

Физика конденсированного состояния

Научная статья

УДК 537.226

DOI: <https://doi.org/10.18721/JPM.15101>

ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СЕГНЕТОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО КОМПОЗИТА НИТРАТ КАЛИЯ – НИТРАТ ЦЕЗИЯ

С. В. Барышников¹, **А. Ю. Милинский**¹,
Е. В. Стукова² ✉, **А. А. Зеева**²

¹ Благовещенский государственный педагогический университет,
г. Благовещенск, Россия;

² Амурский государственный университет, г. Благовещенск, Россия;

✉ lenast@bk.ru

Аннотация. Изготовлены образцы композита $(\text{KNO}_3)_{1-x}/(\text{CsNO}_3)_x$, и для них исследованы температурные зависимости сигнала дифференциального термического анализа, диэлектрической проницаемости и амплитуды третьей гармоники (для определения области существования полярной фазы). Поверхности образцов изучались методом растровой электронной микроскопии. Обнаружено, что увеличение доли CsNO_3 приводит как к уменьшению коэффициента нелинейности композита, так и к сужению температурной области существования III сегнетоэлектрической фазы нитрата калия. Установлено, что при значениях x свыше 0,5 нелинейность свойств композита $(\text{KNO}_3)_{1-x}/(\text{CsNO}_3)_x$ определяется характеристиками CsNO_3 .

Ключевые слова: композит, сегнетоэлектрик, диэлектрическая проницаемость, коэффициент третьей гармоники, фазовый переход

Для цитирования: Барышников С. В., Милинский А. Ю., Стукова Е. В., Зеева А. А. Диэлектрические свойства сегнетоэлектрического композита нитрат калия – нитрат цезия // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Физико-математические науки. 2022. Т. 15. № 1. С 7–15. DOI: <https://doi.org/10.18721/JPM.15101>

Статья открытого доступа, распространяемая по лицензии CC BY-NC 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>)

Original article

DOI: <https://doi.org/10.18721/JPM.15101>

DIELECTRIC PROPERTIES OF THE POTASSIUM NITRATE – CAESIUM NITRATE FERROELECTRIC COMPOSITE

S. V. Baryshnikov¹, **A. Yu. Milinskiy**¹,
E. V. Stukova² ✉, **A. A. Zeeva**²

¹ Blagoveshchensk State Pedagogical University, Blagoveshchensk, Russia;

² Amur State University, Blagoveshchensk, Russia

✉ lenast@bk.ru

Abstract. Some samples of the $(\text{KNO}_3)_{1-x}/(\text{CsNO}_3)_x$ composite with different x values have been prepared, and their temperature dependences of the differential thermal analysis signal, of the dielectric constant, and the amplitude of the third harmonic (to find an existence domain of the polar phase) were studied. The sample surfaces were investigated by scanning electron microscopy. An increase in the proportion of CsNO_3 was revealed to lead to a decrease in the coefficient of nonlinearity of the composite and to narrowing of the existence domain's temperature range of the KNO_3 ferroelectric phase III. Also it was found that the composite properties nonlinearity at x beyond 0.5 was determined by the CsNO_3 properties.

Keywords: composite, ferroelectric, permittivity, third harmonic coefficient, phase transition

Citation: Baryshnikov S. V., Milinskiy A. Yu., Stukova E. V., Zeeva A. A., Dielectric properties of the potassium nitrate – caesium nitrate ferroelectric composite, St. Petersburg Polytechnical State University Journal. Physics and Mathematics. 15 (1) (2022) 7–15. DOI: <https://doi.org/10.18721/JPM.15101>

This is an open access article under the CC BY-NC 4.0 license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>)

Введение

Наличие у нитрата калия KNO_3 прямоугольной петли гистерезиса, низких диэлектрических потерь и относительно высокой спонтанной поляризации дает возможность использовать этот материал для создания элементов энергонезависимой памяти [1]. При этом в нитрате калия полярная фаза стабильна только в ходе процесса охлаждения от 397 до 373 К. Сегнетоэлектрическое состояние этого соединения метастабильно, что позволяет влиять на его температурный интервал путем варьирования различных внешних факторов. Проведенные ранее исследования демонстрируют эту возможность через создание твердых растворов и композитов на основе нитрата калия [2 – 5]. Так, для сегнетоэлектрических композитов $(\text{KNO}_3)_{1-x}/(\text{BaTiO}_3)_x$ [2] и $(\text{KNO}_3)_{1-x}/(\text{KNbO}_3)_x$ [3] было обнаружено расширение температурного интервала, в котором существует сегнетоэлектрическая фаза нитрата калия, что связано с диполь-дипольным взаимодействием частиц. Помимо этого, на сегнетоэлектрическую фазу в KNO_3 , находящегося в составе композитов, могут оказывать влияние объемная доля частиц включений, размер этих частиц, их спонтанная поляризация и т. п. Расширение области существования сегнетоэлектрической фазы KNO_3 также наблюдалось при легировании ионами натрия Na^+ [4, 5].

В данной работе исследуется влияние частиц включений нитрата цезия CsNO_3 на формирование сегнетоэлектрического состояния нитрата калия KNO_3 в составе композита $(\text{KNO}_3)_{1-x}/(\text{CsNO}_3)_x$.

Образцы и методика эксперимента

Нитрат калия KNO_3 обладает ромбической структурой $Pm\bar{3}n$ [6] (фаза II) при температуре около 300 К. В ходе нагрева до 401 К нитрат калия испытывает переход в тригональную структуру $R\bar{3}m$ (фаза I). Фазы I и II являются параэлектрическими. Сегнетоэлектрическая тригональная фаза III нитрата калия формируется только при охлаждении в интервале 397 – 373 К. Максимальное значение спонтанной поляризации в сегнетоэлектрической фазе равно 8 – 10 мкКл/см² [6]. На пределы температурного интервала нахождения нитрата калия в сегнетоэлектрической фазе влияет максимальная температура нагрева и скорость охлаждения [7, 8]. Так, при нагревании поликристаллического образца KNO_3 до 473 К и скорости охлаждения 1 – 2 К/мин интервал полярной фазы составляет 22 – 24 градуса.

Нитрат цезия CsNO_3 при температуре около 300 К обладает тригональной симметрией. Атомы цезия образуют псевдокубическую подрешетку с девятью псевдокубами на элементарную ячейку. Кристаллическая структура низкотемпературной фазы была определена как полярная тригональная [9] со спонтанной поляризацией P_s , равной 1 – 2 мкКл/см² (при 410 – 420 К) [10]. Выше температуры Кюри ($T_C = 427$ К) CsNO_3 имеет кубическую структуру.

Для получения композитов $(\text{KNO}_3)_{1-x}/(\text{CsNO}_3)_x$ нами использовались порошки KNO_3 и CsNO_3 . Средний размер частиц в порошках составлял 5 – 10 мкм. Объемное содержание нитрата цезия в композитах составляло $x = 0, 0,1, 0,2, 0,3$ и $0,5$. Порошки нитратов калия и цезия перемешивали в агатовой ступке около 30 мин. Затем из полученных порошков под давлением $8 \cdot 10^3$ кг/см² прессовали образцы в виде дисков диаметром 10 мм и толщиной 1,5 мм.

Для исследования диэлектрических свойств применяли измеритель E7-25. Для нанесения на образцы электродов использовали индий-галлиевую пасту. Температуру определяли при помощи калибратора термопар ТС-6621 с термопарой типа К. Исследование композитов $(\text{KNO}_3)_{1-x}/(\text{CsNO}_3)_x$ методом нелинейной диэлектрической спектроскопии проводили по методике, описанной в статьях [11, 12]. Для определения области существования полярной фазы использовали коэффициент третьей гармоники $\gamma_{3\omega} = U_{3\omega}/U_{\omega}$.

Для исследований методом дифференциального термического анализа (ДТА) композитов $(\text{KNO}_3)_{1-x}/(\text{CsNO}_3)_x$ применяли термоанализатор Linseis STA PT 600. Скорость изменения температуры в процессе измерения сигнала ДТА и диэлектрических свойств составляла примерно 1 К/мин. Температурный интервал исследований охватывал фазовые переходы в KNO_3 и CsNO_3 . Перед измерениями для удаления адсорбированной воды образцы прогревали при температуре 420 К в течение 30 мин.

Экспериментальные результаты и обсуждение

Как следует из данных, полученных методами ДТА и растровой электронной микроскопии (РЭМ), при смешивании компонентов KNO_3 и CsNO_3 не образуются твердые растворы. В композите $(\text{KNO}_3)_{1-x}/(\text{CsNO}_3)_x$ полярные частицы нитрата цезия группируются и образуют агломераты (рис. 1), а на кривых ДТА наблюдается суперпозиция фазовых переходов в нитратах KNO_3 и CsNO_3 (рис. 2).

Экспериментальные результаты исследования температурных зависимостей диэлектрической проницаемости $\epsilon'(T)$ и коэффициента третьей гармоники $\gamma_{3\omega}(T)$ для поликристаллического нитрата калия показаны на рис. 3. При охлаждении образца от 453 К, на кривой $\epsilon'(T)$ наблюдается две аномалии. При $T = 401$ К нитрат калия KNO_3 из тригональной параэлектрической фазы I трансформируется в тригональную сегнетоэлектрическую фазу III, и при $T = 377$ К он переходит из фазы III в параэлектрическую ромбическую фазу II.

Анализ зависимостей $\gamma_{3\omega}(T)$ и $\epsilon'(T)$ (см. рис. 3) показывает, что полярная фаза в нитрате калия, возникающая при охлаждении, лежит в температурном интервале 24 К, что соответствует известным литературным данным [6]. Коэффициент третьей гармоники $\gamma_{3\omega}$ для KNO_3 имеет значение в максимуме около 2,4 % при напряженности электрического поля $E = 25$ В/мм и примерно 4,7 % при $E = 53$ В/мм.

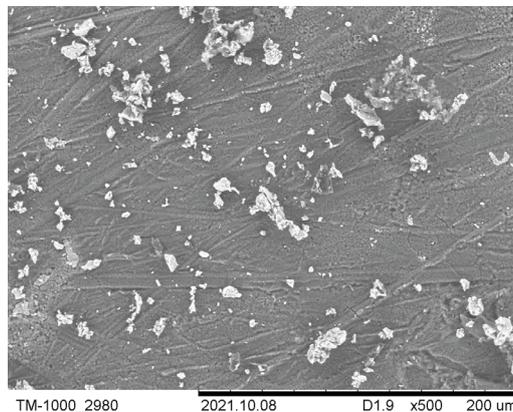


Рис. 1. Микрофотография поверхности композита $(\text{KNO}_3)_{0,8}/(\text{CsNO}_3)_{0,2}$

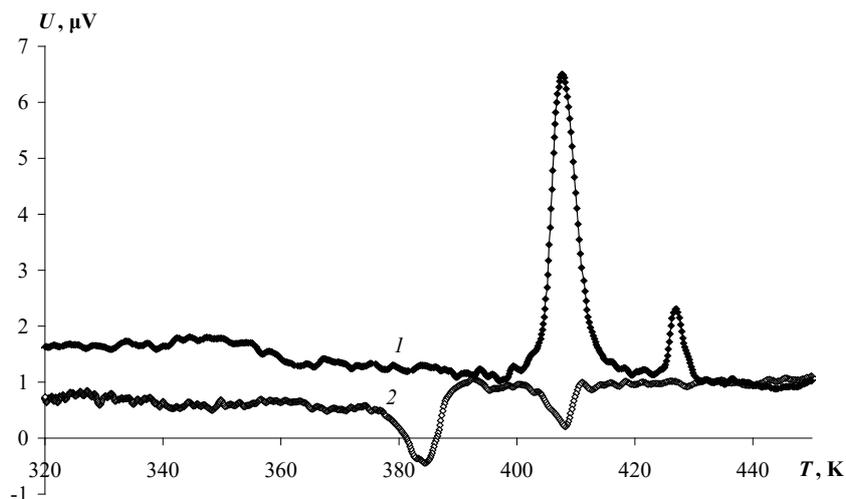


Рис. 2. Сигналы, полученные для композита $(\text{KNO}_3)_{0,8}/(\text{CsNO}_3)_{0,2}$ методом дифференциального термического анализа (ДТА), при нагреве (1) и охлаждении (2) образца

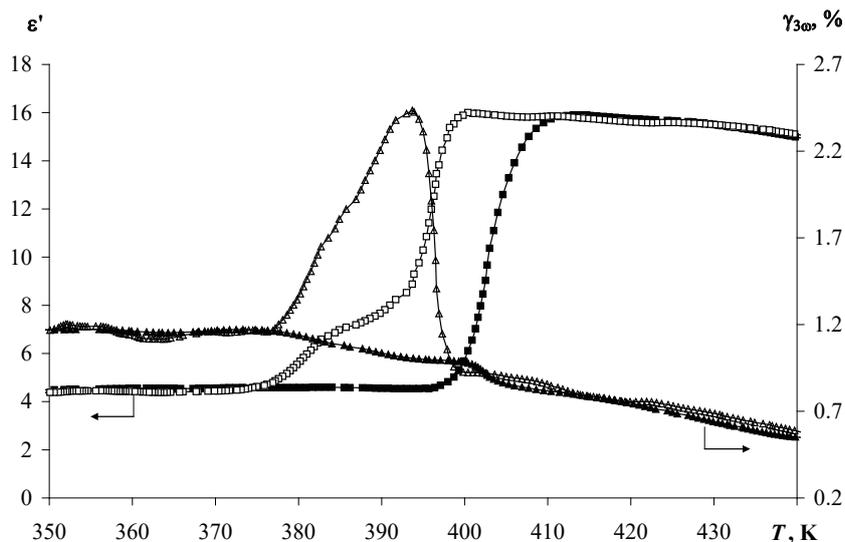


Рис. 3. Температурные зависимости диэлектрической проницаемости ϵ' (на частоте 2 кГц) и коэффициента третьей гармоники $\gamma_{3\omega}$ (при напряженности электрического поля 25 В/мм) нитрата калия KNO_3 ;

Данные получены при нагреве (затусованные маркеры) и охлаждении (пустые)

На рис. 4 приведены зависимости $\epsilon'(T)$ и $\gamma_{3\omega}(T)$ для нитрата цезия. Анализ этих результатов показал, что сегнетоэлектрическая фаза в нитрате цезия CsNO_3 наблюдается ниже температуры 427 К, о чем свидетельствует температурная зависимость $\gamma_{3\omega}(T)$. Однако при $E = 25$ В/мм максимальное значение $\gamma_{3\omega}(T)$ составляет около 1,2 %, что объясняется малым значением спонтанной поляризации соединения CsNO_3 [10].

Для композитных образцов $(\text{KNO}_3)_{1-x}/(\text{CsNO}_3)_x$ с увеличением значения x наблюдается снижение эффективной диэлектрической проницаемости ϵ' , что связано с появлением межслоевой поляризации, и некоторое понижение температуры фазовых переходов (рис. 5). Тангенс угла диэлектрических потерь $\text{tg}\delta$ в сегнетоэлектрической фазе при $T = 391$ К на частоте 20 кГц составляет $\sim 0,11$ для KNO_3 ; $\sim 0,35$ для $(\text{KNO}_3)_{0,9}/(\text{CsNO}_3)_{0,1}$;

$\sim 0,60$ для $(\text{KNO}_3)_{0,7}/(\text{CsNO}_3)_{0,3}$; $\sim 0,51$ для $(\text{KNO}_3)_{0,5}/(\text{CsNO}_3)_{0,5}$ и $\sim 0,06$ для чистого CsNO_3 .

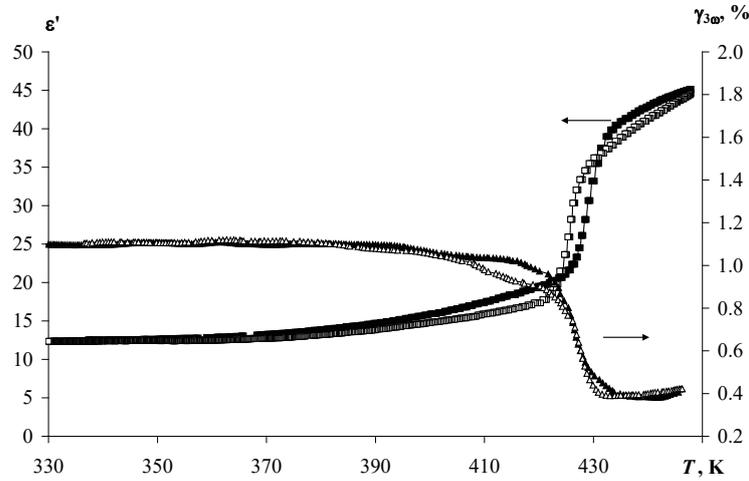


Рис. 4. Зависимости для тех же параметров, как на рис. 3, но для нитрата цезия CsNO_3

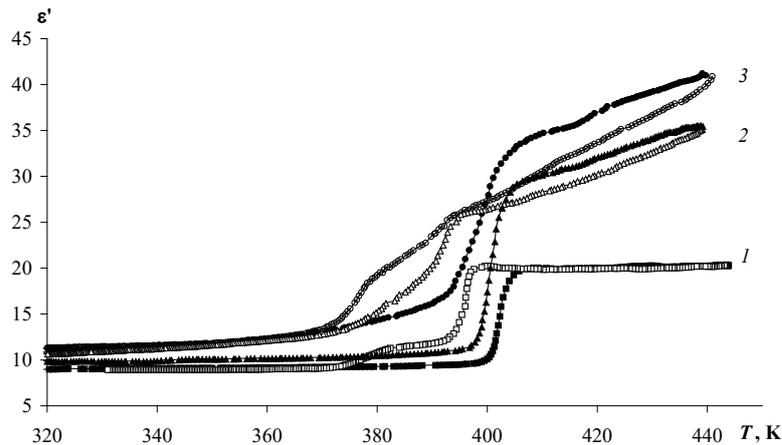


Рис. 5. Температурные зависимости диэлектрической проницаемости ϵ' при нагреве (затушеванные маркеры) и охлаждении (пустые) соединений KNO_3 (1), $(\text{KNO}_3)_{0,9}/(\text{CsNO}_3)_{0,1}$ (2) и $(\text{KNO}_3)_{0,7}/(\text{CsNO}_3)_{0,3}$ (3) на частоте 20 кГц

На рис. 6 показан температурный ход величины $\gamma_{3\omega}$ у образцов композитных материалов $(\text{KNO}_3)_{1-x}/(\text{CsNO}_3)_x$ с различными значениями x (содержание CsNO_3). Как следует из графиков, с увеличением x происходит снижение коэффициента третьей гармоники с 4,7 % для чистого KNO_3 до 0,41% для композита $(\text{KNO}_3)_{0,7}/(\text{CsNO}_3)_{0,3}$ и сужение температурного интервала сегнетоэлектрической фазы для KNO_3 с 24 до 12 К соответственно. В случае $x = 0,5$ (рис. 7) фазовый переход наблюдается при 396 К при нагреве и при 380 К при охлаждении. На кривой $\gamma_{3\omega}(T)$ сегнетоэлектрическая фаза в нитрате калия при охлаждении уже не фиксируется, а максимумы $\gamma_{3\omega}$ имеют меньшие значения, чем у чистых соединений KNO_3 или CsNO_3 .

Для понимания полученных результатов стоит обратиться к работам [2, 3], где было показано, что добавление в нитрат калия титанатов [2] и ниобатов [3] с большой

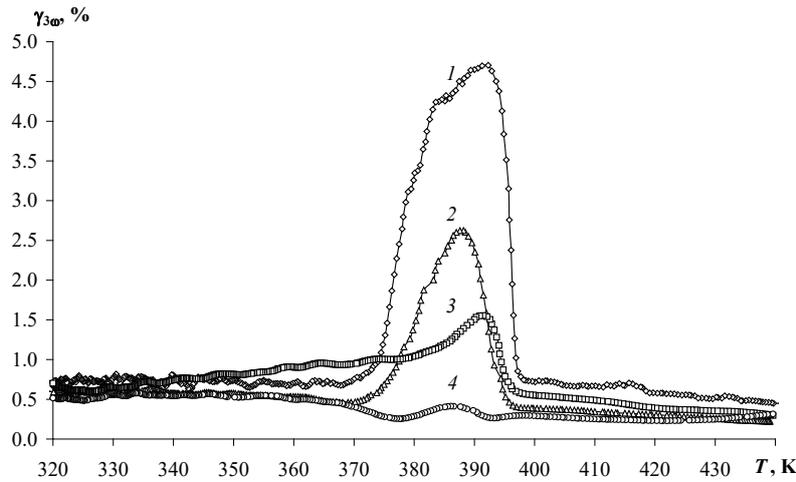


Рис. 6. Температурные зависимости коэффициента третьей гармоники $\gamma_{3\omega}$ композита $(\text{KNO}_3)_{1-x}/(\text{CsNO}_3)_x$ при $x = 0,0$ (1); $0,1$ (2); $0,2$ (3); $0,3$ (4) при охлаждении; напряженность электрического поля – 25 В/мм

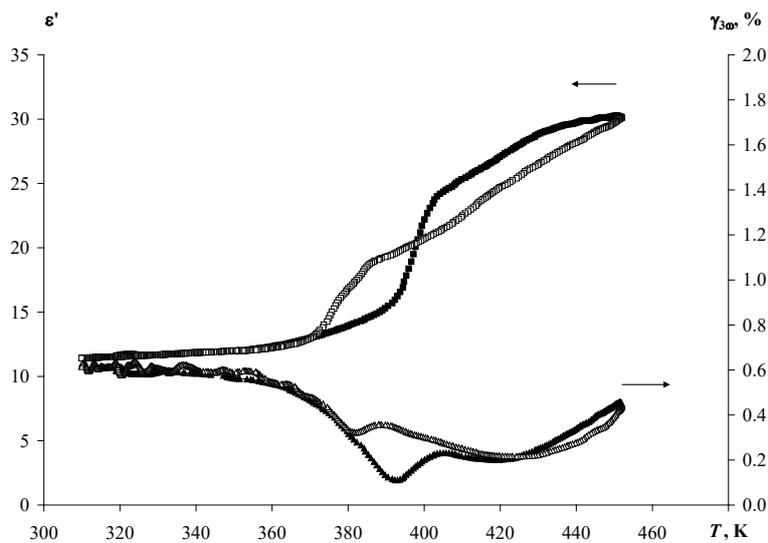


Рис. 7. Температурные зависимости величин ϵ' на частоте 20 кГц и $\gamma_{3\omega}$ при нагреве (затухеванные маркеры) и охлаждении (пустые) композита $(\text{KNO}_3)_{0,5}/(\text{CsNO}_3)_{0,5}$

спонтанной поляризацией приводит к расширению температурного интервала фазы III, соответствующей сегнетоэлектрическому состоянию. Степень взаимного влияния компонентов в композите зависит от значений спонтанной поляризации, диэлектрической проницаемости, а также от объемного соотношения этих компонентов.

Полученные нами результаты свидетельствуют о том, что при создании композитного материала $(\text{KNO}_3)_{1-x}/(\text{CsNO}_3)_x$ добавление нитрата цезия, обладающего малой спонтанной поляризацией, к нитрату калия приводит к дестабилизации сегнетоэлектрического состояния последнего. Подобное сужение температурного интервала существования полярного состояния наблюдалось и для твердых растворов $\text{Rb}_x\text{K}_{1-x}\text{NO}_3$ [15]. В этой работе было показано, что при увеличении содержания ионов рубидия происходило снижение спонтанной поляризации твердого раствора и при достижении доли $x > 0,5$ сегнетоэлектрическое



состояние пропадало. В работе [14] было обнаружено кооперативное поведение частиц во время фазового перехода III \rightarrow I для гранулированного и порошкового нитратов калия. Указанное поведение сузило температурный диапазон стабильности фазы III. Отдельные частицы KNO_3 вели себя как отдельные сегнетоэлектрические домены, причем в каждой частице фазовый переход происходил независимо от ожидаемой температуры Кюри. Для частиц KNO_3 , находящихся в тесном контакте, была характерна тенденция к кооперативному поведению (как единый большой сегнетоэлектрический домен), в сторону формирования более резких фазовых переходов, свойственных монокристаллам. Добавление же в порошок нитрата калия KNO_3 порошка карбида кремния SiC (не сегнетоэлектрическое соединение) приводило к исчезновению фазового перехода III \rightarrow I в порошке KNO_3 , что объяснялось уменьшением взаимодействия между частицами нитрата калия.

Заключение

Таким образом, если в композитах на основе нитрата калия, полученных добавлением сегнетоэлектриков с большой спонтанной поляризацией, наблюдается расширение температурного интервала сегнетоэлектрической фазы, то добавление в KNO_3 сегнетоэлектриков с меньшей, чем у него, спонтанной поляризацией, приводит к дестабилизации его полярного состояния.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Scott J. F.** Ferroelectric memories. Springer Series in Advanced Microelectronics. Vol. 3. No. 26. Berlin: Springer, 2000. 248 p.
2. **Стукова Е. В., Барышников С. В.** Стабилизация сегнетоэлектрической фазы в композитах $(\text{KNO}_3)_{1-x}(\text{BaTiO}_3)_x$ // Перспективные материалы. 2011. № 2. С. 28–33.
3. **Стукова Е. В., Барышников С. В.** Диэлектрические исследования сегнетоэлектрических композитов на основе $(\text{KNO}_3)_{1-x}(\text{KNbO}_3)_x$ // Перспективные материалы. 2011. № 13. С. 801–805.
4. **Shimada S., Aoki T.** Stabilization of the ferroelectric phase of KNO_3 by doping with Na^+ , determined by the acoustic emission method // Chemistry Letters. 1996. Vol. 25. No. 5. Pp. 393–394.
5. **Baryshnikov S. V., Charnaya E. V., Milinskiy A. Yu., Stukova E. V., Tien Cheng, Michel D.** Phase transitions in $\text{K}_{1-x}\text{Na}_x\text{NO}_3$ embedded into molecular sieves // Journal of Physics: Condensed Matter. 2009. Vol. 21. No. 32. P. 325902.
6. **Chen A., Chernow A.** Nature of ferroelectricity in KNO_3 // Physical Review. 1967. Vol. 154. No. 2. Pp. 493–505.
7. **Deshpande V. V., Karkhanavala M. D., Rao U. R. K.** Phase transitions in potassium nitrate // Journal of Thermal Analysis and Calorimetry. 1974. Vol. 6. No. 6. Pp. 613–621.
8. **Nimmo J. K., Lucas B. W.** The crystal structures of γ - and β - KNO_3 and the $\alpha \leftarrow \gamma \leftarrow \beta$ phase transformations // Acta Crystallographica. B. 1976. Vol. B32. Part 7. Pp. 1968–1971.
9. **Lucas B. W.** The structure (neutron) of phase II caesium nitrate at 298 K, CsNO_3 // Acta Crystallographica. C. 1983. Vol. C39. Part 12. Pp. 1591–1594.
10. **Takagi Y., Kimura S., Takeuchi Y.** Structural phase transition of CsNO_3 crystal. Spontaneous polarization // Ferroelectrics. 2003. Vol. 284. No. 1. Pp. 129–135.
11. **Ikeda S., Kominami H., Koyama K., Wada Y. J.** Nonlinear dielectric constant and ferroelectric-to-paraelectric phase transition in copolymers of vinylidene fluoride and trifluoroethylene // Applied Physics. 1987. Vol. 62. No. 8. Pp. 3339–3342.
12. **Юдин С. Г., Блинов Л. М., Петухова Н. Н., Палто С. П.** Сегнетоэлектрический фазовый переход в пленках Ленгмюра – Блуджетт фталоцианина меди // Письма в Журнал экспериментальной и теоретической физики. 1999. Т. 70. № 9. С. 625–631.
13. **Бурмакин Е. И.** Твердые электролиты с проводимостью по катионам щелочных металлов. М.: Наука, 1992. 264 с.
14. **Westphal M. J.** Cooperative behavior during ferroelectric transitions in KNO_3 powder // Journal of Applied Physics. 1993. Vol. 74. No. 5. Pp. 3131–3137.
15. **Kawabe U., Yanagi T., Sawada S.** Dielectric and X-ray studies of KNO_3 -series mixed crystals // Journal of the Physical Society of Japan. 1965. Vol. 20. No. 11. Pp. 2059–2073.

REFERENCES

1. Scott J. F., Ferroelectric memories; Springer Series in Advanced Microelectronics, Springer, Berlin. 3 (26) (2000).
2. Stukova E. V., Baryshnikov S. V., Stabilization of the ferroelectric phase in $(\text{KNO}_3)_{1-x}-(\text{BaTiO}_3)_x$ composites, Inorg. Mater. Appl. Res. 2 (5) (2011) 434–438.
3. Stukova E. V., Baryshnikov S. V., Dielektricheskiye issledovaniya segnetoelektricheskikh kompozitov na osnove $(\text{KNO}_3)_{1-x}-(\text{BaNbO}_3)_x$ [Dielectric research of ferroelectric composites based on $(\text{KNO}_3)_{1-x}-(\text{BaNbO}_3)_x$], Perspektivnyye materialy. (S13) (2011) 801–805 (in Russian).
4. Shimada S., Aoki T., Stabilization of the ferroelectric phase of KNO_3 by doping with Na^+ , determined by the acoustic emission method, Chem. Lett. 25 (5) (1996) 393–394.
5. Baryshnikov S. V., Charnaya E. V., Milinskiy A. Yu., et al., Phase transitions in $\text{K}_{1-x}\text{Na}_x\text{NO}_3$ embedded into molecular sieves, J. Phys. Cond. Mat. 21 (32) (2009) 325902.
6. Chen A., Chernow A., Nature of ferroelectricity in KNO_3 , Phys. Rev. 154 (2) (1967) 493–505.
7. Deshpande V. V., Karkhanavala M. D., Rao U. R. K., Phase transitions in potassium nitrate, J. Therm. Anal. Calorim. 6 (6) (1974) 613–621.
8. Nimmo J. K., Lucas B. W., The crystal structures of γ - and β - KNO_3 and the $\alpha \leftarrow \gamma \leftarrow \beta$ phase transformations, Acta Cryst. B. B32 (7) (1976) 1968–1971.
9. Lucas B. W., The structure (neutron) of phase II caesium nitrate at 298 K, CsNO_3 , Acta Cryst. C. C39 (12) (1983) 1591–1594.
10. Takagi Y., Kimura S., Takeuchi Y., Structural phase transition of CsNO_3 crystal. Spontaneous polarization, Ferroelectrics. 284 (1) (2003) 129–135.
11. Ikeda S., Kominami H., Koyama K., Wada Y. J., Nonlinear dielectric constant and ferroelectric-to-paraelectric phase transition in copolymers of vinylidene fluoride and trifluoroethylene, Appl. Phys. 62 (8) (1987) 3339–3342.
12. Yudin S. G., Blinov L. M., Petukhova N. N., Palto S. P., Ferroelectric phase transition in Langmuir – Blodgett films of copper phthalocyanine, J. Exp. Theor. Phys. Lett. 70 (9) (1999) 633–640.
13. Burmakin E. I., Tverdyye elektrolity s provodimost'yu po kationam shchelochnykh metallov [Solid electrolytes conducting by alkali metal cations], Nauka, Moscow, 1992 (in Russian).
14. Westphal M. J., Cooperative behavior during ferroelectric transitions in KNO_3 powder, J. Appl. Phys. 74 (5) (1993) 3131–3137.
15. Kawabe U., Yanagi T., Sawada S., Dielectric and X-ray studies of KNO_3 -series mixed crystals, J. Phys. Soc. Jap. 20 (11) (1965) 2059–2073.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

БАРЫШНИКОВ Сергей Васильевич — доктор физико-математических наук, профессор кафедры физического и математического образования Благовещенского государственного педагогического университета, г. Благовещенск, Россия.

675000, Россия, г. Благовещенск, ул. Ленина, 104

svbar2003@list.ru

ORCID: 0000-0002-3362-8975

МИЛИНСКИЙ Алексей Юрьевич — кандидат физико-математических наук, доцент кафедры физического и математического образования Благовещенского государственного педагогического университета, г. Благовещенск, Россия.

675000, Россия, г. Благовещенск, ул. Ленина, 104

a.milinskiy@mail.ru

ORCID: 0000-0001-7525-4396

СТУКОВА Елена Владимировна — доктор физико-математических наук, заведующая кафедрой физики Амурского государственного университета, г. Благовещенск, Россия.

675027, Россия, г. Благовещенск, Игнатьевское шоссе, 21

lenast@bk.ru

ORCID: 0000-0002-7981-7456

ЗЕЕВА Анна Анатольевна – аспирантка кафедры физики Амурского государственного университета, г. Благовещенск, Россия.

675027, Россия, г. Благовещенск, Игнатьевское шоссе, 21

anutka_2010.1997@mail.ru

ORCID: 0000-0001-7216-3931

THE AUTHORS

BARYSHNIKOV Sergey V.

Blagoveshchensk State Pedagogical University

104, Lenin St., Blagoveshchensk, 675000, Russia

svbar2003@list.ru

ORCID: 0000-0002-3362-8975

MILINSKIY Alexey Yu.

Blagoveshchensk State Pedagogical University

104, Lenin St., Blagoveshchensk, 675000, Russia

a.milinskiy@mail.ru

ORCID: 0000-0001-7525-4396

STUKOVA Elena V.

Amur State University

21, Ignatievskoe RTe., Blagoveshchensk, 675027, Russia

lenast@bk.ru

ORCID: 0000-0002-7981-7456

ZEEVA Anna A.

Amur State University

21, Ignatievskoe RTe., Blagoveshchensk, 675027, Russia

anutka_2010.1997@mail.ru

ORCID: 0000-0001-7216-3931

*Статья поступила в редакцию 20.12.2021. Одобрена после рецензирования 24.01.2022.
Принята 24.01.2022.*

Received 20.12.2021. Approved after reviewing 24.01.2022. Accepted 24.01.2022.