

## **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**

Диссертационная работа Слаутина Б. Н. посвящена исследованию кинетики роста доменов в тонких пластинах и монокристаллических пленках ниобата лития. Исследовались особенные пленки, приготовленные по технологии SmartCut (умное отщепление). Суть ее заключается в облучении монокристалла ионами для создания слоя дефектов на небольшой глубине от его поверхности и последующем отщеплении по этим дефектам тонкой верхней части кристалла в результате теплового удара. Такие монокристаллические пленки ниобата лития являются крайне перспективным объектом микрофотоники и нелинейной оптики. Изучение эволюции доменов поляризации в этих пленках и способов генерации регулярных доменных структур с субмикронными периодами важны для, например, практической реализации устройств параметрической генерации света обратной волны. Актуальность темы диссертации не вызывает сомнений.

### **Структура и содержание работы**

Диссертационная работа состоит из введения, 5 глав, заключения, списка сокращений и 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 темы представлены в заключении.

В первой главе представлен обзор структуры и основных свойств ниобата лития. Представлены современные представления об эволюции доменной структуры в сегнетоэлектриках при переключении поляризации. Представлены сведения о влиянии толщины сегнетоэлектрического кристалла на его физические свойства. Кратко описаны используемые сегодня методы визуализации доменных структур в сегнетоэлектриках, рассмотрены их преимущества и недостатки.

Вторая глава является методической и содержит основные характеристики исследуемых образцов, описание экспериментальных установок и методик.

Третья глава посвящена исследованию эволюции изолированных доменов в монокристаллических пластинах и тонких пленках ниобата лития с полярной ориентацией.

В ней был исследован рост доменов в тонких пластинах LN с толщиной 15 мкм, а также в монокристаллических пленках LN на изоляторе субмикронной толщины двух типов: 1) с металлическим электродом под пленкой; 2) с диэлектрическим слоем, отделяющим пленку от заземленного электрода. Было выявлено, что рост доменов в тонких пленках LN, в отличие от пластин LN, обусловлен формированием зубцов на заряженной доменной стенке, а при наличии диэлектрического слоя происходит за счет коррелированного зародышеобразования. Исследовано влияние относительной влажности на рост доменов, обнаружено увеличение скорости роста доменов в пленках LN и уменьшение скорости в пластинах LN и в пленках LN с диэлектрическим слоем при увеличении относительной влажности, что было объяснено делокализацией электрического поля из-за изменения размеров водного мениска в точке контакта зонда с образцом.

Четвертая глава посвящена исследованию роста изолированных доменов в монокристаллических пленках и тонких пластинах ниобата лития с неполярной ориентацией.



Были выявлены существенные различия в форме и эволюции изолированных доменов, созданных локальным переключением с помощью приложения положительных и отрицательных импульсов, в тонких монокристаллических пленках и пластинах ниобата лития. Было показано, что наблюдаемые отличия обусловлены разницей в объемной проводимости тонких пленок и пластин LN, а также разницей в проводимости заряженных доменных стенок типа «голова-к-голове» и «хвост-к-хвосту». Был исследован эффект самоорганизации длин доменных зубцов в гребенчатых доменах, созданных сканированием перпендикулярно полярному направлению в монокристаллических пленках LN с неполярной ориентацией. Обнаружен эффект кратного увеличения пространственного периода зубцов в гребенчатых доменах, объясненный взаимодействием заряженных доменных стенок.

Пятая глава посвящена созданию регулярных доменных структур (РДС) с субмикронным периодом в тонких монокристаллических пленках с полярной и неполярной ориентациями.

Были созданы РДС с субмикронным периодом в пленках LN с нижним электродом при помощи сканирования с приложением постоянного напряжения к зонду. Исследовано взаимодействие между полосовыми доменами в РДС, описаны основные виды зависимостей ширины доменов и скважности структур от их периода, обусловленные влиянием на рост взаимодействия между соседними полосовыми доменами, а также эффектом запаздывания экранирования. Было показано, что создание доменов в пленках LN с диэлектрическим слоем и полярной ориентацией возможно только при повышенных температурах. Были созданы РДС с периодами до 200 нм. Продемонстрирована возможность реализации РДС в пленках LN с неполярной ориентацией при помощи создания массивов одиночных клиновидных доменов.

**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.

### **Вопросы и недостатки в содержании и оформлении диссертации.**

1. Борис Николаевич, практически проигнорировал анализ контраста полученных РФМ-изображений доменов и доказательство однородности поляризации в созданных областях. Нигде, на протяжении всей диссертации [см. изображения на рисунках 1.9-1.11, 3.1-3.5, 3.11-3.13, 4.1-4.2, 4.4-4.7, 5.1-5.3, 5.6-5.9] не указано какой сигнал использован для визуализации доменов. Фаза или амплитуда? На многих из отмеченных изображений контраст доменов неоднороден. Чтобы убрать законные сомнения у читателя, следовало бы привести свидетельства монодоменности.
2. Анализируя экспериментальные зависимости ширины домена от приложенного для его создания напряжения, Борис Николаевич использует корневую, теоретическую зависимость. В целом ряде случаев [см. рисунки 3.1(б), 3.5(б), 4.1(в), 4.1(г), 4.2(в-д), 5.7(д)] измерения явно подчиняются линейной зависимости. Стоило бы, как минимум, пояснить, почему теория и эксперимент расходятся.

### **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 проведено экспериментальное

исследования кинетики изолированных доменов в монокристаллических пленках и тонких пластинах LN, а также разработаны методы создания РДС в пленках LN методами сканирующей зондовой микроскопии. Сделанные замечания 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 Слаутин Б. Н. заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.8. Физика конденсированного состояния.

**Анкудинов Александр Витальевич,**

Доктор физико-математических наук по специальности 01.04.01 – «Приборы и методы экспериментальной физики», ведущий научный сотрудник лаборатории физико-химических свойств полупроводников,

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе Российской академии наук», г. Санкт-Петербург.

«9» сентября 2022 г.

\_\_\_\_\_ А.В. Анкудинов

Адрес: 194021, г. Санкт-Петербург,

Ул. Политехническая, д. 26

Тел.: (812)297-2245, факс: (812) 297-1017

моб.т. 8-931-362-43-17,

e-mail: [alexander.ankudinov@mail.ioffe.ru](mailto:alexander.ankudinov@mail.ioffe.ru); [alex\\_ank@mail.ru](mailto:alex_ank@mail.ru)



Подпись Анкудинова А.В. удостоверяю

ДТИ им.А.Ф.Иоффе

Н.С. Буксер