

## Физика конденсированного состояния

Научная статья

УДК 537.226

DOI: <https://doi.org/10.18721/JPM.15301>

### СТАБИЛИЗАЦИЯ СЕГНЕТОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ФАЗЫ НИТРАТА КАЛИЯ В КОМПОЗИТАХ, СОДЕРЖАЩИХ МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ МИКРОЧАСТИЦЫ

А. Ю. Милинский <sup>1</sup>, С. В. Барышников <sup>1</sup>, Е. В. Стукова <sup>2</sup>✉

<sup>1</sup> Благовещенский государственный педагогический университет, г. Благовещенск, Россия;

<sup>2</sup> Амурский государственный университет, г. Благовещенск, Россия

✉ [lenast@bk.ru](mailto:lenast@bk.ru)

**Аннотация.** Исследованы температурные зависимости сигнала дифференциального термического анализа, диэлектрической проницаемости и амплитуды третьей гармоники композитов  $(\text{KNO}_3)_{1-x}/\text{Sn}_x$ . Показано, что у нитрата калия в этих соединениях происходит понижение температуры фазового перехода  $\alpha \rightarrow \beta$  на 2 – 3 К, а температура фазового перехода  $\gamma \rightarrow \alpha$  понижается вплоть до 360 К. Полученный результат можно объяснить в рамках теории Ландау – Гинзбурга с учетом экранирования частиц нитрата калия металлическими частицами олова.

**Ключевые слова:** сегнетоэлектрик, композит, диэлектрическая проницаемость, фазовый переход

**Для цитирования:** Милинский А. Ю., Барышников С. В., Стукова Е. В. Стабилизация сегнетоэлектрической фазы нитрата калия в композитах, содержащих металлические микрочастицы // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Физико-математические науки. 2022. Т. 15. № 3. С. 9–16 . DOI: <https://doi.org/10.18721/JPM.15301>

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.15301>

### STABILIZATION OF THE FERROELECTRIC PHASE OF POTASSIUM NITRATE IN COMPOSITES CONTAINING METALLIC MICROPARTICLES

A. Yu. Milinskiy <sup>1</sup>, S. V. Baryshnikov <sup>1</sup>, E. V. Stukova <sup>2</sup>✉

<sup>1</sup> Blagoveshchensk State Pedagogical University, Blagoveshchensk, Russia;

<sup>2</sup> Amur State University, Blagoveshchensk, Russia

✉ [lenast@bk.ru](mailto:lenast@bk.ru)

**Abstract.** In the paper, the temperature dependences of the differential thermal analysis signal, permittivity, and amplitude of the third harmonic of the  $(\text{KNO}_3)_{1-x}/\text{Sn}_x$  composites have been studied. It was shown that the temperature of the  $\alpha \rightarrow \beta$  phase transition decreased by 2 – 3 K in the potassium nitrates being parts of the composites, and the temperature of the  $\gamma \rightarrow \alpha$  phase transition decreased up to 360 K. This result can be explained within the framework of the Landau – Ginzburg theory, taking into account the shielding of potassium nitrate particles by tin metal particles.

**Keywords:** ferroelectric, composite, permittivity, phase transition

**For citation:** Milinskiy A. Yu., Baryshnikov S. V., Stukova E. V., Stabilization of the ferroelectric phase of potassium nitrate in composites containing metallic microparticles, St. Petersburg State Polytechnical University Journal. Physics and Mathematics. 15 (3) (2022) 9–16. DOI: <https://doi.org/10.18721/JPM.15301>

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

## Введение

Сегнетоэлектрики активно исследуются как материалы для создания энергонезависимой памяти сверхвысокой плотности, благодаря высоким значениям диэлектрической проницаемости, способности изменять направление поляризации и хранить энергию [1]. В настоящее время интенсивно ведутся экспериментальные работы, направленные как на синтез новых сегнетоэлектрических соединений [2], так и на улучшение полярных свойств уже известных материалов. Одним из способов модификации сегнетоэлектрических свойств веществ является создание композитов на их основе [3 – 5]. Сегнетоэлектрические композиты могут иметь различную структуру (она зависит от природы и сочетаемости компонентов), формируемую в полярной матрице разными частицами: полярными, неполярными, металлическими и т. п.

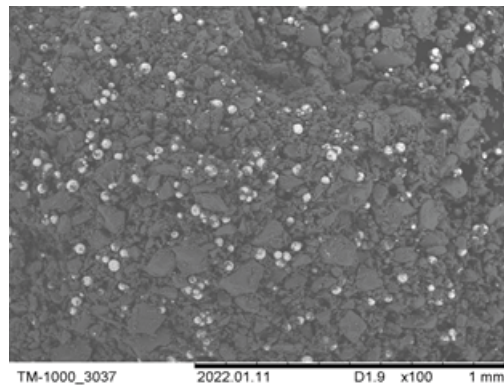
Одним из перспективных сегнетоэлектриков для применения в устройствах микроэлектроники является нитрат калия  $\text{KNO}_3$ , поскольку он обладает достаточно высоким значением спонтанной поляризации  $P_s \approx 10$  мкКл/см<sup>2</sup> [6]. Однако использованию нитрата калия для этих целей препятствуют особенности его свойств: при комнатной температуре он не обладает спонтанной поляризацией, а полярная фаза этого соединения стабильна только в узком температурном интервале – при охлаждении от 397 до  $\sim 373$  К [6]. Большое количество работ в последнее время посвящено попыткам расширить температурный интервал существования сегнетоэлектрической фазы  $\text{KNO}_3$  до комнатной температуры [7 – 10]. Из нитрата калия изготавливали тонкие пленки [7], композиты [8] и нанокompозиты [9, 10]. Во всех перечисленных работах обнаружено расширение температурной области существования полярного состояния  $\text{KNO}_3$ .

В данной работе приводятся результаты исследования тепловых и диэлектрических свойств композитов  $(\text{KNO}_3)_{1-x}/\text{Sn}_x$  ( $x = 0, 0,10$  и  $0,20$ ), полученных при смешивании порошка нитрата калия и микрошариков олова размером 20 – 38 мкм.

## Образцы и методика эксперимента

Калиевая селитра  $\text{KNO}_3$  при нормальных условиях находится в параэлектрическом состоянии и имеет пространственную группу  $Pm\bar{3}n$  [6]. Эту фазу, как правило, обозначают буквой  $\alpha$ . При нагреве нитрата калия до 401 К происходит структурный фазовый переход в другую, параэлектрическую  $\beta$ -фазу, имеющую структуру  $R\bar{3}m$ . При последующем охлаждении от 453 К фаза I переходит в промежуточную, сегнетоэлектрическую  $\gamma$ -фазу, с пространственной симметрией  $R3m$ , и при температуре около 373 К  $\gamma$ -фаза трансформируется в  $\alpha$ -фазу. Спонтанная поляризация  $P_s$   $\gamma$ -фазы составляет около 1 – 2 мкКл/см<sup>2</sup> при 393 К [6]. В работе [11] было показано, что температурный интервал стабильности полярного состояния в нитрате калия зависит от тепловой предыстории и скорости охлаждения.

Для получения композитов  $(\text{KNO}_3)_{1-x}/\text{Sn}_x$  использовался химически чистый нитрат калия  $\text{KNO}_3$  и микрошарики олова Sn размером 20 – 38 мкм. Порошок нитрата калия перемешивался с микрошариками олова в разных соотношениях ( $x = 0,1$  и  $0,2$  ( $x$  – объемная доля)) в течение 10 мин в агатовой ступке. Далее из полученного порошка, под давлением 7500 кг/см<sup>2</sup>, прессовались образцы в виде дисков толщиной 1 мм и радиусом 5 мм. На рис. 1 представлена электронная фотография образца из смеси порошка нитрата калия и шариков олова с объемной долей  $x = 0,2$ .

Рис. 1. Электронная фотография смеси  $(\text{KNO}_3)_{0,8}/\text{Sn}_{0,2}$ 

Для измерений электрофизических характеристик на образцы наносили в качестве электродов индий-галлиевую пасту.

Для получения температурных зависимостей диэлектрической проницаемости  $\epsilon'$  использовался измеритель E7-25. Для проведения нелинейных диэлектрических измерений композитов  $(\text{KNO}_3)_{1-x}/\text{Sn}_x$  использовалась установка, описанная в статье [12]. В процессе измерения температурных зависимостей коэффициента  $\gamma_{3\omega} = U_{3\omega}/U_{1\omega}$  напряженность электрического поля на образце составляла около 100 В/мм. Температура определялась с точностью 0,1 К при помощи хромель-алюмелевой термопары и термометра ТС-6621.

Для исследования композитов  $(\text{KNO}_3)_{1-x}/\text{Sn}_x$  методом дифференциального термического анализа (ДТА) использовался совмещенный термический анализатор Linseis STA PT 1600 (производство США), позволяющий одновременно проводить исследования по гравиметрии и ДТА.

Измерения величин  $\epsilon'$  и  $\gamma_{3\omega}$  проводились в диапазоне температур от 300 до 453 К со скоростью 2 К/мин. Максимальная температура нагрева 453 К выбрана из тех соображений, что в объемном нитрате калия сегнетоэлектрическая фаза не формируется при нагреве до меньших температур.

### Экспериментальные результаты

На рис. 2 представлены зависимости  $\epsilon'(T)$  для композитов  $(\text{KNO}_3)_{1-x}/\text{Sn}_x$  ( $x=0, 0,10, 0,20$ ), полученные при нагреве и охлаждении. Для чистого  $\text{KNO}_3$  ( $x=0$ ) в режиме нагрева в интервале 401 – 410 К наблюдается резкий рост зависимости  $\epsilon'(T)$ , вызванный фазовым переходом  $\alpha \rightarrow \beta$ . При охлаждении образца на кривой прослеживается дополнительная ступенька, свидетельствующая о формировании промежуточной сегнетоэлектрической  $\gamma$ -фазы [6].

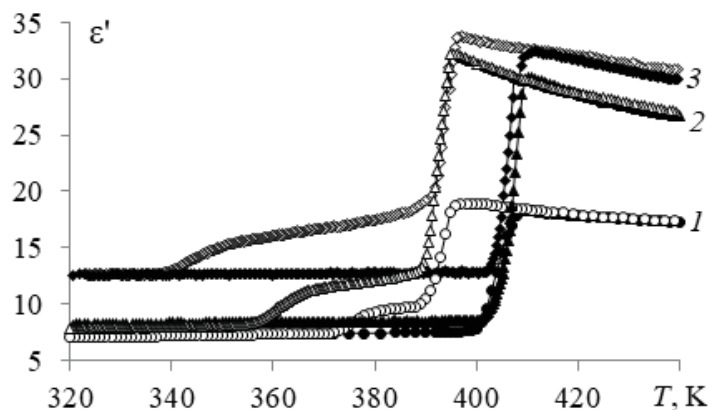


Рис. 2. Температурные зависимости  $\epsilon'(T)$  композита  $(\text{KNO}_3)_{1-x}/\text{Sn}_x$  для разных значений  $x$ : 0 (1), 0,1 (2), 0,2 (3); затушеванные маркеры – нагрев, пустые – охлаждение

Для композитов  $(\text{KNO}_3)_{1-x}/\text{Sn}_x$  ( $x = 0,10, 0,20$ ) зависимости  $\varepsilon'(T)$  сильно размыты (см. рис. 2). Фазовый переход  $\alpha \rightarrow \beta$  в пределах 1 – 2 К совпадает с аналогичным переходом в чистом нитрате калия. При охлаждении смыкание кривой  $\varepsilon'(T)$ , полученной при нагреве, с соответствующей кривой, полученной при охлаждении, происходит при меньших температурах, чем для чистого нитрата калия. Это косвенно указывает на понижение температуры структурного перехода  $\gamma \rightarrow \alpha$ . Помимо этого, происходит рост значений диэлектрической проницаемости при увеличении объемной концентрации микрочастиц олова.

По данным ДТА для чистого  $\text{KNO}_3$  (рис. 3), в режиме нагрева наблюдается один фазовый переход:  $\beta \rightarrow \alpha$  около 407 К. При охлаждении фиксируются уже два фазовых перехода: первый,  $\alpha \rightarrow \gamma$ , наблюдается при температуре около 394 К, а второй,  $\gamma \rightarrow \beta$ , – около 371 К, что соответствует известным литературным данным [6].

Результаты измерения сигнала ДТА композитов  $(\text{KNO}_3)_{1-x}/\text{Sn}_x$  (см. рис. 3) указывают на наличие одного фазового перехода в процессе нагрева при 406 и 405 К для  $x = 0,10$  и 0,20 соответственно. В режиме охлаждения температура перехода  $\alpha \rightarrow \gamma$  составляет 392 и 391 К, а перехода  $\gamma \rightarrow \beta$  – 368 и 361 К для  $x = 0,10$  и 0,20 соответственно.

Для определения границ существования сегнетоэлектрической фазы в образцах  $(\text{KNO}_3)_{1-x}/\text{Sn}_x$  ( $x = 0, 0,10, 0,20$ ) были проведены исследования температурной зависимости коэффициента третьей гармоники  $\gamma_{3\omega}$ . В режиме охлаждения рост коэффициента третьей гармоники  $\gamma_{3\omega}$  для образцов  $(\text{KNO}_3)_{1-x}/\text{Sn}_x$  наблюдался в интервалах температур 397 – 373 К, 394 – 362 К и 394– 353 К (рис. 4).

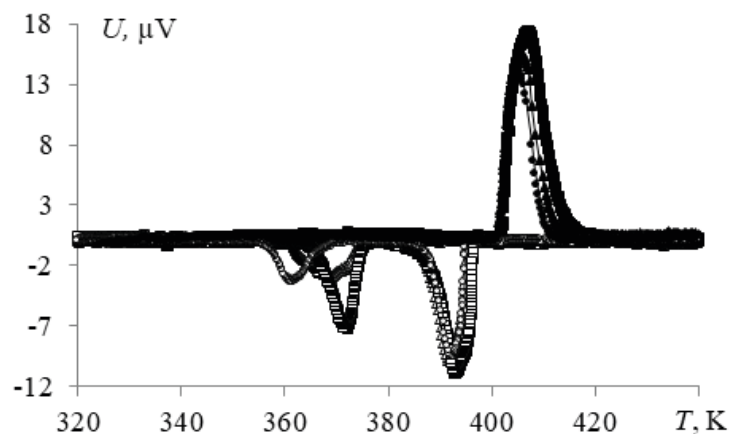


Рис. 3. Температурные зависимости сигнала ДТА композита  $(\text{KNO}_3)_{1-x}/\text{Sn}_x$  для  $x = 0$  (■), 0,1 (▲) и 0,2 (●); затухающие маркеры – нагрев, пустые – охлаждение

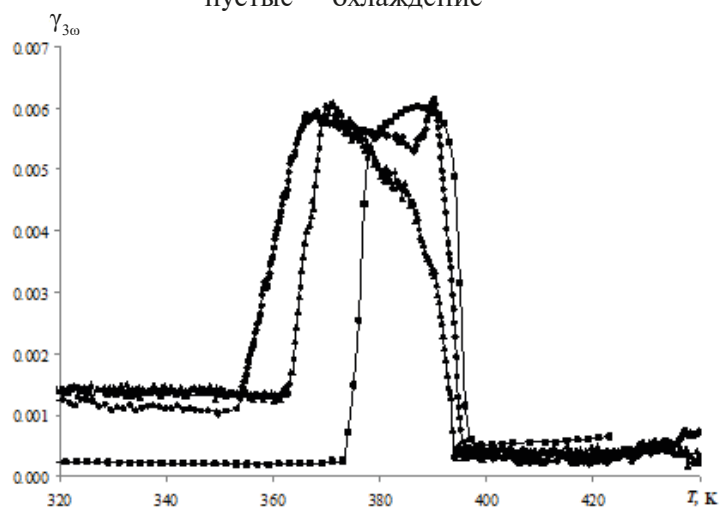


Рис. 4. Температурные зависимости  $\gamma_{3\omega}$  композита  $(\text{KNO}_3)_{1-x}/\text{Sn}_x$  для  $x = 0$  (■), 0,1 (▲) и 0,2 (●); затухающие маркеры – нагрев, пустые – охлаждение

### Обсуждение результатов

Для интерпретации полученных результатов, в частности снижения температуры Кюри нитрата калия, входящего в состав композита  $(\text{KNO}_3)_{1-x}/\text{Sn}_x$ , рассмотрим массив частиц, находящихся на некотором расстоянии друг от друга. Запишем свободную энергию  $F$  композита как сумму энергии частиц  $\text{KNO}_3$  и энергии взаимодействия частиц  $\text{KNO}_3$  с частицами  $\text{Sn}$ :

$$F = \sum_i \left( F_{0i} + \frac{1}{2} \alpha P_i^2 + \frac{1}{4} \beta P_i^4 + \frac{1}{2} \delta (\nabla P_i)^2 \right) dv_i + \sum_i \int_{S_i} \Delta F_{S_i} dS_i, \quad (1)$$

где  $P_i$  – поляризация частиц  $\text{KNO}_3$ , которая есть функция температуры и координат;  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\delta$  – коэффициенты разложения, в общем случае зависящие от температуры;  $v_i$ ,  $S_i$  – объем и площадь поверхности  $i$ -й частицы соответственно;  $\Delta F_{S_i}$  – поверхностная свободная энергия.

Интегрирование поверхностной свободной энергии по площади  $S_i$  имеет вид

$$\int_{S_i} \Delta F_{S_i} dS_i = \int_{S_i} \sigma_i dS_i + \int_{S_i} \varphi_i \delta_i dS_i + \int_{S_i} \mu_i dN_i,$$

где  $\sigma_i$  – поверхностное натяжение,  $\varphi_i$  – электрический потенциал,  $\delta_i$  – плотность поверхностного заряда,  $\mu_i$  – химический потенциал,  $N_i$  – число частиц.

Первое слагаемое в выражении (1) учитывает так называемый барический эффект. Он может проявляться как в повышении, так и в понижении температуры структурного перехода, в зависимости от знака барического коэффициента и соотношения коэффициентов теплового расширения компонентов композита. Второе слагаемое учитывает энергию поля экранирования частиц  $\text{KNO}_3$  металлическими частицами  $\text{Sn}$ . Третье показывает энергию электрического поля, возникающего в результате разной работы выхода электронов из частиц  $\text{KNO}_3$  и из металлических частиц  $\text{Sn}$ .

Наличие значительной поверхности межфазных границ в композите  $(\text{KNO}_3)_{1-x}/\text{Sn}_x$  дает существенный вклад в энергию композита и в уменьшение эффективного поля в частицах  $\text{KNO}_3$ . Это может приводить к изменению температуры Кюри и спонтанной поляризации. Согласно теории Ландау–Гинзбурга, изменение температуры Кюри при учете энергии  $\Delta F_s$  будет выражаться как

$$\tilde{T}_C = T_C - \frac{1}{\alpha_0} \int_s \Delta F_{S_i} dS.$$

Наибольший вклад в сдвиг температуры сегнетоэлектрического фазового перехода могут давать экранирующие поля, приводящие к перестройке доменной структуры и образованию встречных доменов.

Как было показано в работах [13, 14], наличие свободных носителей заряда в сегнетоэлектриках приводит к изменению диэлектрических свойств, температуры Кюри, спонтанной поляризации и т. п. В работе [14] сообщалось о том, что дополнительная энергия, обусловленная возбуждением неравновесных носителей заряда, приводит к понижению температуры сегнетоэлектрического фазового перехода на величину  $\Delta T_C$ :

$$\Delta T_C = \Delta E_g \cdot C \cdot n / \pi P_s^2,$$

где  $\Delta E_g$  – изменение ширины запрещенной зоны при фазовом переходе 1-го рода,  $C$  – постоянная Кюри – Вейса.

### Заключение

Из анализа результатов диэлектрических измерений и дифференциального термического анализа следует, что в композитах  $(\text{KNO}_3)_{1-x}/\text{Sn}_x$  у нитрата калия происходит понижение температуры фазового перехода  $\alpha \rightarrow \beta$  на  $2 - 3$  К, а температура фазового перехода

$\gamma \rightarrow \alpha$  понижается вплоть до 360 К. Полученный результат можно объяснить в рамках теории Ландау – Гинзбурга, если учитывать экранирование частиц нитрата калия металлическими частицами олова.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Tanaka K., Kurihashi Y., Uda T., Daimon Y., Odagawa N., Hirose R., Hiranaga Y., Cho Y. Scanning nonlinear dielectric microscopy nano-science and technology for next generation high density ferroelectric data storage // Japanese Journal of Applied Physics. 2008. Vol. 47. No. 5R. P. 3311.
2. Acharya M., Mack S., Fernandez A., Kim J., Wang H., Eriguchi K., Meyers D., Gopalan V., Neaton J., Martin L. W. Searching for new ferroelectric materials using high-through put data bases: An experimental perspective on BiAlO<sub>3</sub> and BiInO<sub>3</sub> // Chemistry Materials. 2020. Vol. 32. No. 17. Pp. 7274–7283.
3. Pierangeli D., Ferraro M., Di Mei F., Di Domenico G., de Oliveira C. E. M., Agranat A. J., Del Re E. Super-crystals in composite ferroelectrics // Nature Communications. 2016. Vol. 7. P. 10674.
4. Milinskiy A. Yu., Baryshnikov S. V., Charnaya E. V., Egorova I. V., Sarnatskii V. M. Phase transitions in bulk and confined organic ferroelectric DIPAI // Results in Physics. 2020. Vol. 17. June. P. 103069.
5. Yan Z., Yang Y., Cai X. Preparation of a ferroelectric composite film metal-organic framework/PVDF // Journal of Polymer Research. 2020. Vol. 27. No. 12. P. 377.
6. Chen A., Chernow F. Nature of ferroelectricity in KNO<sub>3</sub> // Physical Review. 1967. Vol. 154. No. 2. Pp. 493–505.
7. Scott J. F., Duiker H. M., Beale P. D., Pouligny B., Dimmler K., Parris M., Butler D., Eaton S. Properties of ceramic KNO<sub>3</sub> thin-film memories // Physica B. 1988. Vol. 150. No. 1–2. Pp. 160–167.
8. Stukova E. V., Baryshnikov S. V. Stabilization of the ferroelectric phase in (KNO<sub>3</sub>)<sub>1-x</sub>-(BaTiO<sub>3</sub>)<sub>x</sub> composites // Inorganic Materials: Applied Research. 2011. Vol. 2. Part I. No. 5. Pp. 434–438.
9. Набережнов А. А., Ванина П. Ю., Сысоева А. А., Cizman A., Rysiakiewicz-Pasek E., Hoser A. Влияние ограниченной геометрии на структуру и фазовые переходы в наночастицах нитрата калия // Физика твердого тела. 2018. Т. 60. № 3. С. 439–442.
10. Милинский А. Ю., Барышников С. В., Стукова Е. В., Чарная Е. В., Чернечкин И. А., Ускова Н. И. Диэлектрические и тепловые свойства KNO<sub>3</sub>, внедренного в углеродные нанотрубки // Физика твердого тела. 2021. Т. 63. № 6. С. 767–771.
11. 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.
12. 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.
13. Фридкин В. М. Сегнетоэлектрики – полупроводники. М.: Наука, 1976, 408 с.
14. Фридкин В. М. Фотосегнетоэлектрики. М.: Наука, 1979. 464 с.

### REFERENCES

1. Tanaka K., Kurihashi Y., Uda T., et al., Scanning nonlinear dielectric microscopy nano-science and technology for next generation high density ferroelectric data storage, Jap. J. Appl. Phys. 47 (5R) (2008) 3311.
2. Acharya M., Mack S., Fernandez A., et al., Searching for new ferroelectric materials using high-through put data bases: An experimental perspective on BiAlO<sub>3</sub> and BiInO<sub>3</sub>, Chem. Mater. 32 (17) (2020) 7274–7283.
3. Pierangeli D., Ferraro M., Di Mei F., et al., Super-crystals in composite ferroelectrics, Nat. Commun. 7 (2016) 10674.
4. Milinskiy A. Yu., Baryshnikov S. V., Charnaya E. V., et al., Phase transitions in bulk and confined organic ferroelectric DIPAI, Res. Phys. 17 (June) (2020) 103069.
5. Yan Z., Yang Y., Cai X., Preparation of a ferroelectric composite film metal-organic framework/PVDF, J. Polm. Res. 27 (12) (2020) 377.

6. **Chen A., Chernow F.** Nature of ferroelectricity in  $\text{KNO}_3$ , Phys. Rev. 154 (2) (1967) 493–505.
7. **Scott J. F., Duiker H. M., Beale P. D., et al.**, Properties of ceramic  $\text{KNO}_3$  thin-film memories, Physica. B. 150 (1–2) (1988) 160–167.
8. **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-I (5) 434–438.
9. **Naberezhnov A. A., Vanina P. Yu., Sysoeva A. A., et al.**, Effect of restricted geometry on the structure and phase transitions in potassium nitrate nanoparticles, Phys. Solid State. 60 (3) (2018) 442–446.
10. **Milinskii A. Y., Baryshnikov S. V., Stukova E. V., et al.**, Dielectric and thermal properties of  $\text{KNO}_3$  encapsulated in carbon nanotubes, Phys. Solid State. 63 (6) (2021) 872–876.
11. **Deshpande V. V., Karkhanavala M. D., Rao U. R. K.**, Phase transitions in potassium nitrate, J. Therm. Anal. Calorim. 6 (6) (1974) 613–621.
12. **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.
13. **Fridkin V. M.**, Ferroelectrics semiconductors (Translation from Russian), Consultants Bureau, New York, USA, 1980.
14. **Fridkin V. M.**, Photoferroelectrics, Springer, Berlin, Heidelberg, New York, 1979.

### СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

**МИЛИНСКИЙ Алексей Юрьевич** — доктор 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

**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  
 104svbar2003@list.ru  
 ORCID: 0000-0002-3362-8975

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

675027, Россия, г. Благовещенск, Игнатьевское шоссе, 21  
 lenast@bk.ru  
 ORCID: 0000-0002-7981-7456

### THE AUTHORS

**MILINSKIY Alexey Yu.**

Blagoveshchensk State Pedagogical University  
 104, Lenina St., Blagoveshchensk, 675000, Russia  
 a.milinskiy@mail.ru  
 ORCID: 0000-0001-7525-4396

**BARYSHNIKOV Sergey V.**

Blagoveshchensk State Pedagogical University  
 104, Lenina St., Blagoveshchensk, 675000, Russia  
 svbar2003@list.ru  
 ORCID: 0000-0002-3362-8975

**STUKOVA Elena V.**

*Amur State University*

21 Ignatievskoe Ave., Blagoveshchensk, 675027, Russia

lenast@bk.ru

ORCID: 0000-0002-7981-7456

*Статья поступила в редакцию 24.03.2022. Одобрена после рецензирования 31.05.2022.  
Принята 31.05.2022.*

*Received 24.03.2022. Approved after reviewing 31.05.2022. Accepted 31.05.2022.*