

**РЕШЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА УрФУ 1.3.02.06
ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ
КАНДИДАТА НАУК**

от 26 ноября 2021 г. № 29

о присуждении Ушакову Андрею Дмитриевичу, гражданство Российской Федерации, ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Исследование эволюции доменной структуры при переключении поляризации кристаллов семейства многоосного релаксорного сегнетоэлектрика магнониобата-титаната свинца» по специальности 1.3.8. Физика конденсированного состояния принята к защите диссертационным советом УрФУ 1.3.02.06 «20» октября 2021 г., протокол № 22.

Соискатель, Ушаков Андрей Дмитриевич, 1992 года рождения, в 2015 году окончил ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина» по направлению подготовки 28.04.01 Нанотехнологии и микросистемная техника;

в 2019 году окончил очную аспирантуру ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина» по направлению подготовки 03.06.01 Физика и астрономия (Физика конденсированного состояния);

работает в должности младшего научного сотрудника отдела оптоэлектроники и полупроводниковой техники Научно-исследовательского института физики и прикладной математики Института естественных наук и математики ФГАОУ ВО «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 ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», Минобрнауки России.

Научный руководитель – доктор физико-математических наук, профессор, **Шур Владимир Яковлевич**, ФГАОУ ВО «Уральский

федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», Институт естественных наук и математики, Научно-исследовательский институт физики и прикладной математики, отдел оптоэлектроники и полупроводниковой техники, главный научный сотрудник.

Официальные оппоненты:

Лушников Сергей Германович – доктор физико-математических наук, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Физико-технический институт им. А. Ф. Иоффе Российской академии наук, г. Санкт-Петербург, отделение физики диэлектриков и полупроводников, лаборатория физики сегнетоэлектричества и магнетизма, главный научный сотрудник – заведующий лабораторией;

Раевский Игорь Павлович – доктор физико-математических наук, профессор, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Южный федеральный университет», г. Ростов-на-Дону, Научно-исследовательский институт физики, лаборатория мультиферроиков, заведующий лабораторией;

Коротков Леонид Николаевич – доктор физико-математических наук, профессор, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Воронежский государственный технический университет», г. Воронеж, кафедра физики твердого тела, профессор

дали положительные отзывы на диссертацию.

Соискатель имеет 60 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации – 23 работы, из них 9 статей, опубликованных в рецензируемых научных журналах, определенных ВАК РФ и Аттестационным советом УрФУ и входящих в международные базы цитирования Scopus и Web of Science. Общий объем опубликованных работ – 4,78 п.л., авторский вклад – 1,56 п.л.

Основные публикации по теме диссертации

статьи, опубликованные в рецензируемых научных журналах, определенных ВАК РФ и Аттестационным советом УрФУ:

1. Akhmatkhanov, A. R. Polarization reversal and domain kinetics in PMN-30PT single crystals / A. R. Akhmatkhanov, E. D. Greshnyakov, **A. D. Ushakov**,

E. M. Vaskina, D. O. Alikin, X. Wei, Z. Xu, Z. Li, S. Wang, Y. Zhuang, Q. Hu, V. Ya. Shur // *Ferroelectrics* – 2017. – Vol. 508. – pp. 31–39. – 0,50 п. л. / 0,08 п. л. – (Scopus, Web of Science).

2. **Ushakov, A. D.** In situ visualization of domain structure evolution during field cooling in 0,67PMN-0,33PT single crystal / **A. D. Ushakov**, A. A. Esin, D. S. Chezganov, A. P. Turygin, A. R. Akhmatkhanov, Q. Hu, L. Sun, X. Wei, V. Ya. Shur // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* – 2017. – P. 12025. – 0,36 п. л. / 0,06 п. л. – (Scopus, Web of Science).

3. Hu, Q. Investigation of domain structure evolution during zero-field temperature treatment in 0,67PMN-0,33PT single crystals / Q. Hu, **A. D. Ushakov**, A. A. Esin, E. O. Vlasov, D. S. Chezganov, L. Sun, A. P. Turygin, X. Wei, V. Ya. Shur // *Ferroelectrics* – 2018. – Vol. 525. – P. 114–122. – 0,55 п. л. / 0,11 п. л. – (Scopus, Web of Science).

4. **Ushakov, A. D.** Direct observation of the domain kinetics during polarization reversal of tetragonal PMN-PT crystal / **A. D. Ushakov**, A. A. Esin, A. R. Akhmatkhanov, Q. Hu, X. Liu, Y. Zhao, X. Wei, and V. Ya. Shur // *Applied Physics Letters* – 2018. – Vol. 113. – P. 112902. – 0,49 п. л. / 0,16 п. л. – (Scopus, Web of Science).

5. Liu, X. Temperature and electric field treatment of the rhombohedral PMN-PT single crystals / X. Liu, **A. D. Ushakov**, Y. Zhao, A. A. Esin, A. R. Akhmatkhanov, X. Wei, Z. Xu, M. Khanuja, S. S. Islam, V. Ya. Shur // *Ferroelectrics* – 2019. – V. 541. – pp. 66-73 – 0,5 п. л. / 0,17 п. л. – (Scopus, Web of Science).

6. **Ushakov, A. D.** Direct observation of domain kinetics in rhombohedral PMN-28PT single crystals during polarization reversal / **A. D. Ushakov**, A. A. Esin, A. R. Akhmatkhanov, Q. Hu, X. Liu, Y. Zhao, A. A. Andreev, X. Wei, V. Ya. Shur // *Applied Physics Letters* – V115 – P. 102903 – 2019 – 0,47 п. л. / 0,24 п. л. – (Scopus, Web of Science).

7. Liu, X. Different domain switching kinetics in tetragonal PMN-PT single crystal studied by in situ observation and current analysis / X. Liu, Y. Zhao, Q. Hu, **A. D. Ushakov**, P. Luan, X. Fu, W. Zhao, Y. Zhuang, A. R. Akhmatkhanov, V. Ya. Shur, Y. Liu, Z. Li, X. Wei, Z. Xu // *Journal of the European Ceramic Society* –

2020 – V40 – pp. 2922-2928 – 0,83 п. л. / 0,1 п. л. – (Scopus, Web of Science).

8. **Ushakov, A. D.** Dense ferroelectric-ferroelastic domain structures in rhombohedral PMN-28PT single crystals / **A. D. Ushakov**, A. P. Turygin, A. R. Akhmatkhanov, D. O. Alikin, Q. Hu, X. Liu, Y. Zhao, Z. Xu, X. Wei, V. Ya. Shur // Applied Physics Letters – V. 116 – P. 182901 – 2020 – 0,51 п. л. / 0,26 п. л. – (Scopus, Web of Science).

9. **Ushakov, A. D.** Domain structure evolution during alternating current poling and its influence on the piezoelectric properties in [001]-cut rhombohedral PIN-PMN-PT single crystals / **A.D. Ushakov**, Q. Hu, X. Liu, Z. Xu, X. Wei, V. Ya. Shur // Applied Physics Letters – V. 118 – P. 232901 – 2021 – 0,57 п. л. / 0,38 п. л. – (Scopus).

На автореферат поступили отзывы от:

1. **Бахтизина Рауфа Загидовича**, доктора физико-математических наук, профессора, профессора кафедры физической электроники и нанофизики Физико-технического института ФГБОУ ВО «Башкирский государственный университет», г. Уфа. Без замечаний

2. **Дрождина Сергея Николаевича**, доктора физико-математических наук, профессора, заведующего кафедрой экспериментальной физики ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет», г. Воронеж. Содержит замечания по оформлению автореферата.

3. **Ивлевой Людмилы Ивановны**, доктора технических наук, главного научного сотрудника Отдела лазерных материалов и фотоники ФГБУН Институт общей физики им. А.М. Прохорова Российской академии наук, г. Москва. Без замечаний.

4. **Кукушкина Сергея Арсеньевича**, доктора физико-математических наук, профессора, заведующего лабораторией структурных и фазовых превращений в конденсированных средах ФГБУН Институт проблем машиноведения Российской академии наук, г. Санкт-Петербург. Без замечаний.

5. **Пугачева Алексея Марковича**, кандидата физико-математических наук, старшего научного сотрудника ФГБУН Институт автоматизации и

электрометрии Сибирского отделения Российской академии наук, г. Новосибирск. Без замечаний.

6. **Шибкова Александра Анатольевича**, доктора физико-математических наук, профессора, профессора кафедры теоретической и экспериментальной физики ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный университет имени Г.Р. Державина», г. Тамбов. Без замечаний.

7. **Яценко Александра Викторовича**, доктора физико-математических наук, доцента, профессора кафедры физики конденсированных сред, физических методов и компьютерных технологий в медицине Физико-технического института ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского», г. Симферополь. Содержит замечания и вопросы по поводу условий отжига, процедуры получения оптического тока и нумерации рисунков.

Выбор официальных оппонентов обосновывается их широкой известностью своими достижениями и высокой научной компетентностью в области физики конденсированного состояния, близостью тематики проводимых ими исследований и темы диссертационной работы.

Диссертационный совет отмечает, что представленная диссертация на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук соответствует п. 9 Положения о присуждении ученых степеней в УрФУ и является научно-квалификационной работой, в которой содержится решение научной задачи, связанной с исследованием особенностей эволюции доменной структуры при переключении поляризации, улучшением пьезоэлектрических свойств релаксорных сегнетоэлектрических кристаллов семейства PMN-PT, и имеющей значение для развития физики конденсированного состояния.

Диссертация представляет собой самостоятельное законченное исследование, обладающее внутренним единством. Положения, выносимые на защиту, содержат новые научные результаты и свидетельствуют о личном вкладе автора в науку:

– проведено исследование особенностей эволюции доменной структуры при переключении поляризации в кристаллах PMN-PT, обладающих

различной симметрией, при приложении поля вдоль полярных и неполярных осей с использованием *in situ* оптической визуализации;

– выявлены конкурирующие процессы эволюции доменной структуры при переключении поляризации вдоль полярных осей в монокристаллических образцах PMN-PT, обладающих тетрагональной и ромбоэдрической симметриями;

– обнаружено формирование «двойных» и «тройных» петель диэлектрического гистерезиса в пластинах PMN-PT, обладающих ромбоэдрической симметрией, в температурных диапазонах, соответствующих релаксорной фазе, при переключении электрическим полем, направленным вдоль [111];

– показано, что увеличение пьезоэлектрического коэффициента при переключении поляризации переменным полем, приложенным вдоль [001] направления в пластинах PIN-PMN-PT, обладающих ромбоэдрической симметрией, обусловлено постепенным уменьшением доли замороженной доменной структуры при многократном 71-градусном переключении.

Результаты исследования открывают перспективы для контролируемого создания доменных структур, необходимых при создании высокоэффективных электромеханических преобразователей.

Наиболее значимым практическим результатом исследования является предложенная автором методика оптимизации количества импульсов электрического поля при переключении поляризации монокристаллов PIN-PMN-PT, позволившая получить рекордно высокое значение пьезоэлектрического модуля $d_{33} = 2830 \pm 30$ пКл/Н. Данная методика представляет интерес для лабораторий и научных центров, занимающихся проблемами сегнетоэлектричества и пьезотехники.

На заседании 26 ноября 2021 г. диссертационный совет УрФУ 1.3.02.06 принял решение присудить Ушакову А. Д. ученую степень кандидата физико-математических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет УрФУ 1.3.02.06 в количестве 18 человек, из них 5 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 25 человек,

входящих в состав совета, проголосовали за – 18, против – нет, недействительных бюллетеней – нет.

Председатель
диссертационного совета

УрФУ 1.3.02.06



Огородников Игорь Николаевич

Ученый секретарь
диссертационного совета

УрФУ 1.3.02.06



Ищенко Алексей Владимирович

26 ноября 2021 г.