

## **Отзыв официального оппонента**

на диссертационную работу **Чуваковой Марии Артёмовны** «Переключение поляризации, кинетика доменной структуры и формирование дендритных доменов в монокристаллах ниобата лития и танталата лития», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.8. Физика конденсированного состояния.

### **Актуальность темы диссертации**

Актуальность темы диссертации связана с использованием монокристаллов ниобата лития ( $\text{LiNbO}_3$ , LN) и танталата лития ( $\text{LiTaO}_3$ , LT) с регулярными доменными структурами (ДС) в качестве основных нелинейно-оптических материалов для когерентных преобразователей частоты света, включая генерацию второй гармоники и оптическую параметрическую генерацию. Рассматриваемые в работе регулярные ДС в кристаллах LT конгруэнтного состава и LT с составом близким к стехиометрическому интенсивно исследовались в последние годы и показали свою эффективность в таких устройствах. Вместе с тем особенности переключения поляризации и кинетики ДС этих материалах практически не изучены.

### **Структура и содержание работы**

Диссертационная работа состоит из введения, 5 глав, заключения, списка сокращений и условных обозначений и списка литературы. Список литературы из 117 наименований достаточен для представления о состоянии исследований в области диссертационной работы и вкладе автора в развитие этих исследований. 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 LN и LT. Представлен обзор методов визуализации доменной структуры на поверхности и в объеме и основных тенденций доменной инженерии.

Вторая глава является методической и содержит параметры исследуемых образцов, описание экспериментальных установок и методик. Процесс переключения поляризации и кинетика ДС исследовались в монокристаллах семейства LT: (1) NCLT – с составом близким к конгруэнтному; (2) MgOCLT конгруэнтного состава, легированный 8 мол.% MgO; (3) MgOSLT с составом близким к стехиометрическому, легированный 1 мол.% MgO. Формирование дендритных ДС исследовалось в конгруэнтных монокристаллах ниобата лития (CLN) и танталата лития (CLT).

Третья глава посвящена исследованию особенностей переключения поляризации и кинетики ДС в монокристаллах семейства LT с использованием жидких электродов, а также созданию регулярной ДС.

В NCLT и MgOSLT выявлена определяющая роль в процессе переключения макроскопических доменных стенок, движущихся от края электрода за счет слияния с изолированными доменами. В MgOSLT слияние шестиугольных доменов большой площади приводит к скачкообразному ускорению переключения.

Показано, что в LT сильное легирование MgO приводит к значительному уменьшению коэрцитивного поля, плавному движению доменных стенок и увеличению скорости переключения за счет образования остаточных доменов при циклическом переключении. Выявленные особенности кинетики ДС позволили оптимизировать технологию создания РДС в MgOSLT и MgOCLT для изменения длины волны методом генерации второй гармоники с использованием эффекта фазового квазисинхронизма.

Четвертая глава посвящена исследованию формирования квазирегулярных доменных структур при переключении поляризации в MgOSLT и в NCLT с

диэлектрическим зазором при комнатной температуре. Было реализовано переключение поляризации с двумя типами электродов: металлическими (Cr) и жидкими электродами с диэлектрическим слоем.

Впервые обнаруженное формирование квазирегулярных полосовых доменов субмикронной ширины в MgOSLT при переключении с металлическими электродами (Cr) отнесено за счет образования при нанесении электрода поверхностного слоя с повышенной концентрацией кислородных вакансий.

Выявлены стадии эволюции доменной структуры при формировании цепей доменов в NCLT с диэлектрическим слоем на одной из полярных поверхностей, приводящим к образованию в объеме заряженной доменной стенки. Определяющая роль поверхностного слоя проявляется при формировании заряженной доменной стенки в NCLT, покрытом слоем фоторезиста.

Пятая глава посвящена исследованию особенностей формирования дендритных доменных структур при переключении поляризации с диэлектрическим слоем при повышенных температурах.

Впервые обнаружено и изучено формирование дендритных доменов при переключении поляризации при повышенных температурах в CLN и CLT с искусственным диэлектрическим слоем. Подробные исследования в CLN позволили выделить три типа форм дендритных доменов и изучить особенности их формирования. *In situ* визуализацией подтверждено, что при приложении поля происходит ветвление домена, что и приводит к формированию дендритного домена.

Формирование дендритных доменов объяснено в рамках кинетического подхода, как результат движения доменных стенок при неэффективном экранировании. Возникающее остаточное деполяризующее поле зависит от формы доменов и неоднородно замедляет движение доменных стенок. Компьютерным моделированием объяснено образование волнистых стенок и квазирегулярных доменных пальцев.

Увеличение локального поля с глубиной приводит к расширению ветвей дендритов, вызывающему образование дендритной ДС в приповерхностном слое толщиной в несколько микрометров и рост единого домена в глубине.

**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.

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

**Недостатки в содержании и оформлении диссертации.**

1. В третьей главе недостаточно явно прописана связь исследований кинетики доменной структуры и переключения поляризации с оптимизацией технологии создания РДС в MgOSLT и MgOCLT.
2. В третьей главе приведены результаты применения созданных регулярных ДС в качестве генератора оптической второй гармоники (ВГ) в кристаллах MgOCLT и MgOSLT. В тексте сказано, что для обоих кристаллов получена выходная мощность ВГ 15 Вт (непрерывный режим). При этом для второго кристалла приведены графики (рис. 3.16), показывающие, что максимальная выходная мощность равна 12 Вт (эффективность 25%), а для первого кристалла данные по эффективности отсутствуют вообще.
3. Непосредственно из названия диссертации следует, что часть работы посвящена исследованию формирования дендритных структур при переключении поляризации в сегнетоэлектрических кристаллах. Несомненно,

такие исследования представляют значительный научный интерес, результаты получены впервые. Однако в тексте диссертации актуальность таких исследований и тем более практическая значимость не обоснованы. Термин «дендриты» появляется непосредственно в разделе «Задачи», далее в защищаемых положениях, не фигурирует в литературном обзоре и далее появляется лишь в последней главе.

4. В работе очень наглядно представлены экспериментальные результаты трехмерной визуализации доменов. Представлены результаты моделирования пространственного распределения поля на поверхности и изменения формы движущейся стенки (рис. 5.13), а также распределения поля на доменной стенке с глубиной (рис. 5.14). В отличие от экспериментальных результатов такое представление никоим образом нельзя назвать наглядным и достаточным. Желательно было бы в работе представить трехмерные изображения (пространственные распределения) моделируемых параметров, что позволяет сделать используемый в работе программный пакет COMSOL Multiphysics.

5. Подписи к рисункам не всегда полно отражают их содержание. В тексте диссертации встречаются опечатки, пропуски слов и т.п.

#### **Заключение по диссертации.**

В целом диссертационная работа Чуваковой М.А., выполненная под научным руководством доктора физико-математических наук профессора Шура Владимира Яковлевича, представляет собой завершённую научно-квалификационную работу, в которой проведено экспериментальное исследование кинетики доменов, переключения поляризации и формирования дендритных ДС в монокристаллах семейства ниобата лития и танталата лития.

Содержание диссертации соответствует научной специальности 1.3.8. Физика конденсированного состояния.

Работа отвечает критериям пункта 9 Положения о присуждении ученых степеней УрФУ, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор Чувакова М.А. заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.8. Физика конденсированного состояния.

Мишина Елена Дмитриевна,  
доктор физико-математических наук, профессор,  
заведующий лабораторией фемтосекундной  
оптики для нанотехнологий кафедры наноэлектроники  
федерального государственного бюджетного  
образовательного учреждения высшего образования  
"МИРЭА - Российский технологический университет";  
Адрес: 119454 г. Москва пр-т Вернадского, д. 78  
Телефон: +7 499 215-65-65  
Адрес электронной почты: [mishina@mirea.ru](mailto:mishina@mirea.ru)

27.10.21

[

]

МИРЭА - РОССИЙСКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

МИРЭА - РОССИЙСКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ