

Отзыв официального оппонента

на диссертационную работу **Грешнякова Евгения Дмитриевича** «Исходная доменная структура и ее эволюция при переключении поляризации в монокристаллах ниобата лития и танталата лития с отклонением от стехиометрического состава», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.8. Физика конденсированного состояния.

Работа Грешнякова Евгения Дмитриевича посвящена изучению формирования исходной доменной структуры в одноосных монокристаллах ниобата лития и танталата лития с градиентами состава при сегнетоэлектрическом фазовом переходе и её эволюции при переключении поляризации внешним электрическим полем. Ниобат лития и танталат лития получили широкое распространение в нелинейно-оптических устройствах, пьезоэлектрических и пьезоэлектрических преобразователях, микроэлектронике. При этом исследования данных кристаллов осуществлялось для конгруэнтных и стехиометрических составов и выявило значительные различия в их физических свойствах, в то время как исследований промежуточных и градиентных составов не производилось, что и обеспечивает **актуальность** данной работы.

Структура и содержание работы

Диссертационная работа состоит из введения, 7 глав, заключения, списка сокращений и условных обозначений и списка цитируемой литературы, состоящего из 138 библиографических ссылок. Общий объем диссертации составляет 110 страниц, содержит 63 рисунка и 4 таблицы. Общие выводы и перспективы дальнейшей разработки темы представлены в заключении.

В первой главе представлено современное состояние исследований процессов переключения и эволюции сегнетоэлектрической доменной структуры во внешнем электрическом поле, обсуждаются современные представления о роли различных механизмов экранирования. Описаны

физические свойства и особенности доменной структуры монокристаллов семейства ниобата лития и танталата лития. Приведен обзор современных методов визуализации доменной структуры сегнетоэлектриков на поверхности и в объеме и основных тенденций доменной инженерии.

Вторая глава является методической и содержит основные характеристики исследуемых образцов, описание экспериментальных установок и методик. Исследование исходной доменной структуры и переключения поляризации производилось в образцах с градиентами состава, которые были получены с помощью высокотемпературного отжига z-срезов пластин ниобата лития и танталата лития конгруэнтного состава в насыщенной литием атмосфере. Изготовление бидоменных пластин проводилось с помощью высокотемпературного отжига монодоменных пластин танталата лития в шихте и методом термодиффузионного сращивания монодоменных пластин ниобата лития с противоположным направлением спонтанной поляризации.

Третья глава посвящена исследованию заряженных доменных стенок, образующихся при фазовом переходе в одноосном сегнетоэлектрике с градиентами состава.

В ниобате лития было выявлено образование заряженных доменных стенок вблизи областей изменения знака градиента состава. Показано сохранение исходной формы заряженных доменных стенок под действием пьезоэлектрического поля при охлаждении от температуры фазового перехода до комнатной температуры. Произведена оценка шероховатостей заряженных доменных стенок, а значения их величин связаны с градиентами состава.

Выявлено два типа изолированных доменов: (1) сечения гексагональных доменов, образующихся на полярной поверхности и (2) сечения круглых выступов на заряженной доменной стенке, растущих к полярной поверхности.

Четвертая глава посвящена исследованию исходной доменной структуры, образующейся при фазовом переходе и изменяющейся при последующем охлаждении в одноосном сегнетоэлектрике с градиентами состава.

В танталате лития было выявлено образование двух типов исходной доменной структуры в зависимости от градиентов состава: (1) монодоменных областей вблизи полярных поверхностей с противоположным направлением спонтанной поляризации и полидоменного слоя ограниченного двумя заряженными доменными стенками, (2) монодоменных областей с противоположным направлением спонтанной поляризации и заряженной доменной стенки, образующейся в области смены знака градиента состава.

Образование полидоменного слоя происходит в области с малой величиной градиента концентрации. Выявлено существенное изменение формы заряженной доменной стенки под действием пирозлектрических полей в танталате лития при охлаждении от температуры фазового перехода до комнатной температуры. Произведен анализ выступов на заряженной доменной стенке.

Пятая глава посвящена распаду исходной доменной структуры в однородном электрическом поле.

Определено влияние переменного электрического поля на исходную доменную структуру, содержащую монодоменные области и полидоменный слой, ограниченный заряженными доменными стенками. В зависимости от толщины полидоменной области были выявлены следующие изменения исходной доменной структуры: (1) уменьшение толщины исходного полидоменного слоя, (2) образование заряженной доменной стенки в центре пластины, рост изолированных доменов с полярных поверхностей, (3) полный распад исходной доменной структуры, с образованием сквозных доменов с наклонными заряженными доменными стенками.

Исследование влияния постоянного электрического поля на заряженную доменную стенку выявило рост выступов с заряженной доменной стенки к полярной поверхности. Анализ кинетики доменной структуры определил зависимость доли площади растущих доменов от времени, а применение модифицированного подхода Колмогорова-Аврами позволило выявить три стадии эволюции доменной структуры: (1) рост изолированных доменов, быстро проросших от заряженной доменной стенки, (2) постепенный распад двумерного лабиринта стабилизированного взаимодействием доменных стенок, за счет разбиения полосовых доменов на изолированные, (3) движение макроскопической границы полностью переключенной области. Повторное переключение выявило формирование доменных стенок вблизи края электродов, что свидетельствовало о полном распаде заряженной доменной стенки при первом переключении поляризации.

Шестая глава посвящена изучению переключения поляризации в зависимости от состава на неполярном срезе LN.

Исследовано влияние отклонения от стехиометрического состава на рост доменов при переключении поляризации на неполярном срезе ниобата лития. Полученные результаты рассмотрены в рамках кинетического подхода к росту доменов в сегнетоэлектриках. Были выявлены линейная зависимость длины и корневая зависимость ширины доменов от величины прикладываемого напряжения для различных отклонений составов от стехиометрии. Установлена зависимость от состава для длины и ширины доменов в диапазоне от конгруэнтного до стехиометрического составов. Получена зависимость от длительности переключающего импульса для длины и ширины доменов.

Седьмая глава посвящена измерению электромеханических характеристик бидоменных актюаторов, созданных из пластин с заряженной доменной стенкой и изготовленных термодиффузионным сращиванием монодоменных пластин.

Были изготовлены бидоменные актюаторы с заряженными доменными стенками различной шероховатости. Выявлена зависимость электромеханического коэффициента передачи бидоменных актюаторов от шероховатости заряженной доменной стенки. Методом термодиффузионного сращивания был изготовлен биморфный актюатор с плоской доменной стенкой, который продемонстрировал выдающиеся электромеханические характеристики, необходимые при использовании в прецизионных системах.

Степень обоснованности, достоверности, научная новизна, практическая и теоретическая значимость положений и выводов, сформулированных в диссертации.

Научные положения автора, вынесенные на защиту, достаточно обоснованы, их достоверность подтверждается рядом публикаций в рецензируемых научных журналах, входящих в списки Web of Science и Scopus. Экспериментальные данные согласованы между собой и не противоречат общепризнанным физическим моделям. Научная новизна данного исследования заключается в исследовании доменной структуры в сегнетоэлектриках с градиентами состава и различными отклонениями от стехиометрии. Выявлен эффект переключения в объеме сегнетоэлектрика за счет образования выступов на заряженной доменной стенке и их роста к полярной поверхности под действием пьезоэлектрического поля в процессе охлаждения после фазового перехода и внешнего электрического поля. Измеренные зависимости от состава формы доменов и их прорастания в полярном направлении представляют интерес в создании доменных структур заданной геометрии. Значительную практическую значимость представляют способы создания бидоменных пластин методом термодиффузионного сращивания пластин и контролируемого управления распределением состава в кристаллах ниобата лития и танталата лития.

Полученные автором результаты являются новыми и имеют важное значение для физики конденсированного состояния и ее приложений. Выводы полны, логичны и адекватны.

Вопросы и недостатки в содержании и оформлении диссертации.

1. На Рис. 2.7 (стр. 51) коэффициент оптического поглощения имеет отрицательные значения в длинноволновой области для трёх образцов из четырёх. Подобная ошибка обычно обусловлена использованием неправильных значений коэффициента отражения в Ур. 2.5.
2. На стр.54-55 сказано, что нагрев на воздухе приводил к значительному увеличению ΔC_{Li} . Однако в работе нет данных о неоднородности состава этого кристалла до нагрева.

Отмечу, что сделанные замечания не затрагивают защищаемые положения и основные выводы работы. Таким образом, сделанные замечания ни в коей мере не снижают благоприятного впечатления от хорошей работы.

Заключение по диссертации.

В целом диссертационная работа Грешнякова Евгения Дмитриевича «Исходная доменная структура и ее эволюция при переключении поляризации в монокристаллах ниобата лития и танталата лития с отклонением от стехиометрического состава» представляет собой завершённую научно-квалификационную работу. Замеченные недостатки не умаляют общей научной значимости.

Содержание диссертации соответствует научной специальности 1.3.8. Физика конденсированного состояния.

Работа отвечает критериям пункта 9 Положения о присуждении ученых степеней в УрФУ, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук, а ее автор Грешняков Евгений

Дмитриевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.8. Физика конденсированного состояния.

Кострицкий Сергей Михайлович,
доктор физико-математических наук, доцент,
ООО Научно-Производственная Компания «Оптолинк»
технический директор Зеленоградского отделения.
Адрес: 124489, Москва, Зеленоград, Сосновая аллея, дом 6А
Телефон: + 53 68
Адрес электронной почты: skostritskii@optolink.ru

Кострицкий С.М./ «13» 08 2022 г.

Подпись Кострицкого Сергея:
Секретарь ООО «Оптолинк»



Строганова А.Н.