

нескольких дней отработанного материала с контрольного фильтра наблюдалась потеря веса в пределах 0,07 г, что указывает на существование масло-водяной эмульсии в поступающем на исследуемый образец воздухе с содержанием воды до 3 %.

На рис. 2 показана динамика изменения перепада давления в процессе насыщения исследуемого фильтроэлемента маслом при периодической работе компрессора. После шести дней роста разница давлений стабилизировалась и колебалась в пределах 3,5 кПа с незначительным уменьшением до 3,3 кПа к концу цикла. Одиночные пики после выхода на плато связаны с нагревом воздуха в процессе работы компрессора и соответствующим снижением его вязкости: температура в системе при включении компрессора составляла порядка 21,1 °С, но в течение часа она повышалась в среднем на 9,1 градуса до рабочих значений 30—30,5 °С.

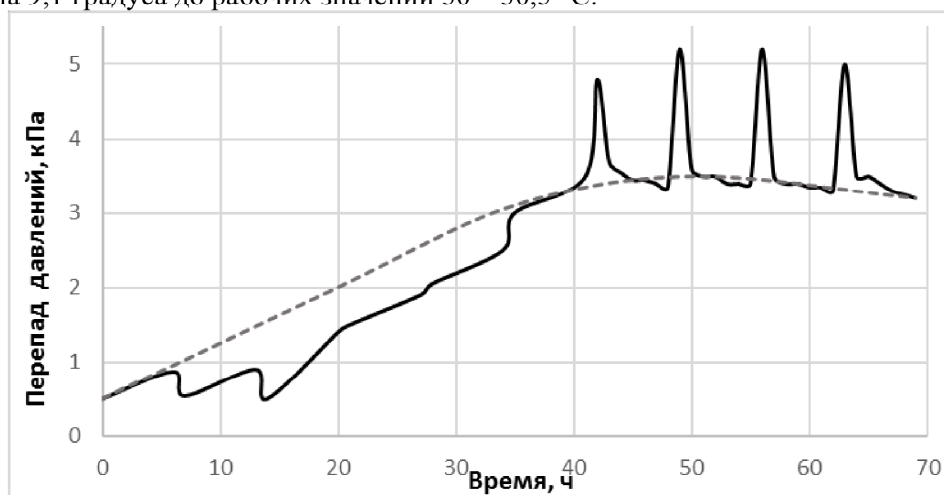


Рис. 2. График зависимости величины перепада давления на фильтре от времени (пунктирной линией указана теоретически интерполированная кривая динамики при непрерывном режиме работы)

За девять 6-ти часовых циклов работы в фильтроэлементе накопилось 334 г масла, что составляет 26 % от общего свободного объема. Этого количества стало достаточно для заполнения внутренних полостей и осуществления стекания эмульсии по внешней стенке. На десятом цикле образец вошёл в штатный режим работы: массовое содержание жидкости незначительно сократилось, наблюдалось стабильное маслоотделение по дренажному слою, установившийся до этого перепад давления находился в пределах 3,3—3,5 кПа.

Таким образом, описанная в настоящей работе методика позволяет исследовать газоочищающие фильтроэлементы в широком диапазоне начальных условий и загрязняющих веществ. Статистический анализ значимого массива данных позволит избавиться от неточностей, связанных с зависимостью состояния системы от большого числа факторов и невозможностью точного повторения условий для каждого исследуемого образца. Полученные результаты могут стать основой для разработки как новых, более эффективных и долговечных вариантов уже существующих конструкций фильтрующих материалов, так и более совершенных методов исследования, позволяющих добиться однозначного понимания протекающих в системе процессов и, как следствие, оптимизации разработки принципиально новых средств фильтрации.

---

---

## КРИСТАЛЛИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА, МАГНИТНЫЕ И ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ТВЕРДЫХ РАСТВОРОВ $\text{Bi}_{1-x}\text{Sm}_x\text{Fe}_{1-x}\text{In}_x\text{O}_3$

А.А. Глинская, Г.С. Петров, И.А. Великанова, Е.К. Юхно

Белорусский государственный технологический университет, Минск, Беларусь;  
GlinskayaA@belstu.by

Материалы, проявляющие магнитоэлектрические свойства при комнатной температуре, стали горячей темой исследований в последние годы [1, 2]. Связь между магнитными и электрическими свойствами открывает путь для разработки новых устройств, при условии, что магнитный и

электрический порядок могут взаимно контролироваться. Среди различных типов мультиферроиков выделяется феррит висмута  $\text{BiFeO}_3$ , который проявляет как сегнетоэлектрическое, так и антиферромагнитное упорядочение (со слабым ферромагнитным вкладом) при комнатной температуре, что открывает широкие перспективы для его практического применения. Таким образом, материалы на основе  $\text{BiFeO}_3$  в различных формах, включая объемную керамику, тонкие пленки и наноразмерные образцы, исследуются с перспективой применения в качестве магнитоэлектрических, фотоэлектрических материалов и др. приложений.

В настоящей работе впервые синтезированы твердые растворы на основе феррита висмута  $\text{BiFeO}_3$ , в котором проведено изовалентное замещение ионов  $\text{Bi}^{3+}$  ионами  $\text{Sm}^{3+}$  и ионов  $\text{Fe}^{3+}$  ионами  $\text{In}^{3+}$ , а также установлены закономерности влияния изовалентного замещения на кристаллическую структуру, магнитные и электрические свойства образующихся твердых растворов  $\text{Bi}_{1-x}\text{Sm}_x\text{Fe}_{1-x}\text{In}_x\text{O}_3$ .

Синтез твердых растворов  $\text{Bi}_{1-x}\text{Sm}_x\text{Fe}_{1-x}\text{In}_x\text{O}_3$  ( $0 \leq x \leq 0,1$ ) осуществлен твердофазным методом из соответствующих оксидов  $\text{Bi}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Sm}_2\text{O}_3$  и  $\text{In}_2\text{O}_3$  при  $T = 800$  °С. Рентгеновские дифрактограммы получали на дифрактометре D8 ADVANCED с использованием  $\text{CuK}\alpha$ -излучения. Термическое расширение образцов исследовали на воздухе в интервале 300—1100 К при помощи кварцевого dilatометра в динамическом режиме. Электропроводность образцов измеряли на постоянном токе на воздухе в диапазоне 300—1050 К четырехконтактным методом. Удельную намагниченность ( $\sigma_{\text{уд}}$ ) образцов  $\text{Bi}_{1-x}\text{Sm}_x\text{Fe}_{1-x}\text{In}_x\text{O}_3$  измеряли методом Фарадея в интервале температур 77—1000 К в НПЦ НАН Беларуси по материаловедению.

Согласно данным рентгенофазового анализа в системе  $(1-x)\text{BiFeO}_3 - x\text{SmInO}_3$  ( $0 \leq x \leq 0,1$ ) установлено существование непрерывного ряда твердых растворов со структурой перовскита (рис. 1).

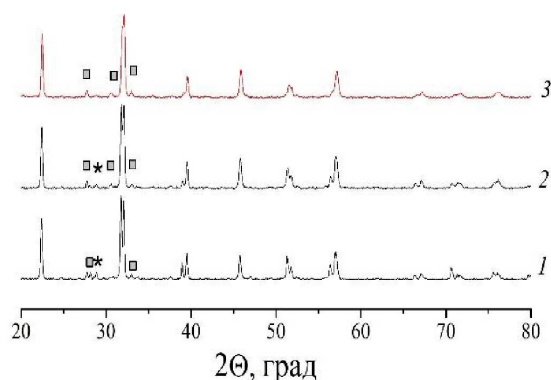


Рис. 1. Рентгеновские дифрактограммы образцов  $\text{Bi}_{1-x}\text{Sm}_x\text{Fe}_{1-x}\text{In}_x\text{O}_3$  при различной степени замещения  $x$ : 1 — 0; 2 — 0,05; 3 — 0,1; \* —  $\text{Bi}_2\text{Fe}_4\text{O}_9$ ; □ —  $\text{Bi}_{25}\text{FeO}_{39}$

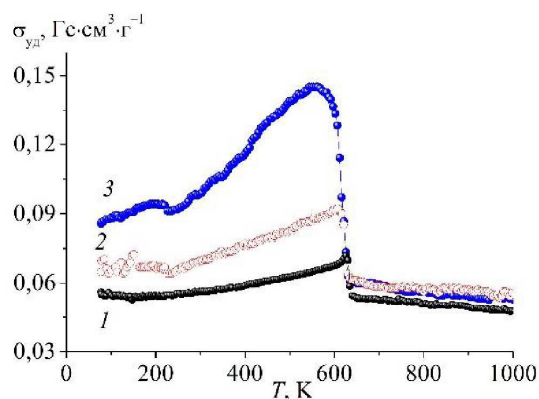


Рис. 2. Температурные зависимости удельной намагниченности ( $\sigma_{\text{уд}}$ ) для образцов  $\text{Bi}_{1-x}\text{Sm}_x\text{Fe}_{1-x}\text{In}_x\text{O}_3$  при  $x$ : 0 — 1; 0,05 — 2; 0,1 — 3

Феррит висмута  $\text{BiFeO}_3$  кристаллизовался в структуре  $R3c$ , которая допускает существование слабого ферромагнетизма, и характеризовался следующими параметрами элементарной ячейки  $a = 3,9622$  Å,  $\alpha = 89^\circ 445'$  и  $V = 62,175$  Å<sup>3</sup>. При увеличении степени замещения  $x$  ионов  $\text{Bi}^{3+}$  и  $\text{Fe}^{3+}$  ионами  $\text{Sm}^{3+}$  и  $\text{In}^{3+}$  наблюдается постепенное уменьшение объема элементарной ячейки, например, для образца с  $x = 0,1$  параметры ячейки были следующие:  $a = 3,9547$  Å,  $\alpha = 89^\circ 588'$  и  $V = 61,845$  Å<sup>3</sup>. Это, вероятно, связано с различиями в величинах эффективного ионного радиуса замещающих ионов. Заметим, что ряд полученных образцов  $\text{Bi}_{1-x}\text{Sm}_x\text{Fe}_{1-x}\text{In}_x\text{O}_3$  содержал примесные фазы  $\text{Bi}_2\text{Fe}_4\text{O}_9$  и  $\text{Bi}_{25}\text{FeO}_{39}$  (рис. 1). Полученные рентгенограммы также указывают на переход от ромбоэдрически к орторомбически искаженной структуре перовскита вблизи состава с  $x \approx 0,1$ .

Температурные зависимости удельной намагниченности ( $\sigma_{\text{уд}}$ ) для ферритов-индатов  $\text{Bi}_{1-x}\text{Sm}_x\text{Fe}_{1-x}\text{In}_x\text{O}_3$  с  $x = 0,05$ ; 0,1 содержат аномалию в виде скачка (рис. 2). Температуры скачка  $\sigma_{\text{уд}}$  для твердых растворов  $\text{Bi}_{0,95}\text{Sm}_{0,05}\text{Fe}_{0,95}\text{In}_{0,05}\text{O}_3$  и  $\text{Bi}_{0,9}\text{Sm}_{0,1}\text{Fe}_{0,9}\text{In}_{0,1}\text{O}_3$  равны 607 и 554 К, т.е. при замещении ионов  $\text{Bi}^{3+}$  и  $\text{Fe}^{3+}$  ионами  $\text{Sm}^{3+}$  и  $\text{In}^{3+}$  происходит смещение температуры перехода из

антиферромагнитного в парамагнитное состояние в сторону меньших температур. При этом температурная зависимость намагниченности для  $\text{BiFeO}_3$  и образцов  $\text{Bi}_{1-x}\text{Sm}_x\text{Fe}_{1-x}\text{In}_x\text{O}_3$  с  $x = 0,05; 0,1$  при температурах ниже температуры Нееля содержит участок линейного уменьшения  $\sigma_{\text{уд}}$ . Экстраполяция участка линейного уменьшения  $\chi_{\text{мол}}$  при охлаждении образцов с  $x = 0; 0,05; 0,1$  от температуры 600 К до температуры  $T = 0$  К показывает, что для  $\text{BiFeO}_3$   $\chi_{\text{мол}, T=0\text{K}} = 1,53 \cdot 10^{-3} \text{ см}^3/\text{моль}$ , а для  $\text{Bi}_{0,95}\text{Sm}_{0,05}\text{Fe}_{0,95}\text{In}_{0,05}\text{O}_3$  и  $\text{Bi}_{0,9}\text{Sm}_{0,1}\text{Fe}_{0,9}\text{In}_{0,1}\text{O}_3$   $\chi_{\text{мол}, T=0\text{K}}$  составляет  $1,87 \cdot 10^{-3}$  и  $1,72 \cdot 10^{-3} \text{ см}^3/\text{моль}$  соответственно. Как известно, для одноосного двухподрешеточного антиферромагнетика теоретическое значение  $\frac{\chi_{\text{мол}, \text{поликрист}, T=0\text{K}}}{\chi_{\text{мол}, T_N}} = 0,667$ . В

соответствии с нашими данными, это значение для феррита  $\text{BiFeO}_3$  составляет 0,55, а для ферритов-индатов  $\text{Bi}_{0,95}\text{Sm}_{0,05}\text{Fe}_{0,95}\text{In}_{0,05}\text{O}_3$  и  $\text{Bi}_{0,9}\text{Sm}_{0,1}\text{Fe}_{0,9}\text{In}_{0,1}\text{O}_3$  0,52 и 0,30 соответственно. Таким образом, в исследованной системе  $\text{BiFeO}_3 - \text{SmInO}_3$  замещение 5 и 10 мол. % ионов  $\text{Bi}^{3+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$  ионами  $\text{Sm}^{3+}$ ,  $\text{In}^{3+}$  приводит лишь к частичному разрушению антиферромагнитного упорядочения магнитных моментов ионов  $\text{Fe}^{3+}$  и появлению незначительных количеств ферромагнитной фазы.

По результатам исследования температурной зависимости удельной электропроводности показано, что проводимость образцов носит полупроводниковый характер. На основании дилатометрических измерений установлено, что для образцов с  $0 < x \leq 0,1$  на дилатометрических кривых отсутствуют какие-либо аномалии, связанные с фазовыми переходами в образцах. На температурной зависимости коэффициента линейного термического расширения  $\alpha$  для  $\text{BiFeO}_3$  обнаружены две аномалии с максимумами при 528,7 и 637,2 К, причем температура второго максимума соответствует температуре Нееля, т.е. антиферромагнитному переходу. При 5%-ном замещении ионов  $\text{Bi}^{3+}$  и  $\text{Fe}^{3+}$  ионами  $\text{Sm}^{3+}$  и  $\text{In}^{3+}$  соответственно происходит некоторое смещение первого максимума в сторону меньших температур, что может свидетельствовать о начале структурных превращений при более низких температурах, при этом температура Нееля для исследованных образцов практически не изменяется.

1. Catalan G. and Scott J. F. Physics and applications of bismuth ferrite // *Advanced Materials*. – 2009 (21), 2463–2485.
2. Пятаков А.П., Звездин А.К. Магнитоэлектрические материалы и мультиферроики // *Успехи физических наук*. – 2012 (182), № 6, 593–620.

---

---

## ИЗУЧЕНИЕ РЕОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ РАСТВОРОВ СОПОЛИМЕРА АКРИЛОНИТРИЛА В АПРОТОННОМ РАСТВОРИТЕЛЕ С РАЗЛИЧНЫМ СОДЕРЖАНИЕМ ВОДЫ

И.С. Городнякова, Л.А. Щербина, И.А. Будкуте

Могилевский государственный университет продовольствия, Могилев, Беларусь; htvms@tut.by

Реологические свойства растворов зависят от термодинамических характеристик применяемых растворителей. В качестве органического растворителя волокнообразующих сополимеров акрилонитрила при получении полиакрилонитрильных (ПАН) волокон в Республике Беларусь используется диметилформамид (ДМФ). Он относится к токсичным веществам. В последнее время все большее внимание уделяется снижению экологических рисков производственных процессов, а также уменьшению содержания в ПАН волокнах токсичных веществ. Поэтому диметилсульфоксид (ДМСО) представляет интерес в качестве технологического растворителя. ДМСО менее токсичен, но при этом позволяет получать растворы с высокой концентрацией сополимеров акрилонитрила и волокна на их основе с необходимым комплексом механических свойств.

Одним из видов отходов производства ПАН волокон по «мокрому» методу является мокрый жгут, образующийся на стадиях формования, вытягивания и промывки, который представляет собой ПАН гель-волокно с инклюдированной в нем смесью растворителя и осадителя (воды). Вторичная переработка отходов производства является важной технологической операцией, позволяющей снизить негативный экологический эффект. Однако, поскольку вода является осадителем