

О ПЕРСПЕКТИВЕ ТЕХНИЧЕСКОГО ПРИМЕНЕНИЯ СОЕДИНЕНИЙ BiFeO_3 , ЗАМЕЩЕННЫХ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫМИ ЭЛЕМЕНТАМИ

Л. А. Резниченко¹, А. Б. Батдалов², И. А. Вербенко¹, О. Н. Разумовская¹,
Л. А. Шилкина¹, А. А. Амиров²

Синтезированы твердые растворы соединений $\text{Bi}_{1-x}\text{Re}_x\text{FeO}_3$ ($\text{Re} = \text{La}, \text{Nd}$; $x = 0 - 0.2$), исследованы их магнитоэлектрические и магнитодиэлектрические свойства при комнатной температуре. Обнаружено усиление магнитоэлектрического и магнитодиэлектрического эффектов при увеличении степени легирования редкоземельной примесью в исследованном интервале концентрации x . Полученные результаты подтверждают перспективу применения соединений на основе феррита висмута в качестве магнитоэлектрических преобразователей и датчиков магнитного поля.

Ключевые слова: мультиферроики, магнитоэлектрический эффект, магнитоемкость, феррит висмута, легированный редкоземельными элементами.

Мультиферроики на сегодняшний день рассматриваются как перспективные материалы микроэлектроники, сенсорной техники и нанотехнологий [1]. В основе их применения лежат такие явления, как магнитоэлектрический (МЭ) эффект и магнитоемкость, которые являются результатом взаимодействия их магнитной и электрической подсистем. В этом плане соединения на основе феррита висмута BiFeO_3 являются наиболее удобными магнитоэлектрическими материалами, благодаря простой структуре и высоким значениям температур магнитного и электрического упорядочений [2, 3]. Хотя чистый BiFeO_3 мало пригоден для практического применения из-за существования в нем пространственно-модулированной спиновой структуры, соединения на его основе

¹ НИИ физики Южного федерального университета, г. Ростов-на-Дону, пр. Стачки, 194.

² Институт физики Дагестанского научного центра РАН, г. Махачкала, ул. Ярагского, 94;
e-mail: amiroff_a@mail.ru

(твердые растворы BiFeO_3 с сегнетоэлектриками, BiFeO_3 , легированный редкоземельными элементами (РЗЭ)) весьма перспективны [4].

Целью настоящей работы было изучить насколько соединения на основе феррита висмута пригодны в качестве магнитоэлектрических преобразователей в широком спектре частот в тех устройствах, где необходимо преобразовать магнитный сигнал в электрический, а также рассмотреть возможность их применения в качестве датчиков магнитного поля. Поэтому в качестве объектов исследования были выбраны керамические твердые растворы (ТР) $\text{Bi}_{1-x}\text{La}_x\text{FeO}_3$, $\text{Bi}_{1-x}\text{Nd}_x\text{FeO}_3$, где $x = 0-0.2$. Феррит висмута синтезирован методом твердофазных реакций из оксидов Bi_2O_3 , Fe_2O_3 обжигом в две стадии с промежуточным помолом при температурах $T_1 = 740-760$ °С, $T_2 = 780-800$ °С и времени $\tau_1 = \tau_2 = 10$ ч. ТР $\text{Bi}_{1-x}\text{La}_x\text{FeO}_3$ и $\text{Bi}_{1-x}\text{Nd}_x\text{FeO}_3$, где $x = 0.05, 0.1, 0.15, 0.2$ также синтезированы из соответствующих оксидов при температурах $T_1 = 800$ °С, 10 ч.; $T_2 = (800-850)$ °С, 5 ч. в зависимости от состава: с повышением содержания РЗЭ температура второго обжига повышается \sim на 10 градусов на каждые 5 мол.% РЗЭ. Режимы спекания керамических столбиков составили 850–950 °С в течение 1–2 часов, в зависимости от состава.

МЭ эффект определялся путем измерения переменного напряжения, возникающего на образце при наложении на него переменного магнитного поля:

$$\frac{dE}{dH} = \frac{dV}{h \cdot dH},$$

где h – толщина образца, dH – величина приложенного переменного магнитного поля, dV – величина напряжения, возникающего на концах образца при приложении переменного магнитного поля. Амплитуда переменного поля была равна 457 А/м. В нашем случае вектор электрической поляризации был перпендикулярен вектору индукции магнитного поля.

Магнитодиэлектрический эффект (МДЭ) определялся из соотношения

$$\frac{\Delta\epsilon(H)}{\epsilon(0)} = \frac{\epsilon(H) - \epsilon(0)}{\epsilon(0)},$$

где $\epsilon(H)$ и $\epsilon(0)$ – диэлектрическая проницаемость в магнитном поле и без поля, соответственно. На рис. 1 приведены зависимости магнитоэлектрического коэффициента от частоты модуляции переменного поля для исследуемых образцов. По ним можно видеть существенное усиление магнитоэлектрического коэффициента при введении редкоземельных добавок Nd и La. Результаты измерений МДЭ (рис. 2) также свидетельствуют об увеличении чувствительности емкости образцов к магнитному полю с

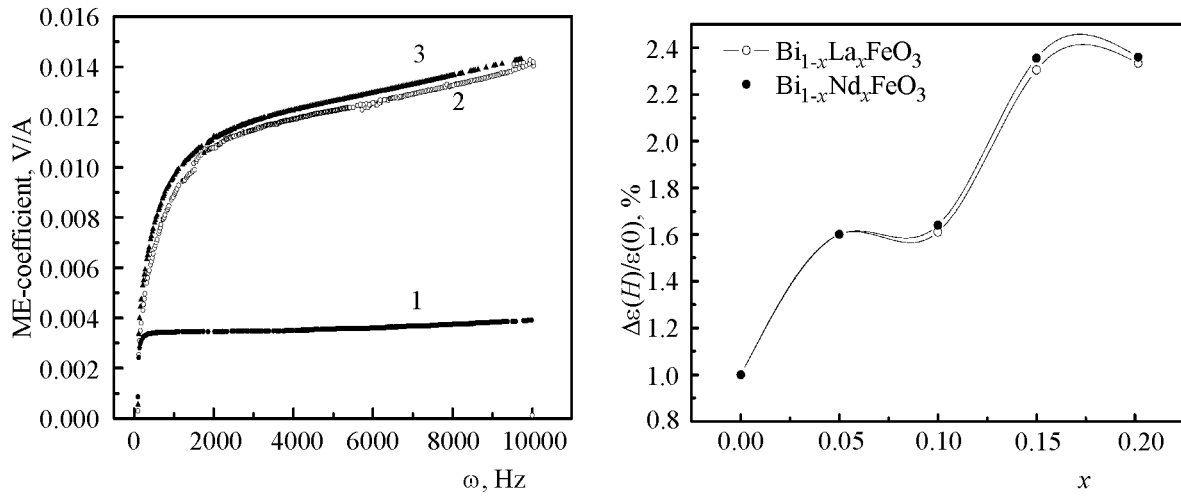


Рис. 1: Зависимость МЭ эффекта от частоты модуляции переменного магнитного поля для образцов BiFeO_3 (1), $\text{Bi}_{0.95}\text{La}_{0.05}\text{FeO}_3$ (2) и $\text{Bi}_{0.95}\text{Nd}_{0.05}\text{FeO}_3$ (3) при комнатной температуре.

Рис. 2: Зависимость магнитодиелектрического эффекта в системе $\text{Bi}_{1-x}\text{Re}_x\text{FeO}_3$ ($\text{Re} = \text{La}, \text{Nd}$) от степени содержания редкоземельной добавки x в магнитном поле $H = 1.1\text{ T}$ при комнатной температуре.

ростом концентрации x , что говорит об усилении магнетоемкости образцов при введении РЗЭ. С увеличением магнитодиелектрический эффект возрастает, что, вероятно, связано с усилением магнитных свойств, обусловленным обменным взаимодействием между ионами Fe^{3+} . На рис. 2 для обеих серий можно выделить две “полочки”. Первая ($0.05 \leq x \leq 0.1$), по-видимому, является следствием смены преобладающего механизма образования ТР [5]. Вторая ($0.15 \leq x \leq 0.2$) может быть обусловлена возникновением инвариного эффекта, характерного для областей, где сосуществуют различные фазовые состояния [5].

ЛИТЕРАТУРА

- [1] А. П. Пятаков, Бюллетень МАГО **8**(1), 1 (2007).
- [2] J. R. Teague, R. Gerson and W. J. James, Sol. Stat. Commun. **8**, 1073 (1970).
- [3] P. Fischer and M. Polomska, J. Phys. C: Sol. Stat. **13**, 1931 (1980).
- [4] А. К. Звездин, А. П. Пятаков, УФН **174**, 465 (2004).

- [5] И. А. Вербенко, В. А. Алешин и др., *Зеренное строение, мессбауэровский эффект, диэлектрические и магнитодиэлектрические свойства керамик системы $B_{1-x}La_xFeO_3$* . В: Сб. трудов международного симпозиума “Среды со структурным и магнитным упорядочением-II”, Ростов-на-Дону-Лос, 2009 (Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону – Сочи, 2009), с. 172.

По материалам 3 Всероссийской молодежной школы-семинара “Инновационные аспекты фундаментальных исследований по актуальным проблемам физики”, Москва, ФИАН, октябрь 2009 г.

Поступила в редакцию 14 ноября 2009 г.