

ISSN 1561-8323 (Print)  
ISSN 2524-2431 (Online)

**ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ**  
**TECHNICAL SCIENCES**

УДК 537.22, 537.9  
<https://doi.org/10.29235/1561-8323-2026-70-2-153-160>

Поступило в редакцию 23.01.2026  
Received 23.01.2026

**Д. В. Карпинский<sup>1</sup>, М. М. Прядко<sup>1</sup>, Д. В. Желудкевич<sup>1</sup>, С. И. Латушко<sup>1</sup>,  
Т. В. Латушко<sup>2</sup>, А. Н. Чобот<sup>1</sup>, С. Н. Пастушонок<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по материаловедению,  
Минск, Республика Беларусь

ул. П. Бровки, 19, 220072, Минск, Республика Беларусь

<sup>2</sup>Белорусский государственный медицинский университет, Минск, Республика Беларусь  
пр. Дзержинского, 83, 220083, Минск, Республика Беларусь

<sup>3</sup>Военная академия Республики Беларусь, Минск, Республика Беларусь  
пр. Независимости, 220, 220057, Минск, Республика Беларусь

**КРИСТАЛЛИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА И МАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА  
ТВЕРДЫХ РАСТВОРОВ  $\text{Bi}_{0,88}\text{Sm}_{0,12}\text{Fe}_{1-x}\text{Ti}_x\text{O}_3$**

(Представлено членом-корреспондентом В. М. Федосюком)

**Аннотация.** Твердые растворы феррита висмута, в которых ионы Bi и Fe замещены ионами Sm и Ti, с общей химической формулой  $\text{Bi}_{0,88}\text{Sm}_{0,12}\text{Fe}_{1-x}\text{Ti}_x\text{O}_3$  получены методом твердофазных реакций. Анализ кристаллической структуры, проведенный на основании рентгеноструктурных данных, а также результатов спектроскопии комбинационного рассеяния, свидетельствует о сосуществовании ромбоэдрической и орторомбической фаз в исследуемых составах в концентрационной области  $0 \leq x \leq 0,1$ . Показано, что при комнатной температуре остаточная намагниченность составов увеличивается с увеличением концентрации ионов Ti, достигая максимального значения при  $x = 0,08$ . При дальнейшем увеличении концентрации ионов титана наблюдается незначительное уменьшение остаточной намагниченности. Установлено, что понижение температуры приводит к уменьшению величины намагниченности, обусловленной взаимодействием Дзялошинского–Мории, что сопровождается изменением длин и углов связей Fe–O–Fe и искажениями октаэдров  $\text{FeO}_6$ .

**Ключевые слова:** феррит висмута, морфотропная фазовая граница, намагниченность, слабый ферромагнетизм, взаимодействие Дзялошинского–Мория

**Для цитирования.** Кристаллическая структура и магнитные свойства твердых растворов  $\text{Bi}_{0,88}\text{Sm}_{0,12}\text{Fe}_{1-x}\text{Ti}_x\text{O}_3$  / Д. В. Карпинский, М. М. Прядко, Д. В. Желудкевич [и др.] // Доклады Национальной академии наук Беларуси. – 2026. – Т. 70, № 2. – С. 153–160. <https://doi.org/10.29235/1561-8323-2026-70-2-153-160>

**Dmitry V. Karpinsky<sup>1</sup>, Matvey M. Pryadko<sup>1</sup>, Dmitry V. Zheludkevich<sup>1</sup>, Sergei I. Latushko<sup>1</sup>,  
Tatiana V. Latushko<sup>2</sup>, Aleksandra N. Chobot<sup>1</sup>, Sofiya N. Pastushonok<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Scientific-Practical Materials Research Centre of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Republic of Belarus  
19, P. Brovka Str., 220072, Minsk, Republic of Belarus

<sup>2</sup>Belarusian State Medical University, Minsk, Republic of Belarus  
Dzerzhinski Ave., 83, 220083, Minsk, Republic of Belarus

<sup>3</sup>Military Academy of the Republic of Belarus, Minsk, Republic of Belarus  
220, Nezavisimosti Ave., 220057, Minsk, Republic of Belarus

**CRYSTAL STRUCTURE AND MAGNETIC PROPERTIES OF SOLID SOLUTIONS  $\text{Bi}_{0,88}\text{Sm}_{0,12}\text{Fe}_{1-x}\text{Ti}_x\text{O}_3$**

(Communicated by Corresponding Member Valery M. Fedosyuk)

**Abstract.** Solid solutions of bismuth ferrite, in which Bi and Fe ions are replaced by Sm and Ti ions, with the general chemical formula  $\text{Bi}_{0,88}\text{Sm}_{0,12}\text{Fe}_{1-x}\text{Ti}_x\text{O}_3$  were obtained by solid-phase reactions. Crystal structure analysis, based on X-ray diffraction data and Raman spectroscopy results, indicates the coexistence of rhombohedral and orthorhombic phases

in the studied compounds in the concentration range  $0 \leq x \leq 0.1$ . It is shown that at room temperature, the residual magnetization of the compounds increases with increasing Ti ion concentration, reaching a maximum value at  $x = 0.08$ . With a further increase in the titanium ion concentration, a slight decrease in the residual magnetization is observed. It was found that a decrease in temperature leads to a decrease in the magnitude of magnetization caused by the Dzyaloshinskii–Moriya interaction, which is accompanied by a change in the lengths and angles of the Fe–O–Fe bonds and distortions of the  $\text{FeO}_6$  octahedra.

**Keywords:** bismuth ferrite, morphotropic phase boundary, magnetization, weak ferromagnetism, Dzyaloshinskii–Moriya interaction

**For citation.** Karpinsky D. V., Pryadko M. M., Zheludkevich D. V., Latushko S. I., Latushko T. V., Chobot A. N., Pastushonok S. N. Crystal structure and magnetic properties of solid solutions  $\text{Bi}_{0.88}\text{Sm}_{0.12}\text{Fe}_{1-x}\text{Ti}_x\text{O}_3$ . *Doklady Natsional'noi akademii nauk Belarusi = Doklady of the National Academy of Sciences of Belarus*, 2026, vol. 70, no. 2, pp. 153–160 (in Russian). <https://doi.org/10.29235/1561-8323-2026-70-2-153-160>

**Введение.** Известно, что замещение ионов висмута и железа в исходном феррите висмута редкоземельными ионами и ионами переходных металлов в соответствующих позициях структуры перовскита позволяет существенно изменять структурное состояние твердых растворов на основе  $\text{BiFeO}_3$  и управлять их физико-химическими параметрами и свойствами [1–3]. Тесная взаимосвязь между структурными параметрами, магнитными и электрическими свойствами таких материалов делает их перспективными для различных практических применений (в устройствах, основанных на магнитоэлектрическом взаимодействии, в качестве датчиков электромагнитного поля, температуры, давления и др.).

Твердые растворы феррита висмута с химическим составом, соответствующим области морфотропных фазовых границ, характеризуются максимальной чувствительностью к внешним воздействиям: температуре, давлению, электромагнитным полям и т. д. [4–6]. Химическое замещение ионов Bi редкоземельными элементами (RE) приводит к структурному переходу из полярной ромбоэдрической (R) фазы в антиполярную либо неполярную орторомбическую (O) фазу в зависимости от ионного радиуса ионов-заместителей [1; 7]. Следует отметить, что система  $\text{Bi}_{1-x}\text{Sm}_x\text{FeO}_3$  занимает особое место среди твердых растворов  $\text{BiFeO}_3$  с замещением редкоземельными ионами, так как характеризуется наиболее узким в серии  $\text{Bi}_x\text{RE}_x\text{FeO}_3$  концентрационным интервалом, соответствующим однофазной антиполярной орторомбической структуре [8–10].

Двойное замещение в А- и В-позициях перовскита позволяет контролируемо изменять исходную ромбоэдрическую структуру, стабилизировать более симметричные (тетрагональную и кубическую) фазы и таким образом выступать в качестве эффективного инструмента для управления структурным состоянием и функциональными свойствами твердых растворов на основе феррита висмута [2; 5; 11]. В системе  $\text{BiFeO}_3$  с двойным замещением ионами самария и титана наблюдается сосуществование полярной ромбоэдрической и антиполярной орторомбической фаз, при этом увеличение концентрации ионов Ti приводит к стабилизации исходной R-фазы, несмотря на меньшие ионные радиусы ионов Ti по сравнению с ионами Fe [2].

В данной работе рассмотрена эволюция кристаллической структуры и магнитных свойств твердых растворов  $\text{Bi}_{0.88}\text{Sm}_{0.12}\text{Fe}_{1-x}\text{Ti}_x\text{O}_3$  ( $0 \leq x \leq 0,1$ ), которые характеризуются сосуществованием ромбоэдрической и орторомбической фаз. В сообщении проанализированы причины нетривиальной эволюции намагниченности составов, выражающейся в уменьшении величины намагниченности при понижении температуры, рассмотрено соответствие структурных и магнитных фаз, установлена взаимосвязь параметров магнитной структуры с геометрией длин химических связей Fe–O и значениями соответствующих углов Fe–O–Fe.

**Материалы и методы исследования.** Твердые растворы с химической формулой  $\text{Bi}_{0.88}\text{Sm}_{0.12}\text{Fe}_{1-x}\text{Ti}_x\text{O}_3$  ( $0 \leq x \leq 0,1$ ) были получены методом твердофазных реакций с использованием двухступенчатой технологии. Исходные реагенты  $\text{Bi}_2\text{O}_3$  (Alfa Aesar, 99,9 %),  $\text{Sm}_2\text{O}_3$  (99,99 %),  $\text{TiO}_2$  (Alfa Aesar, 99,8 %) и  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (Alfa Aesar, 99,9 %) были взяты в стехиометрических соотношениях и тщательно перемешаны в планетарной шаровой мельнице RETSCH в течение 5 ч. Первоначальный синтез проводился при температуре 870 °C (24 ч), затем образцы медленно охлаждали до 100 °C в течение 10 ч. Второй отжиг осуществлялся при тех же температурных условиях. Фазовый анализ проводили при комнатной температуре с помощью рентгеновской порошковой дифракции на дифрактометре Adani POWDIX 600 в геометрии Брэгга–Брентано с  $\text{CuK}_\alpha$ -излучением.

Анализ кристаллической структуры проводился методом Ритвельда с использованием программного комплекса FullProf. Магнитные свойства составов анализировались с помощью СКВИД-магнитометра (MPMS3-7T Quantum Design). Исследование зависимости намагниченности от магнитного поля проводилось при температурах 5 и 300 К в полях до 5 Тл. Зависимость намагниченности от температуры исследовалась в режиме постоянного тока в поле 500 Э.

**Результаты и их обсуждение.** Известно, что кристаллическая структура твердых растворов  $\text{Bi}_{1-x}\text{Sm}_x\text{FeO}_3$  в диапазоне концентраций  $0,12 < x < 0,14$  является однофазной орторомбической с антиполярным расположением дипольных моментов [12]. В диапазоне концентраций  $0,10 < x \leq 0,12$  сосуществуют ромбоэдрическая и антиполярная орторомбические фазы. На рис. 1 представлена дифрактограмма состава  $\text{Bi}_{0,88}\text{Sm}_{0,12}\text{FeO}_3$ , уточненная с использованием двухфазной модели (верхний ряд меток обозначает фазу R3c (R), второй ряд меток – фазу Pbam (O)). На вставке показаны концентрационные изменения рефлексов, характерных для ромбоэдрической и антиполярной орторомбической фаз соединений  $\text{Bi}_{0,88}\text{Sm}_{0,12}\text{Fe}_{1-x}\text{Ti}_x\text{O}_3$ . Данные рентгеноструктурного анализа подтверждают высокую фазовую чистоту полученных твердых растворов. Анализ рентгенограмм исследуемых твердых растворов свидетельствует о том, что замещение ионов железа, находящихся в В-позиции структуры перовскита, ионами титана приводит к стабилизации ромбоэдрической фазы. Объемная доля орторомбической фазы постепенно уменьшается от ~50 % в составе  $\text{Bi}_{0,88}\text{Sm}_{0,12}\text{FeO}_3$  до ~20 % в составе  $\text{Bi}_{0,88}\text{Sm}_{0,12}\text{Fe}_{0,94}\text{Ti}_{0,06}\text{O}_3$ . В твердых растворах с большим содержанием Ti объемная доля орторомбической фазы сохраняется приблизительно на одинаковом уровне.

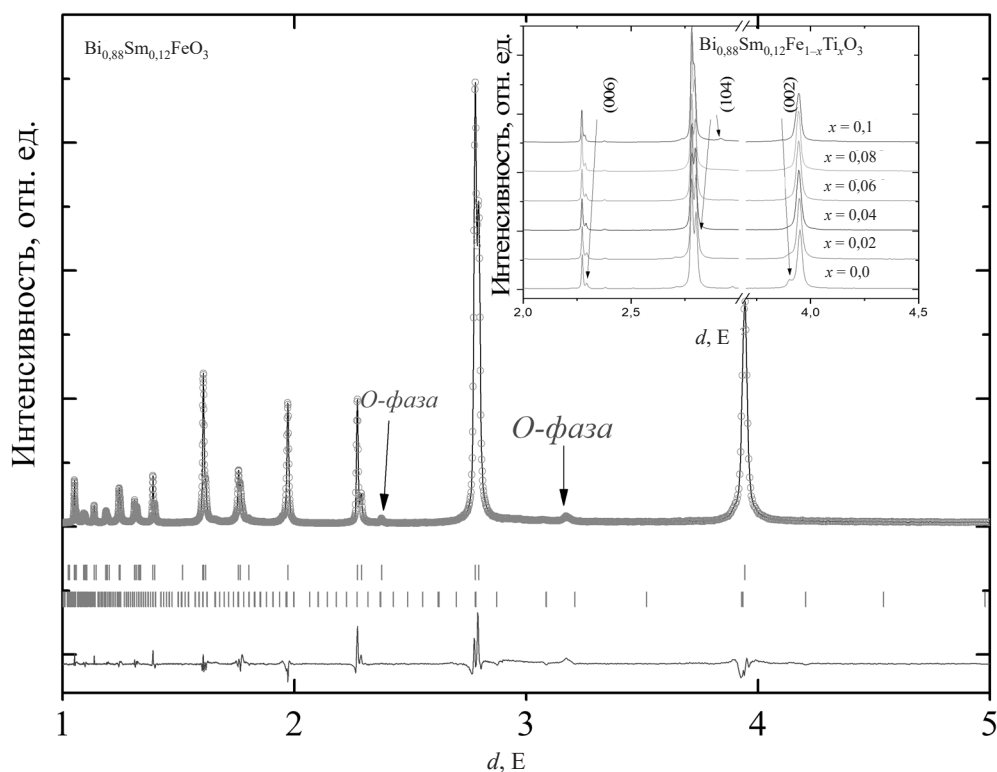


Рис. 1. Дифрактограмма состава  $\text{Bi}_{0,88}\text{Sm}_{0,12}\text{FeO}_3$

Fig. 1. Diffraction pattern of the  $\text{Bi}_{0,88}\text{Sm}_{0,12}\text{FeO}_3$

При замещении в исходном составе  $\text{Bi}_{0,88}\text{Sm}_{0,12}\text{FeO}_3$  ионов Fe ионами Ti происходит уменьшение структурных параметров обеих структурных фаз. Таким образом, объем элементарной ячейки ромбоэдрической фазы уменьшается с  $V_R = 61,60 \text{ \AA}^3$  в исходном составе  $\text{Bi}_{0,88}\text{Sm}_{0,12}\text{FeO}_3$  до  $V_R = 61,36 \text{ \AA}^3$  в составе с  $x = 0,1$  (таблица). При этом происходит уменьшение величины ромбоэдрических искажений, что подтверждается уменьшением соотношения параметров  $c/a$ . Объем

элементарной ячейки антиполярной орторомбической фазы также уменьшается с содержанием Ti, однако эти изменения менее выражены по сравнению с изменениями, наблюдаемыми для ромбоэдрической фазы – 0,35 % против 0,4 %. Сосуществующие фазы в твердых растворах составляют практически равные объемные доли в исходном составе  $\text{Bi}_{0,88}\text{Sm}_{0,12}\text{FeO}_3$ . При увеличении концентрации ионов титана до 10 % соотношение сосуществующих фаз смещается в пользу доминирования ромбоэдрической фазы с соотношением  $\sim 80 / 20$ .

**Структурные параметры твердых растворов  $\text{Bi}_{0,88}\text{Sm}_{0,12}\text{Fe}_{1-x}\text{Ti}_x\text{O}_3$ , вычисленные на основании данных рентгеновской дифракции**

**Structural parameters of the  $\text{Bi}_{0,88}\text{Sm}_{0,12}\text{Fe}_{1-x}\text{Ti}_x\text{O}_3$  solid solutions calculated from X-ray diffraction data**

Состав Compound	Объем элементарной ячейки ромбоэдрической фазы, $\text{Å}^3$ Unit cell volume of the rhombohedral phase, $\text{Å}^3$		Объем элементарной ячейки орторомбической фазы, $\text{Å}^3$ Unit cell volume of the orthorhombic phase, $\text{Å}^3$		Объемная доля ромбоэдрической фазы, % Volume fraction of rhombohedral phase, %	Объемная доля орторомбической фазы, % Volume fraction of orthorhombic phase, %
$x = 0,0$	369,57(8)	61,59(6)	489,25(4)	61,15(6)	47,51(8)	52,49(2)
$x = 0,02$	369,34(6)	6,55(7)	489,39(4)	61,17(4)	39,84(7)	60,16(5)
$x = 0,04$	368,87(9)	61,47(9)	488,41(4)	61,05(10)	81,37(7)	18,63(8)
$x = 0,06$	368,19(13)	61,36(5)	487,17(7)	60,89(7)	80,03(7)	19,97(9)
$x = 0,08$	368,14(12)	61,35(6)	487,27(11)	60,90(8)	81,10(8)	18,90(6)
$x = 0,1$	368,16(7)	61,36(10)	487,53(9)	60,94(2)	79,48(9)	20,52(6)

Следует отметить, что структурные изменения, происходящие в твердых растворах  $\text{Bi}_{0,88}\text{Sm}_{0,12}\text{Fe}_{1-x}\text{Ti}_x\text{O}_3$  при химическом замещении ионами Ti, не характерны для систем на основе феррита висмута. В исходном соединении  $\text{BiFeO}_3$  химическое замещение ионов Fe ионами с меньшим ионным радиусом обычно приводит к сжатию элементарной ячейки и стабилизации фаз с более низкой симметрией. В случае твердых растворов  $\text{Bi}_{0,88}\text{Sm}_{0,12}\text{Fe}_{1-x}\text{Ti}_x\text{O}_3$  химическое легирование приводит к монотонному уменьшению параметров элементарной ячейки, при этом стабилизируется более симметричная ромбоэдрическая структура.

Известно, что морфология твердых растворов в значительной степени влияет на их структурное состояние и функциональные свойства, что особенно ярко выражено для твердых растворов в области морфотропной фазовой границы. Морфология и химический состав твердых растворов  $\text{Bi}_{0,88}\text{Sm}_{0,12}\text{Fe}_{1-x}\text{Ti}_x\text{O}_3$  были оценены на основе данных сканирующей электронной микроскопии и энергодисперсионной рентгеновской спектроскопии. Твердые растворы характеризуются узким распределением размеров зерен в диапазоне  $\sim(0,4-2)$  мкм, что указывает на высокую химическую однородность полученных составов (рис. 2). Для исходного состава  $\text{Bi}_{0,88}\text{Sm}_{0,12}\text{FeO}_3$  среднее значение размера зерен составляет  $\sim 1,0$  мкм и постепенно уменьшается с повышением концентрации ионов Ti до  $\sim 0,8$  мкм для состава с  $x = 0,1$  (рис. 2, вставки). Зерна характеризуются округлой формой с острыми краями, что характерно для соединений с орторомбической структурой. Размер зерен предполагает наличие множества сосуществующих структурных фаз внутри одного кристаллита, что подтверждается дифракционными данными. Рост и формирование в процессе синтеза зерен, состоящих из кристаллитов различных структурных фаз, указывают на высокую химическую однородность твердых растворов. Распределение ионов, характерных для двух сосуществующих фаз, не превышает 1 %, что сопоставимо с точностью метода энергодисперсионной рентгеновской спектроскопии. Следует также отметить, что данные электронной микроскопии подтверждают близкие к стехиометрическим значения содержания кислорода наряду с небольшим (1–2 %) дефицитом заселенности ионов Bi и Fe, что может уравновесить электронейтральность соединений и таким образом компенсировать образование ионов  $\text{Ti}^{4+}$ . Средний размер зерен твердых растворов порядка 1 мкм обусловлен высокой химической реакционной способностью ионов Sm по сравнению с ионами Bi, а также более легкой диффузией ионов в соединениях со смешанным структурным состоянием. Анализ СЭМ-изображений указывает на незначительные различия в средних размерах твердых растворов, что исключает существенное влияние морфологии зерен на магнитные свойства составов.

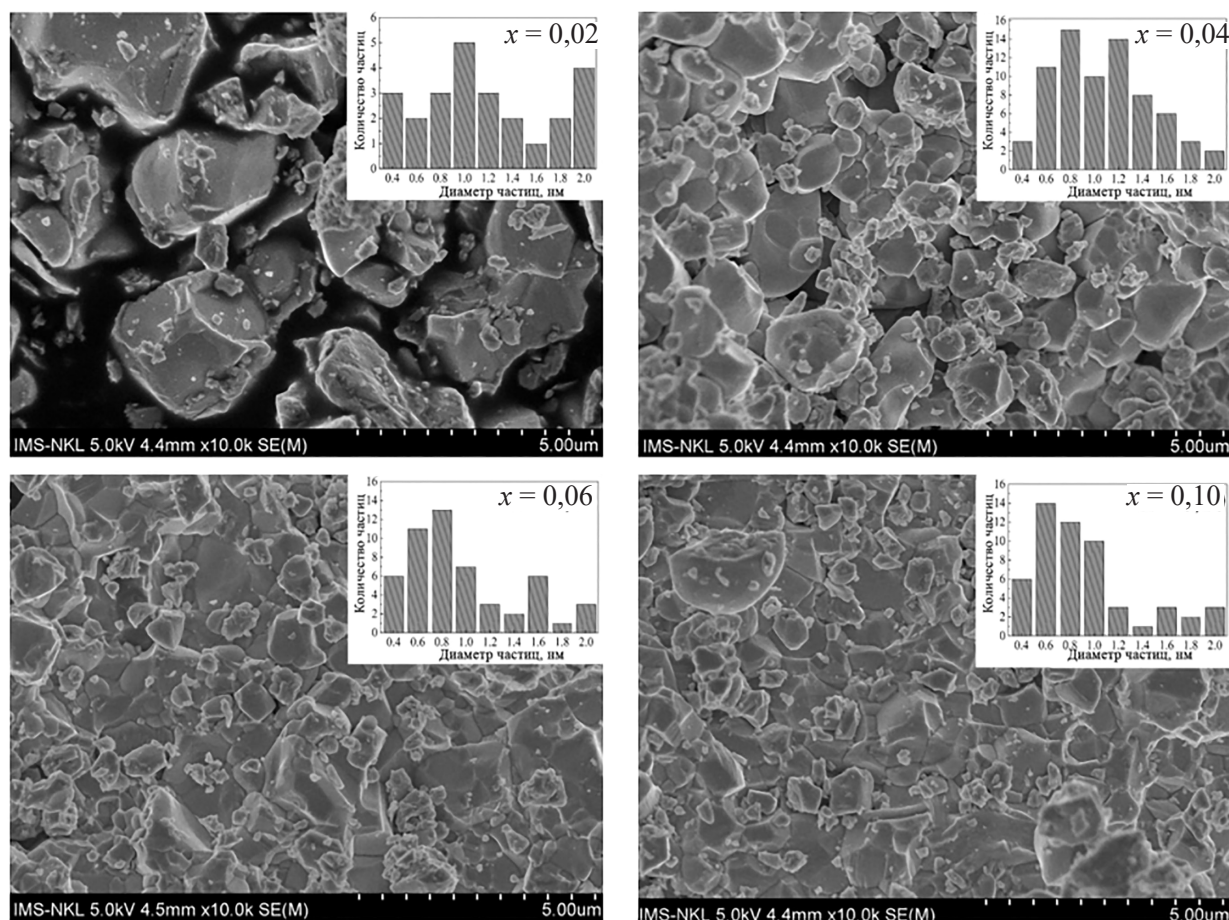


Рис. 2. СЭМ-изображения соединений  $\text{Bi}_{0,88}\text{Sm}_{0,12}\text{Fe}_{1-x}\text{Ti}_x\text{O}_3$

Fig. 2. SEM images of the compounds  $\text{Bi}_{0,88}\text{Sm}_{0,12}\text{Fe}_{1-x}\text{Ti}_x\text{O}_3$

Результаты исследования магнитных свойств твердых растворов  $\text{Bi}_{0,88}\text{Sm}_{0,12}\text{Fe}_{1-x}\text{Ti}_x\text{O}_3$  при комнатной температуре ( $T = 300 \text{ K}$ ) и температуре 5 K представлены на рис. 3. Как видно из графиков (рис. 3, *a*), при комнатной температуре с повышением концентрации ионов Ti наблюдается увеличение значений остаточной намагниченности твердых растворов от  $M_R \sim 0,15 \text{ emu/g}$  для исходного состава с  $x = 0$  до  $M_R \sim 0,26 \text{ emu/g}$  для состава с  $x = 0,08$ . При дальнейшем увеличении концентрации ионов Ti наблюдается уменьшение остаточной намагниченности. Для состава с  $x = 0,1$  она составляет  $\sim 0,24 \text{ emu/g}$ . Увеличение концентрации ионов титана приводит также к монотонному уменьшению коэрцитивной силы составов от  $H_C \sim 0,95 \text{ T}$  для исходного состава ( $x = 0$ ) до  $H_C \sim 0,63 \text{ T}$  для состава с  $x = 0,1$ .

При температуре 5 K (рис. 3, *b*) с увеличением концентрации Ti наблюдается увеличение остаточной намагниченности составов от  $M_R \sim 0,08 \text{ emu/g}$  для исходного состава ( $x = 0$ ) до  $M_R \sim 0,19 \text{ emu/g}$  для состава с  $x = 0,1$ . Следует отметить, что при этом коэрцитивная сила сохраняется постоянной для всех исследуемых составов и составляет  $H_C \sim 1,1 \text{ T}$ .

Таким образом, при понижении температуры до 5 K наблюдается уменьшение величины остаточной намагниченности, а также увеличение значений коэрцитивной силы исследуемых составов. Аномальное поведение намагниченности составов при понижении температуры, вероятно, обусловлено конкурирующим действием нескольких компонент магнитной структуры. Магнитную структуру составов можно рассматривать как смешанное состояние с двумя АФМ-фазами, связанными с двумя различными структурными фазами, и дополнительной компонентой, связанной со «свободными» спинами, расположенными в областях фазовых границ. Наряду с упомянутыми компонентами остаточной намагниченности альтернативным вкладом в остаточную намаг-

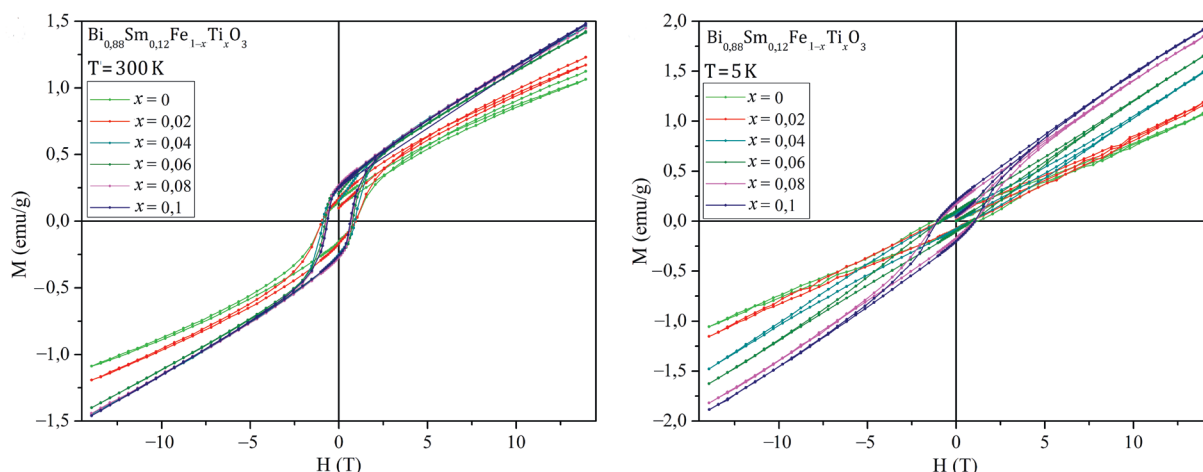


Рис. 3. Полевые зависимости намагниченности составов  $\text{Bi}_{0,88}\text{Sm}_{0,12}\text{Fe}_{1-x}\text{Ti}_x\text{O}_3$  при температурах 5 и 300 К

Fig. 3. Field dependences of the magnetization of  $\text{Bi}_{0,88}\text{Sm}_{0,12}\text{Fe}_{1-x}\text{Ti}_x\text{O}_3$  compounds at temperatures of 5 and 300 K

намагниченность может быть взаимодействие между ионами  $\text{Fe}^{2+}$  и  $\text{Fe}^{3+}$ , образованными для компенсации ионов  $\text{Ti}^{4+}$  и сохранения электронейтральности твердых растворов. Образование ионов  $\text{Fe}^{4+}$  также возможно, как и связанные с ними отрицательные сверхобменные взаимодействия между ионами  $\text{Fe}^{3+}\text{--Fe}^{4+}$  и  $\text{Fe}^{4+}\text{--Fe}^{4+}$ , что может существенно влиять на магнитное состояние составов. Указанные обменные взаимодействия свидетельствуют о смешанном магнитном состоянии составов. Анализируя компоненты остаточной намагниченности, следует отметить доминирующий вклад компоненты, связанной со слабым ферромагнетизмом, по сравнению с компонентой, связанной со спинами на фазовой границе, оказывающей незначительное влияние на спонтанную намагниченность. Уменьшение остаточной намагниченности при низких температурах не связано с изменением фазового состояния составов и наиболее вероятно происходит из-за изменений длин и углов связей  $\text{Fe}\text{--O}\text{--Fe}$ , что и приводит к уменьшению спонтанной намагниченности.

**Заключение.** Структурные данные, полученные с помощью рентгеновской дифрактометрии, позволили сделать вывод о сосуществовании доминирующей ромбоэдрической фазы и антиполярной орторомбической фазы в твердых растворах  $\text{Bi}_{0,88}\text{Sm}_{0,12}\text{Fe}_{1-x}\text{Ti}_x\text{O}_3$  с  $0 \leq x \leq 0,1$ , причем объемная доля орторомбической фазы уменьшается с повышением концентрации Ti. Измерения намагниченности показали отсутствие прямой корреляции между остаточной намагниченностью составов и объемными долями сосуществующих фаз. Эволюция остаточной намагниченности соединений обусловлена главным образом наличием «свободных» спинов и пространственно-модулированной спиновой структурой. Намагниченность составов существенно зависит от температуры и обусловлена искажениями октаэдров, связанными с изменением длин и углов связей  $\text{Fe}\text{--O}\text{--Fe}$  при химическом замещении ионов железа ионами титана.

**Благодарности.** Работа выполнена при финансовой поддержке БРФФИ (проект Ф24В-004).

**Acknowledgements.** The work was carried out with financial support by the BRFFR (project Ф24В-004).

#### Список использованных источников

1. Structure and piezoelectric properties of Sm-doped  $\text{BiFeO}_3$  ceramics near the morphotropic phase boundary / D. V. Karpinsky, I. O. Troyanchuk, A. V. Trukhanov [et al.] // *Materials Research Bulletin*. – 2019. – Vol. 112. – P. 420–425. <https://doi.org/10.1016/j.materresbull.2018.08.002>
2. Structural transformation and multiferroic properties of Sm and Ti co-doped  $\text{BiFeO}_3$  ceramics with Fe vacancies / G. Yanhong, Z. Jianguo, Z. Weiying [et al.] // *Ceramics International*. – 2017. – Vol. 43, N 17. – P. 14666–14671. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2017.07.187>
3. Microscopic origin of the high piezoelectric response of Sm-doped  $\text{BiFeO}_3$  near the morphotropic phase boundary / Z. Liao, W. Sun, Q. Zhang [et al.] // *Journal of Applied Physics*. – 2019. – Vol. 125. – Art. 175113. <https://doi.org/10.1063/1.5091509>
4. Phase structure and electrical properties of  $\text{BiFeO}_3\text{--BaTiO}_3$  ceramics near the morphotropic phase boundary / L. Tang, X. Zhou, M. Habib [et al.] // *Ceramics International*. – 2023. – Vol. 49, N 19. – P. 31965–31974. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2023.07.160>

5. Electric/magnetic behaviors of Nd/Ti co-doped BiFeO<sub>3</sub> ceramics with morphotropic phase boundary / H. Ke, L. Zhang, H. Zhang [et al.] // *Scripta Materialia*. – 2019. – Vol. 164. – P. 6–11. <https://doi.org/10.1016/j.scriptamat.2019.01.025>
6. Role of reversible phase transformation for strong piezoelectric performance at the morphotropic phase boundary / H. Liu, J. Chen, H. Huang [et al.] // *Physical Review Letters*. – 2018. – Vol. 120, N 5. – Art. 055501. <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.120.055501>
7. Arnold, D. C. Composition-driven structural phase transitions in rare-earth-doped BiFeO<sub>3</sub> ceramics: a review / D. C. Arnold // *IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency Control*. – 2015. – Vol. 62, N 1. – P. 62–82. <https://doi.org/10.1109/tuffc.2014.006668>
8. Crystal structure and concentration-driven phase transitions in Lu<sub>(1-x)</sub>Sc<sub>x</sub>FeO<sub>3</sub> (0 ≤ x ≤ 1) prepared by the sol-gel method / A. Pakalniškis, D. O. Alikin, A. P. Turygin [et al.] // *Materials*. – 2022. – Vol. 15, N 3. – Art. 1048. <https://doi.org/10.3390/ma15031048>
9. Evolution of the crystal structure and magnetic properties of Sm-doped BiFeO<sub>3</sub> ceramics across the phase boundary region / D. V. Karpinsky, A. Pakalniškis, G. Niaura [et al.] // *Ceramics International*. – 2021. – Vol. 47, N 4. – P. 5399–5406. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2020.10.120>
10. Reversible phase transition induced large piezoelectric response in Sm-doped BiFeO<sub>3</sub> with a composition near the morphotropic phase boundary / Z. Liao, F. Xue, W. Sun [et al.] // *Physical Review B*. – 2017. – Vol. 95, N 21. – Art. 214101. <https://doi.org/10.1103/PhysRevB.95.214101>
11. A correlation between crystal structure and magnetic properties in co-doped BiFeO<sub>3</sub> ceramics / D. V. Karpinsky, M. V. Silibin, A. V. Trukhanov [et al.] // *Journal of Physics and Chemistry of Solids*. – 2019. – Vol. 126. – P. 164–169. <https://doi.org/10.1016/j.jpcs.2018.11.006>
12. Evolution of magnetization of Bi<sub>1-y</sub>Sm<sub>y</sub>Fe<sub>1-x</sub>Ti<sub>x</sub>O<sub>3</sub> ceramics at the morphotropic phase boundary attested by multistep magnetization measurements, time aging and electric field / D. V. Karpinsky, D. V. Zhaludkevich, S. I. Latushka [et al.] // *Ceramics International*. – 2024. – Vol. 50, N 22. – P. 44806–44813. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2024.08.237>

## References

1. Karpinsky D. V., Troyanchuk I. O., Trukhanov A. V., Willinger M., Khomchenko V. A., Kholkin A. L., Sikolenko V., Maniecki T., Maniukiewicz W., Dubkov S. V., Silibin M. V. Structure and piezoelectric properties of Sm-doped BiFeO<sub>3</sub> ceramics near the morphotropic phase boundary. *Materials Research Bulletin*, 2019, vol. 112, pp. 420–425. <https://doi.org/10.1016/j.materresbull.2018.08.002>
2. Yanhong G., Jianguo Z., Weiyang Z., Haiwu Z., Laimei L., Wanping C. Structural transformation and multiferroic properties of Sm and Ti co-doped BiFeO<sub>3</sub> ceramics with Fe vacancies. *Ceramics International*, 2017, vol. 43, no. 17, pp. 14666–14671. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2017.07.187>
3. Liao Z., Sun W., Zhang Q., Li J.-F., Zhu J. Microscopic origin of the high piezoelectric response of Sm-doped BiFeO<sub>3</sub> near the morphotropic phase boundary. *Journal of Applied Physics*, 2019, vol. 125, art. 175113. <https://doi.org/10.1063/1.5091509>
4. Tang L., Zhou X., Habib M., Zou J., Yuan X., Zhang Y., Zhang D. Phase structure and electrical properties of BiFeO<sub>3</sub>–BaTiO<sub>3</sub> ceramics near the morphotropic phase boundary. *Ceramics International*, 2023, vol. 49, no. 19, pp. 31965–31974. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2023.07.160>
5. Ke H., Zhang L., Zhang H., Li F., Luo H., Cao L., Wang W., Wang F., Jia D., Zhou Y. Electric/magnetic behaviors of Nd/Ti co-doped BiFeO<sub>3</sub> ceramics with morphotropic phase boundary. *Scripta Materialia*, 2019, vol. 164, pp. 6–11. <https://doi.org/10.1016/j.scriptamat.2019.01.025>
6. Liu H., Chen J., Huang H., Fan L., Ren Y., Pan Z., Deng J., Chen L.-Q., Xing X. Role of reversible phase transformation for strong piezoelectric performance at the morphotropic phase boundary. *Physical Review Letters*, 2018, vol. 120, no. 5, art. 055501. <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.120.055501>
7. Arnold D. C. Composition-driven structural phase transitions in rare-earth-doped BiFeO<sub>3</sub> ceramics: a review. *IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency Control*, 2015, vol. 62, no. 1, pp. 62–82. <https://doi.org/10.1109/tuffc.2014.006668>
8. Pakalniškis A., Alikin D. O., Turygin A. P., Zhaludkevich A. L., Silibin M. V., Zhaludkevich D. V., Niaura G., Zarkov A., Skaudžius R., Karpinsky D. V., Kareiva A. Crystal structure and concentration-driven phase transitions in Lu<sub>(1-x)</sub>Sc<sub>x</sub>FeO<sub>3</sub> (0 ≤ x ≤ 1) prepared by the sol-gel method. *Materials*, 2022, vol. 15, no. 3, art. 1048. <https://doi.org/10.3390/ma15031048>
9. Karpinsky D. V., Pakalniškis A., Niaura G., Zhaludkevich D. V., Zhaludkevich A. L., Latushka S. I., Silibin M., Serdechnova M., Garamus V. M., Lukowiak A., Stręk W., Kaya M., Skaudžius R., Kareiva A. Evolution of the crystal structure and magnetic properties of Sm-doped BiFeO<sub>3</sub> ceramics across the phase boundary region. *Ceramics International*, 2021, vol. 47, no. 4, pp. 5399–5406. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2020.10.120>
10. Liao Z., Xue F., Sun W., Song D., Zhang Q., Li J.-F., Chen L.-Q., Zhu J. Reversible phase transition induced large piezoelectric response in Sm-doped BiFeO<sub>3</sub> with a composition near the morphotropic phase boundary. *Physical Review B*, 2017, vol. 95, no. 21, art. 214101. <https://doi.org/10.1103/PhysRevB.95.214101>
11. Karpinsky D. V., Silibin M. V., Trukhanov A. V., Zhaludkevich A. L., Maniecki T., Maniukiewicz W., Sikolenko V., Paixão J. A., Khomchenko V. A. A correlation between crystal structure and magnetic properties in co-doped BiFeO<sub>3</sub> ceramics. *Journal of Physics and Chemistry of Solids*, 2019, vol. 126, pp. 164–169. <https://doi.org/10.1016/j.jpcs.2018.11.006>
12. Karpinsky D. V., Zhaludkevich D. V., Latushka S. I., Silibin M. V., Tran N., Belik A. A., Hussain F., Trukhanov A. V., Yao Y., Nhi B. D., Thanh T. D., Tho P. T. Evolution of magnetization of Bi<sub>1-y</sub>Sm<sub>y</sub>Fe<sub>1-x</sub>Ti<sub>x</sub>O<sub>3</sub> ceramics at the morphotropic phase boundary attested by multistep magnetization measurements, time aging and electric field. *Ceramics International*, 2024, vol. 50, no. 22, pp. 44806–44813. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2024.08.237>

**Информация об авторах**

*Карпинский Дмитрий Владимирович* – д-р физ.-мат. наук, доцент, заведующий лабораторией, заместитель директора. E-mail: karpinsky@ifftp.bas-net.by.

*Прядко Матвей Максимович* – мл. науч. сотрудник. E-mail: Matvey\_pryadko@mail.ru.

*Желудкевич Дмитрий Викторович* – мл. науч. сотрудник. E-mail: geludkevichdima@mail.ru.

*Латушко Сергей Игоревич* – мл. науч. сотрудник. E-mail: latushkasi@gmail.com.

*Латушко Татьяна Викторовна* – канд. мед. наук, доцент. E-mail: latushkatv@gmail.com.

*Чобот Александра Николаевна* – канд. физ.-мат. наук, ст. науч. сотрудник. E-mail: a.n.chobot@tut.by.

*Пастушонок Софья Николаевна* – канд. физ.-мат. наук, доцент. E-mail: sn195333@gmail.com.

**Information about the authors**

*Karpinsky Dmitry V.* – D. Sc. (Physics and Mathematics), Assistant Professor, Head of the Laboratory, Deputy Director. E-mail: karpinsky@ifftp.bas-net.by.

*Pryadko Matvey M.* – Junior Researcher. E-mail: Matvey\_pryadko@mail.ru.

*Zheludkevich Dmitry V.* – Junior Researcher. E-mail: geludkevichdima@mail.ru.

*Latushko Siarhei I.* – Junior Researcher. E-mail: latushkasi@gmail.com.

*Latushko Tatiana V.* – Ph. D. (Medicine), Assistant Professor. E-mail: latushkatv@gmail.com.

*Chobot Aleksandra N.* – Ph. D. (Physics and Mathematics), Senior Researcher. E-mail: a.n.chobot@tut.by.

*Pastushonok Sofija N.* – Ph. D. (Physics and Mathematics), Assistant Professor. E-mail: sn195333@gmail.com.