

На рис. 2, б и в приведены результаты определения бактериостатических свойств образцов краски в диффузионных тестах. Анализ полученных результатов позволяет сделать следующие заключения, что бактерии *Pseudomonas fluorescens* малочувствительны к исследованным образцам, в то время как санитарно-показательные бактерии *Staphylococcus aureus* проявляют выраженную чувствительность, о чем свидетельствуют более широкие зоны ингибирования роста. Как и по отношению к грибам, наиболее активно сдерживает рост бактерий образец 3, который характеризуется универсальными (антибактериальными и антифунгальными) свойствами. Бактериостатические свойства образцов краски убывают в ряду: 3→2→1→К.

Таким образом, наибольшую антибактериальную и антифунгальную активность проявляет образец краски 3, наименьшую – 1. Образец 2 характеризуется промежуточной активностью. Контрольный образец ВД краски также проявляет слабую биоцидную активность.

**Выводы.** Анализ эксплуатационных свойств ЛКМ и данных об их стойкости к микробиологическому разрушению позволяет сделать вывод, что наиболее эффективной биоцидной добавкой является фосфат ПГМГ. Краска с добавкой ПГМГ·Ф обладает универсальными (антибактериальными и антифунгальными) свойствами и в то же время ее технологические свойства полностью соответствуют нормативным, а физико-механические свойства покрытий из ЛКМ с добавкой ПГМГ·Ф не уступают покрытиям на основе промышленно производимой краски. Водно-дисперсионная стирол-акриловая краска с добавкой ПГМГ·ГХ несколько уступает краске с добавкой ПГМГ·Ф по биоцидным и физико-механическим свойствам. Однако процесс синтеза ПГМГ·ГХ протекает через меньшее количество стадий по сравнению с получением ПГМГ·Ф, поэтому в случае более низких требований к стойкости краски к микробиологическому разрушению целесообразнее использовать ПГМГ·ГХ. Это позволит достигнуть оптимального сочетания эксплуатационных свойств ВД красок и затрат на их производство.

### Литература

1. Sauer F. // Лакокрасочная промышленность. 2009. № 8. С. 16–18.
2. Gillat J. // Лакокрасочные материалы и их применение. 2006. № 4. С. 10–16.
3. Кузнецова Н. В. // Снабженец. 2002. №6. С. 63–67.
4. Пат. 12656, РБ, 2009.
5. Пат. 13600, РБ, 2010.
6. Воинцева И. И., Гембицкий П. А. Полигуанидины – дезинфекционные средства и полифункциональные добавки в композиционные материалы. М.: ЛКМ-пресс, 2009.

V. A. DOBYSH, M. A. LOYKO, N. Y. KOKTYSH, L. I. ANTANOUSKAYA

### POLYMERIC BIOCIDES FOR THE WATER-DISPERSION PAINT MATERIALS

#### Summary

The performance and biocidal properties of water-dispersion styrene-acrylic paints containing in the structure polymeric polyhexamethyleneguanidine biocides were studied. Found that the most effective biocide additive is polyhexamethyleneguanidine phosphate. The administration of biocidal component does not change the operational characteristics of the formed films.

УДК 621.318.1

А. А. ЗАТЮПО, Л. А. БАШКИРОВ

### КРИСТАЛЛИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА И МАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА МУЛЬТИФЕРРОЙКОВ СИСТЕМЫ $\text{BiFeO}_3\text{--LaCoO}_3$

Белорусский государственный технологический университет, Минск

**Введение.** В настоящее время значительно вырос интерес к изучению веществ с аномальными электрическими и магнитными свойствами, который вызван возможностями применения их в устройствах, использующих взаимное влияние магнитных и электрических сигналов. Данные вещества называют мультиферроиками или сегнетомагнетиками. Связь между магнитной и электрической подсистемами в сегнетомагнетиках, проявляющаяся в виде магнитоэлектрических эффектов, предоставляет возможность с помощью электрического поля управлять магнитными свойствами материала и, наоборот, осуществлять модуляцию электрических свойств магнитным полем. Все это позволяет говорить о том, что мульт-



тиферроики с большой величиной магнитоэлектрического эффекта могут найти применение в различных областях сенсорной электроники, спинтроники, устройствах обработки и хранения информации и др. [1–5].

К настоящему времени синтезированы подобные соединения, принадлежащие к нескольким структурным типам, среди которых главное место занимают материалы с перовскитоподобной структурой. До сих пор одним из наиболее перспективных мультиферроиков считается перовскит  $\text{BiFeO}_3$ , в котором дипольное упорядочение существует до 1100 К и антиферромагнитное упорядочение до  $\approx 640$  К [1–3], что открывает широкие возможности применения данного сегнетомагнетика при комнатной температуре. Более того, на его основе могут быть получены разнообразные твердые растворы, что еще больше расширяет прикладную значимость подобных соединений. Однако широкому практическому использованию  $\text{BiFeO}_3$  препятствует низкий уровень магнитоэлектрических взаимодействий, обусловленный существованием пространственно-модулированной спиновой структуры циклоидного типа (каждый атом железа окружен шестью атомами железа с неколлинеарным антиферромагнитным упорядочением спинов), период модуляции которой несоразмерен с периодом кристаллической решетки. В таких фазах линейный магнитоэлектрический эффект отсутствует, а проявляется только квадратичный магнитоэлектрический эффект, который по величине значительно меньше линейного [1]. Существуют различные способы подавления пространственно-модулированной спиновой структуры, вследствие чего имеются предпосылки получения сегнетомагнетиков с большим линейным магнитоэлектрическим эффектом: приложение сильного по величине магнитного поля, изовалентное замещение ионов висмута  $\text{Bi}^{3+}$  в  $\text{BiFeO}_3$  ионами редкоземельных элементов, а также гетеровалянтное замещение ионов  $\text{Bi}^{3+}$  ионами щелочноземельных элементов и ионов железа  $\text{Fe}^{3+}$  ионами титана  $\text{Ti}^{4+}$ , изготовление тонких пленок феррита висмута и др. При этом легирование  $\text{BiFeO}_3$  ионами редкоземельных элементов также увеличивает спонтанную поляризацию и намагниченность  $\text{BiFeO}_3$  [1–5].

Как показывает анализ многочисленных публикаций по результатам исследований  $\text{BiFeO}_3$  и твердых растворов на его основе, во-первых, в литературе практически отсутствуют сведения о свойствах твердых растворов на основе феррита висмута  $\text{BiFeO}_3$ , в котором проводилось бы одновременное изовалентное замещение и ионов висмута  $\text{Bi}^{3+}$  и ионов  $\text{Fe}^{3+}$ , во-вторых, изучаются лишь отдельные составы твердых растворов, а не полные их концентрационные ряды. В связи с этим целью настоящей работы – установление закономерностей влияния изовалентного замещения ионов  $\text{Bi}^{3+}$  в  $\text{BiFeO}_3$  ионами  $\text{La}^{3+}$  и эквивалентного количества ионов железа  $\text{Fe}^{3+}$  ионами  $\text{Co}^{3+}$  на кристаллическую структуру и магнитные свойства образующихся твердых растворов  $\text{Bi}_{1-x}\text{La}_x\text{Fe}_{1-x}\text{Co}_x\text{O}_3$ .

**Методика эксперимента.** Синтез поликристаллических образцов твердых растворов  $\text{Bi}_{1-x}\text{La}_x\text{Fe}_{1-x}\text{Co}_x\text{O}_3$  ( $0 \leq x \leq 1,0$ ) осуществлен методом твердофазных реакций из оксидов  $\text{Bi}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{La}_2\text{O}_3$  и  $\text{Co}_3\text{O}_4$ . Порошки исходных соединений, взятых в заданных молярных соотношениях, смешивали и молили в течение 30 мин в планетарной мельнице с добавлением этанола. Полученную шихту с добавлением этанола прессовали под давлением 50–75 МПа в таблетки диаметром 25 мм и высотой 5–7 мм и затем обжигали при 800 °С на воздухе в течение 8 ч. После предварительного обжига таблетки дробили, перемалывали, прессовали в бруски длиной 30 мм и сечением 5×5 мм<sup>2</sup>. Приготовление однофазного  $\text{BiFeO}_3$  несколько затруднено из-за сложности фазовой диаграммы системы  $\text{Bi}_2\text{O}_3 - \text{Fe}_2\text{O}_3$ , допускающей формирование еще двух бинарных соединений –  $\text{Bi}_2\text{Fe}_4\text{O}_9$  и  $\text{Bi}_{25}\text{FeO}_{39}$  [6,7]. В связи с этим в зависимости от состава условия синтеза образцов системы  $\text{Bi}_{1-x}\text{La}_x\text{Fe}_{1-x}\text{Co}_x\text{O}_3$  на воздухе варьировались в широких пределах:  $T = (870-1150)$  °С и длительностью от 10 мин до 8 ч. Чем больше ионов висмута замещено ионами редкоземельного элемента, тем выше была температура синтеза.

Рентгеновские дифрактограммы получали на дифрактометре D8 ADVANCE с использованием  $\text{CuK}_\alpha$ -излучения. Параметры кристаллической структуры ферритов-кобальтитов висмута, лантана  $\text{Bi}_{1-x}\text{La}_x\text{Fe}_{1-x}\text{Co}_x\text{O}_3$  определяли при помощи рентгеноструктурного табличного процессора RTP и данных картотеки Международного центра дифракционных данных (ICDD JCPDS).

Удельную намагниченность ( $\sigma_{\text{уд}}$ ) и удельную магнитную восприимчивость ( $\chi_{\text{уд}}$ ) твердых растворов  $\text{Bi}_{1-x}\text{La}_x\text{Fe}_{1-x}\text{Co}_x\text{O}_3$  измеряли методом Фарадея в магнитном поле  $H = 8,6$  кЭ в интервале температур 77–1000 К на установке лаборатории физики магнитных материалов ГО «Научно-практический центр НАН Беларуси по материаловедению».

**Результаты и их обсуждение.** В системе  $\text{BiFeO}_3\text{--LaCoO}_3$  оба компонента имеют кристаллическую структуру ромбоэдрически искаженного перовскита. Рентгенограммы образцов системы  $\text{BiFeO}_3 - \text{LaCoO}_3$  (рис. 1), обожженных при температуре  $T_1 = 800$  °С в течение 8 ч,  $T_2 = 830$  °С в течение 30 мин ( $0 \leq x \leq 0,4$ ) и  $T_3 = 1150$  °С в течение 2 ч ( $0,5 \leq x \leq 1,0$ ), показали, что в данной системе образуется непрерывный ряд твердых растворов со структурой перовскита. При этом образцы твердых растворов  $\text{Bi}_{1-x}\text{La}_x\text{Fe}_{1-x}\text{Co}_x\text{O}_3$  ( $x = 0; 0,05; 0,1$  и  $0,7; 0,8; 0,9; 1,0$ ) имеют ромбоэдрическое искажение элементарной ячейки перовскита. Для  $\text{BiFeO}_3$  параметры элементарной ячейки имели следующие значения:  $a = 3,963$  Å и  $\alpha = 89^\circ 44'$ , что хо-



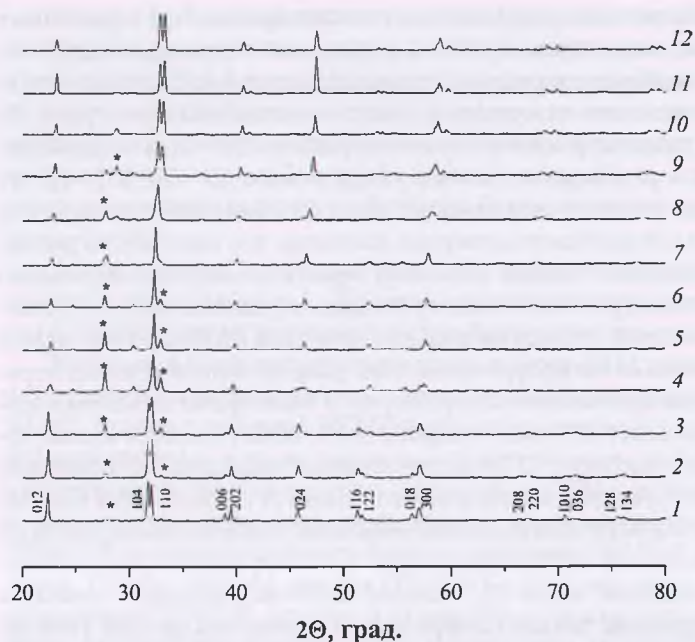


Рис. 1. Рентгеновские дифрактограммы образцов  $\text{Bi}_{1-x}\text{La}_x\text{Fe}_{1-x}\text{Co}_x\text{O}_3$  при различных значениях  $x$ : 1 – 0; 2 – 0,05; 3 – 0,1; 4 – 0,2; 5 – 0,3; 6 – 0,4; 7 – 0,5; 8 – 0,6; 9 – 0,7; 10 – 0,8; 11 – 0,9; 12 – 1,0; \* – фазы  $\text{Bi}_{25}\text{FeO}_{40}$ ,  $\text{Bi}_2\text{Fe}_4\text{O}_9$

рошо согласуется с литературными данными [8]. При увеличении степени замещения ионов  $\text{Fe}^{3+}$  ионами  $\text{Co}^{3+}$  и ионов  $\text{Bi}^{3+}$  ионами  $\text{La}^{3+}$  ( $0,2 \leq x < 0,7$ ) наблюдается переход от ромбоэдрически искаженной структуры перовскита  $\text{BiFeO}_3$  к орторомбически искаженной структуре перовскита. Это видно из анализа рентгеновских дифрактограмм образцов  $\text{Bi}_{1-x}\text{La}_x\text{Fe}_{1-x}\text{Co}_x\text{O}_3$  со значениями  $0 \leq x \leq 0,2$ , на которых при увеличении степени замещения  $x$  наблюдается постепенное слияние двух близко расположенных рентгеновских пиков в области углов ( $2\theta$ ) 32; 39; 51; 57; 67;  $76^\circ$  в один деформированный несимметричный пик. Твердые растворы  $\text{Bi}_{1-x}\text{La}_x\text{Fe}_{1-x}\text{Co}_x\text{O}_3$  ( $x = 0,7; 0,8; 0,9; 1,0$ ) имели кристаллическую структуру ромбоэдрически искаженного перовскита  $\text{LaCoO}_3$ . Это показывает, что в двойной системе  $\text{BiFeO}_3 - \text{LaCoO}_3$  граница перехода кристаллической структуры твердых растворов  $\text{Bi}_{1-x}\text{La}_x\text{Fe}_{1-x}\text{Co}_x\text{O}_3$  от ромбоэдрически искаженной структуры перовскита ( $R3c$ ) для  $\text{BiFeO}_3$  в орторомбически искаженную структуру перовскита расположена около составов твердых растворов со значением  $0,1 < x < 0,2$ , а при значении  $0,6 < x < 0,7$  наблюдается переход от орторомбической структуры к ромбоэдрической структуре  $\text{LaCoO}_3$  ( $R\bar{3}c$ ). В области составов твердых растворов ( $0,2 \leq x \leq 0,6$ ) с орторомбической структурой перовскита параметры кристаллической решетки  $a, b, c$  постепенно уменьшаются: от значений  $a = 3,934 \text{ \AA}$ ,  $b = 3,924 \text{ \AA}$ ,  $c = 3,935 \text{ \AA}$ ,  $V = 60,744 \text{ \AA}^3$  для  $\text{Bi}_{0,8}\text{La}_{0,2}\text{Fe}_{0,8}\text{Co}_{0,2}\text{O}_3$  до  $a = 3,894 \text{ \AA}$ ,  $b = 3,894 \text{ \AA}$ ,  $c = 3,899 \text{ \AA}$ ,  $V = 59,118 \text{ \AA}^3$  для твердого раствора  $\text{Bi}_{0,5}\text{La}_{0,5}\text{Fe}_{0,5}\text{Co}_{0,5}\text{O}_3$  (таблица). При этом параметры кристаллической решетки для  $\text{LaCoO}_3$ , полученные в настоящей работе, хорошо согласуются со значениями, приведенными в работе [9] ( $a = 5,3778 \text{ \AA}$ ,  $\alpha = 60,80^\circ$ ). Следует отметить, что эффективный ионный радиус  $r$  трехвалентного висмута  $\text{Bi}^{3+}$   $r_{\text{Bi}^{3+}} = 1,20 \text{ \AA}$  больше эффективного ионного радиуса трехвалентного лантана  $\text{La}^{3+}$   $r_{\text{La}^{3+}} = 1,04 \text{ \AA}$  при одинаковом анионном окружении [10]. Замещение трехвалентных ионов висмута  $\text{Bi}^{3+}$  трехвалентными ионами лантана  $\text{La}^{3+}$  приводит к постепенному уменьшению объема элементарной ячейки. При этом эффективные ионные радиусы  $r$  трехвалентных ионов  $\text{Fe}^{3+}$  и  $\text{Co}^{3+}$  при одинаковом анионном окружении отличаются незначительно и составляют соответственно  $r_{\text{Fe}^{3+}} = 0,67 \text{ \AA}$  и  $r_{\text{Co}^{3+}} = 0,64 \text{ \AA}$  [10].

Параметры кристаллической решетки твердых растворов  $\text{Bi}_{1-x}\text{La}_x\text{Fe}_{1-x}\text{Co}_x\text{O}_3$

Степень замещения $x$	$a, \text{ \AA}$	$b, \text{ \AA}$	$c, \text{ \AA}$	Угол $\alpha$ , град	$V, \text{ \AA}^3$	Структура
0	3,962	–	–	89,433	62,190	$R (R3c)$
0,05	3,961	–	–	89,474	62,117	$R (R3c)$
0,1	3,955	–	–	89,642	61,872	$R (R3c)$
0,2	3,934	3,924	3,935	–	60,744	$O (Pnma)$
0,3	3,913	3,928	3,892	–	59,817	$O (Pnma)$
0,4	3,897	3,911	3,873	–	59,030	$O (Pnma)$
0,5	3,894	3,894	3,899	–	59,118	$O (Pnma)$
0,7	5,409	–	–	60,733	113,744	$R (R\bar{3}c)$
0,8	5,396	–	–	60,706	112,832	$R (R\bar{3}c)$
0,9	5,383	–	–	60,769	112,203	$R (R\bar{3}c)$
1,0	5,375	–	–	60,816	11,817	$R (R\bar{3}c)$

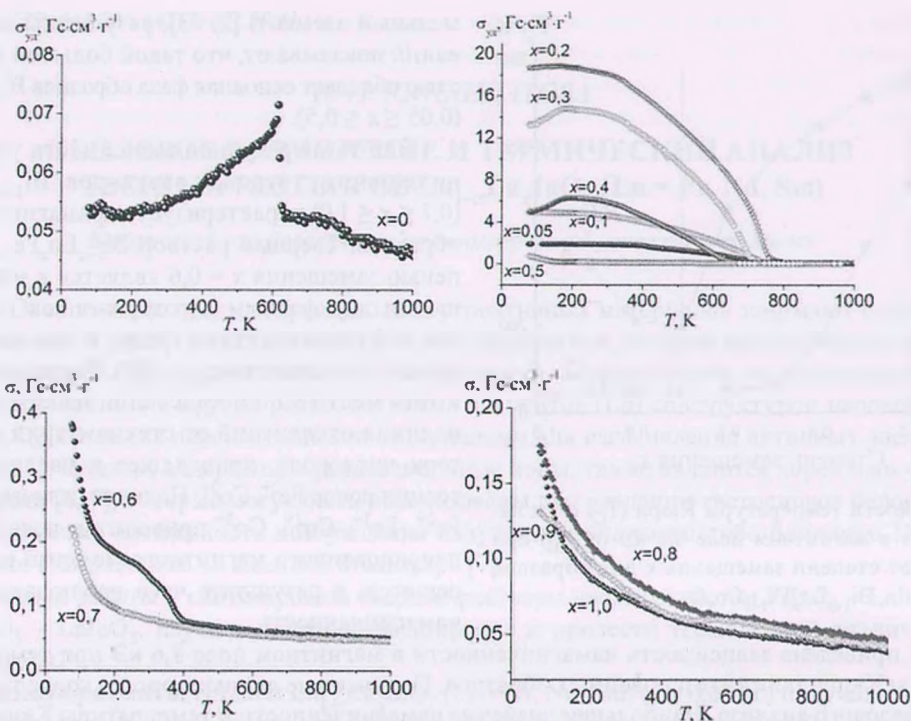


Рис. 2. Температурные зависимости удельной намагниченности ( $\sigma_{уд}$ ) образцов  $\text{Bi}_{1-x}\text{La}_x\text{Fe}_{1-x}\text{Co}_x\text{O}_3$  при различных значениях  $x$

На дифрактограммах образцов твердых растворов  $\text{Bi}_{1-x}\text{La}_x\text{Fe}_{1-x}\text{Co}_x\text{O}_3$  ( $0 \leq x \leq 0,8$ ) присутствуют примесные фазы, в частности, антиферромагнитная  $\text{Bi}_2\text{Fe}_4\text{O}_9$  (с орторомбической структурой и температурой Нееля  $T_N = 260$  К) [11] и парамагнитная  $\text{Bi}_{25}\text{FeO}_{40}$  (рис. 1), количество которых для образца  $\text{BiFeO}_3$  составляет  $\approx 5\%$ . При увеличении степени замещения  $x$  содержание фаз типа муллита  $\text{Bi}_2\text{Fe}_4\text{O}_9$  и типа силленита  $\text{Bi}_{25}\text{FeO}_{40}$  немного увеличивается, что свидетельствует о термической неустойчивости  $\text{Bi}_{1-x}\text{La}_x\text{Fe}_{1-x}\text{Co}_x\text{O}_3$  и сложном механизме протекания твердофазных реакций в системах на основе феррита висмута, имеющего температуру плавления ( $T = 950$  °С) значительно меньше температуры плавления второго компонента  $\text{LaCoO}_3$  (1600 °С) [9].

Экспериментально полученные в поле  $H = 8,6$  кЭ зависимости удельной намагниченности ( $\sigma_{уд}$ ,  $\text{Гс}\cdot\text{см}^3/\text{г}$ ) исследованных ферритов-кобальтитов лантана, висмута  $\text{Bi}_{1-x}\text{La}_x\text{Fe}_{1-x}\text{Co}_x\text{O}_3$  приведены на рис. 2. На зависимости удельной намагниченности ( $\sigma_{уд}$ ) от  $T$  для  $\text{BiFeO}_3$  (рис. 2) наблюдается резко выраженный максимум восприимчивости в точке перехода антиферромагнитной составляющей в парамагнитную, позволяющей определить температуру Нееля:  $T_N \approx 640$  К. Значение эффективного магнитного момента иона железа  $\text{Fe}^{3+}$  в  $\text{BiFeO}_3$ , определенное по линейной зависимости  $1/\chi_{уд}$  в области температур  $T > 640$  К, равное  $\mu_{эфф,Fe}^{3+} = 6,39$   $\mu_B$ , оказалось несколько больше теоретического  $\mu_{эфф,Fe}^{3+} = 5,92$   $\mu_B$ , рассчитанного из предположения полного «замораживания» орбитальных моментов. При увеличении степени замещения ионов висмута ионами лантана и ионов железа ионами кобальта эффективный магнитный момент  $\mu_{эфф,Co}^{3+}$ ,  $\mu_{эфф,Fe}^{3+}$  уменьшается (эффективный магнитный момент ионов  $\text{Fe}^{3+}$  и  $\text{Co}^{3+}$  для высокоспинового состояния равен 5,92 и 4,9  $\mu_B$  соответственно).

При повышении степени замещения  $x$  от 0,05 до 0,5 происходит значительное увеличение  $\sigma_{уд}$  образцов системы  $\text{Bi}_{1-x}\text{La}_x\text{Fe}_{1-x}\text{Co}_x\text{O}_3$ . Такое поведение намагниченности нельзя объяснить присутствием парамагнитных примесных фаз типа муллита и силленита в этих образцах. Увеличение намагниченности может быть связано с индуцированным магнитным полем 8,6 кЭ переходом твердых растворов в упорядоченное ферримагнитное состояние, и не исключено также, что такое увеличение намагниченности связано с присутствием примесной фазы типа  $\text{LaFe}_{11}\text{Fe}^{2+}\text{O}_{19}$ , намагниченность одной формульной единицы которой в поле 12 кЭ при температуре 100 К равна 17,5  $\mu_B$ , и температура Кюри равна 675 К [12]. Однако, по данным рентгенофазового анализа, в твердых растворах  $\text{Bi}_{1-x}\text{La}_x\text{Fe}_{1-x}\text{Co}_x\text{O}_3$  с  $0,05 < x \leq 0,5$  присутствие данной фазы не установлено. Кроме того, отсутствуют рентгеновские линии возможных примесных фаз типа  $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CoFe}_2\text{O}_4$ , обладающих большой намагниченностью. Отсюда, в отличие от мнения ряда исследователей магнитных и сегнетоэлектрических свойств твердых растворов типа  $\text{Bi}_{1-x}\text{Ln}_x\text{FeO}_3$  (Ln – редкоземельный элемент)



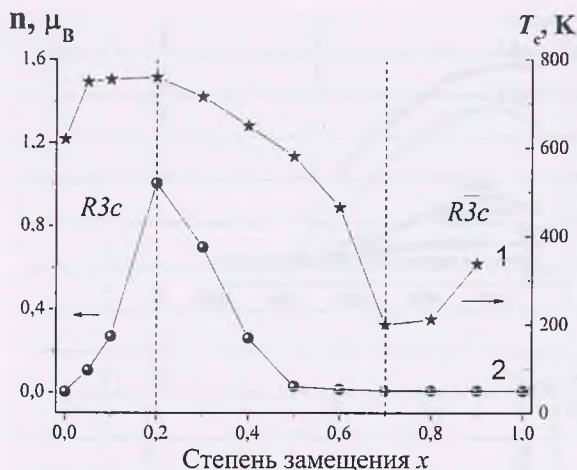


Рис. 3. Зависимости температуры Кюри ( $T_C$ ) (1) и намагниченности в магнитном поле 8,6 кЭ ( $n$ ,  $\mu_B$ ) при  $T = 100$  К (2) от степени замещения  $x$  для образцов  $\text{Bi}_{1-x}\text{La}_x\text{Fe}_{1-x}\text{Co}_x\text{O}_3$

На рис. 3 приведена зависимость намагниченности в магнитном поле 8,6 кЭ при температуре 100 К и температуры Кюри для синтезированных образцов. Полученные данные хорошо коррелируют с данными рентгенофазового анализа. Наибольшее значение намагниченности и температуры Кюри имеет состав  $\text{Bi}_{0,8}\text{La}_{0,2}\text{Fe}_{0,8}\text{Co}_{0,2}\text{O}_3$ , который находится на границе концентрационного перехода твердых растворов из ромбоэдрической структуры в орторомбическую. Для образцов  $\text{Bi}_{1-x}\text{La}_x\text{Fe}_{1-x}\text{Co}_x\text{O}_3$  ( $0,05 \leq x \leq 0,2$ ) температура Кюри ферромагнитной фазы практически одинакова (750–760 К) (рис. 3, кривая 1), а для  $0,2 < x \leq 0,5$  она постепенно уменьшается и для образца с  $x = 0,5$  равна  $T_C = 581$  К.

**Выводы.** Впервые осуществлен синтез и исследованы магнитные свойства образцов системы  $\text{BiFeO}_3$ – $\text{LaCoO}_3$ . Твердые растворы с  $x = 0; 0,05; 0,1; 0,7; 0,8; 0,9; 1,0$  характеризовались ромбоэдрически искаженной структурой перовскита, а твердые растворы с  $x = 0,2; 0,3; 0,4; 0,5; 0,6$  – орторомбически искаженной структурой перовскита. В результате проведенных исследований магнитных свойств мультиферроика  $\text{BiFeO}_3$  и твердых растворов на его основе показано, что при незначительном изовалентном замещении ионов  $\text{Bi}^{3+}$  ионами  $\text{La}^{3+}$  и ионов  $\text{Fe}^{3+}$  ионами  $\text{Co}^{3+}$  ( $x = 0,05$ ) происходит разрушение антиферромагнитной пространственной структуры и реализация ферромагнитного состояния.

## Литература

1. Звездин А. К., Пятаков А. П. // УФН. 2004. Т. 174. № 4. С. 465–470.
2. Троянчук И. О. и др. // Письма в ЖЭТФ. 2009. Т. 89. Вып. 4. С. 204–208.
3. Амиров А. А. и др. // ФТТ. 2009. Т. 51. Вып. 6. С. 1123–1126.
4. Макоед И. И. Получение и физические свойства мультиферроиков. Брест: БрГУ, 2009.
5. Жданов А. Г. и др. // ФТТ. 2006. Т. 48. Вып. 1. С. 83–89.
6. Морозов М. И. и др. // Журн. общ. химии. 2003. Т. 73. Вып. 11. С. 1772–1776.
7. Bernardo M. S. et al. // J. Eur. Ceram. Soc. 2011. Vol. 31. P. 3047–3053.
8. Ревинский А. Ф. и др. // Фазовые переходы, упорядоченные состояния и новые материалы. М., 2009. С. 65–66.
9. Портной К. И., Тимофеева Н. И. Кислородные соединения редкоземельных элементов: справ. изд. М.: Металлургия, 1986.
10. Шаскольская М. П. Кристаллография: учебник для вузов. М.: Высшая школа, 1976.
11. Han J. T. et al. // J. Cryst. Growth. 2006. Vol. 294. P. 469–473.
12. Aharoni A., Schieber M. // Phys. Rev. 1961. Vol. 123. N 3. P. 807–809.
13. Новицкий О. А. и др. // Вестн БДПУ. 2008. № 3, сер. 3. С. 7–11.

A. A. ZATSIUPA, L. A. BASHKIROV

## CRYSTAL STRUCTURE AND MAGNETIC PROPERTIES OF MULTIFERROICS OF $\text{BiFeO}_3$ – $\text{LaCoO}_3$ SYSTEM

### Summary

For the first time the synthesis and study of magnetic properties of  $\text{BiFeO}_3$ – $\text{LaCoO}_3$  was carried out. According to the X-ray analysis the existence of a continuous series of solid solutions with perovskite structure was observed as well as some concentration phase transitions. It is shown that at a small isovalent substitution of  $\text{Bi}^{3+}$  ions by  $\text{La}^{3+}$  ions and of  $\text{Fe}^{3+}$  by  $\text{Co}^{3+}$  ions ( $x = 0,05$ ) in bismuth ferrite a destruction of the antiferromagnetic spatial structure and realization of a ferrimagnetic state took place.