

УДК 537.9
DOI: 10.7868/S25000640180404

СТРУКТУРА, ФАЗОВЫЕ ПЕРЕХОДЫ И ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СЕГНЕТОЭЛЕКТРИКА-РЕЛАКСОРА SBN-75

© 2018 г. А.В. Павленко^{1,2}, Д.В. Стрюков¹

Аннотация. В работе представлены результаты исследования структуры и диэлектрических свойств керамики и тонких пленок сегнетоэлектрика-релаксора $\text{Sr}_{0.75}\text{Ba}_{0.25}\text{Nb}_2\text{O}_6$ (SBN-75) со структурой незаполненной тетрагональной вольфрамовой бронзы. Тонкие пленки SBN-75 на монокристаллических подложках MgO(001) были синтезированы одностадийным методом высокочастотного катодного распыления керамической мишени стехиометрического состава $\text{Sr}_{0.75}\text{Ba}_{0.25}\text{Nb}_2\text{O}_6$. На основе анализа температурно-частотных зависимостей относительной диэлектрической проницаемости ϵ'/ϵ_0 и тангенса угла диэлектрических потерь $\text{tg}\delta$ в интервале температур 20–800 К и частот измерительного электрического поля в диапазоне 10^2 – 10^6 Гц установлены температурная область сегнето-параэлектрического фазового перехода, температуры Бёрнса ($T_d = 520$ К) и Фогеля – Фулчера ($T_f = 280$ К) в керамике SBN-75. Высказано предположение о связи низкотемпературных аномалий (при $T < 150$ К) на кривых $\epsilon'/\epsilon_0(T)$ и $\text{tg}\delta(T)$ с сегнетоэлектрическим фазовым переходом. При рентгенодифракционном анализе установлено, что пленка SBN-75/MgO получена однофазной и эпитаксиальной. Выявлено существование ориентационных доменов в пленке SBN-75 с поворотом в плоскости сопряжения только на углы $\pm 18,4^\circ$ относительно осей подложки MgO. Определены в рамках тетрагонального приближения параметры элементарной ячейки пленки ($c = 3,948$ Å и $a = 12,49$ Å) и ее деформация в сравнении с параметрами ячейки объемного (керамического) образца.

Ключевые слова: фазовый переход, твердый раствор, диэлектрическая проницаемость, сегнетоэлектрик-релаксор.

STRUCTURE, PHASE TRANSITIONS AND DIELECTRIC PROPERTIES OF SBN-75 FERROELECTRIC-RELAXOR

A.V. Pavlenko^{1,2}, D.V. Stryukov¹

Abstract. The paper presents the results of the structural and dielectrical properties studies of ceramics and thin films based on $\text{Sr}_{0.75}\text{Ba}_{0.25}\text{Nb}_2\text{O}_6$ (SBN-75) ferroelectric-relaxor with the unfilled tetragonal tungsten bronze structure. SBN-75 thin films were synthesized on MgO(001) substrate by single-stage high-frequency cathode sputtering technique of a ceramic target with $\text{Sr}_{0.75}\text{Ba}_{0.25}\text{Nb}_2\text{O}_6$ stoichiometric composition. Based on the analysis of the temperature-frequency dependences of the relative dielectric constant (ϵ'/ϵ_0) and the dielectric loss tangent ($\text{tg}\delta$) in the temperature range 20–800 K and frequencies of the measuring electric field range 10^2 – 10^6 Hz the paraelectric-ferroelectric phase transition temperature area, Burns ($T_d = 520$ K) and Vogel-Fulcher ($T_f = 280$ K) temperatures have been obtained in SBN-75 ceramics. By X-Ray diffraction analysis it was found that SBN-75/MgO thin film is single-phased and epitaxial. Moreover, the existence of orientation domains in the SBN-75 thin film with rotation in the interface plane only at angles of $\pm 18.4^\circ$ relative to the axes of the MgO substrate was revealed. In tetragonal approximation lattice constants ($c = 3.948$ Å and $a = 12.49$ Å) and unit cell deformation compared to bulk (ceramics) lattice constants have been determined.

Keywords: phase transition, solid solution, dielectric permittivity, ferroelectric-relaxor.

¹ 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

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

ВВЕДЕНИЕ

Твердые растворы ниобатов бария-стронция $\text{Sr}_x\text{Ba}_{1-x}\text{Nb}_2\text{O}_6$ (SBNx), имеющих структуру незаполненной тетрагональной вольфрамовой бронзы, являются представителями одноосных сегнетоэлектриков-релаксоров [1]. Они характеризуются высокими электрооптическими, нелинейно-оптическими, пьезоэлектрическими и пирозлектрическими коэффициентами, что делает их перспективными для оптоэлектроники, нелинейной оптики, голографии и различных пьезоэлектрических приложений [2]. Кристаллическая структура SBNx представляет собой трехмерный каркас, сформированный сочлененными NbO_6 -октаэдрами, при этом формируется три типа каналов вдоль тетрагональной оси: треугольные, четырехугольные и пятиугольные [1; 3]. Пятиугольные каналы заполнены статистически атомами бария и стронция, четырехугольные – только атомами стронция. Треугольные каналы, согласно всем структурным исследованиям [4], являются незаполненными. В твердых растворах SBNx смещения атомов металлов относительно кислородных плоскостей вызывают возникновение

спонтанной поляризации (при переключении поляризации атомы металлов переходят через зеркальные плоскости (слои атомов кислорода)). Однако вероятностное заполнение атомами Ba и Sr своих позиций (по данным работы [4], в монокристаллах $\text{Sr}_{0,75}\text{Ba}_{0,25}\text{Nb}_2\text{O}_6$, выращенных методом Чехральского, заселенность барием и стронцием широких каналов составляет 30,9 % и 57,2 % соответственно, заселенность стронцием средних каналов – 71,5 %) приводит к появлению в них флуктуации химического состава по объему материала и, как следствие, к возникновению размытия сегнето-параэлектрического фазового перехода и проявлению в его окрестностях свойств сегнетоэлектриков-релаксоров [5]. Это имеет место в том числе и в тонких пленках SBNx [5; 6]. В работах [1; 4], в свою очередь, отмечено, что термодинамическая предыстория изготовления образцов (режимы выращивания в случае монокристаллов, регламент синтеза и спекания в случае керамики) может оказывать существенное влияние на распределение атомов Sr и, как следствие, приводит к невоспроизводимости свойств.

В данной работе представлены результаты исследования структуры и диэлектрических харак-

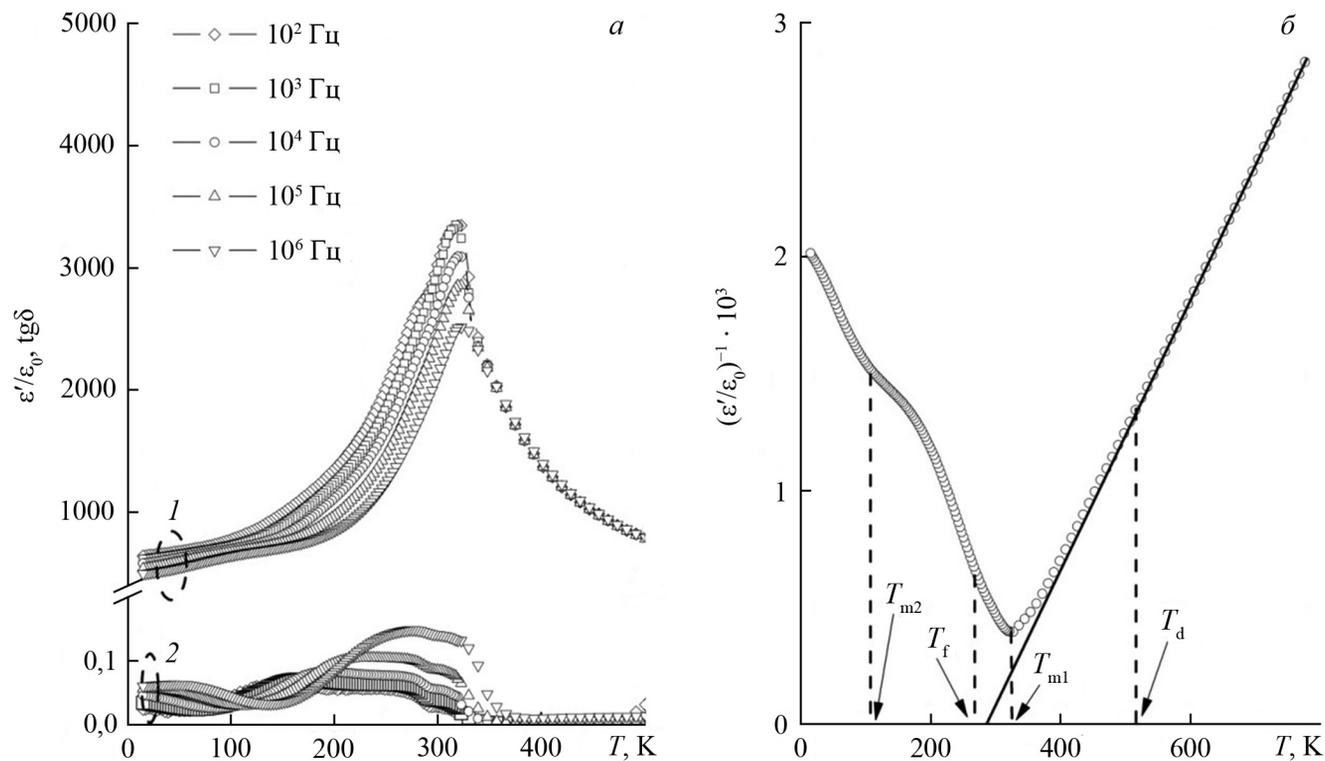


Рис. 1. Зависимости $\epsilon'/\epsilon_0(T)$ (1) и $\text{tg}\delta(T)$ (2) при $T = 20\text{--}600$ К на частотах $f = 10^2\text{--}10^6$ Гц, измеренные в режиме охлаждения (а), и $(\epsilon'/\epsilon_0)^{-1}(T)$ при $T = 20\text{--}800$ К на частоте $f = 10^6$ Гц (б) керамики SBN-75.

Fig. 1. $\epsilon'/\epsilon_0(T)$ (1) and $\text{tg}\delta(T)$ (2) dependences at temperature $T = 20\text{--}600$ K and frequency $f = 10^2\text{--}10^6$ Hz, in the cooling measure cycles (a) and $(\epsilon'/\epsilon_0)^{-1}(T)$ dependence at temperature $T = 20\text{--}800$ K and frequency $f = 10^6$ Hz (б) of SBN-75 ceramics.

теристик керамики, используемой нами в качестве мишени при высокочастотном распылении, и тонких пленок $\text{Ba}_{0,25}\text{Sr}_{0,75}\text{Nb}_2\text{O}_6$ (SBN-75), выращенных на монокристаллических подложках оксида магния.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ОБЪЕКТОВ

Керамика SBN-75 была изготовлена из карбонатов SrCO_3 , BaCO_3 и оксида Nb_2O_5 методом твердофазных реакций с последующим спеканием по обычной керамической технологии в отделе интеллектуальных материалов и нанотехнологий НИИ физики Южного федерального университета (Ростов-на-Дону). Керамике была свойственна тетрагональная симметрия с параметрами элементарной ячейки $a = 12,42 \pm 0,01 \text{ \AA}$ и $c = 3,908 \pm 0,001 \text{ \AA}$ [7].

Напыление пленок SBN-75 толщиной $\sim 300 \text{ нм}$ при давлении кислорода $0,5 \text{ Т}$ на подложку MgO ориентации 001 производили на установке высокочастотного распыления «Плазма 50 СЭ», где в качестве мишеней использовали керамику соответствующего стехиометрического состава. Начальная температура подложки (001) MgO составляла 673 К .

Рентгенофазовый анализ, структурное совершенство пленок, параметры элементарной ячейки в направлении нормали к плоскости подложки, а также ориентационные соотношения между пленкой и подложкой устанавливали рентгенографированием на модернизированном дифрактометре «ДРОН-4-07» методом $\theta/2\theta$ ($\text{Cu}_{\text{K}\alpha}$ -излучение) в Центре коллективного пользования Южного научного центра РАН (Ростов-на-Дону).

Температурные зависимости относительной диэлектрической проницаемости ϵ'/ϵ_0 ($\epsilon_0 = 8,75 \cdot 10^{-12} \text{ Ф/м}$ – диэлектрическая постоянная) и тангенса угла диэлектрических потерь $\text{tg}\delta$ образцов при $T = 20\text{--}800 \text{ К}$ и диапазоне частот $f = 10^2\text{--}10^6 \text{ Гц}$ получали с помощью измерительного стенда на базе LCR-метра Agilent 4980A. Для проведения измерений на поверхность керамики наносили пасту agomal 38 (DODUCO GmbH).

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

На рисунке 1 приведены результаты исследований диэлектрических характеристик (зависимости $\epsilon'/\epsilon_0(T, f)$ и $\text{tg}\delta(T, f)$) керамики SBN-75. Снижение температуры в интервале $300\text{--}800 \text{ К}$ сопровождается ростом ϵ'/ϵ_0 (при $T = 360\text{--}600 \text{ К}$ величина ϵ'/ϵ_0 от f практически не зависит) и формирование максимумов

$T_{\text{m}1}$, смещающихся в высокотемпературную область по мере увеличения f . Это, согласно работам [1; 3], связано с протекающим в SBN-75 фазовым переходом из параэлектрической (ПЭ) фазы (P4b2) в сегнетоэлектрическую (СЭ) (P4bm). При $T \sim 270\text{--}280 \text{ К}$ на кривых $\epsilon'/\epsilon_0(T, f)$ формируется аномалия, наиболее сильно заметная при низких частотах. При анализе зависимостей $(\epsilon'/\epsilon_0)^{-1}(T)$ (рис. 1б) установлено, что температура Бёрнса T_d (температура зарождения полярных нанодоменов в сегнетоэлектриках-релаксорах, соответствующая температуре, выше которой релаксоры ведут себя как классические СЭ в параэлектрической фазе (выполняется закон Кюри – Вейсса)) составляет $\sim 520 \text{ К}$.

Как видно из рисунка 2, зависимость $T_{\text{m}1}(f)$ описывается законом Фогеля – Фулчера:

$$f = f_0 \exp(E_{\text{act}} / (k \cdot (T_{\text{m}} - T_f))), \quad (1)$$

где f_0 – частота попыток преодоления потенциального барьера E_{act} , k – постоянная Больцмана, T_f – температура Фогеля – Фулчера, интерпретируемая как температура «статического замораживания» электрических диполей или перехода в состояние дипольного стекла. Рассчитанные значения E_{act} и f_0 равнялись $0,05 \text{ eV}$ и 10^{12} Гц соответственно и были сопоставимы с таковыми в сегнетоэлектриках-ре-

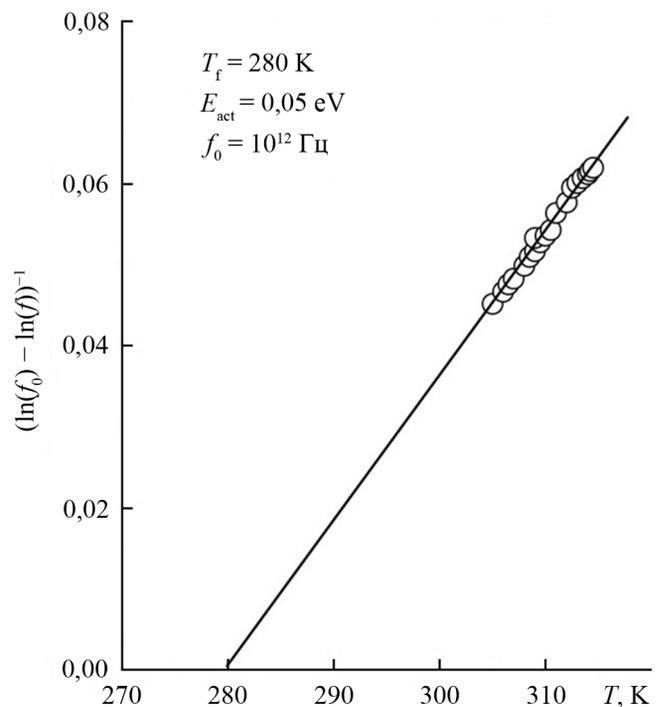


Рис. 2. Зависимость $(\ln(f_0) - \ln(f))^{-1}$ от T_{m} , иллюстрирующая закон Фогеля – Фулчера в керамике SBN-75.

Fig. 2. $(\ln(f_0) - \ln(f))^{-1}$ dependence on T_{m} which demonstrates the Vogel-Fulcher law.

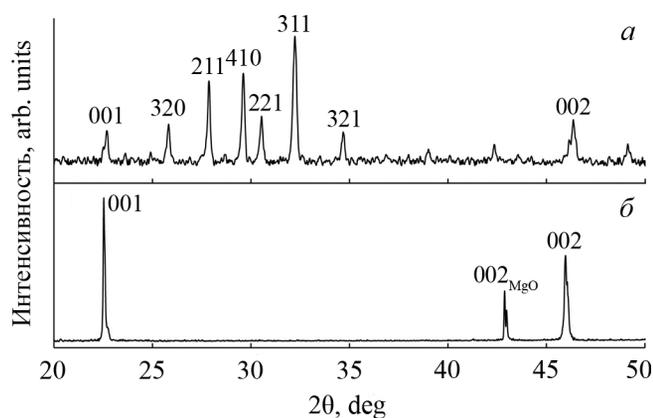


Рис. 3. θ - 2θ -рентгенограммы для керамики SBN-75 (*a*) и гетероструктуры SBN-75/MgO (*b*) при комнатной температуре.
Fig. 3. θ - 2θ diffractograms of SBN-75 ceramics (*a*) and SBN-75/MgO heterostructure (*b*) at room temperature.

лаксах системы SBNx [8]. Полученное значение $T_f = 280$ К позволяет связать аномалии на кривых $\epsilon'/\epsilon_0(T)$ и $\text{tg}\delta(T)$ в этой области температур с переходом SBN-75 из релаксорного (наполярного) состояния в макродоменное, в котором, учитывая данные работы [4], «обычные» объемные СЭ-домены сосуществуют с приповерхностными наноразмерными доменами. Полученные нами значения T_f превышают таковые в сравнении с монокристаллом [9] и близки к значениям в керамиках [8].

При температурах менее 200 К на зависимостях $\epsilon'/\epsilon_0(T)$ и $\text{tg}\delta(T)$ формируются размытые максимумы T_{m2} , смещающиеся в высокотемпературную область с ростом f . Петли диэлектрического гистерезиса в керамике SBN-75 при $T = 77$ К имели вид, характерный для сегнетоэлектриков. Учитывая результаты работ [10; 11], мы считаем, что возникновение аномалий в SBN-75 в этой области температур связано с низкотемпературным СЭ→СЭ фазовым переходом из тетрагональной в моноклинную фазу, в которой существует компонента спонтанной поляризации в перпендикулярном к оси c направлении [11].

Таким образом, полученные нами при исследовании диэлектрических характеристик керамики SBN-75 результаты говорят о том, что в материале в диапазоне температур 20–800 К происходят два размытых сегнетоэлектрических фазовых превращения. Диэлектрическая релаксация при ПЭ→СЭ-переходе (280–520 К) имеет недебаевский характер, что свидетельствует о сосуществовании SBN-75 ближнего и дальнего полярного порядков [12] в этой области вследствие флуктуаций химического состава. Эти закономерности в це-

лом имеют место и в поликристаллических тонких пленках SBN-75 [5].

На рентгенограмме θ - 2θ -сканирования гетероструктуры SBN-75/MgO (рис. 3) присутствовали только отражения, соответствующие твердым растворам SBNx и подложке MgO, что говорит об отсутствии примесных фаз в пленке. При ϕ -сканировании (221) отражения пленки SBN-75 и (113) отражения подложки MgO (рис. 4*a*) было установлено, что пленка ниобата бария-стронция выращена гетероэпитаксиально, а наличие на рентгенограмме 8 отражений свидетельствует о наличии в ней двух типов ориентационных доменов. При сравнении положения линий для (221) отражений пленки SBN-75 и (113) отражений подложки MgO видно, что кристаллографические оси [110] двух ориентационных доменов SBN-75 развернуты относительно оси [110] подложки MgO на углы $+18,4^\circ$ и $-18,4^\circ$ соответственно, а оси [001] подложки и ориентационных доменов сонаправлены. Формирование различных ориентационных доменов в пленках SBNx, гетероэпитаксиально выращенных на подложках MgO(001), отмечается в большинстве работ и связывается со спецификой согласования их кристаллических структур [13]. Однако в рамках используемой нами технологии синтеза пленок SBN-75 их реальная структура характеризуется наличием ориентационных доменов с поворотом только на $\pm 18,4^\circ$ относительно осей подложки.

Параметры элементарной ячейки пленки SBN-75, полученные в тетрагональном приближении, составили $a_f = 12,49 \pm 0,01$ Å, $c_f = 3,948 \pm 0,001$ Å. Для обоих ориентационных доменов, как видно из рисунка 4*b*, параметры элементарных ячеек не отличались. Величина деформаций элементарной ячейки в пленке в плоскости сопряжения с подложкой составила $\epsilon_{11} = (a_f - a_c) / a_c = 0,006$, а в перпендикулярном направлении $\epsilon_{33} = (c_f - c_c) / c_c = 0,01$, где a_f и c_f – параметры элементарной ячейки пленки, a_c и c_c – параметры элементарной ячейки объемного образца (керамики).

Таким образом, в пленке SBN-75 присутствуют значительные для структуры тетрагональной вольфрамовой бронзы деформации элементарной ячейки, что может привести к существенному изменению ее электрофизических и оптических свойств, а также к сдвигу температур СЭ-фазовых переходов в сравнении с объемными образцами. Этот вопрос является предметом наших дальнейших исследований.

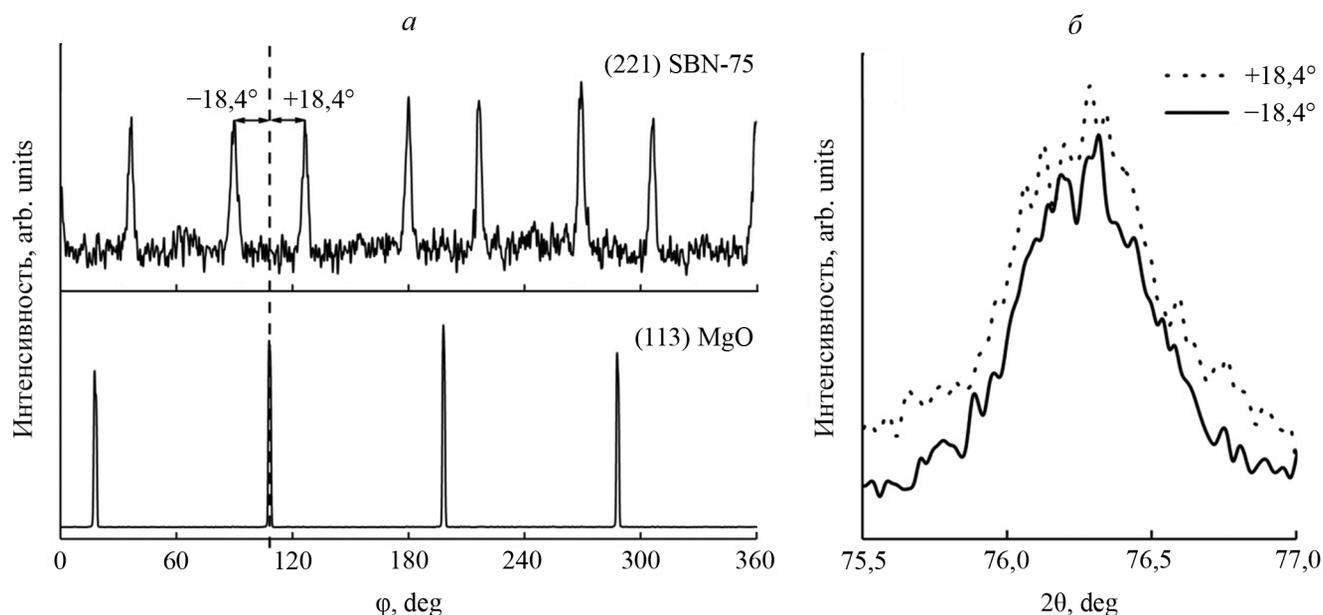


Рис. 4. φ -сканы отражений (221) пленки и (113) подложки (а) и θ - 2θ -рентгенограммы отражений (313) для двух ориентационных доменов $+18,4^\circ$ и $-18,4^\circ$ (б).

Fig. 4. φ -scans of (221) reflection of the film and (113) reflection of the substrate (a) and θ - 2θ diffractograms of (313) reflection for two orientation domains $+18.4^\circ$ and -18.4° (b).

ВЫВОДЫ

В работе представлены результаты исследований структуры и диэлектрических характеристик керамики и тонких пленок сегнетоэлектрика-релаксора SBN-75. На основе анализа диэлектрических свойств керамики SBN-75 в области температур 20–800 К определены последовательность и области фазовых превращений в объекте. При рентгендифракционных исследованиях гетероструктуры SBN-75/MgO установлено, что получена эпитаксиальная пленка SBN-75, в которой присутствует только два типа ориентационных доменов,

кристаллографические оси которых повернуты относительно осей подложки на $\pm 18,4^\circ$. Показано, что в пленке SBN-75 элементарная ячейка сильно деформирована относительно элементарной ячейки объемного образца. Полученные результаты могут быть использованы при разработке и изготовлении функциональных материалов на основе тонких пленок сегнетоэлектрика-релаксора $\text{Sr}_{0,75}\text{Ba}_{0,25}\text{Nb}_2\text{O}_6$.

Работа выполнена в рамках реализации государственного задания Южного научного центра РАН на 2018 г. (проект № 01201354247) и гранта Президента РФ № МК-4100.2018.2.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Кузьминов Ю.С. 1982. *Сегнетоэлектрические кристаллы для управления лазерным излучением*. М., Наука: 400 с.
- Ewbank M.D., Neurgaonkar R.R., Cory W.K., Feinberg J. 1987. Photorefractive properties of strontium-barium niobate. *J. Appl. Phys.* 62(2): 374–380. doi: 10.1063/1.339807
- 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.* 62(6): 960–965. doi: 10.1107/S0108768106038869
- Черная Т.С., Максимов Б.А., Волк Т.Р., Ивлева Л.И., Симонов В.И. 1997. Кристаллическая структура монокристаллов $\text{Ba}_{0,39}\text{Sr}_{0,61}\text{Nb}_2\text{O}_6$. *Кристаллография.* 42(3): 421–426.
- Santos I.A., Guerra J. de Los S., Araújo E.B., Mendes R.G., Eiras J.A. 2008. Mesoscopic structure evidenced by AC dielectric nonlinearities in $\text{Sr}_{0,75}\text{Ba}_{0,25}\text{Nb}_2\text{O}_6$ relaxor ferroelectric thin films. *Journal of Physics: Condensed Matter.* 20(13): 135209. doi: 10.1088/0953-8984/20/13/135209
- Павленко А.В., Захарченко И.Н., Анохин А.С., Куприна Ю.А., Киселева Л.И., Юзюк Ю.И. 2017. Структура, динамика решетки и диэлектрические характеристики пленок $\text{Sr}_{0,5}\text{Ba}_{0,5}\text{Nb}_2\text{O}_6$. *Физика твердого тела.* 59(5): 888–891. doi: 10.21883/FTT.2017.05.44376.382
- Павленко А.В., Назаренко А.В. 2018. Диэлектрические характеристики керамики $\text{Sr}_{0,75}\text{Ba}_{0,25}\text{Nb}_2\text{O}_6$. *Наука Юга России.* 14(2): 3–8. doi: 10.23885/2500-0640-2018-14-2-3-8
- Zhao Y., Wang J., Zhang L., Shi X., Liu Sh., Zhang D. 2016. Relaxor transition and properties of Mn-doped $\text{Sr}_x\text{Ba}_{1-x}\text{Nb}_2\text{O}_6$.

- ferroelectric ceramics. *Ceramics International*. 142(15): 16697–16702. doi: 10.1016/j.ceramint.2016.07.120
9. Dec J., Kleemann W., Woike Th., Pankrath R. 2000. Phase transitions in $\text{Sr}_{0.61}\text{Ba}_{0.39}\text{Nb}_2\text{O}_6$: Ce^{3+} : I. Susceptibility of clusters and domains. *Eur. Phys. J. B*. 14(4): 627–632. doi: 10.1007/s100510051071
 10. 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
 11. Пилипенко А.С., Бурханов А.И., Ивлева Л.И. 2009. Температурная эволюция диэлектрических и акустических параметров монокристаллов SBN, легированных хромом. *Физика твердого тела*. 51(3): 543–546.
 12. Лагута В.В., Глинчук М.Д., Кондакова И.В. 2004. Закон Фогеля – Фулчера – характерная особенность сегнетостекольной фазы в танталате калия, допированного литием. *Физика твердого тела*. 46(7): 1224–1230.
 13. Willmott P.R., Herger R., Patterson B.D., Windiks R. 2005. Experimental and theoretical study of the strong dependence of the microstructural properties of $\text{Sr}_x\text{Ba}_{1-x}\text{Nb}_2\text{O}_6$ thin films as a function of their composition. *Phys. Rev. B*. 71: 144114. doi: 10.1103/PhysRevB.71.144114
 5. Santos I.A., Guerra J. de Los S., Araújo E.B., Mendes R.G., Eiras J.A. 2008. Mesoscopic structure evidenced by AC dielectric nonlinearities in $\text{Sr}_{0.75}\text{Ba}_{0.25}\text{Nb}_{206}$ relaxor ferroelectric thin films. *Journal of Physics: Condensed Matter*. 20(13): 135209. doi: 10.1088/0953-8984/20/13/135209
 6. Pavlenko A.V., Zakharchenko I.N., Anokhin A.S., Kuprina Yu.A., Kiseleva L.I., Yuzyuk Yu.I. 2017. Structure, the lattice dynamic, and the dielectric characteristics of $\text{Sr}_{0.5}\text{Ba}_{0.5}\text{Nb}_2\text{O}_6$ films. *Physics of the Solid State*. 59(5): 909–913. doi: 10.1134/S1063783417050249
 7. Pavlenko A.V., Nazarenko A.B. 2018. Dielectric characteristics of $\text{Sr}_{0.75}\text{Ba}_{0.25}\text{Nb}_2\text{O}_6$ ceramics. *Nauka Yuga Rossii*. 14(2): 3–8. (In Russian). doi: 10.23885/2500-0640-2018-14-2-3-8
 8. Zhao Y., Wang J., Zhang L., Shi X., Liu Sh., Zhang D. 2016. Relaxor transition and properties of Mn-doped $\text{Sr}_x\text{Ba}_{1-x}\text{Nb}_2\text{O}_6$ ferroelectric ceramics. *Ceramics International*. 142(15): 16697–16702. doi: 10.1016/j.ceramint.2016.07.120
 9. Dec J., Kleemann W., Woike Th., Pankrath R. 2000. Phase transitions in $\text{Sr}_{0.61}\text{Ba}_{0.39}\text{Nb}_2\text{O}_6$: Ce^{3+} : I. Susceptibility of clusters and domains. *Eur. Phys. J. B*. 14(4): 627–632. doi: 10.1007/s100510051071
 10. 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
 11. Pilipenko A.S., Burkhanov A.I., Ivleva L.I. 2009. Evolution of the dielectric and acoustic parameters of chromium-doped SBN single crystals with variations in temperature. *Physics of the Solid State*. 51(3): 577–581. doi: 10.1134/S1063783409030238
 12. Laguta V.V., Glinchuk M.D., Kondakova I.V. 2004. The Vogel-Fulcher law as a criterion for identifying a mixed ferroelectric-glass phase in potassium tantalate doped with lithium. *Physics of the Solid State*. 46(7): 1262–1269. doi: 10.1134/1.1778451
 13. Willmott P.R., Herger R., Patterson B.D., Windiks R. 2005. Experimental and theoretical study of the strong dependence of the microstructural properties of $\text{Sr}_x\text{Ba}_{1-x}\text{Nb}_2\text{O}_6$ thin films as a function of their composition. *Phys. Rev. B*. 71: 144114. doi: 10.1103/PhysRevB.71.144114

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. Ewbank M.D., Neurgaonkar R.R., Cory W.K., Feinberg J. 1987. Photorefractive properties of strontium-barium niobate. *J. Appl. Phys.* 62(2): 374–380. doi: 10.1063/1.339807
3. 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*. 62(6): 960–965. doi: 10.1107/S0108768106038869
4. Chernaya T.S., Maksimov B.A., Verin I.V., Ivleva L.I., Simonov V.I. 1997. Crystal structure of $\text{Ba}_{0.39}\text{Sr}_{0.61}\text{Nb}_2\text{O}_6$ single crystals. *Crystallography Reports*. 42(3): 375–380.

Поступила 25.07.2018