

ОТЗЫВ

**официального оппонента на диссертационную работу
Каменщикова Михаила Викторовича
«Электропроводность и барьерные эффекты в тонких
сегнетоэлектрических пленках цирконата-титаната свинца»,
представленной на соискание ученой степени кандидата физико-
математических наук по специальности
01.04.07 – физика конденсированного состояния**

Актуальность темы диссертации

Актуальность предлагаемого исследования обусловлена, прежде всего, выбором материала: цирконат-титанат свинца (ЦТС) и по сей день является одним из наиболее изучаемых материалов современной микроэлектроники. Как было показано в ряде работ, свойства этого материала в значительной степени зависят от его состава, метода изготовления, температуры отжига, выбора подложки и др.

Особый интерес представляют пленки ЦТС, включенные в состав гетероструктур. Для таких материалов исследование электрофизических и функциональных свойств (например, переключения диэлектрической поляризации) является критически важным при выборе конкретной области использования. Отличие свойств тонкопленочных образцов от свойств объемного материала выявлено достаточно давно и само по себе не содержит научной новизны, однако по-прежнему остаются весьма актуальными вопросы связи условий (методики) изготовления пленок с основными функциональными параметрами. При этом особое внимание уделяется поиску путей снижения температуры отжига ЦТС для встраивания в кремниевые технологии. В частности, условия синтеза оказывают заметное влияние на изменение электронной подсистемы, которое отражается на электропроводности и других свойствах материала. Важным представляется также вопрос о выявлении факторов, влияющих на транспорт носителей в тонкопленочных (гетеро)структурах, устойчивость поляризационного состояния и его деградацию.

В связи с вышеизложенным, работа М.В. Каменщикова, посвященная комплексному исследованию механизмов электропроводности в тонких пленках ЦТС в зависимости от условий формирования перовскитной структуры, а также анализ в этих объектах интерфейсных явлений с точки зрения поведения основных электрофизических характеристик, является актуальной.

Анализ содержания диссертационной работы

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и списка цитируемой литературы, содержащего 108 библиографических ссылок. Общий объем диссертации составляет 132 страницы. Работа содержит 87 рисунков и 5 таблиц.

Во введении обосновывается актуальность выбранной темы, а также формулируются цели и задачи диссертационной работы.

В первой главе рассматриваются основные свойства системы цирконат-титанат свинца, приводятся особенности различных методик изготовления таких систем и рассматривается их влияние на электрофизические свойства. Приводится описание результатов, полученных другими исследователями в области изучения механизмов электропроводности пленок ЦТС. На основании обзора литературы производится постановка задачи исследования.

Во второй главе представлены методики экспериментальных исследований, представлено описание экспериментальных установок, проведена оценка погрешностей измерений.

В третьей главе приведено описание результатов исследования электрофизических характеристик пленок ЦТС, синтезированных при различных температурах, показано влияние температуры синтеза на параметры вольт-амперных и вольт-фарадных характеристик, проведена оценка диэлектрических потерь, а также выявлено влияние температуры синтеза на параметры диэлектрического гистерезиса и другие принципиальные характеристики.

Четвертая глава посвящена обсуждению результатов исследований, обсуждению предлагаемых механизмов проводимости пленок ЦТС, расчету величин потенциальных барьеров в структуре Pt/ЦТС/Pt, а также определению влияния фазовых переходов пироклор – перовскит I – перовскит II на электрофизические свойства пленок ЦТС.

В заключении диссертации сформулированы основные полученные результаты.

Новизна проведенных исследований и полученных результатов

Новизна диссертационной работы заключается в демонстрации влияния условий формирования перовскитной фазы (температуры отжига пленок) на процессы транспорта носителей заряда.

К числу наиболее существенных результатов диссертации следует отнести:

1. Выявление доминирующих механизмов проводимости в исследуемых пленках PZT(54/46), которыми являются: омический (при приложении к структуре внешнего поля, меньшего $10 \text{ кВ} \cdot \text{см}^{-1}$) и эмиссия Пула-Френкеля (в полях от 10 до $70 \text{ кВ} \cdot \text{см}^{-1}$). В пленках с температурой синтеза $545 - 570 \text{ }^\circ\text{C}$ в полях от 20 до $40 \text{ кВ} \cdot \text{см}^{-1}$ наблюдалось резкое увеличение силы тока на несколько порядков, которое обусловлено обратимыми пробойными явлениями.
2. Исследована кинетика тока в интервале полей 20 – 100В и сделаны предположения о факторах, оказывающих на нее наибольшее влияние.
3. На основе вольт-амперных и вольт-фарадных характеристик рассчитаны величины потенциальных барьеров на интерфейсе PZT-Pt. Предложена модель, объясняющая различие в результатах этих двух методик.

4. Обнаружено экстремальное поведение исследованных характеристик пленок PZT(54/46), таких как диэлектрическая проницаемость, остаточная поляризация, проводимость в переменном электрическом поле, с ростом температуры синтеза пленок.

Практическая ценность результатов диссертационной работы заключается в расширении и уточнении имеющейся научной информации о свойствах исследуемых структур, а также в уточнении области применимости конкретных методик осаждения пленок ЦТС.

Личный вклад М.В. Каменщикова состоял в проведении всех представленных экспериментальных исследований, непосредственном участии в постановке задачи, анализе и обсуждении результатов.

Степень обоснованности и достоверности научных положений, выводов, рекомендаций и заключений

Достоверность и новизна научных положений, выводов и рекомендаций обсуждается автором в тексте диссертации, она подтверждается их сравнением с известными из литературы теоретическими и экспериментальными результатами. Достоверность полученных данных подтверждается также апробацией основных результатов на научно-технических конференциях и семинарах, и в опубликованных работах.

Замечания по диссертационной работе в целом

1. В постановочной части диссертации при описании научной новизны полученных результатов следовало бы избегать чересчур общих формулировок. Так, например, влияние структуры пленок ЦТС на их электрофизические свойства было уже неоднократно продемонстрировано различными исследователями, в том числе и за последние 3-5 лет, и в такой формулировке не является *новым* научным результатом.

2. При описании экспериментальных образцов автором не были проведены (или не были представлены в диссертационной работе) исследования их структурных свойств, в то время как из литературы известно, что при температуре синтеза менее 600⁰С в пленке может содержаться как перовскитная, так и пироклорная фаза ЦТС, что не может не влиять на общие свойства структуры. Отсутствие этих данных тем более удивительно, что они могут играть решающую роль при обсуждении экстремального поведения таких важных характеристик исследуемых пленок, как остаточная поляризация и проводимость.

3. В работе не представлено объяснение смены пропускного и запирающего направлений тока для пленки с температурой синтеза 570⁰С.

4. Недостаточно полно исследовано влияние температуры отжига на вольт-амперные характеристики. Так, например, наблюдается радикальное изменение формы ВАХ в пределах сравнительно малого (5⁰С) изменения

температуры синтеза (рисунки 3.2, 3.3), однако обсуждение этого факта не приводится.

Следует также сделать несколько небольших замечаний, касающихся оформления диссертации. Представляются излишними, не относящимися к цели работы некоторые приведенные данные (например, рис. 4.7). Кроме того, в тексте диссертации встречаются неоднозначные определения, затрудняющие восприятие (например, одновременное использование термина «постоянная Ричардсона» и «эффективная постоянная Ричардсона» для описания одной и той же величины), не приведено описание различных фаз перовскита («перовскит I» и «перовскит II») в структуре пленок.

Общая характеристика диссертационной работы

В целом, несмотря на отмеченные недостатки и замечания, представленная диссертация выполнена на достаточно высоком научно-техническом уровне и представляет собой законченную квалификационную работу, выполненную на актуальную тему, имеющую значение для актуальных практических задач современной микроэлектроники.

Автореферат в полной мере отражает содержание диссертации.

Учитывая актуальность, научную новизну и практическую значимость полученных результатов считаю, что представленная диссертационная работа удовлетворяет требованиям «Положения о присуждении ученых степеней» от 24 сентября 2013 г. N 842, а ее автор - Каменщиков Михаил Викторович заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 – физика конденсированного состояния.

Официальный оппонент

кандидат физико-математических наук, доцент федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Московский государственный технический университет радиотехники, электроники и автоматики»

Шерстюк Наталия Эдуардовна

Адрес: 119454, г. Москва, проспект Вернадского, д. 78. Тел. (495)434-76-65,
e-mail: nesherstuk@mail.ru

28.11.2014

Подпись Шерстюк Наталии Эдуардовны заверяю.

Проректор по научной работе МГТУ МИРЭА



И.В. Соловьев