

Фазовый состав, зеренное строение и диэлектрические спектры мультиферроиков $\text{Bi}_{1-x}\text{Gd}_x\text{FeO}_3$ ($0.025 \leq x \leq 0.50$)

*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 $\text{Bi}_{1-x}\text{Gd}_x\text{FeO}_3$ в широком концентрационном интервале $x=0.025-0.50$.

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

Введение

Исследованию мультиферроиков уделяется огромное внимание [1-4] в связи с перспективой их применения в спинтронике и устройствах обработки и хранения информации. Настоящая работа продолжает предпринятые ранее исследования структуры, микроструктуры и физических свойств материалов на основе феррита висмута [5-7].

Объекты. Методы получения и исследования образцов

Объектами исследования выступили твердые растворы (ТР) состава $\text{Bi}_{1-x}\text{Gd}_x\text{FeO}_3$, ($x = 0.025-0.50$, $\Delta x = 0.025 \div 0.10$), полученные по методике, описанной в [5]. Рентгенографические исследования при комнатной температуре проводили методом порошковой дифракции с использованием дифрактометра ДРОН-3 (отфильтрованное $\text{Co}_{\text{K}\alpha}$ -излучение, схема фокусировки по Брэггу - Brentano). Зеренное строение объектов изучали на оптических микроскопе Leica DMI 5000M в отраженном свете при комнатной температуре. Относительная диэлектрическая проницаемость (ϵ/ϵ_0) исследовалась на специальном стенде с использованием прецизионного LCR-метра Agilent E4980A в интервале температур 300–900 К и диапазоне частот $20-2 \cdot 10^6$ Гц в условиях равномерного нагрева и охлаждения со скоростью 5 К/мин.

Экспериментальные результаты и обсуждение

Рентгенофазовый анализ показал, что за исключением одного ТР с $x=0.13$ все образцы содержали примесные фазы, причем до $x=0.10$ это были соединения $Vi_{25}FeO_{40}$ и $Vi_2Fe_4O_9$, относительная интенсивность сильных линий которых достигала (10-12) %. При $x>0.10$ количество этих соединений значительно уменьшилось и основной примесной фазой в ТР с $x=0.20-0.50$ выступило соединение или ТР со структурой граната типа $Gd_3Fe_5O_{12}$. Анализ дифракционных отражений показал, что в интервале $0.00 \leq x < 0.09$ ТР имеют ромбоэдрическую (Рэ) симметрию, характерную для $ViFeO_3$, в интервале $0.09 \leq x < 0.30$ расположена широкая морфотропная область (МО), состав которой непрерывно менялся: при $0.09 \leq x < 0.12$ сосуществовали Рэ и ромбическая типа $PbZrO_3$ (P_1) фазы; в интервале $0.12 \leq x < 0.15$ сосуществовали Рэ, P_1 и ромбическая типа $GdFeO_3$ (P_2) фазы; при $0.15 \leq x < 0.30$ сосуществовали фазы P_1 и P_2 ; в интервале $0.30 \leq x \leq 0.5$ оставалась только фаза P_2 . Рассчитанные нами параметры ячейки фазы P_2 в ТР с $x=0.20$ и 0.30 имели значения, промежуточные между данными из [8] и [9]. Отметим, что в первой работе изучались наночастицы размерами от 21 нм до 47 нм и параметрами ячейки несколько большими, чем во второй, где изучались объемные объекты.

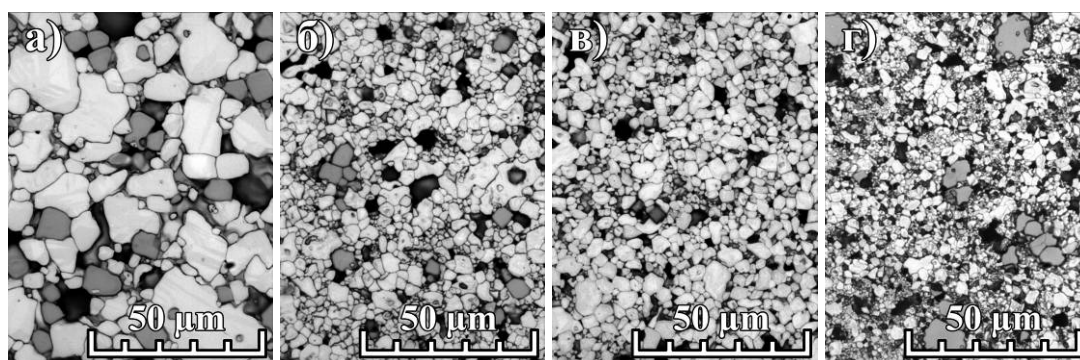


Рис. 1. – Микроскопическая структура керамики $Bi_{1-x}Gd_xFeO_3$. ($0.00 \leq x \leq 0,20$). 1. $x=0,025$; 2. $x=0,10$; 3. $x=0,15$; 4. $x=0,20$.

Микроскопическая структура керамики $Bi_{1-x}Gd_xFeO_3$, представленная на рис.1, является неоднотипной. Крупные кристаллиты, имеющие форму многогранников с кривыми границами, занимают основную часть изучаемой

поверхности и демонстрируют наиболее светлый контраст, являясь основной фазой материала. Присутствуют также «серые» кристаллиты второй фазы. При введении больших количеств Gd размеры частиц резко уменьшаются, а количество второй фазы минимизируется. Однако, при $x = 0.20$ происходит инверсия размеров светлых и «серых» кристаллитов. При этом зерна основной фазы становятся намного мельче.

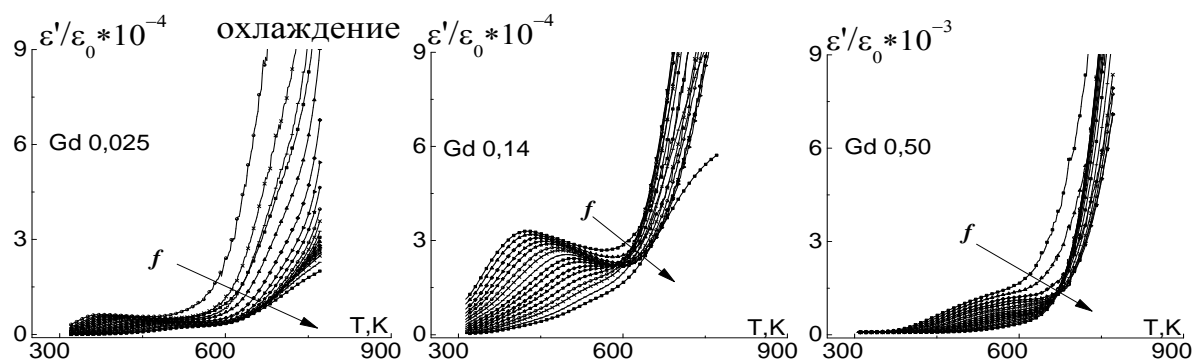


Рис.2. – Зависимости $\varepsilon''/\varepsilon_0$ (Т) образцов керамики $\text{Bi}_{1-x}\text{Gd}_x\text{FeO}_3$ $0,025 \leq x \leq 0,50$ от температуры в интервале частот $(25 \div 1,2 \cdot 10^6)$ Гц, (стрелкой указан рост частоты, f)

Анализ диэлектрической дисперсии керамик $\text{Bi}_{1-x}\text{Gd}_x\text{FeO}_3$ (рис.2) позволил выявить область температур (300–500)К, в которой все исследованные зависимости $\varepsilon''/\varepsilon_0(T)$ испытывают размытые экстремумы, смещающиеся с увеличением частоты в область высоких температур, что, вероятно, связано с формированием межслоевой поляризации на фоне внутрифазных перестроек в объектах [6,7,10].

Заключение

Полученные результаты необходимо использовать при разработке высокотемпературных мультиферроиков типа BiFeO_3 .

Работа выполнена 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. Звездин А.К., Пятаков А.П. // УФН. 2012. Т. 182. № 6. С. 593-620.
2. Костишин В.Г., Крупа Н.Н., Невдача В.В. и др. Инженерный вестник Дона. 2013. №3. URL: ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_74_Kostishyn.pdf_1851.pdf
3. Шабельская Н.П., Ульянов А.К., Таланов М.В. и др. // Инженерный вестник Дона. 2014. №1. URL: ivdon.ru/magazine/archive/n1y2014/2297
4. Fusil S., Garcia V., Barthélémy A., Bibes M. // Annual Review of Materials Research. 2014. V. 44. pp. 91-116.
5. Разумовская О.Н., Вербенко И.А., Андриюшин К.П. и др. // Фундаментальные проблемы радиоэлектронного приборостроения. 2009. Т. 9. №1. С. 126-131.
6. Вербенко И.А., Гуфан Ю.М., Кубрин С.П. и др. // Известия РАН. Серия физическая. 2010. Т. 74. №8. С. 1192-1194.
7. Хасбулатов С.В., Павелко А.А., Гаджиев Г.Г. и др. // Вестник Казанского технологического университета. 2014. Т. 17. №20. С. 142-146.
8. Weiwei Hu, Yan Chen, Hongming Yuan et al. // J. Phys. Chem. C. 2011. V. 115. pp. 8869-8875.
9. Khomchenko V.A., Shvartsman V.V., Borisov P. et al. // Acta Materialia. 2009. V. 57. pp. 5137-5145.
10. Fanggao C., Guilin S., Kun F. et al. // Journal of Rare Earths. 2006. V. 24. pp. 273-276.

References

1. Zvezdin A.K., Pjatakov A.P. UFN. 2012. V. 182. № 6. pp. 593-620.
-



2. Kostishin V.G., Krupa N.N., Nevdacha V.V. et al. Inženernyj vestnik Dona (Rus). 2013. V. 26. №3. P. 70. URL: ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_74_Kostishyn.pdf_1851.pdf
3. 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
4. Fusil S., Garcia V., Barthélémy A., Bibes M. Annual Review of Materials Research. 2014. V. 44. pp. 91-116.
5. Razumovskaja O.N., Verbenko I.A., Andrjushin K.P. et al. Fundamental'nye problemy radioelektronnogo priborostroenija. 2009. V. 9. №1. pp. 126-131.
6. Khasbulatov S.V., Pavelko A.A., Gadzhiev G.G. et al. Vestnik Kazanskogo tehnologicheskogo universiteta. 2014. V. 17. №20. pp. 142-146.
7. Verbenko I.A., Gufan Ju.M., Kubrin S.P. et al. Izvestija RAN. Serija fizicheskaja. 2010. V. 74. №8. pp. 1192-1194.
8. Weiwei Hu, Yan Chen, Hongming Yuan et al. J. Phys. Chem. C. 2011. V. 115. pp. 8869-8875.
9. Khomchenko V.A., Shvartsman V.V., Borisov P. et al. Acta Materialia. 2009. V. 57. pp. 5137-5145.
10. Fanggao C., Guilin S., Kun F. et al. Journal of Rare Earths. 2006. V. 24. pp. 273-276.