

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования

**«Воронежский
государственный технический университет»
(ФГБОУ ВО «ВГУ», ВГУ)**

Московский пр-т, д.14, Воронеж, 394026
Тел./факс (473) 271-59-05
e-mail:rector@vorstu.ru; mail@vorstu.ru; http://cchgeu.ru
ОКПО 02068083; ОГРН 1033600070448;
ИНН/КПП 3662020886/366201001

_____ N _____
На N _____ от _____

УТВЕРЖДАЮ:

Проректор по научной работе

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный
технический университет», д.т.н., профессор

 Дроздов И.Г.

08.04. __ 2019 г.

Отзыв ведущей организации

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет» о диссертации **Пряхиной Виктории Игоревны** «*Формирование и эволюция заряженных доменных стенок в монокристаллах ниобата лития и танталата лития*», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 – Физика конденсированного состояния

Основной проблемой современного материаловедения является проблема получения материалов с прогнозируемыми физическими свойствами, удовлетворяющими потребностям различных областей техники. Один из путей ее решения связан с созданием наноструктурированных материалов, образующихся посредством самоорганизации метастабильных структурных неоднородностей, формирующихся в результате комплексных воздействий на систему. Примером такой самоорганизации может служить процесс образования нанодоменной структуры в сегнетоэлектрических кристаллах после электрополевого, термического, или иного воздействия.

Кинетика этого процесса, также как и закономерности формирования доменной структуры в различных сегнетоэлектрических материалах уже

продолжительное время вызывают интерес исследователей. В реальных кристаллах эти процессы существенно зависят от совершенства кристаллической решетки, геометрических размеров образца, термической и электрической предыстории, типа электродов на поверхности и других факторов. Важную роль в процессе формирования доменной структуры играют электропроводность и внутренние электрические и упругие поля. Применяя различные способы обработки материала можно изменять влияющие факторы, добиваясь формирования требуемой конфигурации доменной структуры.

Интенсивность проводимых в данном направлении исследований в значительной степени стимулируется широкими перспективами практического использования сегнетоэлектриков, в частности для создания различных оптоэлектронных преобразователей, создания устройств памяти и т.д.

В связи с этим диссертация *Пряхиной В.И.*, целью которой стало экспериментальное исследование формирования доменной структуры с заряженными доменными стенками в монокристаллах ниобата лития и танталата лития с увеличенной электропроводностью поверхностных слоев и с градиентом состава, представляется **актуальной**, как с точки зрения физики конденсированного состояния, так и с точки зрения доменной инженерии.

Для достижения поставленной цели были поставлены и решены следующие **задачи**:

1. Изучить влияние ионно-плазменного облучения и отжига в вакууме на электропроводность и оптические свойства конгруэнтных ниобата и танталата лития.
2. Изучить изменение пороговых полей переключения поляризации в результате ионно-плазменной обработки и отжига в вакууме ниобата и танталата лития.
3. Исследовать эволюцию доменной структуры при переключении поляризации и формирование заряженных доменных стенок в объектах исследования после ионно-плазменной обработки полярной поверхности.
4. Исследовать эволюцию доменной структуры при переключении поляризации и формирование заряженных доменных границ в кристаллах, модифицированных отжигом в вакууме.
5. Изучить особенности доменной структуры, образующейся в результате охлаждения от температуры Кюри, в ниобате лития с различным пространственным распределением состава.
6. Изучить форму изолированных доменов с поверхностными слоями, модифицированными высокотемпературным отжигом.

Для реализации данных задач *Пряхиной В.И.* был выполнен большой объем разноплановых экспериментальных исследований с применением современного актуального оборудования.

На основании анализа экспериментальных результатов автором получен ряд важных, принципиально **новых результатов**, среди которых наиболее интересными, на наш взгляд, являются следующие:

1. Понижение порогового напряжения переключения поляризации в конгруэнтных ниобате и танталате лития в результате ионно-плазменной обработки,

вызывающей повышение электропроводности приповерхностного слоя и уменьшение толщины переключаемого слоя.

2. Формирование заряженных доменных стенок вблизи полярной поверхности при переключении поляризации в конгруэнтном ниобате лития, отожденном в вакууме, связано с разрастанием нанодоменов.

3. Понижение порогового напряжения вблизи поверхности в конгруэнтном ниобате лития после отжига в вакууме.

4. Изменение формы заряженных доменных стенок в танталате лития градиентного состава и образование изолированных доменов обусловлены воздействием пироэлектрического поля при охлаждении после отжига.

Отметим, что полученные в работе результаты представляются **достоверными**, а выводы и основные положения, выносимые на защиту – **обоснованными**, что, в частности, обеспечивается использованием апробированных экспериментальных методик, воспроизводимостью полученных результатов и их соответствием основным законам физики твердого тела, а также известным литературным данным.

Диссертационная работа включает в себя введение, пять глав, заключение, список сокращений и условных обозначений, и список цитируемой литературы, который состоит из 156 наименований. Материал изложен на 125 страницах машинописного текста и содержит 78 рисунков и 4 таблицы.

Автореферат полностью соответствует содержанию диссертации.

Изложенные в диссертации результаты достаточно хорошо обоснованы и прошли *апробацию* на 14 международных и российских семинарах и конференциях. На основе проведенных исследований опубликовано 33 *работы*, из них 5 статей в рецензируемых журналах из *перечня ВАК Минобрнауки РФ*, и 28 – в виде тезисов докладов всероссийских и международных конференций.

Во введении сформулированы цели задачи, решаемые в диссертационной работе, показана их актуальность, новизна и практическая значимость. Изложены основные положения, выносимые на защиту, обоснована достоверность полученных результатов. Представлены сведения о структуре и объеме диссертации. Приведена информация об апробации материалов диссертации, публикациях, выделен личный вклад автора.

В первой главе сделан обзор современного состояния по теме исследований. В ней описаны основные свойства сегнетоэлектриков, рассмотрены общие вопросы формирования в них доменной структуры, даны современные представления о ее эволюции. Рассмотрены процессы, сопровождающие переключение поляризации, представлены характеристики нейтральных и заряженных доменных стенок. Приведены сведения о структуре и физических свойствах ниобата и танталата лития, и их доменной структуре. Описаны эффекты, возникающие в данных материалах в результате высокотемпературного отжига.

Вторая глава является методической и включает характеристики исследуемых образцов, описание экспериментальных установок и методик. Представлены сведения

о методики приготовления и обработки образцов ниобата и танталата лития, в результате которой модифицировалась их поверхность.

Третья глава содержит результаты исследования влияния ионно-плазменного облучения на электропроводность и оптическое поглощение, а также на эволюцию доменной структуры и формирование заряженных доменных стенок в образцах ниобата и танталата лития.

Обнаружено понижение порогового напряжения переключения поляризации в исследуемых образцах после их ионно-плазменной обработки. Наблюдаемый эффект объясняется уменьшением толщины переключаемого слоя и неоднородным распределением электрического поля из-за повышения электропроводности приповерхностного слоя.

Переключение поляризации в кристаллах ниобата и танталата лития, подвергшихся ионно-плазменной обработке приводит к появлению изолированных доменов специфической формы. Возникновение таких доменов связывается с неоднородным распределением электрического поля вдоль границы домена, вследствие неполного экранирования деполаризующего поля.

Обнаружены заряженные доменные стенки типа «хвост-к-хвосту» при переключении поляризации вблизи границы слоя, модифицированного ионно-плазменным воздействием. Возникновение такой конфигурации доменов связывается с их «неполным» проращением и слиянием.

Четвертая глава является логическим продолжением предыдущей. В ней обсуждается влияние термического отжига в вакууме на состояние доменной структуры и формирование заряженных доменных стенок в монокристаллах конгруэнтного ниобата лития.

Обнаружено, что отжиг при температурах ниже 350 °С не приводит к заметному изменению доменной структуры. Высокотемпературная обработка обуславливает появление специфических особенностей. В ходе переключения поляризации в растущем поле происходит рост нанодоменов, появившихся под действием электрического поля, возникшего благодаря пирозлектрическому эффекту вблизи Z- полярной поверхности, и образование и рост доменов вблизи Z+ поверхности. Показано, что формирование двух заряженных доменных стенок на первой стадии обусловлено аномальным слиянием нанодоменов в объеме, вызванным увеличением поля по мере удаления от поверхности образца.

Наблюдаемое понижение порогового напряжения вблизи Z- поверхности после отжига в вакууме обусловлено полем, создаваемым градиентом концентрации экранирующих зарядов вблизи модифицированного поверхностного слоя с увеличенной электропроводностью.

В отожженном в вакууме монокристалле ниобата лития вблизи модифицированных поверхностей образуются дендритные домены, что вызвано уменьшением электрического поля и взаимодействием заряженных доменных стенок субмикронных несквозных доменов.

Пятая глава посвящена исследованию особенностей формирования доменной структуры в пластинах ниобата лития с пространственно неоднородным

распределением состава, полученным в результате высокотемпературного в парах лития и отжига на воздухе.

Обнаружено, что в исходной доменной структуре, формирующейся при фазовом переходе, образуются приповерхностные монодоменные слои. Наряду с этим, установлено, что для заряженных доменных стенок типа «голова-к-голове», обладающих повышенной электропроводностью изменение формы под действием пироэлектрического поля при охлаждении существенно меньше, чем для заряженных доменных стенок типа «хвост-к-хвосту».

Выявлена корреляция между локальным составом и формой сечений доменов, растущих от заряженной доменной стенки к поверхности, под действием электрического поля, возникающего при охлаждении благодаря пироэлектрическому эффекту.

В **заключении** диссертации представлены выводы по результатам работы.

Диссертация *В.И. Пряхиной* имеет важное **практическое значение**.

Автором предложены лабораторные технологии модификации доменной структуры в ниобате и танталате лития с использованием ионно-плазменной обработки и термического отжига образцов в вакууме. Определены закономерности влияния технологических режимов обработки на форму доменов и образование заряженных доменных границ, которые могут быть использованы в доменной инженерии.

Полученные в ходе выполнения работы результаты могут быть востребованы на предприятиях и научных центрах, занимающихся разработкой изделий электронной техники. К числу таковых следует отнести, например, ИК РАН им. А.В. Шубникова (г. Москва), Московский институт радиотехники, электроники и автоматики (университет), НПО "Микрон" (г. Зеленоград), Воронежский государственный университет.

Предложенные в диссертации методы модификации доменной структуры в ниобате и танталате лития расширяют возможности применения этого материала для создания оптоэлектронных устройств. Данный метод может быть рекомендован для дальнейшего развития в соответствующих лабораториях ИК РАН им. Шубникова (г. Москва) и Тверского государственного университета.

Вместе с тем имеются замечания к тексту диссертации.

1. Известно, что на процесс формирования доменной структуры и ее кинетику значительное влияние оказывают дефекты кристаллической решетки, взаимодействующие с заряженной доменной границей. Тем не менее, этот вопрос в диссертации не обсуждается.

2. Для нахождения распределения напряженности электрического поля по толщине образцов (раздел 3.7) автор использовал метод, дающий усредненное значение напряженности поля, которая может существенно отличаться от локального поля вблизи доменной границы.

3. В работе не сообщается, насколько стабильной во времени является сформированная доменная структура после формального завершения процесса

переключения (например, в случае на стр. 87.) Вместе с тем, это обстоятельство может иметь важное практическое значение.

4. В тексте диссертации достаточно много аббревиатур, что затрудняет ее восприятие.

Вместе с тем, отмеченные недостатки не являются существенными и не влияют на общее хорошее впечатление от работы.

Заключение о диссертации

Диссертация *Пряхиной В.И. «Формирование и эволюция заряженных доменных стенок в монокристаллах ниобата лития и танталата лития»* является законченной научно-квалификационной работой, выполненной автором самостоятельно и на высоком научном уровне. Диссертация соответствует критериям п.п. 9–14 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842 (в редакции 2017 г.), а её автор *Пряхина Виктория Игоревна* заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 – Физика конденсированного состояния.

Отзыв о диссертации *Пряхиной В.И.* обсуждён и утвержден на заседании кафедры физики твердого тела Воронежского государственного технического университета, протокол № 14 от 28 марта 2019 года. Присутствовало на заседании: 11 человек. Результаты: «за» – 11 человек, «против» – 0 человек, «воздержались» – 0 человек.

Отзыв составлен профессором кафедры физики твердого тела, доктором физико-математических наук (специальность 01.04.07), профессором Коротковым Леонидом Николаевичем.

И.о. Заведующего кафедрой физики
твердого тела ФГБОУ ВО
«Воронежский государственный
технический университет» (ВГТУ),

к.ф.-м.н., доцент

Александр Викторович Костюченко

Служебный адрес и телефон: 394026, г. Воронеж, Московский проспект, 14 (ауд. 225); av-kostuchenko@mail.ru; телефон: +7 (473) 246-66-47.