

ОЗНАКОМИТЕЛЬНЫЙ ФРАГМЕНТ

Министерство образования Республики Беларусь
УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«ВИТЕБСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ П.М. МАШЕРОВА»
(ВГУ ИМЕНИ П.М. МАШЕРОВА)

УДК 537.226.4(047.31)
Рег. № 20210457

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по научной работе,
доктор педагогических наук,
профессор

Е.Я. Аршанский

_____ 2026 г.

ОТЧЕТ

О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ

СОЗДАНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ СЕГНЕТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ С ПРОСТРАНСТВЕННО НЕОДНОРОДНОЙ СТРУКТУРОЙ

задание 1.14.5 подпрограммы «Физика конденсированного состояния и создание новых функциональных материалов и технологий их получения»

ГПНИ «Материаловедение, новые материалы и технологии»

(заключительный)

Научный руководитель задания
доцент, к.ф.-м.н., доцент кафедры
инженерной физики

_____ И.Ф.Кашевич

Витебск 2026

СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

Руководитель темы: канд. физ.-мат. наук, доцент, доцент кафедры инженерной физики ВГУ имени П.М.Машерова	_____ подпись, дата	И.Ф.Кашевич (раздел 1- 6, заклучение)
Исполнители темы: профессор, доктор физ.-мат. наук, профессор кафедры Автоматизации производственных процессов ВГТУ	_____ подпись, дата	В.Н.Шут (раздел 1-6, заклучение)
Научный сотрудник ВГТУ	_____ подпись, дата	С.Е. Мозжаров (раздел 1 -3)
Преподаватель кафедры информационных технологий и управления бизнесом ВГУ имени П.М. Машерова	_____ подпись, дата	И.Е. Сипаков (раздел 4-6)
Нормоконтроль	_____ подпись, дата	Т.В. Харкевич

РЕФЕРАТ

Отчет 108 с., 1 кн., 47 рис., 1 табл., 77 источников, 1 прил.

ВЫРАЩИВАНИЕ КРИСТАЛЛОВ ИЗ РАСТВОРОВ, КЕРАМИКА ТИТАНАТА БАРИЯ, СЕГНЕТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ КРИСТАЛЛЫ, ДОМЕННАЯ СТРУКТУРА, МИКРОСТРУКТУРА, ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА, ЛЕГИРУЮЩАЯ ПРИМЕСЬ

Объектами исследования являются сегнетоэлектрические монокристаллы с водородной связью и керамические материалы на основе титаната бария.

Предмет исследования – структура и свойства сегнетоэлектрических монокристаллов с водородной связью и керамических материалов на основе титаната бария с периодическим примесным составом.

Цель работы - разработка методов создания кристаллических и керамических сегнетоэлектрических материалов с пространственным закономерно-неоднородным составом, исследование их структуры, электрооптических и электрофизических свойств.

В ходе проведенного исследования развиты методики получения кристаллических и керамических материалов с модулированным примесным составом. Выявлены механизмы формирования доменных конфигураций легированных изоморфной и неизомерфной примесью слоистых сегнетоэлектрических кристаллов и их корреляция с примесной структурой.

Впервые методом атомно-силовой спектроскопии измерены механические характеристики в чистых и легированных полосах кристаллов с профильным распределением примеси хрома и *L*- α -аланина. Показано, что профильное введение примеси оказывает влияние не только на доменную структуру, оптические и электрофизические характеристики кристаллов, но и на их механические свойства.

Предложен способ получения керамических материалов с «размытым» сегнетоэлектрическим фазовым переходом. Показано, что предложенная методика позволяет получать материалы с температурным коэффициентом ёмкости менее 5 процентов, что важно для получения температур стабильных конденсаторов.

Выявлены механизмы влияния профильного распределения примеси и состава на закономерности модификации свойств кристаллических и керамических сегнетоэлектрических материалов при формировании слоистых периодических структур.

Разработана открытая программная платформа FerroSim, позволяющая количественно оценивать влияние дефектов кристаллической решётки, температурных

условий и режимов термообработки на динамику поляризации сегнетоэлектриков.

Результаты исследования реализованы в публикациях научных статей, материалов конференций, магистерской диссертации и внедрены в учебный процесс.

Область применения – полученные материалы являются перспективными для изготовления пьезоэлектрических датчиков и конденсаторной керамики с большим значением диэлектрической проницаемости и низким значением температурного коэффициента емкости.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	7
1 Методика получения монокристаллов триглицинсульфата с периодическим распределением примеси ионов хрома.....	10
1.1 Модифицирование и автоматизация кристаллизационного оборудования для выращивания слоистых сегнетоэлектрических монокристаллов триглицинсульфата.....	10
1.2 Отработка режимов выращивания слоистых сегнетоэлектрических монокристаллов триглицинсульфата, легированных хромом.....	13
1.3 Получение слоистых сегнетоэлектрических монокристаллов триглицинсульфата, легированных хромом.....	15
1.4 Выращивание слоистых сегнетоэлектрических монокристаллов триглицинсульфата, легированных медью.....	17
2 Примесная и доменная структура слоистых сегнетоэлектрических кристаллов триглицинсульфата.....	19
2.1 Методика исследования профильного распределения примеси ионов хрома в кристаллах TGS-TGS+Cr.....	19
2.2 Профильное распределение примеси ионов хрома в кристаллах TGS-TGS+Cr.....	22
2.3 Определение спектроскопическими методами концентрации и распределения примеси в неоднородных легированных ионами меди кристаллах...	28
2.4 Ростовая полосчатая структура и доменная структура сегнетоэлектрических кристаллов триглицинсульфата, послойно легированных примесью хрома и <i>L</i> - α -аланина.....	31
2.5 Формирования доменных конфигураций легированных слоистых сегнетоэлектрических кристаллов и их корреляция с примесной структурой.....	34
3 Электромеханические свойства полосчатых сегнетоэлектрических кристаллов TGS.....	37
3.1. Методика исследования локальных упругих свойств в полосках с неполярной и полярной примесью	37
3.2 Электромеханические свойства полосчатых сегнетоэлектрических кристаллов.....	42
3.3 Электропроводящие свойства доменных стенок в сегнетоэлектрических кристаллах TGS с периодической примесной структурой.....	45
3.4 Заряженные доменные границы в слоистых сегнетоэлектрических кристаллах.....	48
3.5 Релаксационное поведение доменной структуры неоднородных кристаллов триглицинсульфата.....	52
4 Получение толстопленочных структур на основе твердых растворов титаната бария- стронция.....	55
4.1 Методика получения керамических материалов на основе твердых растворов титаната бария стронция с различной концентрацией легирующей примеси в В-подрешетке.....	55

4.2 Получение керамических материалов на основе твердых растворов титаната бария стронция с легирующей примесью в А-подрешетке.....	57
4.3 Методика получения толсто пленочных образцов керамических материалов на основе твердых растворов титаната бария стронция с изменяющимся по объему составом.....	59
4.4 Получение толсто пленочных образцов керамических материалов на основе твердых растворов титаната бария стронция с градиентом состава методом шликерного литья.....	61
5 Получение и исследование градиентных толсто пленочных структур на основе твердых растворов титаната бария- стронция.....	65
5.1 Получение градиентных толсто пленочных структур на основе твердых растворов титаната бария- стронция.....	65
5.2 Изучение микроструктуры и объемного распределения элементов в керамических градиентных структурах.....	67
5.3 Исследование микроструктуры сегнетоэлектрических материалов с градиентом состава.....	70
5.4 Исследование свойств и закономерностей размытия фазовых переходов в неоднородных сегнетоэлектриках.....	72
6 Численное моделирование переполаризационных характеристик однородных и неоднородных градиентных сегнетоэлектриков	77
6.1 Программная реализация численного моделирования переполаризационных характеристик сегнетоэлектриков.....	77
6.2 Сравнительный анализ численных методов моделирования гистерезиса в сегнетоэлектриках.....	78
6.3 Численное моделирование и параметрический анализ гистерезиса в структурах с градиентом состава.....	82
Заключение.....	89
Список использованных источников.....	93
Приложение А.....	101

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Блистанов, А. А. Кристаллы квантовой и нелинейной оптики, / А. А. Блистанов. М. :МИСИС, 2000. - 431 с.
2. Ferroelectric domain engineering of Lithium niobate / J. J. Chakkoria, A. Dubey, A. Mitchell, A. Boes // *Opto-Electronic Advances*. – 2025. – Vol. 8, № 2. – Art. № 240139. – DOI: 10.29026/oea.2025.240139.
3. Mytsyk, B. Piezo-optic and elasto-optic properties of monoclinic triglycine sulfate crystals / B. Mytsyk, N. Demyanyshyn, A. Erba, V. Shut [et al.] // *Applied Optics*. – 2017. – Vol. 56, № 34. – P. 9484–9490. – DOI: 10.1364/AO.56.009484.
3. Aleksandrovski, A. L. Periodic Ferroelectric Domain Structures for Nonlinear Optics / A. L. Aleksandrovski // *Laser Physics*. –1996. V. 6. – P. 1003-1012.
4. The First Demonstration of Strain-Controlled Periodic Ferroelectric Domains with Superior Piezoelectric Response in Molecular Materials / X.-J. Song, Y.-A. Xiong, R.-J. Zhou [et al.] // *Advanced Materials*. – 2023. – Vol. 35, № 19. – Art. № 2211584. – DOI: 10.1002/adma.202211584.
5. Influence of Hf Ions in the Formation of periodically Poled Lithium Niobate Structures/Callejo D., Bermudez V., Dieguez E.// *J. Phys.: Condens. Matter*. –2001. –V. 13.–P. 1337–1342.
6. Fabrication of acoustic superlattice LiNbO₃ by current induction and its application for crossed field ultrasonic excitation / Wan Z., Wang Q., Xi Y., Zhu Y.// *Appl. Phys. Lett.* – 2000.– V.77, N12.–P. 1891- 1893.
7. Шур, В.Я. Кинетика доменов при создании периодической доменной структуры в ниобате лития/ Шур В.Я., Румянцев Е.Л. и др. //ФТТ.–1999.–Т.41, Вып.10.- С. 1831-1837.
8. Evlanova, N.F. Grown periodically poled lithium niobate crystals : period stabilization/ Evlanova N.F., Naumova I.I., Blochin S.A. [et al.] // *J. optoelectronics and advanced material*.– 2003.– V.5, N 1.–P. 127-130.
9. Коханчик, Л.С.Формирование регулярных доменных структур и особенности переключения спонтанной поляризации в кристаллах танталата лития при дискретном облучении электронами/ Коханчик Л.С., Иржак Д.В. //ФТТ. –2010.– Т. 52, вып. 2.– С. 285-289.
10. Евланова, Е.Ф. Периодическая доменная структура в кристаллах LiNbO₃:Y, выращиваемых методом Чохральского/ Евланова Е.Ф., Наумова И.И., Чаплина Т.О., [и др.] // *Физика твердого тела*. –2000. –Т.42, В.9.– С.1678 – 1681.

11. Фрегатов, С. О. Локальная переполаризация LiNbO_3 при сканировании иглообразным электродом поверхности, перпендикулярной оси спонтанной поляризации / С. О. Фрегатов, А. Б. Шерман // Письма в ЖТФ. – 1998. – Т. 24. – № 6. – С. 52-57.
12. Ito, H. Fabrication of periodic domain grating in LiNbO_3 by electron beam writing for application of nonlinear optical processes / H. Ito, C. Takyu, H. Inaba // Electronics Letters. – 1991. – Vol. 27, № 14. – P. 1221–1222. – DOI: 10.1049/el:19910761.
13. Harada, A. Fabrication of periodically poled MgO-LiNbO_3 by on-line monitoring of the corona discharge method / A. Harada, Y. Nihei // Applied Physics Letters. – 1996. – Vol. 69, № 14. – P. 2029–2031. – DOI: 10.1063/1.117119.
14. Bermudez, V. Bulk periodic poled lithium niobate crystals doped with Er and Yb / V. Bermudez, M. D. Serrano, E. Dieguez // Journal of Crystal Growth. – 1999. – Vol. 200, № 1–2. – P. 185–190. – DOI: 10.1016/S0022-0248(98)01247-4.
15. Probing ferroelectric domain structures and their switching dynamics in $\text{SrBi}_2\text{Ta}_2\text{O}_9$ by in-situ electric biasing in transmission electron microscopy / J. Mun, F.-T. Huang, Y. Pivak, X. Fang [et al.] // Communications Materials. – 2024. – Vol. 5. – Art. № 145. – DOI: 10.1038/s43246-024-00593-2.
16. Устройство для выращивания кристаллов: пат. 5048 Респ. Беларусь, МПК (2006) С 30 В 7/00, С 30 В 35/00 / С.Е. Мозжаров, В.Н. Шут; заявитель Институт технической акустики НАН Беларуси. – № u 20080583; заявл. 21.07.08; зарегистрирована в Гос. реестре 12.11.08; опубл. 28.02.2009.
17. Шут, В. Н. Автоматизация кристаллизационного оборудования для выращивания слоистых монокристаллов из растворов / В. Н. Шут, С. Е. Мозжаров, И. Ф. Кашевич // Перспективные материалы и технологии : материалы междунар. симпозиума, Минск, 23-27 августа 2021 г. – Минск : БелГИСС, 2021. – С. 434–436.
18. Донцова, Л.И. Общие закономерности в формировании доменной структуры чистых и примесных кристаллов ТГС / Л.И. Донцова [и др.] // Кристаллография. – 1988. – Т. 33, N 2. – С. 450–45.
19. Мелешина, В.А. Физические свойства некоторых сегнетоэлектриков в аспекте их морфологических субструктур / Мелешина В.А., Белугина Н.Б. // Электрические и магнитные свойства кристаллов: Сб.ст./ Физическая кристаллография. – М.: Наука, 1992. – С. 290-306.
20. Наумова, И. И. Выращивание легированных Y, Dy, Nd и Mg монокристаллов ниобата лития с регулярной доменной структурой / И. И. Наумова // Кристаллография. – 1994. – Т. 39. – N6. – С. 1119-1122.

21. Wang, W. Research on TGS single crystal grown with modulated structure / W. Wang, M. Qi // *Journal of Crystal Growth*. – 1986. – Vol. 79, Pt. 3. – P. 758–763. – DOI: 10.1016/0022-0248(86)90551-8.

22. Аракелян, В. С. Воздействие ультразвука на вхождение примеси в кристалл сегнетовой соли / В. С. Аракелян, А. Г. Аветисян // *Кристаллография*. – 1988. – Т. 33, вып. 5. – С. 1239–1243.

23. Дука, С. Н. Закономерности образования моно- и поликристаллов с периодическим пространственным распределением структурно-физических свойств в процессе кристаллизации : дис. ... канд. физ.-мат. наук : 01.04.07 / Дука Сергей Николаевич. – Минск, 1992. – 150 с.

24. Гайнутдинов, Р. В. Сканирующая емкостная микроскопия кристаллов триглицинсульфата с профильным распределением хрома / Р. В. Гайнутдинов, А. Л. Толстихина, Н. В. Белугина, Б. С. Рошин, Д. А. Золотов, В. Е. Асадчиков, В. Н. Шут, И. Ф. Кашевич, С. Е. Мозжаров // *Кристаллография*. – 2018. – Т. 63, № 5. – С. 766–772.

25. Scanning capacitance microscopy of triglycine sulfate crystals with the profile chromium distribution / R. V. Gainutdinov, A. L. Tolstikhina, N. V. Belugina, V. S. Roshchin, D. A. Zolotov, V. E. Asadchikov, V. N. Shut, I. F. Kashevich, S. E. Mozzharov // *Crystallography Reports*. – 2018. – Vol. 63, № 5. – P. 784–790.

26. Толстихина, А. Л. Исследование ростовой периодической примесной структуры кристаллов TGS методами сканирующей зондовой микроскопии и рентгеновских методов анализа / А. Л. Толстихина, Р. В. Гайнутдинов, Н. В. Белугина, Б. С. Рошин, Д. А. Золотов, В. Е. Асадчиков, В. Н. Шут, С. Е. Мозжаров, И. Ф. Кашевич // *Современные методы электронной и зондовой микроскопии в исследованиях органических, неорганических наноструктур и нанобиоматериалов : сб. тез. докл. XXVII Рос. конф., Черногоровка, 28–30 авг. 2018 г. – Черногоровка : [б. и.], 2018. – Т. 2. – С. 171–172.*

27. Gainutdinov, R. V. Scanning capacitance microscopy of TGS – TGS + Cr ferroelectric crystals / R. V. Gainutdinov, N. V. Belugina, A. K. Lashkova, K. L. Sorokina, V. N. Shut, I. F. Kashevich, S. E. Mozzharov, A. L. Tolstikhina // *14th Russia/CIS/Baltic/Japan Symposium on Ferroelectricity : abstract book, St. Petersburg, Russia, May 14–18, 2018. – St. Petersburg : [б. и.], 2018. – P. 188.*

28. Gainutdinov, R. V. Scanning capacitance microscopy of TGS – TGS + Cr ferroelectric crystals / R. V. Gainutdinov, N. V. Belugina, A. K. Lashkova, K. L. Sorokina, V. N. Shut, I. F. Kashevich, S. E. Mozzharov, A. L. Tolstikhina // *International Conference Scanning Probe Microscopy SPM-2018 : abstract book, Ekaterinburg, August 26–29, 2018. – Ekaterinburg : [б. и.], 2018. – P. 156–157.*

29. Zhu, S.-N. Ferroelectric superlattices: materials and applications. Review / S. N. Zhu, Y. Y. Zhu, N. B. Ming // *Phase Transitions*. – 2000. – Vol. 72, № 3–4. – P. 239–298. – DOI: 10.1080/01411590008229158.
30. Naumova, I. I. Correlation between impurity distribution and location of ferroelectric domain walls in Nd:Mg: LiNbO₃ single crystal / I. I. Naumova, N. F. Evlanova, S. A. Blokhin, S. V. Lavrishchev // *Journal of Crystal Growth*. – 1998. – Vol. 187, № 1. – P. 102–106. – DOI: 10.1016/S0022-0248(97)00829-1.
31. Ming, N.-B. The growth striations and ferroelectric domain structures in Czochralski-grown LiNbO₃ single crystals / N.-B. Ming, J.-F. Hong, D.-F. Feng // *Journal of Materials Science*. – 1982. – Vol. 17, № 6. – P. 1663–1670. – DOI: 10.1007/BF00540791.
32. Pyroelectric Materials for Uncooled Infrared Detectors: Processing, Properties, and Applications / M. D. Aggarwal, A. K. Batra, P. Guggilla, R. B. Lal // NASA Technical Reports Server [Electronic resource]. – 2010. – P. 27–30. – URL: <https://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/20110008068.pdf> (date of access: 18.01.2026).
33. Цедрик, М. С. Физические свойства кристаллов семейства триглицинсульфата / М. С. Цедрик. – Минск : Наука и техника, 1986. – 215 с.
34. Khanum, F. Structural and Optical Properties of Triglycine Sulfate Single Crystals Doped with Potassium Bromide / F. Khanum, J. Podder // *J. Crystallization Process Technol.* – 2011. – Vol. 1, № 2. – P. 26–31. – DOI: 10.4236/jcpt.2011.12005.
35. Nakatani, N. Observation of ferroelectric domain structure in TGS / N. Nakatani // *Ferroelectrics*. – 2011. – Vol. 413, № 1. – P. 238–265. – DOI: 10.1080/00150193.2011.554269.
36. Zhu, S. N. Design and Applications of Nonlinear Photonic Crystals / S. N. Zhu, Y. Y. Zhu, N. B. Ming // *Advanced Materials*. – 2007. – Vol. 19, № 14. – P. 1821–1832. – DOI: 10.1002/adma.200602055.
37. Mohan Kumar, R. Effect of amino acid doping on the growth and ferroelectric properties of triglycinesulphate single crystals / R. Mohan Kumar, R. Muralidharan, D. Krishnan, B. Narayana Moolya, P. Ramasamy // *Materials Letters*. – 2003. – Vol. 57, № 21. – P. 3291–3298.
38. Chang, J.-M. Growth and properties of triglycine sulfate (TGS) crystals: a review / J.-M. Chang, A. K. Batra, R. B. Lal // *Crystal Growth & Design*. – 2002. – Vol. 2, № 5. – P. 431–434. – DOI: 10.1021/cg020018g.
39. Suriano, R. AFM nanoscale indentation in air of polymeric and hybrid materials with highly different stiffness / R. Suriano, C. Credi, M. Levi, S. Turri // *Applied Surface Science*. – 2014. – Vol. 311. – P. 558–566. – DOI: 10.1016/j.apsusc.2014.05.108.

40. Бухараев, А. А. Сканирующая зондовая микроскопия: от структурных изображений к измерению сил на атомном уровне / А. А. Бухараев // *Успехи физических наук*. – 2003. – Т. 173, № 6. – С. 625–650. – DOI: 10.3367/UFNr.0173.200306с.0625.
41. Chen, X. Scanning force microscopy study of patterned monolayers of alkanethiols on gold. Importance of tip-sample contact area in interpreting force modulation and friction force microscopy images / X. Chen, S. Yamada, T. Horiuchi, K. Matsushige // *Langmuir*. – 1998. – Vol. 14, № 23. – P. 6638–6647. – DOI: 10.1021/la980716e.
42. Weisenhorn, A. L. Deformed macromolecules and synthetic tissues: the effects of force on protein structure and morphology / A. L. Weisenhorn, M. Khorsandi, S. Kasas, V. Gotzos, M. C. Bissonnette // *Nanotechnology*. – 1993. – Vol. 4, № 2. – P. 106–113. – DOI: 10.1088/0957-4484/4/2/006.
43. Deepthi, P. R. Effect of L-lysine on the physical, mechanical and thermal properties of triglycine sulphate single crystal / P. R. Deepthi, J. Shanthi // *European International Journal of Science and Technology*. – 2013. – Vol. 2, № 9. – P. 201–210.
44. Panošova, M. The growth of TGS single crystals from solution / M. Panošova // *Kristall und Technik*. – 1974. – V. 9, № 7. – P. 721–727.
45. Bednyakov, P. S. Physics and applications of charged domain walls / P. S. Bednyakov, T. Sluka, A. K. Tagantsev, P. V. Yudin, B. I. Sturman // *npj Computational Materials*. – 2018. – Vol. 4. – Art. № 65. – DOI: 10.1038/s41524-018-0121-8.
46. Толстихина, А. Л. Доменная структура и свойства кристаллов TGS, послойно легированных примесью D,L- α - и L- α -аланина / А. Л. Толстихина [и др.], И. Ф. Кашевич [и др.] // *Кристаллография*. – 2016. – Т. 61, № 6. – С. 975–981.
47. Potnis, P. R. A review of domain modelling and domain imaging techniques in ferroelectric crystals / P. R. Potnis, N.-T. Tsou, J. E. Huber // *Materials*. – 2011. – Vol. 4, № 2. – P. 417–447. – DOI: 10.3390/ma4020417.
48. Gainutdinov, R. V. Application of scanning capacitance force microscopy for detecting impurity phases in ferroelectric triglycine sulfate / R. V. Gainutdinov, A. L. Tolstikhina, A. K. Lashkova, N. V. Belugina, V. N. Shut, S. E. Mozzharov, I. F. Kashevich // *Technical Physics*. – 2019. – Vol. 64, № 11. – P. 1602–1608. – DOI: 10.1134/S1063784219110132.
49. Sluka, T. Anomalously thick domain walls in ferroelectrics / T. Sluka, A. Tagantsev, D. Damjanovic, N. Setter // *Physical Review B*. – 2015. – Vol. 91, № 6. – P. 060102(R). – DOI: 10.1103/PhysRevB.91.060102.
50. Gainutdinov, R. V. Study of domain structure and dielectric properties of layered TGS – TGS + Cr crystals / R. V. Gainutdinov, N. V. Belugina, A. L. Tolstikhina, E. S. Ivanova,

V. N. Shut, I. F. Kashevich, S. E. Mozzharov // *Ferroelectrics*. – 2015. – Vol. 486, № 1. – P. 33–40. – DOI: 10.1080/00150193.2015.1099419.

51. Толстихина, А. Л. Formation of domain configurations of doped layered TGS ferroelectric crystals / А. Л. Толстихина, Р. В. Гайнутдинов, Н. В. Белугина, В. Н. Шут, И. Ф. Кашевич // *Актуальные проблемы физики твердого тела (APSSP-2023)* : сб. докл. X Междунар. науч. конф., Минск, 22–26 мая 2023 г. : в 3 т. – Минск : Ковчег, 2023. – Т. 1. – С. 331–334.

52. Shur, V. Ya. Formation and evolution of charged domain walls in congruent lithium niobate / V. Ya. Shur, E. L. Rumyantsev, E. V. Nikolaeva, E. I. Shishkin // *Appl. Phys. Lett.* – 2000. – Vol. 77, № 22. – P. 3636–3638.

53. Makovec, D. Solid solubility of holmium, yttrium, and dysprosium in BaTiO₃ / D. Makovec, Z. Samardzija, M. Drogenik // *J. Am. Ceram. Soc.* – 2004. – Vol. 87, № 7. – P. 1324–1329. – DOI: 10.1111/j.1151-2916.2004.tb07729.x.

54. Tsur, Y. Crystal and defect chemistry of rare earth cations in BaTiO₃ / Y. Tsur, T. D. Dunbar, C. A. Randall // *J. Electroceram.* – 2001. – Vol. 7, № 1. – P. 25–34. – DOI: 10.1023/A:1012218826733.

55. Buscaglia, M. T. Influence of foreign ions on the crystal structure of BaTiO₃ / M. T. Buscaglia, V. Buscaglia, M. Viviani, P. Nanni, M. Hanuskova // *J. Eur. Ceram. Soc.* – 2000. – Vol. 20, № 12. – P. 1997–2007. – DOI: 10.1016/S0955-2219(00)00076-5.

56. Su, B. Microstructure and dielectric properties of Mg-doped barium strontium titanate ceramics / B. Su, T. W. Button // *J. Appl. Phys.* – 2004. – Vol. 95, № 3. – P. 1382–1388. – DOI: 10.1063/1.1636263.

57. Cai, W. Dielectric properties and microstructure of Mg doped barium titanate ceramics / W. Cai, C. L. Fu, J. C. Gao, C. X. Zhao // *Adv. Appl. Ceram.* – 2011. – Vol. 110, № 3. – P. 181–185. – DOI: 10.1179/1743676110Y.0000000019.

58. Moure, C. Recent advances in perovskites: Processing and properties / C. Moure, O. Peña // *Prog. Solid State Chem.* – 2015. – Vol. 43, № 4. – P. 123–148. – DOI: 10.1016/j.progsolidstchem.2015.03.001.

59. Tagantsev, A. K. Ferroelectric materials for microwave tunable applications / A. K. Tagantsev, V. O. Sherman, K. F. Astafiev, J. Venkatesh, N. Setter // *J. Electroceram.* – 2003. – Vol. 11, № 1–2. – P. 5–66. – DOI: 10.1023/B:JECR.0000015661.13843.79.

60. Lee, J.-K. Roles of Ba/Ti ratios in the dielectric properties of BaTiO₃ ceramics / J.-K. Lee, K.-S. Hong, J.-W. Jang // *J. Am. Ceram. Soc.* – 2001. – Vol. 84, № 9. – P. 2001–2006. – DOI: 10.1111/j.1151-2916.2001.tb00947.x.

61. Jayanthi, S. Extended phase homogeneity and electrical properties of barium calcium titanate prepared by the wet chemical methods / S. Jayanthi, T. R. N. Kutty // *Mater. Sci. Eng. B.* – 2004. – Vol. 110, № 2. – P. 202–212. – DOI: 10.1016/j.mseb.2004.03.011.
62. Dawson, J. A. A-Site strain and displacement in $Ba_{1-x}Ca_xTiO_3$ and $Ba_{1-x}Sr_xTiO_3$ and the consequences for the Curie temperature / J. A. Dawson, D. C. Sinclair, J. H. Harding, C. L. Freeman // *Chem. Mater.* – 2014. – Vol. 26, № 20. – P. 6104–6112. – DOI: 10.1021/cm502099y.
63. Cao, H.-X. Thermodynamic properties of compositionally graded $Ba_{1-x}Sr_xTiO_3$ thin films / H.-X. Cao, Y.-H. Gao, Q. Jiang, Z.-Y. Li // *J. Appl. Phys.* – 2004. – Vol. 96, № 3. – P. 1628–1634. – DOI: 10.1063/1.1766095.
64. Shut, V. N. Compositionally graded BST ceramics prepared by tape casting / V. N. Shut, S. R. Syrtsov, V. L. Trublovsky, A. D. Poleyko, S. V. Kostomarov, L. P. Mastyko // *Ferroelectrics.* – 2009. – Vol. 386, № 1. – P. 125–132. – DOI: 10.1080/00150190902961876.
65. Лайнс, М. Сегнетоэлектрики и родственные им материалы / М. Лайнс, А. Гласс. — М.: Мир, 1981. — 736 с.
66. Uchino, K. Applied Mathematics in Ferroelectricity and Piezoelectricity / K. Uchino. — [S. l.]: MDPI, 2023. — 632 p.
67. Прохоренок, Н. А. Python 3 и PyQt 5: разработка приложений / Н. А. Прохоренок, В. А. Дронов. – 2-е изд., перераб. и доп. – Санкт-Петербург : БХВ-Петербург, 2018. – 832 с. : ил. – (Профессиональное программирование). – ISBN 978-5-9775-3978-4.
68. Доменные границы и топологические дефекты в слоистых сегнетоэлектрических кристаллах / А. Л. Толстихина, Р. В. Гайнутдинов, А. К. Лашкова [и др.] // Наука - образованию, производству, экономике [Электронный ресурс] : материалы 76-й Региональной научно-практической конференции преподавателей, научных сотрудников и аспирантов, Витебск, 1 марта 2024 г. – Витебск : ВГУ имени П. М. Машерова, 2024. – С. 47-50. – URL: <https://rep.vsu.by/handle/123456789/42168> – (дата обращения: 15.12.2025).
69. Ramesh, R. Enabling ultra-low-voltage switching in $BaTiO_3$ / R. Ramesh, L.W. Martin // *Nature Materials.* — 2022. — Vol. 21, № 7. — P. 779–785. 10. — DOI: 10.1038/s41563-022-01266-6.
70. Ferroelectric properties of $BaTiO_3$ thin films co-doped with Mn and Nb / D. Phuyal, S. Mukherjee, S. Jana [et al.] // *Digitala Vetenskapliga Arkivet.* — 2019. — URL: <http://www.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2:1351267> (date of access: 05.12.2025).
71. Зубко, С. П. Моделирование диэлектрической проницаемости тонких сегнетоэлектрических пленок методом Монте-Карло / С. П. Зубко, П. В. Юдин, А. С. Сигов // *Физика твердого тела.* – 2008. – Т. 50, вып. 9. – С. 1654–1662.

72. Максимова, О.Г. Изучение температурного поведения сегнетоэлектриков методом компьютерного моделирования / О.Г. Максимова, А.В. Максимов, В.В. Казаков, П.С. Вахрамеев // Вестник Херсонского национального технического университета. — 2015. — № 1. — С. 138–142.

73. Бадяй, Д.В. Использование модели Джилла — Атертона для определения параметров облученного электронами кристалла ТГС / Д.В. Бадяй, И.Б. Копылова // Вестник Амурского государственного университета. Серия: Естественные и экономические науки. — 2018. — № 81. — С. 34–37.

74. Müller, A. A reformulation of the Jiles-Atherton hysteresis model for ferromagnetic/ferroelectric components / A. Müller // PAMM Proc. Appl. Math. Mech. — 2009. — Vol. 9, iss. 1. — P. 401–402. – DOI: 10.1002/pamm.200910174.

75. Шут, В. Н. Поляризационные характеристики градиентных толстых пленок Ba_[1-x]Sr_[x]TiO₃/ В. Н. Шут, С. Р. Сырцов, В. Л. Трубловский // Веснік Віцебскага дзяржаўнага ўніверсітэта. – 2010. – N 4 (58). – С.5-10. – URL: <https://rep.vsu.by/handle/123456789/5118> – (дата обращения: 10.12.2025).

76. Мороз, Л. И., Масловская А. Г. Математические модели поляризационных характеристик сегнетоэлектриков в рамках теории Ландау - Гинзбурга - Девоншира // Вестник Амурского государственного университета. Серия: Естественные и экономические науки. 2021. №95. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/matematicheskie-modeli-polyarizatsionnyh-harakteristiksegnetoelektrikov-v-ramkah-teorii-landau-ginzburga-devonshira> (дата обращения: 10.12.2025).

77. Shut, V. N. Ferroelectrics with composition gradient: On the nature of hysteresis loop shift / V. N. Shut // Physics of the Solid State. - 2013. - Т. 55, № 7. - С. 1438-1441. - DOI: 10.1134/S1063783413070292.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Перечень публикаций исполнителями НИР за 2021–2025 годы

Статьи

1. В.Н. Шут, А.А. Кузнецов, С.Е. Мозжаров, И.А. Ядройцев, И.А. Ядройцева. Характеристики ультрамелкодисперсных медных порошков, полученных соноэлектрохимическим методом, для аддитивных технологий. Вестник Витебского государственного технологического университета. 2021. № 1(40). С. 148-157.

2. Determination of Young's Modulus in Triglycine Sulfate Crystals with Layered Impurity Distribution / R. V. Gainutdinov [etal.], I. F. Kashevich [etal.] // Crystallography Reports. – 2022. – Vol. 67, № 4. – P. 594–601. – DOI: 10.1134/S1063774522040095.

3. Определение модуля Юнга в кристаллах триглицинсульфата с послойным распределением примеси / Р. В. Гайнутдинов, [и др.], И. Ф. Кашевич [и др.] // Кристаллография. – 2022. – Т. 67, № 4. – С. 636–644. – DOI 10.31857/S0023476122040099.

4. A. S. Abramov, V. A. Safina, D. O. Alikin, D. V. Karpinsky, D. V. Zhaludkevich, V. I. Pryakhina, E. A. Kiselev, V. N. Shut, A. L. Zhaludkevich, V. Ya. Shur & A. L. Kholkin. Morphotropic phase boundary in the BFO-BTO solid solutions: role of synthesis conditions. Ferroelectrics. 2022. Volume 590. P. 91-98.

5. N.D. Long, P.T. Tho, N.D. Co, L.T. Ha, N.T.M. Hong, C.T.A. Xuan, C.V. Ha, V.N. Shut, V.I. Mitsiuk, M.V. Bushinsky, M.V. Silibin, D.V. Karpinsky. Correlation between structural phase coexistence and magnetic response of Eu-doped BiFeO₃ at the morphotropic phase boundary. Ceramics International. 2023. Volume 49, Issue 7, Pages 11664-11672.

6. Силибин М.В., Живулько В.Д., Радюш Ю.В., Латушко С.И., Желудкевич Д.В., Шут В.Н., Кузнецов А.А., Соколова А.С., Карпинский Д.В. Твердые растворы Bi_{0.65}Ba_{0.35}-ZSr ZFe_{0.65}Ti_{0.35}O_{3z} 0 ≤ z ≤ 0.35: состав, структура, свойства. Вестник Витебского государственного технологического университета, 2024, № 1 (47), С.71-81.

7. Шут, В. Н. Численное моделирование гистерезисных явлений в сегнетоэлектрических материалах: программная реализация и сравнительный анализ методов / В. Н. Шут, И. Ф. Кашевич, И. Е. Сипаков // Веснік Віцебскага дзяржаўнага ўніверсітэта імя П. М. Машэрава. – 2025. – № 3. – С. 18–28.

Тезисы:

1. Шут, В.Н. Автоматизированный программно-аппаратный комплекс лабораторных анализов / Шут В.Н., Науменко А.М., Чирвоный Н.М. // Тезисы докладов 55

Международной научно-технической конференции преподавателей и студентов / УО «ВГТУ» .- Витебск, 2022. – С. 165.

2. Tolstikhina, A.L. Formation of domain configurations of doped layered TGS ferroelectric crystals /Tolstikhina A.L., Gainutdinov R.V., Lashkova A.K., Zolotov D. A., Roschin B.S., Shut V.N., Mozzharov S.E., Kashevich I.F.// Actual Problems of Solid State Physics: Abstract of the X International Scientific Conference, 22 – 26 May 2023, Minsk, Belarus. - P.164.

3. Tolstikhina, A.L. Local elastic properties of layered ferroelectric TGS crystals /Tolstikhina A.L., Gainutdinov R.V., Lashkova A.K., Zolotov D. A., Roschin B.S., Asadchikov V.E, Shut V.N., Mozzharov S.E., Kashevich I.F.// Actual Problems of Solid State Physics: Abstract of the X International Scientific Conference, 22 – 26 May 2023, Minsk, Belarus. - P.178.

Сборники материалов конференций

1. Шут, В. Н. Выращивание сегнетоэлектрических монокристаллов ТГС с послонно-периодическим изменением состава / В. Н. Шут, И. Ф. Кашевич , С. Е. Мозжаров // Наука – образованию, производству, экономике : материалы 73-й Регион. науч.-практ. конф. преподавателей, науч. сотрудников и аспирантов, Витебск, 11 марта 2021 г. – Витебск : ВГУ имени П. М. Машерова, 2021. – С. 73–75.

2. Шут В.Н., Кузнецов А.А., Мозжаров С.Е., Куксевич В.Ф. Влияние плотности тока на дисперсность порошков меди, полученных соноэлектрохимическим методом. 54-ая Международная научно-техническая конференция преподавателей и студентов. Витебск, 28.-29.04. 2021. С48-51.

3. Шут, В. Н. Автоматизация кристаллизационного оборудования для выращивания слоистых монокристаллов из растворов / В. Н. Шут, С. Е. Мозжаров, И. Ф. Кашевич // Перспективные материалы и технологии : материалы междунар. симпозиума, Минск, 23-27 августа 2021 г. – Минск : БелГИСС, 2021. – С. 434–436.

4. Tolstikhina A.L., Gainutdinov R.V., Belugina, A. K. Shut V.N., MozzharovS. E. Kashevich I. F. Scanning capacitance microscopy of TGS-TGS+Cr ferroelectric crystals/ Conference Proceedings "Actual Problems of Solid State Physics» (APSSP-2021).-Minsk. P.-72-74.

5. Shut V.N., Mozzharov S. E. KashevichI. F. Study of diffraction phenomena on TGS crystals with impurity periodic distribution/ Conference Proceedings "Actual Problems of Solid State Physics» (APSSP-2021).-Minsk. P.-92-94.

6. Особенности формирования доменных границ в сегнетоэлектрических послойно легированных кристаллах TGS-TGS+Cr / А. Л. Толстихина, Б. С. Рошин, И. Ф. Кашевич [и др.] // Наука – образованию, производству, экономике : материалы 74-й Регион. науч.-практ. конф. преподавателей, науч. сотрудников и аспирантов, Витебск, 18 февраля 2022 г. – Витебск : ВГУ имени П. М. Машерова, 2022. – С. 46–48.

7. Sipakov, I. E. Development of a connecting line using a fiber-optic communication line / I. E. Sipakov // The Youth of the 21st Century: Education, Science, Innovations : Proceedings of IX International Conference for Students, Postgraduates and Young Scientists, Vitebsk, December 9, 2022. – Vitebsk : VSU named after P. M. Masherov, 2022. – P. 23–25.

8. Исследование механических свойств кристаллов триглицинсульфата с послойным распределением примеси / А. Л. Толстихина [и др.], И. Ф. Кашевич // Актуальные проблемы прочности : материалы междунар. науч. конф., Витебск, 23–27 мая 2022 г. – Минск: ИВЦ Минфина, 2022. – С. 213–215.

9. Распределение примесей хрома в легированных слоистых сегнетоэлектрических кристаллах TGS / А. Л. Толстихина [и др.], И. Ф. Кашевич // Материалы и структуры современной электроники : материалы X Междунар. науч. конф., Минск, 12-14 октября 2022 г. – Минск : Белорусский государственный университет, 2022. – С. 305–310.

10. Расчет емкости плоского преобразователя для измерения влажности зерна / С. Е. Мозжаров, В. Л. Трубловский, И. Ф. Кашевич [и др.] // Наука – образованию, производству, экономике [Электронный ресурс] : материалы 75-й Региональной научно-практической конференции преподавателей, научных сотрудников и аспирантов, Витебск, 3 марта 2023 г. – Витебск : ВГУ имени П. М. Машерова, 2023. – С. 42–45.

11. Ростовая структура кристаллов TGS, послойно легированных примесью хрома и L- α -аланина / А. Л. Толстихина, Р. В. Гайнутдинов, И. Ф. Кашевич [и др.] // Наука – образованию, производству, экономике [Электронный ресурс] : материалы 75-й Региональной научно-практической конференции преподавателей, научных сотрудников и аспирантов, Витебск, 3 марта 2023 г. – Витебск : ВГУ имени П. М. Машерова, 2023. – С. 58–61.

12. Сипаков, И. Е. Обеспечение информационной безопасности волоконно-оптической системы передачи данных / И. Е. Сипаков // Молодость. Интеллект. Инициатива : материалы XI Международной научно-практической конференции студентов и магистрантов, Витебск, 21 апреля 2023 г.: в 2 т. – Витебск : ВГУ имени П. М. Машерова, 2023. – Т. 1. – С. 67–68.

13. Local elastic properties of layered ferroelectric TGS crystals / A. L. Tolstikhina [etal.], I. F. Kashevich // Актуальные проблемы физики твердого тела : сб. докл. X Междунар. науч. конф., 22-26 мая 2023 г. – Минск : Издатель А. Н. Вараксин, 2023. – С. 323–326.

14. Кузнецов А.А., Шут В.Н., Мозжаров С.Е., Куксевич В.Ф., Самолетов В.Г. Исследование термостабильности порошков магнетита при термическом воздействии. Материалы XII международной научно-практической конференции «Современные тенденции и инновации в науке и производстве». 26 апреля 2023 г., Междуреченск, РФ. С. 554-1 – 554-5. ФГБОУ ВО «Кузбас. гос. техн. ун-т им. Т. Ф. Горбачева»; редкол.: Т.Н. Гвоздкова (отв. редактор), С.О. Марков [и др.]. – Междуреченск, 2023..

15. Formation of domain configurations of doped layered TGS ferroelectric crystals / A. L. Tolstikhina [et al.], I. F. Kashevich // Актуальные проблемы физики твердого тела : сб. докл. X Междунар. науч. конф., 22-26 мая 2023 г. – Минск : Издатель А. Н. Вараксин, 2023. – С. 331–334.

16. Толстихина, А.Л. Электропроводящие свойства доменных стенок в сегнетоэлектрических кристаллах TGS с периодической примесной структурой // Толстихина А.Л., Гайнутдинов Р.В., Лашкова А.К., Иванова Е.С., Шут В.Н., Мозжаров С.Е., Кашевич И.Ф. /Перспективные материалы и технологии: материалы международного симпозиума, 21 - 25 августа 2023, Минск.- Стр. 224-226.

17. Хамчуков Ю.Д., Шут В.Н., Мозжаров С.Е. Спектры комбинационного рассеяния чистого и легированного хромом монокристалла ТГС. /Актуальные проблемы прочности. Материалы LXVIII международной научной конференции. Витебск, 27-31 мая 2024 года. С. 357-360.

18. Мозжаров С.Е., Кулак М.М., Шут В.Н. Получение порошков никеля соноэлектрохимическим методом для селективного лазерного спекания / Актуальные проблемы прочности: Материалы LXVIII международной научной конференции. Витебск, 27-31 мая 2024 года. С. 205 -208.

19. Толстихина, А. Л. Доменные границы и топологические дефекты в слоистых сегнетоэлектрических кристаллах TGS/ А.Л. Толстихина, Р. В. Гайнутдинов, А. К. Лашкова, Д. А. Золотов, Б. С. Рощин, В. Н. Шут, С. Е. Мозжаров, И. Ф. Кашевич, И. Е. Сипаков //Материалы и структуры современной электроники: материалы докладов XI Международной научной конференции, г.Минск, Беларусь 16-18 сентября 2024.-С. 182-185.

20. Доменные границы и топологические дефекты в слоистых сегнетоэлектрических кристаллах / А. Л. Толстихина, Р. В. Гайнутдинов, А. К. Лашкова,

И. Ф. Кашевич [и др.] // Наука - образованию, производству, экономике [Электронный ресурс]: материалы 76-й Региональной научно-практической конференции преподавателей, научных сотрудников и аспирантов, Витебск, 1 марта 2024 г. – Витебск : ВГУ имени П. М. Машерова, 2024. – С. 47–50.

21. Синтез порошков магнетита жидкофазным окислением при воздействии ультразвука / В. Н. Шут, С. Е. Мозжаров, И. Ф. Кашевич, И. Е. Сипаков // Материалы докладов 57-й Международной научно-технической конференции преподавателей и студентов : в 2 т. – Витебск : ВГТУ, 2024. – Т. 1. – С. 460–463.

22. Сипаков, И. Е. Перспективные направления создания энергонезависимых запоминающих устройств на основе сегнетоэлектриков / И. Е. Сипаков // Молодость. Интеллект. Инициатива : материалы XII Международной научно-практической конференции студентов и магистрантов, Витебск, 26 апреля 2024 г.: в 2 т. – Витебск : ВГУ имени П. М. Машерова, 2024. – Т. 1. – С. 59–61.

23. Сипаков, И. Е. Теоретические основы моделирования петли гистерезиса сегнетоэлектриков с применением теории Ландау-Гинзбурга-Девоншира / И. Е. Сипаков // Вычислительные методы, модели и образовательные технологии : сб. материалов XIII респ. науч.-практ. конф., Брест, 24 окт. 2024 г. / Брест. гос. ун-т им. А. С. Пушкина ; под общ. ред. Д. В. Грицука. – Брест : БрГУ, 2024. – 170 с. – С. 114–116.

24. Сипаков, И. Е. Численное моделирование гистерезиса в сегнетоэлектрических материалах методом Ландау-Халатникова / Сипаков И. Е. ; науч. рук. Кашевич И. Ф. // XVIII Машеровские чтения : материалы международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, Витебск, 25 октября 2024 г. : в 2 т. – Витебск : ВГУ имени П. М. Машерова, 2024. – Т. 1. – С. 45–48.

25. Сипаков, И. Е. Метод Монте-Карло для моделирования гистерезиса в сегнетоэлектрических материалах / Сипаков И. Е. ; науч. рук. Кашевич И. Ф. // XVIII Машеровские чтения: материалы международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, Витебск, 25 октября 2024 г. : в 2 т. – Витебск : ВГУ имени П. М. Машерова, 2024. – Т. 1. – С. 48–50.

26. Sipakov, I. E. Numerical simulation of hysteresis in ferroelectric materials using the Jiles-Atherton method / Sipakov I. E. ; supervisor Kashevich I. F. // Молодежь XXI века: образование, наука, инновации : материалы XI Международной конференции аспирантов и молодых ученых, Витебск, 6 декабря 2024 г. – Витебск : ВГУ имени П. М. Машерова, 2024. – С. 17–18.

27. Шут, В. Н. Заряженные доменные границы в слоистых сегнетоэлектрических кристаллах / В. Н. Шут, С. Е. Мозжаров, И. Ф. Кашевич // Наука – образованию,

производству, экономике : материалы 77-й Региональной научно-практической конференции преподавателей, научных сотрудников и аспирантов, Витебск, 28 февраля 2025 г. – Витебск : ВГУ имени П. М. Машерова, 2025. – С. 55–57.

28. Tolstikhina, A.L. Peculiarities of the impurity distribution in ferroelectric layer-doped TGS - TGS + Cr crystals/ Tolstikhina A.L., Gainutdinov R.V., Lashkova A.K., Zolotov D.A., Roshchin B.S., Shut V.N., Mozzharov S.E., Kashevich I.F // Мультиферроики: Получение, Свойства, Применение” (MFPA-2024): материалы международной научно-практической конференции, Витебск, Беларусь 24-27 сентября 2024.-С. 289-292.

29. Кашевич, И. Ф. Современные подходы при организации преподавания дисциплин материаловедческого направления / И. Ф. Кашевич, Т. И. Сапелко // Наука – образованию, производству, экономике : материалы 77-й Региональной научно-практической конференции преподавателей, научных сотрудников и аспирантов, Витебск, 28 февраля 2025 г. – Витебск : ВГУ имени П. М. Машерова, 2025. – С. 40–42.

30. Сипаков, И. Е. Анализ моделирования процессов отжига и изменения униполярности в титанате бария / И. Е. Сипаков // Новые математические методы и компьютерные технологии в проектировании, производстве и научных исследованиях : материалы XXVIII Республиканской научной конференции студентов и аспирантов (Гомель, 17–19 марта 2025 года) / М-во образования Республики Беларусь, Гомельский гос. ун-т им. Ф. Скорины ; редкол. : С.П. Жогаль (гл. ред.) [и др.]. – Гомель : ГГУ им. Ф. Скорины, 2025. – Ч. 1. - С. 56-57.

31. Shut, V. N. FERROSIM: a software package for modeling the influence of internal fields and heat treatment on the polarization of ferroelectrics /V.N. Shut, I. F. Kashevich, I. E. Sipakov// Actual problems of solid state physics: Proceedings of the XI International Scientific Conference, Minsk, 19 – 23 May 2025.-P. 311-315

32. Шут, В.Н. Характеристики градиентной керамики титаната бария-стронция, предназначенной для изготовления пассивных элементов электроники/ Шут, В.Н, С.Р. Сырцов, И.Ф. Кашевич// Материалы докладов 58-й Международной научно-технической конференции преподавателей и студентов «Образование и наука в развитии технологий, экономики, общества», посвященной 60-летию УО «ВГТУ» Витебск, 16–17 апреля 2025.- стр. 375-378

33. Сипаков, И. Е. Компьютерное моделирование процессов отжига и униполярности в титанате бария на основе уравнения Ландау – Халатникова / И. Е. Сипаков // Наука – образованию, производству, экономике : материалы 77-й Региональной научно-практической конференции преподавателей, научных сотрудников и аспирантов, Витебск, 28 февраля 2025 г. – Витебск : ВГУ имени П. М. Машерова, 2025. – С. 46–48.

34. Сипаков, И. Е. FerroSim: программный комплекс для исследования влияния внутренних полей и термообработки на поляризацию сегнетоэлектриков / Сипаков И. Е. ; науч. рук. Кашевич И. Ф. // Молодость. Интеллект. Инициатива : материалы XIII Международной научно-практической конференции студентов и магистрантов, Витебск, 25 апреля 2025 г. : в 2 т. – Витебск : ВГУ имени П. М. Машерова, 2025. – Т. 1. – С. 61–63.

35. Хотьков, В. Е. Сравнительный анализ численных методов моделирования гистерезиса в сегнетоэлектриках / Хотьков В. Е., Сипаков И. Е. ; науч. рук. Кашевич И. Ф. // XIX Машеровские чтения : материалы международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, Витебск, 24 октября 2025 г. : в 2 т. : [текстовое электронное издание]. – Витебск : ВГУ имени П. М. Машерова, 2025. – Т. 1. – С. 68–70.

36. Хотьков, В. Е. Оценка метода Ландау-Халатникова при моделировании гистерезисной петли титаната бария / Хотьков В. Е., Сипаков И. Е. ; науч. рук. Кашевич И. Ф. // XIX Машеровские чтения : материалы международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, Витебск, 24 октября 2025 г. : в 2 т. : [текстовое электронное издание]. – Витебск : ВГУ имени П. М. Машерова, 2025. – Т. 1. – С. 70–72.

37. Лашкова, А. К. Структура сегнетоэлектрических кристаллов триглицинсульфата с послойным введением примесей типа внедрения по данным СЗМ/ А. К. Лашкова, Р. В. Гайнутдинов, А. Л. Толстихина, А. А. Ширяев, А. Г. Иванова, В. Н. Шут, И. Ф. Кашевич, С. Е. Мозжаров //Методологические аспекты сканирующей зондовой микроскопии :XIV Междунар. конф., посвящ. памяти Кузнецовой Татьяны Анатольевны, Минск, 21–24 окт. 2025 г.-стр. 80-85 сб. докл. / Нац. акад. наук Беларуси, Ин-т тепло- и массообмена им. А. В. Лыкова ;редкол.: С. А. Чижик (пред.) [и др.]. –Минск :Беларускаянавука, 2025. – 351 с

38. Хотьков, В. Е. Особенности реализации метода Джилса – Атертона при моделировании поляризационных характеристик на языке Python / Хотьков В. Е., Сипаков И. Е. ; науч. рук. Кашевич И. Ф. // Молодежь XXI века: образование, наука, инновации : материалы XII Международной конференции аспирантов и молодых ученых, Витебск, 5 декабря 2025 г. – Витебск : ВГУ имени П. М. Машерова, 2025. – Т. 1. – С. 37–39.

39. Хотьков, В. Е. Оценка эффективности численных методов для анализа гистерезиса в сегнетоэлектриках [Электронный ресурс] / В. Е. Хотьков // E.R.A – Современная наука: электроника, робототехника, автоматизация : материалы II Междунар. науч.-техн. конф, студентов, аспирантов и молодых ученых, Гомель, 31-31 окт.

2025 г. / Гомел. гос. техн. ун-т им. П. О. Сухого [и др.] ; под общ. ред. А. А. Бойко. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2025. – [в печати].

40. Шут, В. Н. Численное моделирование и параметрический анализ гистерезиса в структурах с градиентом состава / В. Н. Шут, И. Ф. Кашевич, И. Е. Сипаков // Наука – образованию, производству, экономике : материалы 78-й Региональной научно-практической конференции преподавателей, научных сотрудников и аспирантов, Витебск, 22 января 2026 г. – Витебск : ВГУ имени П. М. Машерова, 2026. – [в печати].

Магистерская диссертация

«Электрофизические свойства неоднородных сегнетоэлектриков» – Сипаков И. Е.

Акт внедрения результатов исследования в учебный процесс ВГУ имени П.М. Машерова по теме «Программный комплекс для моделирования поляризационных характеристик однородных и неоднородных сегнетоэлектриков» от 21.03.2025. Автор: Сипаков И.Е.