

Отзыв официального оппонента

на диссертационную работу **Слаутина Бориса Николаевича** «Исследование размерных эффектов и эволюции доменной структуры при локальном переключении поляризации в кристаллах ниобата лития», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.8. Физика конденсированного состояния.

Актуальность темы диссертации

Ниобат лития LiNbO_3 (LN) является одним из наиболее широко используемых на практике сегнетоэлектриков ввиду простоты структуры, отработанности технологии его получения, уникального набора пьезоэлектрических, пьезоэлектрических, электрооптических и нелинейно-оптических свойств. Кристаллы LN с регулярной доменной структурой (РДС) получили широкое распространение для создания преобразователей длины волны излучения. На основе пленок LN на изолирующей подложке с подслоем SiO_2 (LNOI) созданы прототипы высокоэффективных волноводов, высокоскоростных электро- и акустооптических модуляторов, кольцевых и дисковых оптических резонаторов, нелинейных преобразователей длины волны излучения. Широкие перспективы развития указанных применений, высокие требования к однородности доменной структуры требуют детального исследования особенностей кинетики доменной структуры и усовершенствования методов доменной инженерии в тонких пленках LN, физической основой которых является влияния размерного эффекта на кинетику доменов для создания регулярных доменных структур с контролируемыми параметрами в монокристаллических пленках LN. Все это делает исследования по представленной теме диссертационной работы актуальными.

Структура и содержание работы

Диссертационная работа Слаутина Б.Н. состоит из введения, 5 глав, заключения, списка сокращений, условных обозначений и списка литературы. Список литературы из 146 наименований достаточен для представления о

состоянии исследований в области диссертационной работы и вкладе автора в развитие этих исследований. Общие выводы и перспективы дальнейшей разработки рассматриваемой темы исследования представлены в заключении.

В первой главе представлены сведения о факторах, контролирующих геометрию и размеры доменов, эволюцию доменных структур в сегнетоэлектриках и методы их визуализации. Подробно описано влияние внешнего и внутреннего экранирования зарядов спонтанной поляризации на возникающую в сегнетоэлектриках доменную структуру. Описаны стадии переключения поляризации под действием внешнего электрического поля. Охарактеризованы факторы, определяющие размерные эффекты в сегнетоэлектриках. Описаны основные свойства, кристаллическая и доменная структура ниобата лития.

Подробно рассмотрены методы сканирующей зондовой микроскопии и ее использование для визуализации и создания заданной доменной структуры сегнетоэлектриков. На основании обзора работ, выполненных до рассматриваемой диссертации, делается вывод об отсутствии систематических исследований формирования и роста доменов при локальном переключении поляризации в тонких монокристаллических пленках ниобата лития с неполярной ориентацией. Отмечается отсутствие систематических исследований взаимодействия между доменами в регулярных доменных структурах в монокристаллических пленках ниобата лития на изоляторе, значительное влияние на кинетику роста доменов при локальном переключении внешних условий, особенно влажности.

Вторая глава диссертационной работы является методической и содержит основные характеристики исследуемых образцов, описание экспериментальных установок и методик. Для исследования размерных эффектов и эволюции доменов в работе использовались монокристаллические пленки ниобата лития на изоляторе, а также пластины LN с полярной и неполярной ориентациями. Создание изолированных доменов осуществлялось при помощи сканирующей зондовой микроскопии (СЗМ), регулярные доменные структуры создавались

сканированием с приложением постоянного напряжения к зонду. Визуализация созданных доменов и регулярных доменных структур осуществлялась при помощи сканирующей микроскопии пьезоэлектрического отклика (СМПО) и каналирования электронов. Для расчета пространственного распределения полярной компоненты электрического поля вблизи точки контакта зонд – образец при локальном переключении был использован метод конечных элементов.

Третья глава работы посвящена изучению эволюции изолированных доменов, полученных методом локального переключения, в тонких пластинах (толщина 15 мкм) и монокристаллических пленках LN на изоляторе с полярной ориентацией. Обнаружено, что в LNOI рост изолированных доменов осуществляется за счет формирования и прямого прорастания зубцов на заряженной доменной стенке. В LNOI с нижним диэлектрическим слоем наблюдался эффект коррелированного зародышеобразования с формированием изолированных нанодоменов впереди движущейся доменной стенки. Описан эффект увеличения скорости роста доменов в LNOI и уменьшения скорости роста доменов в пластинах LN и LNOI с нижним диэлектрическим слоем при увеличении относительной влажности, что было объяснено формированием водного мениска в точке контакта зонд - образец, приводящего к делокализации переключающего электрического поля.

В четвертая главе проведено исследование роста изолированных доменов в LNOI и пластинах LN с неполярной ориентацией. В рамках данных исследований были выявлены отличия в форме доменов, созданных локальным переключением в пленках LNOI и пластинах LN с неполярной ориентацией, возникающие за счет различий в их объемной проводимости. Изучен процесс формирования полосовых доменов и их роста при локальном переключении к металлическому заземленному электроду на поверхности образца. При касании доменом электрода был обнаружен эффект встречного роста домена от электрода к зонду.

В ходе исследования роста доменов выявлены существенные различия формы доменов, созданных в пластинах LN и в пленках LNOI. Форма доменов, созданных в одном образце положительными и отрицательными импульсами, также отличалась. Наблюдаемые различия были объяснены за счет разницы в соотношениях между объемными проводимостями LNOI и пластин LN, а также между проводимостями заряженных доменных стенок разных типов. Исследован процесс квазиупорядочения в чередовании длин зубцов в гребенчатом домене, созданном сканированием с приложением постоянного напряжения к зонду. Показано, что упорядочение приводит к кратному увеличению пространственного периода зубчатой структуры в 4 и 8 раз.

Пятая глава посвящена исследованию возможностей создания регулярных доменных структур с субмикронными периодами в LNOI. В рамках данных исследований были созданы регулярные доменные структуры РДС с субмикронными периодами пленках LNOI с полярной ориентацией при помощи сканирования с приложением постоянного напряжения к зонду микроскопа. Для создания РДС в LNOI с нижним диэлектрическим слоем было предложено использовать нагрев выше 70°C. Описано взаимодействие между заряженными доменными стенками, приводящее к увеличению или уменьшению ширины полосовых доменов в РДС в зависимости от их периода. В монокристаллических пленках LNOI с неполярной ориентацией созданы РДС с помощью переключения импульсами в ряду точек. Минимальный период реализованных РДС составлял 200 нм.

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 настоящего исследования согласованы между собой и не противоречат признанным физическим моделям. Полученные

автором результаты являются новыми и имеют важное значение для физики конденсированного состояния и ее приложений. Выводы и заключения работы полны и аргументированы.

Вопросы и недостатки в содержании и оформлении диссертации.

Текст диссертации продумано и логично построен, диссертация хорошо оформлена. В качестве недостатков рассмотренной диссертации можно отметить следующее:

1. Объяснение полученных в работе результатов выглядит убедительно. Факторы, контролирующие образование и эволюцию индивидуальных доменов в кристаллических пластинах, в пластинах разных срезов, в пленках на изолирующих подложках, описание влияния относительной влажности на рост доменов не вызывают сомнений. При этом приведенные в диссертации количественные доказательства высказанной аргументации выглядели бы более убедительными при указании формул, на основании которых проводились численные расчеты. Представление соответствующих формул позволило бы оценить степень сделанных в расчетах настоящей работы приближений.

2. Основные приведенные результаты рассматриваемой диссертационной работы относятся к статическим картинам сформированных доменов. Информация о влиянии длительности воздействия приложенного к материалу электрического поля на форму и размеры формируемых доменов приведена только для случая изолированных доменов в кристаллических пластинах. Такую же информацию было бы желательно привести и для других доменных картин. Для всех рассматриваемых доменных структур желательно указать природу порогового поля, контролирующего эволюцию растущих доменов.

Заключение по диссертации.

В целом диссертационная работа Слаутина Б. Н., выполненная под научным руководством доктора физико-математических наук профессора Шура Владимира Яковлевича, представляет собой завершённую научно-квалификационную работу, в которой разработаны методы создания РДС в пленках LN методами сканирующей зондовой микроскопии, проведено

экспериментальное исследования кинетики изолированных доменов в монокристаллических пленках и тонких пластинах LN. Отмеченные недостатки не умаляют общей научной значимости работы.

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

Сидоркин Александр Степанович
доктор физико-математических наук
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Воронежский государственный университет»
профессор кафедры экспериментальной физики физического факультета.
Адрес: 394018, г. Воронеж, Университетская площадь, 1
Телефон: +7 (0732) 208-625
Электронная почта: sidorkin@phys.vsu.ru

31.08.2022

А.С.Сидоркин



Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Воронежский государственный университет» Учреждение А. С.
Пис за 3
<i>Иванов</i> 31.08.2022