

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА ЮФУ801.01.06,
созданного на базе Научно-исследовательского института физики ЮФУ,
по диссертации на соискание учёной степени **кандидата наук**

аттестационное дело № _____,
решение диссертационного совета от 29.10.2025 № 65

О присуждении **Мойсе** Максиму Олеговичу, гражданину РФ, учёной степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация **«Кристаллическая, доменная структуры и сегнетоэлектрические свойства твёрдых растворов на основе ниобатов натрия, калия с мультиферроиком ферритом висмута»** по специальности **1.3.8. Физика конденсированного состояния**, принятая к защите 26.08.2025 (протокол заседания № **59**) диссертационным советом ЮФУ801.01.06, созданным на базе Научно-исследовательского института физики ЮФУ, приказ № 236-ОД от 20.09.2024.

Мойса Максим Олегович, 1995 года рождения, в 2017 году закончил физический факультет Южного федерального университета и закончил 2019 году очную магистратуру по специальности «Физика, химия и технология функциональных материалов» в НИИ физики Южного федерального университета. После защиты магистерской диссертации в 2019 году поступил в очную аспирантуру физического факультета ЮФУ по направлению 03.06.01 – Физика и астрономия. и специальности 1.3.8. Физика конденсированного состояния, и окончил её в 2023 году. Справка об обучении и сдаче кандидатских экзаменов выдана в Южном федеральном университете.

Диссертация выполнена в отделе интеллектуальных материалов и нанотехнологий Научно-исследовательского института физики Южного федерального университета.

Научный руководитель: **Резниченко** Лариса Андреевна, доктор физико-математических наук, профессор.

Официальные оппоненты: **Исаев** Владислав Андреевич, доктор физико-математических наук по специальности 01.04.07 Физика конденсированного состояния, профессор, Кубанский государственный университет (Краснодар), кафедра теоретической физики и компьютерных технологий, профессор, и **Винник** Денис Александрович, доктор химических наук по специальности 02.00.04 Физическая химия, доцент, Южно-Уральский государственный университет (Челябинск), кафедра «Материаловедение и физико-химия материалов», заведующий, дали **положительные** отзывы о диссертации.

Соискатель имеет 39 научных публикаций по теме диссертации объёмом 9,7 п. л. в соавторстве, из которых соискателю принадлежит 4,4 п. л, из них в научных изданиях, входящих в Перечень научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук, представленных для защиты в диссертационные советы ЮФУ, из них в международных и российских научных изданиях, входящих в базы данных международных индексов научного цитирования Scopus и/или Web of Science опубликовано 10 работ. Остальные публикации: 29 статей и тезисов в сборниках трудов международных и всероссийских конференций и 2 российских патента. Недостоверных сведений о публикациях соискателя не обнаружено. Все публикации соискателя в полной мере отражают содержание диссертации.

Наиболее значимые публикации соискателя:

1. Analysis of non-180° domain structures in lead-free ferroelectric solid solutions based on NaNbO₃ and KNbO₃, perovskites and CdNb₂O₆ coulombite. / **М. О. Moysa**, V. Yu. Topolov, L. A. Shilkina, K. P. Andryushin, and L. A. Reznichenko. // *Ferroelectrics*. – 2022. – Vol. 598. – P. 35-42. –
2. Ferroelectric solid solutions with perovskite- and columbite-type components: from a formation of structures to domain and hysteresis phenomena. / **М. О. Moysa** V. Yu. Topolov K. P. Andryushin A. V. Nagaenko L. A. Shilkina M. V. Il'ina O. I. Soboleva S. Sahoo L. A. Reznichenko. // *Journal of Advanced Dielectrics*. – 2022. – Vol. 12. – Art. No 2250023 (11p.).
3. Dielectric spectroscopy of solid solutions based on sodium - potassium - cadmium in the temperature range (10 ÷ 900) K. / **Moysa М. О.**, Andryushin K.P ., Pavlenko, A. V., Kubrin S. P., Reznichenko L. A. // *Journal of Advanced Dielectrics*. – 2022. – Vol. 12. – № 41. – Art. No 2244001.
4. Switching Processes in a 0.725NaNbO₃–0.20KNbO₃–0.075CdNb₂O₆ Ferroelectric Solid Solution / **М. О. Moysa**, M. V. Talanov, K. P. Andryushin, N. A. Shvetsova, I. A. Shvetsov & A. N. Rybyanets. // *Bulletin of the Russian Academy of Sciences: Physics*. – 2023. – Vol. 87. – P. 1322–1325.

5. Heterophase states in ferroelectric solid solutions of sodium, potassium and cadmium niobates. / **М. О. Moysa**, V. Yu. Topolov, L. A. Shilkina, K. P. Andryushin, L. A. Reznichenko // Journal of Advanced Dielectrics. – 2025. – Vol. 15, № 2. – Art. No 2450016 (11p.).

6. Dielectric relaxation, crystal structure and magnetic phenomena in solid solutions based on alkali metal niobates and bismuth ferrite in a wide range of external influences. / **М. О. Moysa**, A. V. Pavlenko, L. A. Shilkina, S. P. Kubrin, K. P. Andryushin, L. A. Reznichenko // Ceramics International. – 2025. – Vol. 51, № 4. – P. 5208 - 5216.

На автореферат диссертации поступило 4 положительных отзыва, 3 из которых содержат замечания или пожелания. У Флёрова Игоря Николаевича (ИФ имени Л. В. Киренского СО РАН, Красноярск) имеются замечания:

1) « ...исследованиям подлежали две системы твёрдых растворов, пронумерованные автором ... 1 и 2. Однако из названия диссертации следует, что изучена лишь система 1. И этому ... соответствует также и содержание Заключения, в котором 10 из 12 пунктов посвящены твёрдым растворам с ферритом висмута. Эта «диспропорция» выглядит странной, так как только 2 из 12 журнальных публикаций ... посвящены системе 1. 2) В Автореферате явно не хватает графического представления полных фазовых диаграмм Температура - Состав ..., которые, вполне вероятно, показаны в диссертации. В результате осталось не ясным, каким составам соответствуют ... зоны структурных неустойчивостей ...» и «особенно области морфотропных переходов». У Юрасова Юрия Игоревича (ЮНЦ РАН) имеются пожелания: «Несмотря на высокий уровень выполненного исследования, его потенциал может быть усилен за счёт ряда перспективных направлений: 1) для наиболее перспективных составов ... в области морфотропных переходов, крайне ценно было бы провести прямое измерение пьезоэлектрических коэффициентов (например, пьезомодуля d_{33}), что является ключевым параметром для оценки их практической применимости в пьезопреобразователях...»; 2) «...количественная характеристика мультиферроичных свойств и доказательство магнитоэлектрической связи требуют измерения петли магнитного гистерезиса (М-Н) для композиций с высоким содержанием BiFeO_3 ...» и 3) «...расширение исследований микроструктуры с применением просвечивающей электронной микроскопии (ПЭМ) позволило бы получить детальную информацию о доменной структуре

на наноуровне и непосредственно визуализировать границы раздела фаз и кластеры...». У **Хасанова** Асламбека Идрисовича (ЧГУ имени А. А. Кадырова, Грозный) также имеются следующие пожелания: 1) «В контексте дальнейшего совершенствования данного научного направления можно отметить, что углубление исследований могло бы быть направлено на изучение циклической стабильности сегнетоэлектрических характеристик (усталости) для наиболее перспективных составов, что критически важно для их применения в устройствах многократного действия...» и 2) «... для полного раскрытия потенциала ... системы, содержащих...» мультиферроик ... « BiFeO_3 , представляется целесообразным проведение прямых измерений магнитоэлектрического коэффициента, что позволило бы количественно оценить связь между электрической и магнитной подсистемами». У **Магомадова** Рукмана Масудовича (ЧГУ имени А. А. Кадырова, Грозный) замечаний и вопросов нет.

Выбор официальных оппонентов обосновывается тем, что **Исаев В. А.** является специалистом в области физики конденсированного состояния, в сочетании с познаниями в теоретической механике, в частности, в создании и исследовании процессов синтеза функциональных материалов в сочетании с экспериментальными методами спектроскопии и компьютерными технологиями для моделирования и прогнозирования их свойств, и **Винник Д. А.** является специалистом в области химии и физики твёрдого тела и функционального материаловедения, со сфокусированной экспертизой в направлении синтеза, модификации и всестороннего исследования магнитных материалов.

Диссертационный совет отмечает, что в результате выполненных соискателем исследований:

разработана и оптимизирована технология синтеза высокоплотной, беспримесной и прочной сегнетоэлектрической керамики твёрдых растворов двух трёхкомпонентных систем $(1-x)(\text{Na}_{0.5}\text{K}_{0.5})\text{NbO}_3-x\text{BiFeO}_3$ - ниобатов натрия-калия с ферритом висмута и $(1-x-y)\text{NaNbO}_3-x\text{KNbO}_3-y\text{CdNb}_2\text{O}_6$, - ниобатов

натрия-калия с ниобатом кадмия, для которых получены следующие основные результаты: *выявлено*, что в системе ниобатов натрия-калия с ферритом висмута не образуется непрерывный ряд твёрдых растворов, а формируются локальные области гомогенности и несмешиваемости; *объяснены* причины невозможности образования непрерывного ряда твёрдых растворов в этой системе из-за кристаллохимических ограничений и *установлены* закономерности формирования кристаллической, доменной, зёрненной структур и возникновения особых диэлектрических и поляризационных свойств в широких интервалах температур и напряжённостей постоянных и переменных электрических полей; в обеих системах *определена* критическая зависимость фазообразования, структуры и макроскопических свойств от условий термодинамической предистории синтеза; *построена* детальная фазовая диаграмма для системы твёрдых растворов ниобатов натрия-калия с ферритом висмута, на которой выделены области образования и распада твёрдых растворов, морфотропных переходов и других структурных неустойчивостей и *выявлено* формирование двух релаксационных процессов недебаевского типа в твёрдых растворах этой системы в интервалах концентраций от $x = 0,85$ до $x = 0,95$ и температур от 560 К до 720 К; *объяснена* причина размытия магнитных фазовых переходов в твёрдых растворах системы с ферритом висмута, которая связана с возрастающей локальной неоднородностью элементного состава; *выявлено*, что вблизи крайних компонентов структуры твёрдых растворов системы с ферритом висмута наиболее однородны, а пик неоднородности по зерну и стехиометрии наблюдается при x около 0,75 и *установлена* корреляция между дисперсией диэлектрических спектров и однородностью элементного состава: максимальная неоднородность наблюдается на "расстоянии" $x \sim 0,20$ от крайних компонентов, а минимальная — при $x \sim 0,50$, а также *предложены* новые перспективные составы в обеих системах на основе ниобатов натрия, калия с ферритом висмута и ниобатом кадмия для создания бессвинцовых функциональных материалов для электроники.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что установлены чёткие корреляционные связи между элементным составом,

термодинамической предисторией, кристаллической, доменной, зёрненной структурами, с одной стороны, и сегнето-, диэлектрическими свойствами, а также оптимальными объёмными концентрациями 90° -ных доменов в тетрагональной фазе – с другой, при которых достигается полная релаксация механических напряжений на межфазных границах в гетерофазных областях системы с ниобатом кадмия; *определено*, что полная релаксация механических напряжений реализуется при различных доменных состояниях сосуществующих фаз: моно- или полидоменном в зависимости от значения x в системе с ниобатом кадмия; *объяснена* природа двух релаксационных процессов в системе с BiFeO_3 : процесс с энергией активации от 0,13 эВ до 0,38 эВ объяснён скачкообразным перемещением носителей заряда, то есть поляронов и ионизацией кислородных вакансий; процесс с энергией активации $\sim 0,32$ эВ объяснён релаксацией поверхностного заряда на границах кластеров с различным химическим составом; *получена* диаграмма плотности переключения доменов от внутренних и коэрцитивных полей; и *показано*, что функция распределения доменов твёрдых растворов состава $0,725\text{NaNbO}_3 - 0,20\text{KNbO}_3 - 0,075\text{CdNb}_2\text{O}_6$ располагается в узком диапазоне коэрцитивных полей.

Применительно к проблематике диссертации эффективно использован комплекс современных экспериментальных методов определения кристаллической, доменной, зёрненной структур и макроскопических свойств, а также апробированных экспериментальных методик с использованием технологической и измерительной аппаратуры с регулярной метрологической аттестацией и современного программного обеспечения.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики определяется тем, что оптимизирована технология твёрдофазного синтеза исследованных объектов, позволяющая получать высокоплотную, беспримесную керамику твёрдых растворов системы с ферритом висмута с воспроизводимыми свойствами, что критически важно для серийного производства этой керамики для устройств твёрдотельной электроники; для системы с ферритом висмута установлены корреляционные

связи "состав – структура - свойства" и построены фазовые диаграммы, что создаёт научную основу для целенаправленного конструирования материалов с заданными сегнето- и диэлектрическими свойствами, сокращая время и затраты на их разработку; *получены* результаты по релаксации механических напряжений в обеих гетерофазных системах, которые могут позволить создавать более надёжные керамические изделия с увеличенным сроком службы, что особенно важно для их применений.

Оценка достоверности результатов исследования ***выявила**, что они согласуются с современными физическими концепциями и были получены с применением взаимодополняющих методов синтеза и исследования; *их достоверность и обоснованность* определяются высокой степенью воспроизводимости данных эксперимента и соответствием стандартам, что обеспечивает обоснованность выводов. Статистическая значимость подтверждена анализом репрезентативной выборки и непротиворечивостью данным из независимых источников. Используемые апробированные методики соответствуют установленным метрологическим стандартам.

Личный вклад автора, который сформулировал задачи исследования, провёл ключевые эксперименты по измерению диэлектрических и поляризационных свойств материалов в широком диапазоне внешних воздействий, выполнил теоретические расчёты оптимальных концентраций доменов и анализ релаксационных процессов, построил диаграммы доменных переключений, проанализировал и обобщил все полученные данные, а также сформулировал основные результаты и выводы работы. С научным руководителем определены тема, объекты, цель, обсуждены задачи исследования и основные результаты, а также научные положения, выносимые на защиту, кроме того подготовлены совместные публикации в журналах и доклады на конференциях по теме диссертации.

На заседании 29.10.2025 диссертационный совет отметил, что рассматриваемая диссертация соответствует критериям раздела 2 «Положения о

присуждении учёных степеней в федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Южный федеральный университет», и принял решение присудить **Мойсе** Максиму Олеговичу. учёную степень **кандидата** физико-математических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 15 человек, из которых 7 докторов наук по научной специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 20 человек, входящих в состав совета (дополнительных членов не вводилось), проголосовали: за – 15, против – 0, недействительных бюллетеней – 0.

Председатель диссертационного

совета ЮФУ801.01.06



Тер-Оганесян Никита Валерьевич

Учёный секретарь диссертационного

совета ЮФУ801.01.06

Гегузина Галина Александровна

05.11.2025