

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 соискатель корректно связывает с использованием монокристаллов ниобата лития (LiNbO_3 , LN) и танталата лития (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. Для увеличения эффективности и мощности преобразования длины волны особое внимание уделяется созданию регулярных ДС в LT конгруэнтного состава, легированном 8 мол.% MgO (MgOCLT) и в LT с составом близким к стехиометрическому, легированном 1 мол.% MgO (MgOSLT). Однако, для оптимизации технологии создания регулярных ДС, кинетика ДС и переключение поляризации в этих материалах требуют подробного изучения. Значительную практическую и фундаментальную значимость также имеет возможность использования сегнетоэлектрика в качестве модельного материала для изучения формирования дендритных структур.

Целью диссертационной работы Чуваковой М.А. является исследование кинетики доменной структуры и переключения поляризации в перспективных для применения монокристаллах семейства танталата лития, а также исследование формирования дендритных доменов при переключении поляризации в однородном поле при повышенных температурах в CLN и CLT с

диэлектрическим слоем, что обуславливает как практическую, так и фундаментальную значимость работы.

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 современных методов визуализации доменной структуры сегнетоэлектриков 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 исследовалась 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 tantalата лития (CLT).

Третья глава посвящена исследованию особенностей переключения поляризации и кинетики ДС в монокристаллах семейства LT с использованием жидких электродов, а также созданию регулярных доменных структур (РДС).

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. При непрерывной генерации без резонатора получена выходная мощность 15 Вт.

Четвертая глава посвящена исследованию формирования квазирегулярных доменных структур при переключении поляризации в MgOSLT и в NCLT с диэлектрическим зазором при комнатной температуре. Были реализованы следующие варианты (1) переключение с металлическими электродами из Cr и (2) переключение поляризации с жидкими электродами и 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 дендритных доменов растут при приложении поля за счет ветвления.

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.

Показано, что 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.

Диссертационная работа представляет собой завершённое научно-квалификационное исследование, но она не свободна от **некоторых недостатков и упущений**:

1. В работе используются обозначения плоскостей Z и направлений Y для демонстрации различных изменений доменной структуры, но они не введены через кристаллографические плоскости.
2. В работе нет количественных оценок неоднородности стехиометрического состава для кристаллов с составом близким к конгруэнтному. Этот вопрос имеет большое значение, так как хорошо известно, что кристаллы выращенные из не конгруэнтного расплава имеют значительные неоднородности (радиальную и аксиальную) стехиометрического состава. Указанное в работе значение может оказаться только средним для монокристалла.
3. В работе указаны одинаковые значения (15 Вт) для максимальной мощности второй гармоники, полученные в конгруэнтных и стехиометрических кристаллах tantalата лития легированных магнием. В тоже время общеизвестно, что для родственных кристаллов ниобата лития использование стехиометрических образцов позволяет получить значительно большие величины максимальной мощности второй гармоники. В работе нет объяснения этой особенности.

Разумеется, сделанные замечания не затрагивают существа диссертационной работы и не снижают благоприятного впечатления от этой хорошей работы.

Заключение по диссертации.

В целом диссертационная работа Чуваковой М.А., выполненная под научным руководством доктора физико-математических наук профессора Шура

Владимира Яковлевича, представляет собой завершенную научно-квалификационную работу, в которой проведено экспериментальное исследование кинетики доменов, переключения поляризации и формирования дендритных ДС в монокристаллах семейства ниобата лития и tantalата лития. 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 кандидатским диссертациям, а ее автор Чувакова М.А. заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.8. Физика конденсированного состояния.

Кострицкий Сергей Михайлович,
доктор физико-математических наук,
ООО НПК «Оптолинк»
технический директор Зеленоградского отделения.

Адрес: 124489, Москва, Зеленоград, Сосновая аллея, дом 6А

Телефон: +7 (916) 514 53 68

Адрес электронной почты: skostritskii@optolink.ru

Кострицкий С.М. «02» 11 2021 г.

Подпись Кострицкого С.М. удостоверяю:

Генеральный директор ООО НПК Оптолинк,
д-р физ.-мат. наук, проф.

Коркишко Ю.Н.