

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА ЮФУ801.01.06,

созданного на базе Научно-исследовательского института физики
федерального государственного автономного образовательного учреждения
высшего образования «Южный федеральный университет»,
о диссертации на соискание ученой степени **доктора наук**

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 27.09.2023, № 32

О присуждении Андриюшину Константину Петровичу ученой степени
доктора физико-математических наук.

Диссертация **«Эволюция фазовых диаграмм состояния и макрооткликов сегнетоактивных твердых растворов n -компонентных ($n=2...6$) систем на основе цирконата - титаната свинца и бессвинцовых композиций»** по специальности 1.3.8. Физика конденсированного состояния, принята к защите 14 июня 2023 года (протокол № 17) диссертационным советом ЮФУ801.01.06, созданным на базе НИИ физики ЮФУ по приказу 306-ОД от 01 ноября 2022 года.

Соискатель – **Андриюшин Константин Петрович**, 1985 года рождения, диссертацию на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук «Фазовые превращения и магнитодиэлектрический эффект в бинарных и тройных системах на основе ниобата натрия, феррита висмута и титаната свинца» защитил в 2011 году в диссертационном совете Д 212.208.05, созданном на базе Южного федерального университета.

Диссертация выполнена в отделе интеллектуальных материалов и нанотехнологий Научно-исследовательского института физики ЮФУ.

Научный консультант – **Резниченко Лариса Андреевна**, главный научный сотрудник Научно-исследовательского института физики, доктор физико-математических наук, профессор.

Официальные оппоненты: **Исаев Владислав Андреевич**, доктор физико-математических наук, профессор, Кубанский государственный университет, профессор кафедры теоретической физики и компьютерных технологий;

Малышкина Ольга Витальевна, доктор физико-математических наук, профессор, Тверской государственный университет, профессор кафедры компьютерной безопасности и математических методов управления, и **Винник** Денис Александрович, доктор химических наук, доцент, Южно-Уральский государственный университет, заведующий кафедрой материаловедения и физико- химии материалов, дали **положительные отзывы** на диссертацию.

Соискатель имеет всего 411 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации им опубликована 91 работа в научных изданиях, входящих в Перечень научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени доктора наук, кандидата наук, представленных для защиты в диссертационные советы Южного федерального университета, индексируемых в международных базах научного цитирования Scopus и/или Web of Science, а также в РИНЦ. В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем работах, в которых изложены основные научные результаты диссертации. Вклад автора в совместно опубликованные работы 11,8 п. л., а общий их объем по теме диссертации составляет 16,8. Наиболее значительные работы соискателя:

1. The influence of thermodynamic background on the phase picture, macroresponses and the effects of the temporary aging of lead titanium doped with alkaline earth metal oxides / A.V. Nagaenko, I.N. Andryushina, **K.P. Andryushin**, L.A. Shilkina, A.G. Rudskaya, L.A. Reznichenko // *Ceramics International*. – 2021. – Vol. 47. – № 4. – P. 5639-5647.
2. Crystal structure, polarization properties and reverse nonlinearity of solid solutions of the KNN-PZT system in a wide range of external influences / K.P. Andryushin, L.A. Shilkina, I.N. Andryushina, M.O. Moysa, D.I. Rudskiy, L.A. Reznichenko // *Ceramics International*. – 2020. – Vol. 47. – № 1. – P. 138-148.
3. The Influence of the Elemental Composition, Crystal Structure, and Grain Structure of the Ferro-Piezoceramics of Various Degrees of the Ferro-Hardness on the Stability of the Polarized State / **K. Andryushin**, S. Dudkina, S. Sahoo, L. Shilkina, V. Alyoshin, E. Triger, I. Andryushina, I. Verbenko, D. Rudskiy, A. Rudskaya, L. Reznichenko // *Materials*. – 2022. – Vol. 15. – № 6. – Art. № 2118 (20 p.).
4. Thermodynamic Prehistory In The Formation Of The Internal Structure Of Highly Stable Ferroelectric Materials / **K.P. Andryushin**, I.N. Andryushina, L.A. Shilkina, S.I. Dudkina, I.A. Verbenko, L.A. Reznichenko, M.I. Mazuritskiy, A.V. Nagaenko, I.A. Parinov, Shun-Hsyung Chang, Hung-Yu Wang // *Applied sciences*. – 2018. – Vol. 8. – № 10. – Art. № 1897 (11 p.).
5. Thermophysical properties of solid solutions of lead zirconate titanate obtained in various solid state states / **K.P. Andryushin**, S. Sahoo, V.G. Smotrakov, V.V. Eremkin, L.A. Shilkina, I.N. Andryushina, S.I. Dudkina, L.A. Reznichenko // *Ferroelectrics*. – 2022. – Vol. 591. – № 1. – P. 7–15.
6. Features of the Structure and Electrophysical Properties of Solid Solutions of the System $(1-x-y) \text{NaNbO}_3\text{-}x\text{KNbO}_3\text{-}y\text{Cd}_{0.5}\text{NbO}_3$ / **K. Andryushin**, L. Shilkina, I. Andryushina, A. Nagaenko, M. Moysa, Svetlana Dudkina, Larisa Reznichenko // *Materials*. – 2021. – Vol. 14. – № 14. – Art. № 4009 (15 p.).

На автореферат поступили 6 положительных отзывов, в четырех из которых имеются замечания. **Кострицкий** Сергей Михайлович (ЗАО ООО НПК "Оптолинк", Зеленоград): отметил, что «отсутствуют сведения о конкретных применениях разработанных автором материалов и использовании их в конкретных устройствах электронной техники». **Надолинский** Алексей Михайлович (РГУПС, Ростов-на-Дону) отметил «перегруженность ... работы экспериментальным материалом и, как следствие ограниченность в автореферате собственно научного описания»; а также, что «...встречаются «ошибки в подписях к некоторым рисункам (см. например рис. 8 на стр. 20)», а также заметил «чрезвычайно мелкую детализацию на рис.15 и 16 (см. стр. 25)», которая «не позволяет полноценно произвести анализ зеренной и доменной структур в системах с различным числом n ». **Шавров** Владимир Григорьевич (ИРТЭ имени А.В. Котельникова, Москва) заметил: «обилие сложного для восприятия экспериментального материала»; «многообразие объектов (их более 15, с учетом концентраций компонентов это количество многократно увеличивается)» и «некоторые объекты исследовались только в высокотемпературной области, хотя по виду зависимостей $\varepsilon'/\varepsilon_0(T)$ в некоторых системах можно предположить существование фазовых переходов при температурах ниже комнатной». **Каллаев** Сулейман Нурулисламович. (ИФ имени Х. А. Амирханова, ДФИЦ РАН, Махачкала) считает, что «автором не в полной мере раскрыт вопрос, вследствие чего в группе n -компонентных (с $n = 2...6$) систем твердых растворов на основе $Pb(Zr, Ti)O_3$ с бессвинцовыми композициями различных структурных семейств наиболее эффективными по пьезоэлектрическим характеристикам K_P , d_{ij} , g_{ij} являются системы с $n = 3; 4$ ». В отзывах **Магкоева** Тамерлана Таймуразовича. (СОГУ имени К. Л. Хетагурова, РСО-Алания, Владикавказ) и **Магомадова** Рукмана Масудовича (Чеченский государственный университет имени А. А. Кадырова, Грозный) замечаний и вопросов не обнаружено.

Выбор официальных оппонентов обосновывается тем, что **Исаев В. А.** широко известен своими фундаментальными экспериментальными и теоретическими работами в области физики твердого тела, получения монокристаллов для широкого спектра практических применений и анализа их электрофизических и оптических свойств; **Малышкина О. В.** является специалистом в области исследования различных твердых растворов семейства типа перовскита, и обладает большим опытом в области построения их фазовых диаграмм, и **Винник Д. А.** является известным специалистом в области разработки и использования экспериментальных методов

исследования свойств материалов в различных твердотельных состояниях, а также по методам синтеза и физико-химического анализа конденсированных веществ.

Диссертационный совет отмечает, что в результате выполненных соискателем исследований разработаны оптимальные условия приготовления, адаптированные к конкретным композициям, и получены беспримесные образцы различных объектов исследования; определены их кристаллическая структура, микроструктура, диэлектрические, пьезоэлектрические, упругие, теплофизические, деформационные и другие характеристики при различных внешних воздействиях; построены фазовые диаграммы состояний изученных систем твердых растворов, выявлены фазы, фазовые состояния и области их сосуществования, морфотропные переходы; установлены научно-обоснованные критерии целенаправленного моделирования и управления физическими свойствами изучаемых объектов, способы их конструирования и созданы физические основы получения функциональных, в том числе, экологически чистых материалов с заданными свойствами для различных применений в практике и доказано их соответствие требованиям патентоспособности.

Значимость проведенных экспериментальных исследований определяется доказанностью представленных научных положений: 1) о формировании трех групп составов в системе $(\text{Pb}_{1-\alpha_1-\alpha_2}\text{Sr}_{\alpha_1}\text{Ba}_{\alpha_2})\text{TiO}_3$ с отличающимся характером проявления диэлектрических свойств; 2) о возникновении аномалий на температурных зависимостях теплофизических параметров твердых растворов бинарной системы $\text{PbZrO}_3\text{--PbTiO}_3$ в окрестности полиморфных фазовых превращений, коррелирующих с изменениями диэлектрических характеристик; 3) о локализации морфотропных фазовых границ в тройной системе твердых растворов $(1-x-y)\text{NaNbO}_3 - x\text{KNbO}_3 - y/2\text{CdNb}_2\text{O}_6$ с $x = 0.05 \dots 0.65$ и $y = 0.05 \dots 0.30$, коррелирующих с изменением их электрофизических свойств: от типичных для классических сегнетоэлектриков при $y = 0.05 \dots 0.10$ к собственным сегнетоэлектрикам-релаксорам – при $y = 0.25$, и затем при $y = 0.30$ - к характерным для сегнетоэлектриков с размытым фазовым переходом; 4) об оптимальности по пьезоэлектрическим характеристикам K_p , d_{ij} , g_{ij} n -компонентных ($n = 3$ или 4) систем твердых растворов на основе $\text{Pb}(\text{Zr}, \text{Ti})\text{O}_3$ с бессвинцовыми композициями различных структурных семейств, в отличие от систем составов системы

$\text{Pb}(\text{Zr}, \text{Ti})\text{O}_3$ с дополнительными Pb-содержащими перовскитовыми компонентами, среди которых оптимальными параметрами обладают только системы с $n = 5$ и 6; 5) о выявленных закономерностях изменения физических свойств n -компонентных твердых растворов при изменении их состава, а также о создании физических основ технологии их приготовления, позволяющих разработать и создать новые функциональные сегнетопьезокерамические материалы, в том числе, экологически чистые с целевыми параметрами для высокотемпературных пьезоэлектрических датчиков объектов, испытывающих внешние экстремальные тепловые воздействия, на основе твердых растворов систем с $n = 2$; высокочувствительных приемников ультразвуковых колебаний и сенсоров на основе твердых растворов систем с $n = 3$; высоковольтных актюаторов и приборов точного позиционирования объектов на основе твердых растворов систем с $n = 4$.

Применительно к проблематике диссертации результативно использован комплекс экспериментальных методов исследования объектов: рентгенография, микроскопия, микрорентгеноспектральный флуоресцентный анализ, силовая микроскопия пьезоотклика и другие; выявлено и описано влияние модифицирования редкоземельными элементами твердых растворов на основе ниобатов натрия, калия, кадмия на их кристаллическую структуру, микроструктуру и свойства; установлено влияние кристаллической структуры на электрофизические свойства твердых растворов систем на основе ниобатов щелочных металлов и цирконата-титаната свинца.

Значение полученных результатов для практики состоит в том, что основе установленных для исследуемых объектов корреляционных связей «элементный состав - кристаллическая, доменная, зёрненная, дефектная структуры - диэлектрические, пьезоэлектрические, упругие, механические свойства - области применения» созданы новые высокоэффективные материалы, защищенные охранными документами. При этом для изучения закономерностей этих взаимосвязей разработаны специализированные современные компьютерные программы, базы данных и автоматизированные измерительные комплексы, зарегистрированные в соответствующих органах.

Оценка достоверности результатов исследования выявила обоснованность научных положений, основных результатов и выводов по работе, которая обеспечивается использованием комплекса взаимодополняющих аттестованных современных экспериментальных методов, согласованностью полученных теоретических и экспериментальных данных, их непротиворечивостью с библиографическими сведениями; идея исследования базируется на известных проверяемых данных и фактах, на анализе и обобщении опыта отечественных и зарубежных ученых в области физики конденсированного состояния, на достигнутом уровне и возможностях современных средств экспериментальных исследований; использованы известные апробированные и разработанные соискателем экспериментальные и вычислительные методики и установлено, что полученные результаты не противоречат известным результатам других исследователей и современным научным представлениям о физике сегнетоэлектрических явлений.

Личный вклад соискателя. Автором лично определены цель, решаемые задачи, выбраны объекты исследования и определены оптимальные технологические регламенты их изготовления, получены образцы различных составов, разработаны методики и выполнено аппаратное оформление экспериментальных исследований, проведены измерения диэлектрических, пьезоэлектрических и упругих свойств всех объектов в широком интервале внешних воздействий, дано научное объяснение полученным экспериментальным результатам; оформлен весь графический и текстовый материал диссертации, сформулированы научные положения, выносимые на защиту, новизна, практическая значимость и выводы по работе, подготовлены публикации к печати. Совместно с научным консультантом планировались эксперименты и обсуждались результаты, выводы и основные научные положения.

На заседании 27.09.2023 диссертационный совет отметил, что рассматриваемая диссертация соответствует критериям раздела 2 «Положения о присуждении ученых степеней в федеральном государственном автономном учреждении высшего образования «Южный федеральный университет» и принял

решение присудить Андриюшину К. П. ученую степень доктора физико-математических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 16 человек, из них 7 докторов наук по научной специальности рассматриваемой диссертации, участвующих в заседании, из 21 человека, входящего в состав Совета (дополнительные члены в состав Совета не вводились), проголосовали: за – 16, против – 0, недействительных бюллетеней 0.

Председатель диссертационного
совета ЮФУ801.01.06 Тер-Оганесян Никита Валерьевич

Ученый секретарь диссертационного
совета ЮФУ801.01.06 Гегузина Галина Александровна

06.10.2023

