

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.1.133.01,  
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО  
БЮДЖЕТНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ НАУКИ ИНСТИТУТА ФИЗИКИ  
МЕТАЛЛОВ ИМЕНИ М.Н. МИХЕЕВА УРАЛЬСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ  
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК (ИФМ УрО РАН)  
МИНИСТЕРСТВА НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ  
УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ ДОКТОРА ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИХ  
НАУК**

аттестационное дело № \_\_\_\_\_

решение диссертационного совета от 27.10.2023, № 12

О присуждении Савельеву Евгению Дмитриевичу, гражданину России, ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Формирование регулярной доменной структуры и преобразование длины волны в ниобате лития, модифицированном методом протонного обмена» по специальности 1.3.8. Физика конденсированного состояния принята к защите 17.07.2023, протокол № 7, диссертационным советом 24.1.133.01, созданным на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института физики металлов имени М.Н. Михеева Уральского отделения Российской академии наук (ИФМ УрО РАН), Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, 620108, Екатеринбург, ул. С. Ковалевской, 18, приказы Минобрнауки РФ № 714/нк от 02.11.2012 и № 188/нк от 26.02.2015.

Соискатель Савельев Евгений Дмитриевич, 1987 года рождения, в 2018 году окончил магистратуру Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина» по направлению подготовки 28.04.01. Нанотехнологии и микросистемная

техника. Савельев Е.Д. освоил программу подготовки научно-педагогических кадров в очной аспирантуре ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина» по направлению 03.06.01 – Физика и астрономия (Физика конденсированного состояния) с 01.09.2018 г. по 31.08.2022 г. Савельев Е.Д. работает в должности младшего научного сотрудника в отделе оптоэлектроники и полупроводниковой техники научно-исследовательского Института физики и прикладной математики Института естественных наук и математики Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина».

Диссертация выполнена на кафедре физики конденсированного состояния и наноразмерных систем Института естественных наук и математики Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина».

Научный руководитель – доктор физико-математических наук, профессор, Шур Владимир Яковлевич, главный научный сотрудник Отдела оптоэлектроники и полупроводниковой техники научно-исследовательского Института физики и прикладной математики Института естественных наук и математики Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина».

Официальные оппоненты:

1) Кострицкий Сергей Михайлович, доктор физико-математических наук, доцент, технический директор Зеленоградского отделения, ООО Научно-производственной компании «Оптолинк», г. Зеленоград;



2) Волынцев Анатолий Борисович, доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой нанотехнологий и микросистемной техники, Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Пермский государственный национальный исследовательский университет», г. Пермь

– дали положительные отзывы на диссертацию Е. Д. Савельева.

Ведущая организация Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Уральский государственный лесотехнический университет», г. Екатеринбург, в своем положительном заключении, подписанном заведующим кафедрой общей физики Кащенко Михаилом Петровичем, доктором физико-математических наук, указала, что «диссертационная работа Савельева Евгения Дмитриевича на тему «Формирование регулярной доменной структуры и преобразование длины волны в ниобате лития, модифицированном методом протонного обмена», представленная на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.8. Физика конденсированного состояния, является законченным научным исследованием, выполненном на высоком уровне и вносящем существенный вклад в понимание процессов значимых для прогресса методов доменной инженерии.

Диссертационная работа Савельева Евгения Дмитриевича на тему «Формирование регулярной доменной структуры и преобразование длины волны в ниобате лития, модифицированном методом протонного обмена» удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым ВАК РФ к кандидатским диссертациям. Ее автор Савельев Евгений Дмитриевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.8. Физика конденсированного состояния.»

Соискатель имеет 14 опубликованных работ (4,97 печатных листов), в том числе по теме диссертации 8 работ, из них статей, опубликованных в

рецензируемых российских и зарубежных научных изданиях и входящих в перечень ВАК – 3.

В результате проведённых исследований автором получены данные об эволюции доменной структуры при переключении поляризации в монокристаллах ниобата лития, модифицированных методом мягкого протонного обмена, разработана методика создания периодических и квазипериодических доменных структур.

Наиболее значимые научные работы по теме диссертации:

1. Second harmonic generation in periodically poled MgO:LN crystal with 2  $\mu\text{m}$  period created by e-beam irradiation / **E. D. Savelyev**, A. R. Akhmatkhanov, D. S. Chezganov, E. O. Vlasov, E. A. Pashnina, V. Ya. Shur, H. Tronche, F. Doutre, T. Lunghi & P. Baldi // *Ferroelectrics*. – 2021. – Vol. 576. – P. 50-54, DOI: 10.1080/00150193.2021.188825.
2. Domain growth in LiNbO<sub>3</sub> with surface layer modified by soft proton exchange / **E. D. Savelyev**, A. R. Akhmatkhanov, E. D. Greshnyakov, A. S. Abramov, H. Tronche, F. Doutre, T. Lunghi, P. Baldi, M. M. Neradovskiy, V. Ya. Shur // *Ferroelectrics*. – 2022. – Vol. 592. – P. 64-71. DOI: 10.1080/00150193.2022.2052247.
3. Abnormal domain growth during polarization reversal in lithium niobate crystal modified by proton exchange / **E. Savelyev**, A. Akhmatkhanov, M. Kosobokov, H. Tronche, F. Doutre, T. Lunghi, P. Baldi, V. Shur // *Crystals*. – 2023. – Vol. 13. – P. 72. DOI: 10.3390/cryst13010072.

На диссертацию и автореферат поступило 5 отзывов:

1. От доктора физико-математических наук Кукушкина Сергея Арсеньевича, профессора, заведующего лабораторией структурных и фазовых превращений в конденсированных средах Института проблем машиноведения Российской академии наук, г. Санкт-Петербург.



Без замечаний.

2. От доктора технических наук Козырева Андрея Борисовича, профессора, научного руководителя Межфакультетской лаборатории «Пульс», директора Научно-образовательного центра «Радиофизика, твердотельная электроника, микро- и наноэлектроника сверхвысоких частот», Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина)», г. Санкт-Петербург.

Замечания: 1. В работе используется термин «конгруэнтный состав». Однако непонятно, что конкретно соответствует этому понятию в данной работе для исследованных материалов.

Замечания: 2 О прикладной значимости полученных результатов. Практически отсутствуют данные о перспективах устройств доменного переключения и их ожидаемых характеристиках в сравнении с существующими аналогами на других материалах.

3. От доктора физико-математических наук Дрождина Сергея Николаевича, профессора, заведующего кафедрой экспериментальной физики, Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Воронежский государственный университет», г. Воронеж.

Замечания: 1. Исследования проводились при переключении в растущем поле через два месяца после проведения протонного обмена. Контролировалось ли сохранность модифицированного состояния в течение этого времени.

4. От доктора физико-математических наук Шибкова Александра Анатольевича, профессора кафедры теоретической и экспериментальной физики, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тамбовский государственный университет им. Г. Р. Державина», г. Тамбов.

Без замечаний.

5. От доктора технических наук Мамина Рината Файзрахмановича, заместителя руководителя по науке, заведующего лабораторией физики ферроиков и функциональных материалов Казанского Физико-Технического Института – обособленного структурного подразделения Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Федеральный исследовательский центр «Казанский научный центр Российской академии наук», г. Екатеринбург.

Замечания: 1. В качестве замечания отметим, что в автореферате всё же встречаются несогласованные предложения и орфографические неточности.

Выбор официальных оппонентов доктора физико-математических наук С.М. Кострицкого и доктора физико-математических наук А.Б. Волынцева, а также ведущей организации Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Уральский государственный лесотехнический университет», г. Екатеринбург, обосновывается публикациями оппонентов, тематикой структурного подразделения ведущей организации, относящимися к сфере исследований, которым посвящена диссертация.

**Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований установлено следующее:**

1. Аномальный рост полосовых доменов на полярной поверхности при переключении поляризации в монокристаллах ниобата лития, модифицированных методом мягкого протонного обмена, обусловлен неэффективным экранированием деполяризующего электрического поля.
2. Уменьшение порогового поля образования доменов после проведения мягкого протонного обмена связано с формированием в приповерхностном



слое внутреннего электрического поля, пропорционального градиенту состава.

3. Формирование квазипериодических доменных структур при росте полосовых доменов от плоской доменной стенки вызвано электростатическим взаимодействием доменов.

4. Переключение электрической поляризации зондом сканирующего зондового микроскопа при температуре 358 К позволяет создавать стабильную регулярную структуру полосовых доменов с периодом 500 нм,

5. Создание сфокусированным электронным пучком регулярной доменной структуры с периодом 2 мкм в легированном магнием ниобате лития позволяет методом генерации второй гармоники получить излучение с длиной волны 373 нм с нормированной эффективностью 0.4%/(Вт·см).

**Теоретическая значимость полученных соискателем результатов исследования обоснована тем, что продемонстрирована необходимость учета влияния градиента состава на пороговые поля образования и роста доменов в кристаллах с неоднородным составом. Показано, что формирование структуры полосовых доменов в одноосном сегнетоэлектрике при переключении в растущем поле может быть описано в рамках модифицированной модели Колмогорова-Аврами.**

**Практическая значимость полученных соискателем результатов обоснована тем, что исследованный анизотропный рост полосовых доменов открывает возможности для изготовления регулярных доменных структур в волноводах, созданных в монокристаллах ниобата лития методом мягкого протонного обмена.**

Значительное уменьшение пороговых полей при увеличении длительности протонного обмена представляет интерес для развития методов доменной инженерии в интегральной оптике.

Получение излучения с длиной волны 374 нм методом генерации второй гармоники в монокристаллах ниобата лития с регулярной доменной структурой с периодом 2 мкм, созданной методом сканирования сфокусированным электронным пучком, дает возможность усовершенствовать технологию генерации ультрафиолетового излучения.

**Оценка достоверности результатов исследования** обеспечивается применением поверенных и калиброванных средств измерений, аттестованных методик измерений, надежной статистикой экспериментов, применением современных методов обработки экспериментальных данных, согласием с результатами других авторов и непротиворечивостью известным физическим моделям.

**Личный вклад соискателя** состоит в том, что основные результаты были получены автором или при его активном участии. Выбор направления исследований, обсуждение результатов и формулировка задач проводились совместно с научным руководителем д.ф.-м.н., профессором В. Я. Шуром, к.ф.-м.н. и с.н.с. А.Р. Ахматхановым. Изготовление образцов, переключение поляризации, визуализация доменной структуры (ДС) методами оптической микроскопии и конфокальной микроскопии комбинационного рассеяния (КМКР), исследование параметров ДС, обработка результатов проводились автором. Локальное переключение поляризации и визуализация ДС методом силовой микроскопии пьезоэлектрического отклика (СМПО) проводились с к.ф.-м.н., м.н.с. Б.Н. Слаутиным, м.н.с. Л.В. Гимадеевой и м.н.с. А.С. Абрамовым. Визуализация ДС методом микроскопии генерации второй гармоники типа Черенкова (МГВГ) проводилась совместно с с.н.с. М. С. Небогатиковым и к.ф.-м.н., м.н.с. А.С. Слаутиной. Модификация монокристаллов ниобата лития методом мягкого протонного обмена проводилась автором при участии коллег из Института физики Ниццы Университета Лазурного Берега (Institut de Physique de Nice, Université Côte d'Azur) H. Tronche, F. Doutre, T. Lunghi, P. Baldi.



Основные результаты опубликованы в 8 печатных работах, в том числе в 3 статьях в рецензируемых научных журналах, определенных Перечнем ВАК РФ и входящих в международные базы цитирования Scopus и WoS, в 5 тезисах международных и всероссийских конференций. Разработана одна программа для ЭВМ. Диссертационная работа выполнена с использованием оборудования Уральского центра коллективного пользования «Современные нанотехнологии» Института естественных наук и математики УрФУ в рамках исследований, проводимых при поддержке РФФИ (грант 20-32-90192 Аспиранты).

Диссертация представляет собой научно-квалификационную работу, посвящённую экспериментальному изучению особенностей кинетики доменной структуры в монокристаллах ниобата лития, модифицированных методом мягкого протонного обмена, и разработке метода создания регулярных доменных структур в подобных кристаллах методами сканирующей зондовой микроскопии. Диссертация соответствует критериям «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденной Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 г. № 842 в редакции от 26.05.2020 г. № 751 с изменениями от 18.03.2023 г. № 415.

В ходе защиты диссертации было высказано следующее критическое замечание:

в диссертации и в автореферате не указан конкретный вклад зарубежных соавторов статей диссертанта.

Соискатель Савельев Е.Д. ответил на замечание:

«С замечанием согласен, в тексте диссертации следовало указать вклад французских соавторов. Соавторы из Франции Н. Tronche, F. Doutre, T. Lunghi, P. Baldi являются разработчиками технологии мягкого протонного обмена, они обучали меня этой технологии, а также отвечали за функционирование элементов технологической цепи (печи, компрессоры,

насосы и т.д.), необходимой для проведения мягкого протонного обмена. Хочу подчеркнуть, что сам процесс модификации монокристаллов ниобата лития методом мягкого протонного обмена был проведен мной лично. В приведенных статьях, написанных совместно с французскими коллегами, я являюсь первым соавтором, и конфликт интересов отсутствует.»

На заседании 27.10.2023, проведенном в очном режиме, диссертационный совет принял решение присудить Савельеву Евгению Дмитриевичу учёную степень кандидата физико-математических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 20 человек, из них 6 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации 1.3.8. Физика конденсированного состояния, 7 докторов наук по специальности 1.3.12. Физика магнитных явлений, 7 докторов наук по специальности 2.6.1. Металловедение и термическая обработка металлов, участвовавших в заседании, из 21 человека, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту – нет, проголосовали: «за» – 18, «против» – 2, «недейств.» – нет.

Председатель заседания,  
председатель диссертационного совета  
доктор физ.-мат. наук, академик РАН



В.В. Устинов

Ученый секретарь диссертационного совета  
доктор физ.-мат. наук

Т.Б. Чарикова

30 октября 2023 г.