

Исследования высокотемпературного мультиферроика феррита висмута, легированного самарием

*С.В. Хасбулатов, А.А. Павелко, Л.А. Шилкина, В.А. Алешин,
Л.А. Резниченко*

Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону

Аннотация: Проведены исследования кристаллической структуры, зеренного строения и диэлектрических свойств высокотемпературного мультиферроика $\text{Bi}_{1-x}\text{Sm}_x\text{FeO}_3$ в широком концентрационном интервале ($x=0.025-0.20$).

Ключевые слова: мультиферроики, феррит висмута, кристаллическая структура, зеренное строение, диэлектрические свойства.

Введение

Феррит висмута, BiFeO_3 , является одним из наиболее известных сегнетомагнетиков – материалов, одновременно сочетающих магнитные и сегнетоэлектрические свойства [1,2]. Подобные материалы являются объектом многочисленных исследований в связи с перспективами практического применения [3,4]. Феррит висмута и его твердые растворы (ТР) являются удобными объектами для создания подобных материалов благодаря высоким значениям температур электрического (температура Кюри, $T_c \sim 1083$ К) и магнитного (температура Нееля, $T_N \sim 643$ К) упорядочений [1]. Цель настоящей работы – выявить закономерности формирования структуры и диэлектрических свойств керамических образцов ТР феррита висмута с замещением Bi самарием, Sm , различной концентрации.

Объекты. Методы получения и исследования образцов

Объектами исследования выступили керамики состава $\text{Bi}_{1-x}\text{Sm}_x\text{FeO}_3$, ($x = 0.025-0.50$, $\Delta x = 0.025 \div 0.10$), полученные по методике, описанной в [5]. Рентгенографические исследования при комнатной температуре проводили методом порошковой дифракции с использованием дифрактометра ДРОН-3 (отфильтрованное $\text{Co}_{K\alpha}$ -излучение, схема фокусировки по Брэггу - Brentano).

Зёрненное строение объектов изучали на оптических микроскопе Leica DMI 5000M в отраженном свете при комнатной температуре. Относительная диэлектрическая проницаемость ($\varepsilon/\varepsilon_0$) исследовалась на специальном стенде с использованием прецизионного LCR-метра Agilent E4980A в интервале температур 300–900 К и диапазоне частот $20\text{--}2\cdot 10^6$ Гц в условиях равномерного нагрева и охлаждения со скоростью 5 К/мин.

Экспериментальные результаты и обсуждение

Рентгенофазовый анализ показал, что беспримесные ТР образуются при $0.10 < x \leq 0.40$. Примесные фазы $\text{Bi}_2\text{Fe}_4\text{O}_9$ и $\text{Bi}_{25}\text{FeO}_{39}$ образуются вблизи BiFeO_3 , относительная интенсивность их сильных линий, $I_{\text{отн}}=4\text{--}8$, в ТР с $x=0.50$ появляется соединение со структурой граната $\text{Sm}_3\text{Fe}_5\text{O}_{12}$, ($I_{\text{отн}}=15$). Фазовая диаграмма системы выглядит следующим образом: ромбоэдрическая (Рэ) фаза, свойственная BiFeO_3 , существует в интервале $0.00 \leq x < 0.15$, ромбическая (Р) фаза типа PbZrO_3 (фаза P_1) существует в интервале $0.05 < x \leq 0.20$, Р фаза типа LnFeO_3 (фаза P_2) расположена в интервале $0.15 < x \leq 0.50$. Области сосуществования фаз находятся в интервалах: $0.05 < x \leq 0.10$ – Рэ+ P_1 и $0.15 < x \leq 0.20$ – P_1 + P_2 . Относительно фазы P_2 необходимо сделать следующее замечание: две Р-фазы – полярная с пространственной группой $\text{Pn}21a$ и неполярная – $\text{Pn}ma$, соответствующая соединениям LnFeO_3 , имеют одинаковую дифракционную картину и при уточнении методом Ритвельда дают практически одинаковый фактор достоверности [6,7]. Поэтому установить пространственную группу можно только после проведения электрофизических измерений.

Микроструктура керамик является многофазной (рис. 1). Крупные светлые зерна с искривленными границами составляют матрицу основной фазы. Черные локальные области – поры, несколько неравномерно распределенные по образцу. Серые зерна меньшего размера, имеющие более прямые границы, являются второй (примесной) фазой. При увеличении

содержания Sm наблюдается существенное уменьшение количества серой фазы и размеров всех трех компонентов микроструктуры.

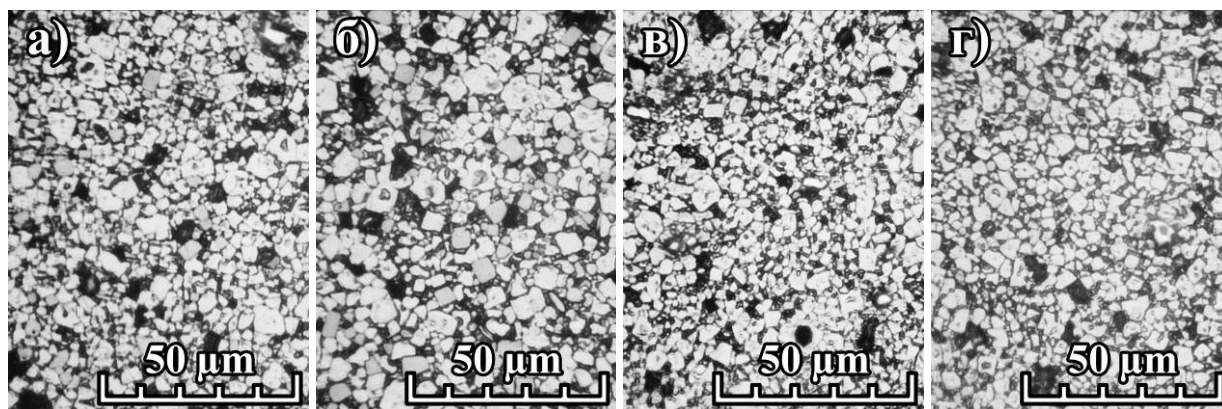


Рис. 1. Фрагменты микроструктуры керамик $\text{Bi}_{1-x}\text{Sm}_x\text{FeO}_3$ $0.05 \leq x \leq 0.20$, $x=0.05$ (а); $x=0.10$ (б); $x=0.15$ (в); $x=0.20$ (г)

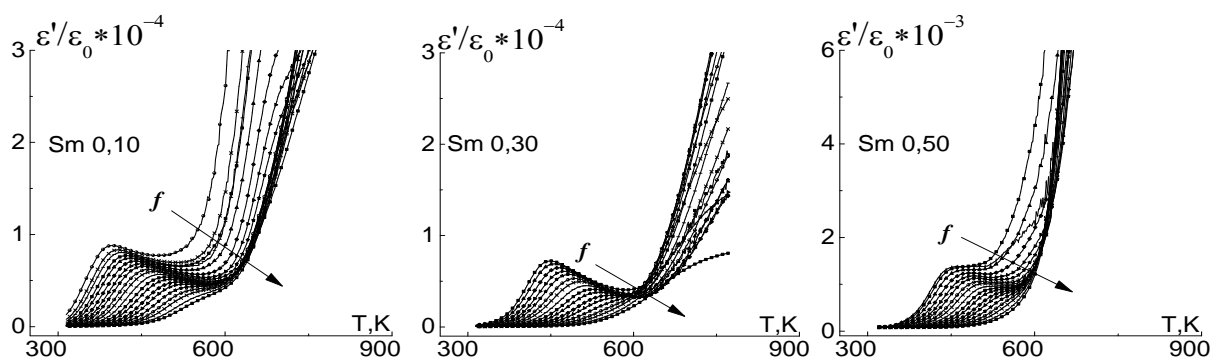


Рис.2. – Зависимости $\varepsilon'/\varepsilon_0$ (Т) образцов керамики $\text{Bi}_{1-x}\text{Sm}_x\text{FeO}_3$ $0,025 \leq x \leq 0,50$ от температуры в интервале частот $(25 \div 1,2 \cdot 10^6)$ Гц, (стрелкой указан рост частоты, f)

На рис. 2 показаны термочастотные зависимости $\varepsilon'/\varepsilon_0$ $\text{Bi}_{1-x}\text{Sm}_x\text{FeO}_3$ ($x=0.025 \leq x \leq 0.50$, $\Delta x = 0.05 \div 0,10$). Рассматриваемые зависимости испытывают аномалии в области температур (300–500)К, имеющие вид сильно дисперсионных максимумов, релаксационная природа которых, вероятно, связана с накоплением свободных зарядов на поверхностях раздела различных фаз, что характерно для подобных материалов [8-10].

Заключение

Полученные результаты необходимо использовать при разработке высокотемпературных мультиферроиков типа ViFeO_3 .

Работа выполнена с использованием оборудования ЦКП «Электромагнитные, электромеханические и тепловые свойства твердых тел» при финансовой поддержке Минобрнауки РФ: Грант Президента РФ № МК-3232-2015-2, темы №№ 1927, 213.01-2014/012-ВГ и 3.1246.2014/К.

Литература

1. Смоленский Г.А., Чупис И.Е. // Успехи физических наук. 1982. Т. 137. N 3. С. 415 – 448.
2. Звездин А.К., Пятаков А.П. // УФН. 2012. Т. 182. № 6. С. 593-620.
3. Костишин В.Г., Крупа Н.Н., и др. // Инженерный вестник Дона, 2013, URL: ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_74_Kostishyn.pdf_1851.pdf
4. Шабельская Н.П., Ульянов А.К., Таланов М.В. и др. // Инженерный вестник Дона. 2014. №1. URL: ivdon.ru/magazine/archive/n1y2014/2297
5. Разумовская О.Н., Вербенко И.А., Андриюшин К.П. и др. // Фундаментальные проблемы радиоэлектронного приборостроения. 2009. Т. 9. №1. С. 126-131.
6. Khomchenko V.A., Kiselev D.A., Bdikin K. et al. // Appl. Phys. Lett. 2008. V. 93. P. 262905.
7. Hu W., Chen Y., Yuan H. et al. // J. Phys. Chem. C. 2011. V. 115. pp. 8869-8875.
8. Вербенко И.А., Гуфан Ю.М., Кубрин С.П. и др. // Известия РАН. Серия физическая. 2010. Т. 74. №8. С. 1192-1194.
9. Хасбулатов С.В., Павелко А.А., Гаджиев Г.Г. и др. // Вестник Казанского технологического университета. 2014. Т. 17. №20. С. 142-146.
10. Palaimiene E., Macutkevicius J., Karpinsky D.V. et al. // Applied Physics Letters. 2015. V. 106. № 1. P. 012906.

References

1. Smolenskii G.A., Chupis I.E. Sov. Phys. Usp. 1982. V. 25. pp. 475–493.
2. Zvezdin A.K., Pjatakov A.P. Magnitoelektricheskie materialy i mul'tiferroiki. UFN. 2012. T. 182. № 6. S. 593-620.
3. Kostishin V.G., Krupa N.N., Nevdacha V.V. et al. Inženernyj vestnik Dona (Rus). 2013. №3. URL:
ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_74_Kostishyn.pdf_1851.pdf
4. Shabel'skaja N.P., Ul'janov A.K., Talanov M.V. et al. Inženernyj vestnik Dona (Rus). 2014. №1. URL: ivdon.ru/magazine/archive/n1y2014/2297
5. Razumovskaja O.N., Verbenko I.A., Andrjushin K.P. et al. Fundamental'nye problemy radioelektronnoego priborostroenija. 2009. V. 9. №1. pp. 126-131.
6. Khomchenko V.A., Kiselev D.A., Bdikin K. et al. Appl. Phys. Lett. 2008. V. 93. P. 262905.
7. Hu W., Chen Y., Yuan H. et al. J. Phys. Chem. C. 2011. V. 115. pp. 8869-8875.
8. Verbenko I.A., Gufan Ju.M., Kubrin S.P. et al. Izvestija RAN. Serija fizicheskaja. 2010. V. 74. №8. pp. 1192-1194.
9. Khasbulatov S.V., Pavelko A.A., Gadzhiev G.G. et al. Vestnik Kazanskogo tehnologicheskogo universiteta. 2014. V. 17. №20. pp. 142-146.
10. Palaimiene E., Macutkevicius J., Karpinsky D.V. et al. Applied Physics Letters. 2015. V. 106. № 1. P. 012906.