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

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.

Соискатель корректно обосновывает прикладную актуальность темы диссертационной работы, указывая, что исследование кинетики доменной структуры и переключения поляризации в монокристаллах семейства танталата лития позволит оптимизировать технологию создания в них регулярных доменных структур (РДС). Фундаментальную актуальность темы работы соискатель разумно связывает с возможностью использования сегнетоэлектриков в качестве модельных материалов для изучения формирования дендритных структур, проводя аналогию между ростом доменов и кристаллов.

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 в рассматриваемой работе образцов, описание экспериментальных установок и методик. Процесс переключения поляризации и кинетика ДС в диссертации 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 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. Показано, то 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, приводящей 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 дендритные домены 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 публикациями в рецензируемых научных журналах, входящих в списки Web of Science и Scopus. Экспериментальные данные согласованы между собой и не противоречат общепризнанным физическим моделям.

Практическая и теоретическая значимость рассматриваемой работы обусловлена тем, что в ней впервые в сегнетоэлектриках обнаружено и изучено формирование дендритных доменов при переключении поляризации в CLN и CLT с поверхностным диэлектрическим слоем при повышенной температуре.

Показано, что возможность детального изучения роста сегнетоэлектрических доменов позволяет использовать сегнетоэлектрики в качестве модельного материала для изучения формирования дендритных структур, что имеет значительную практическую значимость. Показано, что последовательная аналогия между ростом доменов и кристаллов позволяет успешно объяснять формирование дендритных доменов. Изучение кинетики доменов и процессов переключения поляризации в актуальных для создания регулярных ДС кристаллах LT позволило изготовить преобразователи частоты лазерного излучения с высокой эффективностью.

Полученные автором результаты являются новыми и имеют важное значение для физики конденсированного состояния и ее приложений. Сделанные в диссертации выводы полны, логичны и обоснованы.

В качестве недостатков или пожеланий к рассматриваемой диссертационной работе можно отметить следующее:

1. Практически все обнаруженные в работе экспериментальные закономерности разумно объясняются выделением ведущих в конкретной ситуации физических факторов. Сделанные качественные выводы, очевидно, выглядели бы еще более весомыми после проведения соответствующих численных оценок. Это касается, например, найденной закономерности об уменьшении коэрцитивного поля танталата лития при его легировании окисью магния за счет роста с концентрацией примеси экранирования зародышеобразования новой фазы.

2. Экспериментально зафиксированная в работе толщина заряженных доменных стенок (несколько микрон) существенно превышает оценки геометрически правильной ЗДС в сегнетоэлектриках. Указанное расхождение, очевидно, связано с фиксацией в рассматриваемой работе так называемой «эффективной» ширины доменной стенки, под которой понимается ширина

области, в которой располагается доменная стенка с деформированным профилем за счет ее захвата близлежащими дефектами.

Сделанные замечания не умаляют научной значимости выполненной работы.

Заключение по диссертации.

Диссертационная работа Чуваковой М.А. представляет собой завершенную научно-квалификационную работу, в которой проведено экспериментальное исследование кинетики доменов, переключения поляризации и формирования дендритных доменных структур в монокристаллах семейств ниобата лития и танталата лития.

Результаты работы активно опубликованы в ведущих профильных журналах по специальности, прекрасно апробированы в виде докладов на многочисленных конференциях и хорошо известны среди специалистов.

Автореферат диссертации полностью отражает содержание диссертации.

Содержание диссертации соответствует научной специальности 1.3.8. Физика конденсированного состояния. Работа полностью 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.

Сидоркин Александр Степанович,
09.11.2021
доктор физико-математических наук, профессор,
ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет»,
профессор кафедры экспериментальной физики физического факультета;
Адрес: 394018, г. Воронеж, Университетская площадь, 1
Телефон: +7 (0732) 208-625
Адрес электронной почты: sidorkin@phys.vsu.ru