и создание приборных структур на их основе требует разработки соответствующих методов исследования их различных свойств. При этом к методикам измерения предъявляются высокие требования по локальности, достоверности, возможности получения количественной информации, возможности неразрушающего контроля и т.п. С этой точки зрения, методы сканирующей зондовой микроскопии являются чрезвычайно перспективными и обладающими значительным потенциалом возможностей для исследования не только морфологии нанообъектов, но и их механических, электрических, пьезо- и магнитных свойств и др.

Исследование именно электрофизических свойств материалов, в том числе изучение локальной проводимости наноматериалов и нанообъектов, является важным и зачастую обязательным не только для практического применения. Методы исследования электрофизических свойств обладают высокой чувствительностью к малым изменениям состава, концентрации носителей заряда, механизмам переноса заряда, концентрации и природе дефектов в материале и т.п. Поэтому применение в рассматриваемой работе в качестве основных методов исследования семейства атомно-силовой микроскопии (АСМ) именно сканирующей микроскопии сопротивления растекания и метода зонда Кельвина, а также разработка методик на их основе для решения конкретных задач является актуальным, оправданным и эффективным.

В качестве объектов исследования для апробации, развиваемых в работе методик были выбраны различные наноструктурированные материалы, разработка которых представляет научный интерес, а также имеет важное практическое значение в таких областях как альтернативная энергетика (воздушно-водородные топливные элементы), создание энергонезависимой памяти на основе сегнетоэлектриков и разработка новых материалов для микроэлектроники (материалы подзатворных диэлектриков МОП-транзисторов).

Таким образом, тема работы, посвященная исследованию механизмов локальной проводимости наноструктурированных материалов методами атомно-силовой микроскопии, является актуальной и представляет научный и практический интерес.

2. Научная новизна и практическая значимость работы

Основные научные результаты работы обладают научной новизной и практической значимостью. Из наиболее важных результатов необходимо выделить следующие:

- Предложен оригинальный неразрушающий метод исследования локальной проводимости на основе сканирующей микроскопии сопротивления растекания в полуконтактном режиме. Метод имеет важное практическое значение: его можно применять для широкого круга образцов (полимеров, материалов с относительно высокой адгезией и т.п.);

- Предложенный метод экспериментально и успешно апробирован при исследовании воздушно-водородных топливных элементов в условиях максимально приближенных к рабочим. С помощью предложенного метода получены новые результаты о процессах, протекающих в каталитических слоях таких элементов. Экспериментально доказана эффективность применения методов семейства АСМ для оптимизации структуры и состава воздушно-водородных топливных элементов;
- Обнаружено, что направление поляризации в пленках цирконата-титаната свинца по-разному влияет на значения протекающего тока в зависимости от строения пленок (поликристаллическое, эпитаксиальное), а также от свойств межзеренных границ;
- Важной практической значимостью обладают результаты, методические разработки и экспериментальные находки по применению методов АСМ для изучения электрофизических свойств тонких сегнетоэлектрических пленок цирконата-титаната свинца, которые могут быть расширены и на другие материалы этой группы;
- Предложен и апробирован новый метод измерения коэрцитивного напряжения на основе АСМ по детектированию тока при переключении поляризации для поликристаллических пленок с проводящими границами зерен, позволяющий исследовать поведение с локальностью порядка размеров единичного зерна пленки;
- Научной новизной и практической значимостью обладают результаты по влиянию высокотемпературного отжига на строение и свойства пленок скандата самария, а также результаты и развитые модельные представления о процессах движения зарядов в таких пленках.
- Впервые получены количественные значения коэффициентов диффузии, энергии активации и подвижности в тонких пленках скандата самария, экспериментально определенные по данным АСМ.

3. Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций

Достоверность результатов диссертационной работы подтверждается грамотным обоснованием всех выводов и научных положений. В тех случаях, когда возможно сравнение с известными зависимостями, полученные результаты согласуются с литературными данными. Результаты диссертационной работы опираются на значительный объем экспериментальных данных, полученных на современном оборудовании, что обеспечивает надежность и обоснованность основных положений и выводов работы. Положительное впечатление оставляет внимательный подход к выбору условий проведения экспериментов АСМ.

4. Апробация работы

Результаты диссертации были представлены на 13 международных и всероссийских научно-технических конференциях. По теме диссертации опубликовано 11 научных статей в ведущих российских и международных рецензируемых научных изданиях, рекомендованных перечнем ВАК.

5. Общая характеристика работы

Диссертационная работа Гущиной Екатерины Владимировны на тему «Исследование механизмов локальной проводимости наноструктурированных материалов методами атомно-силовой микроскопии», представленная к защите на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 – Физика конденсированного состояния является самостоятельным законченным научно-квалификационным исследованием и соответствует паспорту специальности.

Диссертация объемом 140 страниц состоит из введения, четырех глав и заключения. Библиографический список включает 163 наименования. Материал изложен последовательно и логично, диссертация написана грамотным научно-техническим языком. Текст автореферата соответствует основному содержанию работы. Диссертация выполнена на достаточно высоком научном уровне, все поставленные в работе задачи выполнены.

6. Замечания

- в работе предлагается очень интересный и перспективный метод для исследования электрофизических свойств полимеров и др. относительно мягких материалов, а также материалов, обладающих высокой адгезией, на основе сканирующей микроскопии сопротивления растекания в полуконтактном режиме. Однако методическая часть метода освещена недостаточно полно, остается неясным, как влияют параметры сканирования на результаты измерения (например, такие как амплитуда раскачки зонда, выбор рабочей точки, скорость сканирования, сила прижима и время нахождения зонда в контакте с образцом и т.п.);

- желательно было бы сопоставить группу результатов, полученную в части исследования тонких сегнетоэлектрических пленок $PbZr_xTi_{1-x}O_3$ (PZT) с результатами, полученными исследований образцов PZT, изготовленных в близких технологических условиях, изучавшихся в цикле работ Грехова И.В., Пронина И.П., Делимовой Л.А. и др., а также с результатами по исследованию состава межзеренных границ в поликристаллических пленках PZT и их свойств (фотоэлектрических, электрофизических и др.), полученными в СПбГЭТУ «ЛЭТИ»;

- из текста диссертации остается неясным, наблюдается ли обнаруженный эффект различного влияния направления поляризации на процесс протекания тока через эпитаксиальные и поликристаллические пленки исключительно в тонких пленках PZT, или это характерно и для других материалов этой группы (например, при сравнении с литературными данными)?

- в главе 4 при исследовании скандата самария было обнаружено формирование кристаллической фазы при температуре отжига $900\text{ }^\circ\text{C}$, но не упоминается, проводились ли исследования состава таких областей. Учитывая это, возникает вопрос, сохраняется ли после отжига состав пленок стехиометрическим, и правомерно ли далее в тексте использовать химическую формулу $SmScO_3$ для таких образцов?

- с точки зрения оформления текста диссертации, следует отметить наличие небольшого числа опечаток, а при оформлении рисунков и представлении экспериментальных данных методов АСМ нет единообразия в подписях и обозначениях, также затрудняет анализ данных АСМ отсутствие информации о размахе величины изучаемого сигнала на рисунке или в подрисуночной подписи.

7. Заключение

Указанные замечания не снижают общей ценности диссертационной работы и не влияют на главные теоретические и практические результаты диссертации.

Диссертационная работа Гущиной Е. В. является законченным научным исследованием, выполненным на актуальную тему, имеющим важное научное и практическое значение, соответствует требованиям Положения о присуждении ученых степеней ВАК Минобрнауки, а ее автор – Гущина Екатерина Владимировна заслуживает присуждения ей ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 – Физика конденсированного состояния.

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)»

197376, Санкт-Петербург, ул. Проф. Попова, д. 5.

Спивак Юлия Михайловна

К.ф.-м.н., доцент, доцент кафедры микро- и наноэлектроники

+7 812 234 31 64.

ymkanageeva@yandex.ru

подпись автора отзыва

07.03.2017 года

Подпись кандидата физико-математических наук, доцента, доцента кафедры микро- и наноэлектроники СПбГЭТУ «ЛЭТИ» Спивак Юлии Михайловны верна.