

УДК 537.9  
DOI: 10.23885/2500-0640-2018-14-2-3-8

## ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КЕРАМИКИ $\text{Sr}_{0,75}\text{Ba}_{0,25}\text{Nb}_2\text{O}_6$

© 2018 г. А.В. Павленко<sup>1, 2</sup>, А.В. Назаренко<sup>1</sup>

**Аннотация.** Проведены исследования структуры, микроструктуры и диэлектрических характеристик керамики сегнетоэлектрика-релаксора  $\text{Sr}_{0,75}\text{Ba}_{0,25}\text{Nb}_2\text{O}_6$  (SBN-75). По данным рентгеноструктурного анализа и электронно-микроскопических исследований установлено, что керамика SBN-75 является однофазной, обладает тетрагональной структурой с параметрами элементарной ячейки  $c = 3,908 \text{ \AA}$  и  $a = 12,42 \text{ \AA}$ . При электронно-микроскопических исследованиях объекта на сканирующем электронном микроскопе Carl Zeiss EVO 40 показано, что размер кристаллитов керамики колеблется в достаточно широких пределах – от 2 до 15 мкм. При исследовании температурно-частотных зависимостей относительной диэлектрической проницаемости  $\epsilon'/\epsilon_0$ , тангенса угла диэлектрических потерь  $\text{tg } \delta$  и остаточной поляризации  $P_R$  керамики SBN-75 при  $T = 25\text{--}400 \text{ }^\circ\text{C}$  установлено, что фазовый переход из сегнетоэлектрической в параэлектрическую фазу достаточно сильно размыт, а температура Бёрнса  $T_b$  составляет  $\sim 250\text{--}260 \text{ }^\circ\text{C}$ . Наилучшая аппроксимация экспериментальных спектров  $\epsilon'/\epsilon_0(f)$  и  $\epsilon''/\epsilon_0(f)$  достигается при использовании для керамики SBN-75 функции распределения времен релаксации  $f(\tau)$  Коула – Коула. Высказано предположение о том, что аномалии в поведении  $\epsilon'/\epsilon_0(T)$  и  $\text{tg } \delta(T)$  в области  $T > T_b$ , возникающие только в режиме нагрева, связаны с проявлением эффектов межслоевой поляризации.

**Ключевые слова:** керамика, ниобат бария-стронция, диэлектрическая проницаемость, дисперсия, температура Бёрнса.

## DIELECTRIC CHARACTERISTICS OF $\text{Sr}_{0,75}\text{Ba}_{0,25}\text{Nb}_2\text{O}_6$ CERAMICS

A.V. Pavlenko<sup>1,2</sup>, A.V. Nazarenko<sup>1</sup>

**Abstract.** The studies of structure, microstructure and dielectric characteristics of the ferroelectric relaxor ceramics of  $\text{Sr}_{0,75}\text{Ba}_{0,25}\text{Nb}_2\text{O}_6$  (SBN-75) solid solutions made by usual ceramics processing are carried out. It is established that according to X-ray diffraction and electron microscopic study SBN-75 ceramics is single-phased and has tetragonal structure with  $a = 12.42 \text{ \AA}$  and  $c = 3.908 \text{ \AA}$  cell parameters. The ceramics crystalline sizes vary over a wide range from 2 to 15  $\mu\text{m}$  which is shown by electron microscopy studies of the sample using Carl Zeiss EVO 40 scanning electron microscope. It is established that in the study of temperature and frequency dependences (at  $T = 25\text{--}400 \text{ }^\circ\text{C}$ ) of relative permittivity ( $\epsilon'/\epsilon_0$ ), loss tangent of a dielectric ( $\text{tg } \delta$ ) and residual polarization ( $P_R$ ) of capacitor structures based on SBN-75 ferroelectric-paraelectric phase transition is quite strongly blurred while Burns temperature is about  $250\text{--}260 \text{ }^\circ\text{C}$ . Only low frequency part of relaxation dielectric spectrum is detected in the range of  $0.1\text{--}10^6 \text{ Hz}$  of measuring varying electrical field which was established at the analysis of  $\epsilon'/\epsilon_0(f)$  and  $\epsilon''/\epsilon_0(f)$  dependences at  $T = 25\text{--}65 \text{ }^\circ\text{C}$ . It is shown that for the SBN-75 ceramics best experimental approximation of  $\epsilon'/\epsilon_0(f)$  and  $\epsilon''/\epsilon_0(f)$  spectra is accomplished using Cole-Cole relaxation time distribution function  $f(\tau)$ . It is suggested that the anomalies in  $\epsilon'/\epsilon_0(T)$  and  $\text{tg } \delta(T)$  behavior at  $T > T_b$ , which are clearly coming out only in the heating measure cycle and almost disappear in the cooling measure cycle, are associated with manifestation of the interlayer polarization effects in the material.

**Keywords:** ceramics, barium strontium niobate, permittivity, dispersion, the Burns temperature.

<sup>1</sup> Федеральный исследовательский центр Южный научный центр РАН (Federal Research Centre the Southern Scientific Centre of the Russian Academy of Sciences, Rostov-on-Don, Russian Federation), Российская Федерация, 344006, г. Ростов-на-Дону, пр. Чехова, 41, e-mail: tolik\_260686@mail.ru

<sup>2</sup> Южный федеральный университет (Southern Federal University, Rostov-on-Don, Russian Federation), Российская Федерация, 344090, г. Ростов-на-Дону, пр. Стачки, 194

## ВВЕДЕНИЕ

Не содержащим свинец сегнетоэлектрическим (СЭ) материалам, которые могут стать альтернативой промышленно используемым материалам на основе цирконат-титаната свинца и магнониобата свинца, в современном физическом материаловедении уделяется большое внимание. К числу наиболее перспективных относятся твердые растворы (ТР) на основе  $Ba_xSr_{1-x}TiO_3$ ,  $Na_xK_{1-x}NbO_3$  и  $Sr_xBa_{1-x}Nb_2O_6$  (SBN), последним из которых, в частности, свойственны высокие электрооптические и пироэлектрические характеристики [1]. В интервале концентраций  $x = 0,25 \dots 0,75$  ТР SBN являются однофазными и принадлежат к структуре незаполненных тетрагональных вольфрамовых бронз (ТВБ) (заполнены 5/6 катионных позиций). Остовом данной кристаллической структуры является трехмерный каркас, сформированный сочлененными вершинами  $NbO_6$ -октаэдров, образующими три типа структурных каналов вдоль полярной оси: треугольные, четырехугольные и пятиугольные [2]. Общая структурная формула для ТВБ (с 5 формульными единицами) –  $(A)_2(B)_4(C)_4Nb_{10}O_{30}$  – допускает заполнение всех трех типов каналов атомами металлов. В структуре SBN позиции в каналах треугольного сечения не заполнены, позиции внутри четырехугольных каналов частично заполнены атомами Sr, а позиции внутри пятиугольных каналов статистически заполнены атомами Ba и Sr. Это позволяет вариацией состава (соотношение Ba и Sr, введение легирующих добавок и пр.) в широких пределах изменять их пьезоэлектрические и оптические параметры, температуру фазового перехода и релаксорные характеристики (степень размытия фазового перехода, дисперсионные параметры и пр.) [3]. В параэлектрической фазе (симметрия решетки 4/mmm) данные материалы содержат зеркальные плоскости, перпендикулярные оси  $c$ , и все атомы располагаются в плоскостях  $z = 0$  и  $1/2$ . Смещение атомов металла относительно кислородных плоскостей вызывает спонтанную поляризацию, а при переполяризации атомы металла переходят через зеркальные плоскости – слои атомов кислорода, то есть SBN относятся к СЭ типа смещения. С увеличением концентрации стронция температура перехода снижается, и одновременно усиливается релаксорное поведение – возрастает размытие максимума диэлектрической проницаемости и усиливается частотная дисперсия [4]. Однако, несмотря на интенсивные исследования SBN в по-

следние годы, до сих пор нет достаточного понимания микроскопического механизма наблюдаемых явлений, определяющих релаксорные свойства SBN. Несомненно, огромную роль в этом играют флуктуации состава в SBN, связанные с особенностями их реальной кристаллической структуры (вероятностное заполнение атомами металлов позиций, дефектность и др.). В настоящей работе представлены результаты исследования структуры, зёрненного строения и диэлектрических характеристик в диапазоне температур 30–400 °С керамики  $Ba_{0,25}Sr_{0,75}Nb_2O_6$  (SBN-75), используемой в качестве мишени при изготовлении тонких пленок SBN-75.

## МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ОБЪЕКТОВ

Керамические образцы стехиометрического состава  $Sr_{0,75}Ba_{0,25}Nb_2O_6$  были изготовлены в отделе интеллектуальных материалов и нанотехнологий Научно-исследовательского института физики Южного федерального университета (Ростов-на-Дону, Россия) в рамках выполнения гос. задания Минобрнауки России (проект № 3.6371.2017/8.9).

Рентгенографические исследования проводили на дифрактометре ДРОН-3, снабженном интенсивметром ИР-2 с рентгеновской Cu-трубкой. Исследования зёрненного строения керамики осуществляли на сканирующем электронном микроскопе Carl Zeiss EVO 40 в Объединенном центре научно-технологического оборудования Южного научного центра РАН (с. Кагальник, Ростовская область, Россия).

Для проведения диэлектрических измерений из керамики SBN-75 была изготовлена конденсаторная структура – диск толщиной 0,25 мм и диаметром 5 мм, на плоские поверхности которого была нанесена серебряносодержащая паста AUROMAL 38 (DODUCO GmbH). Относительная диэлектрическая проницаемость  $\epsilon'/\epsilon_0$  определялась из соотношения  $C = \epsilon\epsilon_0 S/h$ , где  $C$  – емкость структуры,  $h$  – толщина слоя сегнетоэлектрика,  $S$  – площадь электрода,  $\epsilon_0 = 8,854 \cdot 10^{-12}$  F/m – электрическая постоянная. Зависимости от температуры  $\epsilon'/\epsilon_0$  и тангенса угла диэлектрических потерь  $\tan \delta$  при  $T = 25$ –400 °С на частотах  $f = 20$ – $10^6$  Hz при напряжении  $U = 1$  V получали с помощью измерительного комплекса на базе измерителя E7-20 и терморегулятора ВАРТА ТП № 703.

Зависимости  $P(U)$  при  $f = 1$ – $10^3$  Hz и  $U = \pm 200$  V в интервале  $T = 25$ –300 °С получали с помощью автоматизированного измерительного комплекса на

основе анализатора TF Analyzer 2000 и терморегулятора ВАРТА ТП № 703. Это позволяло оценить величину остаточной поляризации  $P_R$ , коэрцитивного поля  $U_C$ .

### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

На рентгенограммах  $\theta$ – $2\theta$ -сканирования (рис. 1) керамики SBN-75 присутствовали только отражения, свойственные структуре ТВБ. Рассчитанные значения параметров элементарной ячейки керамики SBN-75 в тетрагональном приближении составили  $c = 3,908 \text{ \AA}$  и  $a = 12,42 \text{ \AA}$ , что хорошо согласуется с работой [5]. При рентгенофазовом анализе примесные фазы в керамике не выявлены. В пользу этого свидетельствовали и результаты электронно-микроскопического исследования поверхности скола керамики SBN-75 (рис. 2). Из рисунка видно, что керамика является достаточно однородной, включения примесных фаз как в виде отдельных зёрен, так и в виде внутризёрненных включений не наблюдаются. Размер кристаллитов колеблется в достаточно широких пределах – от 2 до 15 мкм, их форма – преимущественно неправильные многогранники с округлыми границами.

На рисунке 3 приведены зависимости  $\epsilon'/\epsilon_0(T)$  и  $\text{tg } \delta(T)$  керамики. С ростом температуры ( $T = 25$ – $65 \text{ }^\circ\text{C}$ ) наблюдается формирование частотно-зависимых размытых максимумов  $\epsilon'/\epsilon_0(T_m)$  и  $\text{tg } \delta(T_m)$ , связанных, как будет показано ниже, с размытым сегнето-параэлектрическим фазовым переходом. В интервале  $65$ – $250 \text{ }^\circ\text{C}$  следует практически бездисперсный участок  $\epsilon'/\epsilon_0(T)$  (величина  $\text{tg } \delta < 0,01$ ), а при  $T > 250 \text{ }^\circ\text{C}$  формируются ярко выраженные максимумы  $\epsilon'/\epsilon_0(T)$  и  $\text{tg } \delta(T)$ , положение которых не зависит от частоты измерительного переменного электрического поля. Аномалии в поведении  $\epsilon'/\epsilon_0(T)$  и  $\text{tg } \delta(T)$  в высокотемпературной области при измерении в режиме охлаждения практически не наблюдались, а их возникновение сопровождалось увеличением электропроводности керамики, ростом  $\text{tg } \delta$  и появлением при этих температурах слабых токов при измерении в режиме термостимулированной деполяризации. Возникновение этих аномалий можно связать с проявлением эффектов межслоевой поляризации, обусловленных процессами накопления (захвата) и разрушения при повышении температуры объемного заряда. В качестве центра захватов (ловушек) в керамиках чаще всего выступают такие дефекты, как вакансии, границы

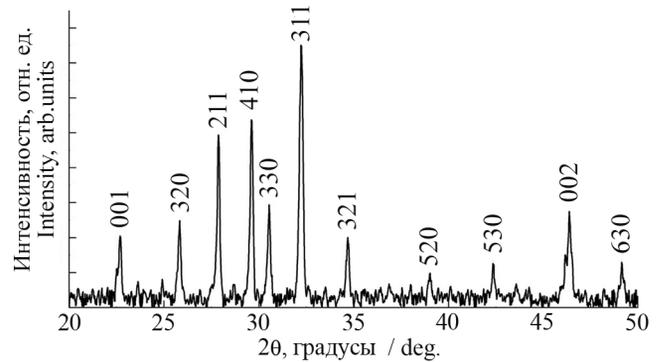


Рис. 1.  $\theta$ – $2\theta$ -рентгенограмма керамики SBN-75.  
Fig. 1.  $\theta$ – $2\theta$  X-ray pattern of SBN-75 ceramics.

зёрен, межкристаллитные прослойки и пр., в достаточно большом количестве присутствующие в керамиках.

При анализе зависимостей  $\epsilon'/\epsilon_0(f)$  и  $\epsilon''/\epsilon_0(f)$  ( $\epsilon''/\epsilon_0 = \epsilon'/\epsilon_0 \cdot \text{tg } \delta$ ) при  $T = 25$ – $65 \text{ }^\circ\text{C}$  в рассматриваемом частотном диапазоне фиксируется низкочастотная часть релаксационного диэлектрического спектра, что не позволяет восстановить однозначно функцию распределения времен релаксации релаксаторов непосредственно из эксперимента. Для аппроксимации экспериментальных спектров  $\epsilon'(f)$  и  $\epsilon''(f)$ , проводившейся по формулам [6]

$$\begin{aligned} \epsilon' &= \epsilon_\infty + (\epsilon_s - \epsilon_\infty) \int_0^\infty \frac{f(\tau) d\tau}{1 + (\omega\tau)^2}, \\ \epsilon'' &= (\epsilon_s - \epsilon_\infty) \int_0^\infty \frac{\omega\tau f(\tau) d\tau}{1 + (\omega\tau)^2}, \\ \int_0^\infty f(\tau) d\tau &= 1, \end{aligned} \quad (1)$$

где  $\epsilon_s$  и  $\epsilon_\infty$  – статическая и высокочастотная диэлектрические проницаемости соответственно, нами

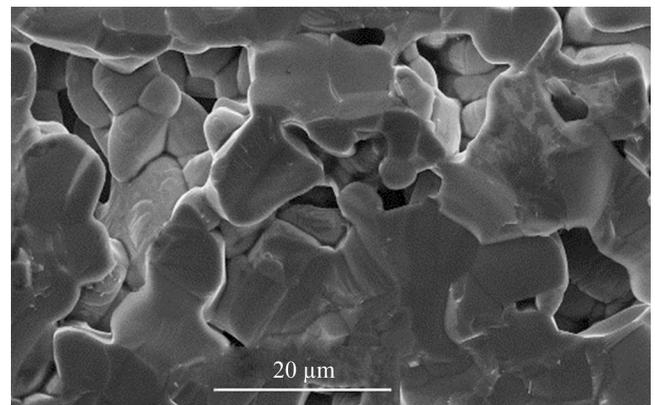


Рис. 2. Электронно-микроскопическое изображение скола керамики SBN-75.  
Fig. 2. Electron-microscopic image of the shear surface of SBN-75 ceramics.

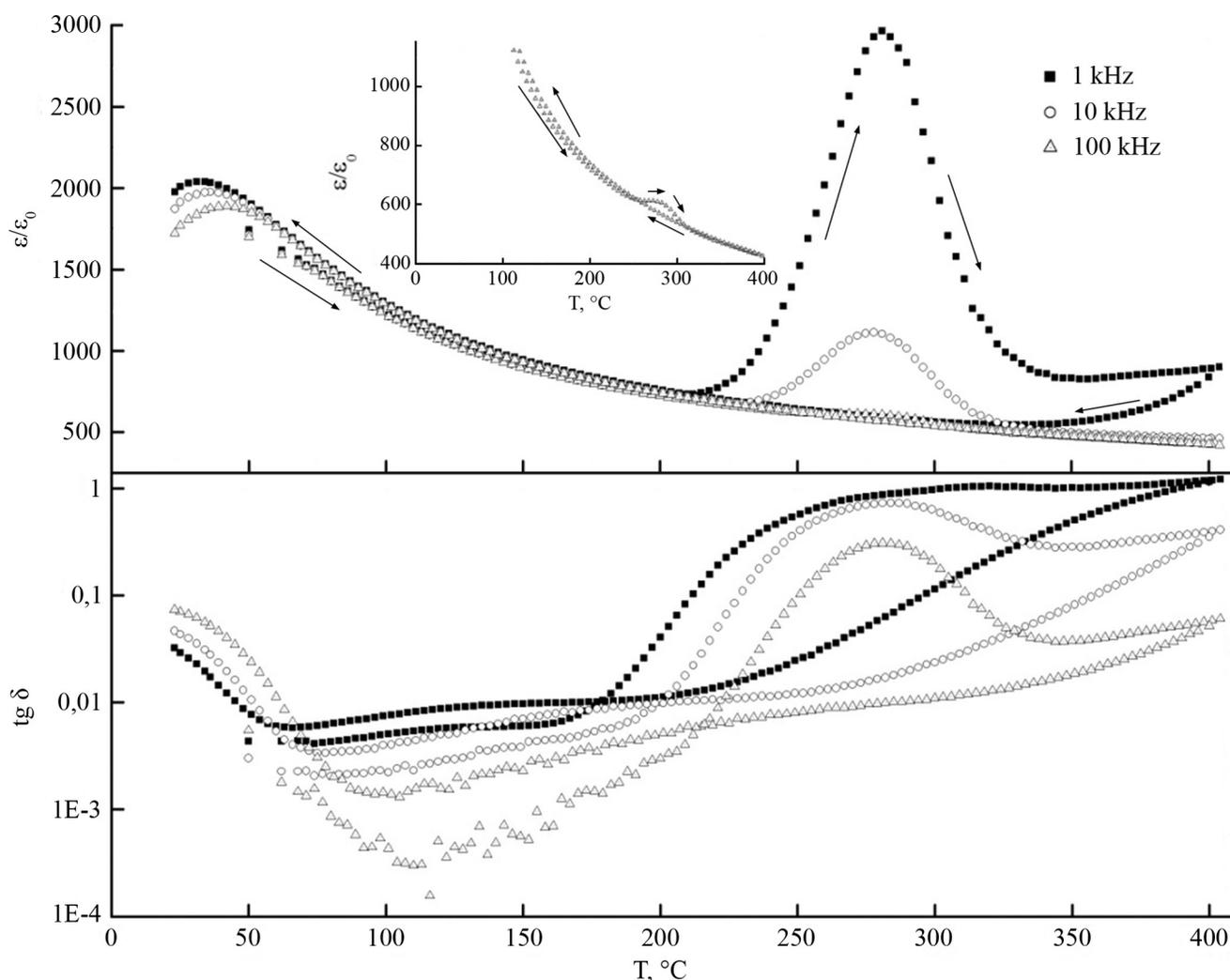


Рис. 3. Зависимости  $\varepsilon/\varepsilon_0(T)$  и  $\operatorname{tg} \delta(T)$  керамики SBN-75 при  $T = 25\text{--}400$  °C на частотах  $f = 10^3\text{--}10^5$  Hz, измеренные в режиме нагрева и охлаждения.

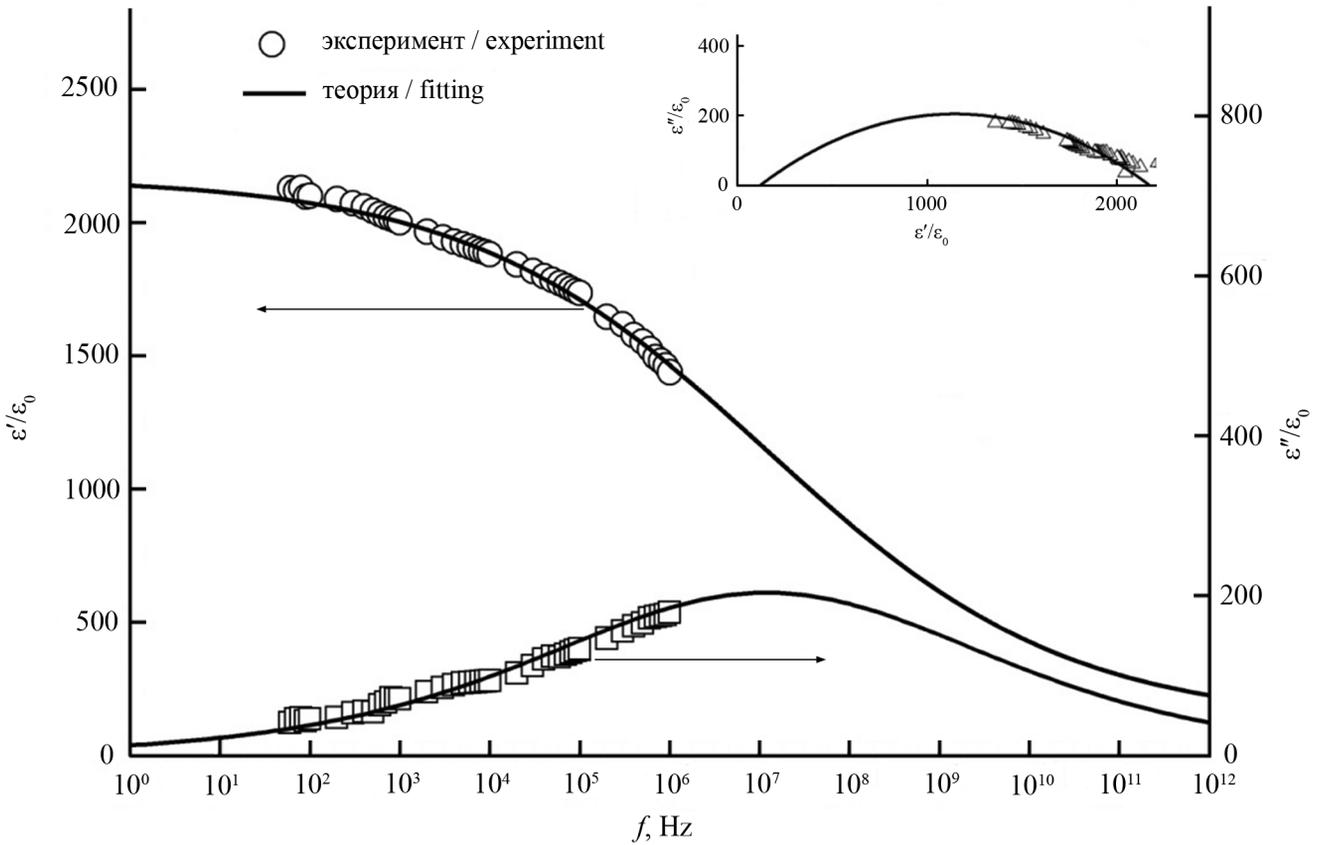
Fig. 3.  $\varepsilon/\varepsilon_0(T)$  and  $\operatorname{tg} \delta(T)$  dependences of SBN-75 ceramics at temperature  $T = 25\text{--}400$  °C and frequency  $f = 10^3\text{--}10^5$  Hz, in the heating and cooling measure cycles.

были использованы различные виды функций распределения невзаимодействующих релаксаторов (дельта-функция (распределения Дебая), равномерное распределение, Коула – Коула, Дэвидсона – Коула), однако наилучшая аппроксимация экспериментальных результатов, как и в случае монокристаллических образцов SBN-61 [7], была достигнута при использовании функции распределения времен релаксации  $f(\tau)$  Коула – Коула:

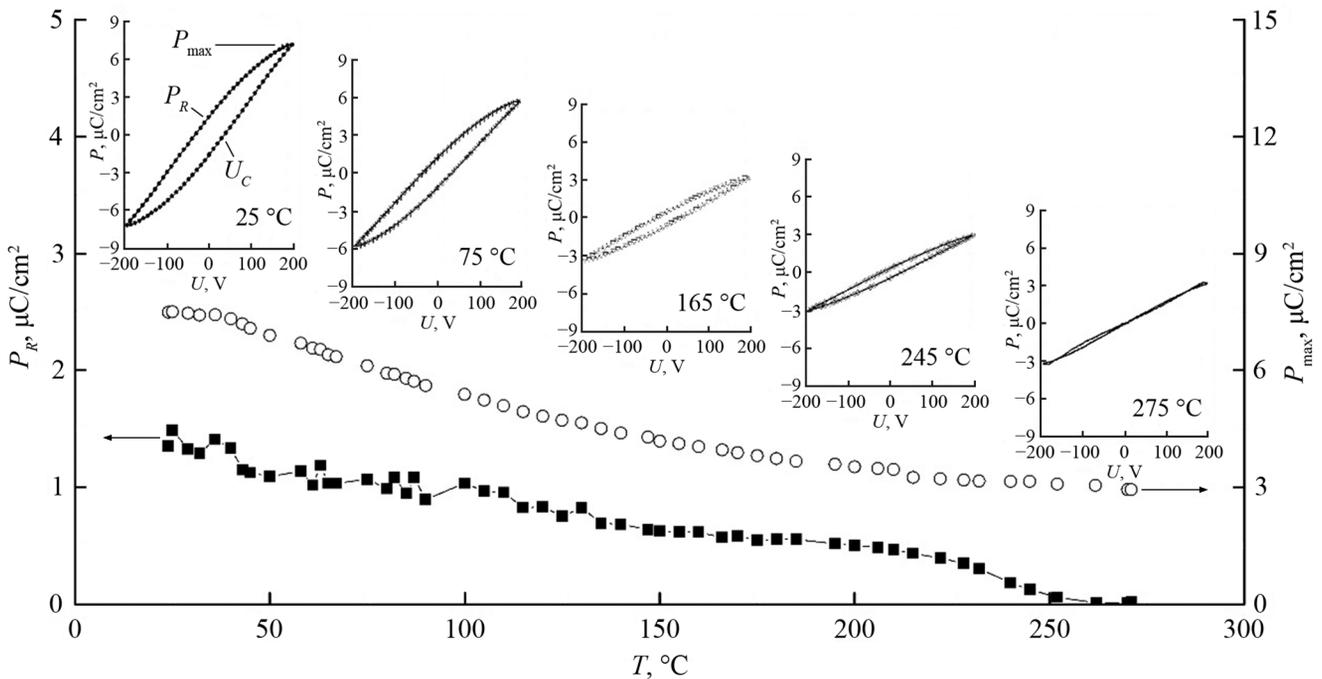
$$f(\tau) = \frac{\sin(\alpha\pi)}{2\pi c h [(1-\alpha) \ln(\tau/\tau_0)] - \cos(\alpha\pi)}. \quad (2)$$

В качестве примера на рисунке 4 приведены результаты аппроксимации зависимостей  $\varepsilon'/\varepsilon_0(f)$ ,  $\varepsilon''/\varepsilon_0(f)$  и  $\varepsilon''/\varepsilon_0(\varepsilon'/\varepsilon_0)$  при  $T = 25$  °C. Высокие значения  $\alpha$  свидетельствуют о широком спектре распределения времен релаксации в исследуемом объекте.

Для установления значений температур Бёрнса  $T_b$  (температура, выше которой СЭ-релаксоры ведут себя, как классические СЭ в параэлектрической фазе, а ниже которой их свойства обусловлены образованием полярных нанокластеров) с учетом достаточно сложного поведения  $\varepsilon/\varepsilon_0(T)$  при  $T > T_m$  и сильной анизотропии свойств в ниобатах бария-стронция были проанализированы петли диэлектрического гистерезиса керамики SBN-75, представленные на рисунке 5. При комнатной температуре зависимость  $P(U)$  симметричная, имеет вытянутую форму и характеризуется небольшим гистерезисом, что свойственно релаксорным СЭ. Изменение частоты электрического поля в интервале  $f = 1\text{--}10^3$  Hz не приводит к существенному изменению характера и параметров зависимости  $P(U)$ . При повышении температуры наблюдается суже-



**Рис. 4.** Зависимости  $\epsilon'/\epsilon_0(f)$ ,  $\epsilon''/\epsilon_0(f)$  и  $\epsilon''/\epsilon_0(\epsilon'/\epsilon_0)$  керамики SBN-75 при  $T = 22^\circ\text{C}$ . Теоретические расчеты выполнены согласно (1) для случая распределения времен релаксации Коула – Коула (2):  $\epsilon_s = 2100$ ,  $\epsilon_\infty = 200$ ,  $\alpha \sim 0,7$ ,  $f_0 \sim 1,2 \cdot 10^7$  Hz.  
**Fig. 4.**  $\epsilon'/\epsilon_0(f)$ ,  $\epsilon''/\epsilon_0(f)$  and  $\epsilon''/\epsilon_0(\epsilon'/\epsilon_0)$  dependences of SBN-75 ceramics at  $T = 22^\circ\text{C}$ . Theoretical calculations are made according to (1), for the case of the distribution of Cole-Cole relaxation times (2):  $\epsilon_s = 2100$ ,  $\epsilon_\infty = 200$ ,  $\alpha \sim 0,7$ ,  $f_0 \sim 1,2 \cdot 10^7$  Hz.



**Рис. 5.** Зависимости  $P(U)$ ,  $P_R(T)$  и  $P_{\max}(T)$  керамики SBN-75 при  $f = 250$  Hz.  
**Fig. 5.**  $P(U)$ ,  $P_R(T)$  and  $P_{\max}(T)$  dependences of SBN-75 ceramics at  $f = 250$  Hz.

ние петель, плавное снижение величин  $P_R$  и  $U_C$  стремящихся к нулю лишь при  $T \approx 250\text{--}260^\circ\text{C}$  (зависимость  $P$  от  $U$  при эти температурах линейная (рис. 5)). Это говорит о том, что  $T_b$  в керамике SBN-75 лежит в этом диапазоне температур ( $250\text{--}260^\circ\text{C}$ ) и более чем на  $200^\circ\text{C}$  превышает значения  $T_m$ .

## ВЫВОДЫ

В настоящей работе изучены структура, диэлектрические и сегнетоэлектрические характеристики керамики сегнетоэлектрика-релаксора

$\text{Sr}_{0,75}\text{Ba}_{0,25}\text{Nb}_2\text{O}_6$ . Обнаружен сегнетоэлектрический фазовый переход и его область размытия по данным диэлектрических измерений. Показано, что температура Бёрнса в материале составляет  $250\text{--}260^\circ\text{C}$  и превышает температуру максимума  $\epsilon'/\epsilon_0(T)$  более чем на  $200^\circ\text{C}$ . Полученные результаты разумно использовать при изучении свойств материалов на основе ниобатов бария-стронция.

Работа выполнена в рамках реализации госзадания ЮНЦ РАН на 2018 г. (проект № 01201354247) и гранта Президента РФ № МК-4100.2018.2.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кузьминов Ю.С. 1982. *Сегнетоэлектрические кристаллы для управления лазерным излучением*. Москва, Наука: 400 с.
2. Jamieson P.B. 1968. Ferroelectric Tungsten Bronze-Type Crystal Structures. I. Barium Strontium Niobate  $\text{Ba}_{0,27}\text{Sr}_{0,73}\text{Nb}_2\text{O}_{5,78}$ . *The Journal of Chemical Physics*. 48(11): 5048–5057. doi: 10.1063/1.1668176
3. Волк Т.Р., Салобутин В.Ю., Ивлева Л.И., Полозков Н.М., Панкрат Р., Вёлке М. 2000. Сегнетоэлектрические свойства кристаллов ниобата бария-стронция с примесями некоторых редкоземельных металлов. *Физика твердого тела*. 42(11): 2066–2073.
4. Борисов С.А., Окунева Н.М., Вахрушев С.Б., Набережнов А.А., Волк Т.Р., Филимонов А.В. 2013. Критическое рассеяние нейтронов в одноосном релаксоре  $\text{Sr}_{0,6}\text{Ba}_{0,4}\text{Nb}_2\text{O}_6$ . *Физика твердого тела*. 55(2): 295–301.
5. Podlozhenov S., Graetsch H.A., Schneider J., Ulex M., Wöhlecke M., Betzler K. 2006. Structure of strontium barium niobate  $\text{Sr}_x\text{Ba}_{1-x}\text{Nb}_2\text{O}_6$  (SBN) in the composition range  $0.32 \leq x \leq 0.82$ . *Acta Crystallographica Section B: Structural Science*. 62(6): 960–965. doi: 10.1107/S0108768106038869
6. Богатин А.С., Турик А.В. 2013. *Процессы релаксационной поляризации в диэлектриках с большой сквозной электропроводностью*. Ростов н/Д, Феникс: 256 с.
7. Buixaderas E., Savinov M., Kempa M., Veljko S., Kamba S., Petzelt J., Pankrath R., Kapphan S. 2005. Infrared and dielectric spectroscopy of the relaxor ferroelectric  $\text{Sr}_{0,61}\text{Ba}_{0,39}\text{Nb}_2\text{O}_6$ . *J. Phys.: Condens. Matter*. 17(4): 653–666. doi: 10.1088/0953-8984/17/4/008

## REFERENCES

1. Kuz'minov Yu.S. 1982. *Segnetoelektricheskie kristally dlya upravleniya lazernym izlucheniem*. [Ferroelectric crystals for the control of laser radiation]. Moscow, Nauka: 400 p. (In Russian).
2. Jamieson P.B. 1968. Ferroelectric Tungsten Bronze-Type Crystal Structures. I. Barium Strontium Niobate  $\text{Ba}_{0,27}\text{Sr}_{0,73}\text{Nb}_2\text{O}_{5,78}$ . *The Journal of Chemical Physics*. 48(11): 5048–5057. doi: 10.1063/1.1668176
3. Volk T.R., Salobutin V.Yu., Ivleva L.I., Polozkov N.M., Pankrath R., Woehlecke M. 2000. Ferroelectric properties of strontium barium niobate crystals doped with rare-earth metals. *Physics of the Solid State*. 42(11): 2129–2136. doi: 10.1134/1.1324052
4. Borisov S.A., Okuneva N.M., Vakhrushev S.B., Naberezhnov A.A., Volk T.R., Filimonov A.V. 2013. Critical neutron scattering in a uniaxial relaxor  $\text{Sr}_{0,6}\text{Ba}_{0,4}\text{Nb}_2\text{O}_6$ . *Physics of the Solid State*. 55(2): 334–341. doi: 10.1134/S1063783413020066
5. Podlozhenov S., Graetsch H.A., Schneider J., Ulex M., Wöhlecke M., Betzler K. 2006. Structure of strontium barium niobate  $\text{Sr}_x\text{Ba}_{1-x}\text{Nb}_2\text{O}_6$  (SBN) in the composition range  $0.32 \leq x \leq 0.82$ . *Acta Crystallographica Section B: Structural Science*. 62(6): 960–965. doi: 10.1107/S0108768106038869
6. Bogatin A.S., Turik A.V. 2013. *Protsessy relaksatsionnoy polyarizatsii v dielektrikakh s bol'shoy skvoznoy elektroprovodnost'yu*. [Processes of relaxation polarization in dielectrics with large through conductivity]. Rostov-on-Don, Feniks: 256 p. (In Russian).
7. Buixaderas E., Savinov M., Kempa M., Veljko S., Kamba S., Petzelt J., Pankrath R., Kapphan S. 2005. Infrared and dielectric spectroscopy of the relaxor ferroelectric  $\text{Sr}_{0,61}\text{Ba}_{0,39}\text{Nb}_2\text{O}_6$ . *J. Phys.: Condens. Matter*. 17(4): 653–666. doi: 10.1088/0953-8984/17/4/008

Поступила 19.04.2018