

Получение, микроструктура и диэлектрические спектры мультиферроиков $\text{Bi}_{1-x}\text{Pr}_x\text{FeO}_3$, $x = 0.00-0.50$

*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 $\text{Bi}_{1-x}\text{Pr}_x\text{FeO}_3$ в широком концентрационном интервале ($x=0.00-0.50$).

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

Введение

Мультиферроики – multifunctional материалы, привлекающие внимание исследователей [1-3] благодаря сочетанию особых электрофизических и магнитных свойств. В представленной работе описаны результаты исследования структуры, микроструктуры и диэлектрических свойств феррита висмута, модифицированного редкоземельным элементом празеодимом (Pr).

Объекты. Методы получения и исследования образцов

Объектами исследования выступили керамики состава $\text{Bi}_{1-x}\text{Pr}_x\text{FeO}_3$, ($x = 0.025-0.50$, $\Delta x = 0.025 \div 0.10$), полученные по методике, описанной в [4]. 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 оптическом микроскопе Leica DM1 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 $20-2 \cdot 10^6$ Гц в условиях равномерного нагрева и охлаждения со скоростью 5 К/мин.

Экспериментальные результаты и обсуждение

Рентгенофазовый анализ показал, что беспримесные твердые растворы (ТР) образовались только при концентрации Pr $x \geq 0.12$, при меньших x образцы содержат небольшое количество соединений $\text{Bi}_{25}\text{FeO}_{40}$ и $\text{Bi}_2\text{Fe}_4\text{O}_9$. Анализ дифракционных отражений выявил пять концентрационных областей, отличающихся фазовым составом: в интервале $0.00 \leq x \leq 0.05$ существует только ромбоэдрическая (Рэ) фаза, свойственная BiFeO_3 , в интервале $0.05 < x \leq 0.075$ расположена область сосуществования Рэ и двух ромбических фаз – P_1 типа PbZrO_3 и P_2 типа GdFeO_3 , содержание которых не превышает (10-15) %. При $0.075 < x \leq 0.10$ вновь появляется чистая Рэ фаза, а в интервале $0.10 < x \leq 0.20$ опять сосуществуют три фазы Рэ, P_1 и P_2 с явным преобладанием первой. В интервале $0.20 < x \leq 0.30$ Рэ фаза исчезает и вплоть до $x=0.50$ сосуществуют две P_1 и P_2 фазы. Подобное наблюдали при исследованиях ТР $\text{Bi}_{1-x}\text{La}_x\text{FeO}_3$ [5] и $\text{Bi}_{1-x}\text{Pr}_x\text{FeO}_3$ [6-8]. О появлении с ростом x Рэ фазы внутри области сосуществования фаз Рэ, P_1 и P_2 при комнатной температуре до сих пор не сообщалось.

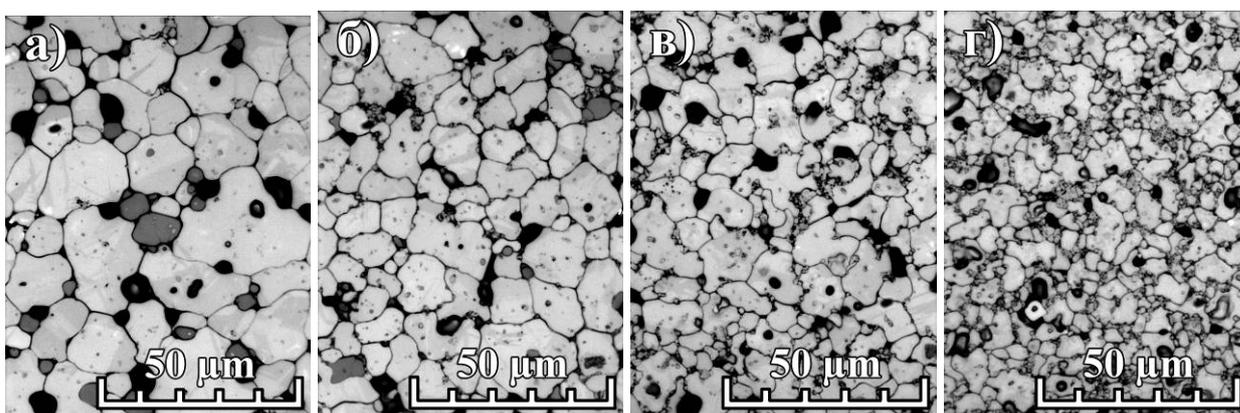


Рис. 1. – Фрагменты микроструктуры керамик $\text{Bi}_{1-x}\text{Pr}_x\text{FeO}_3$ ($0.00 \leq x \leq 0, 0,20$),
1. $x=0,05$; 2. $x=0,10$; 3. $x=0,15$; 4. $x=0,20$. Масштабный отрезок – 10 мкм.

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

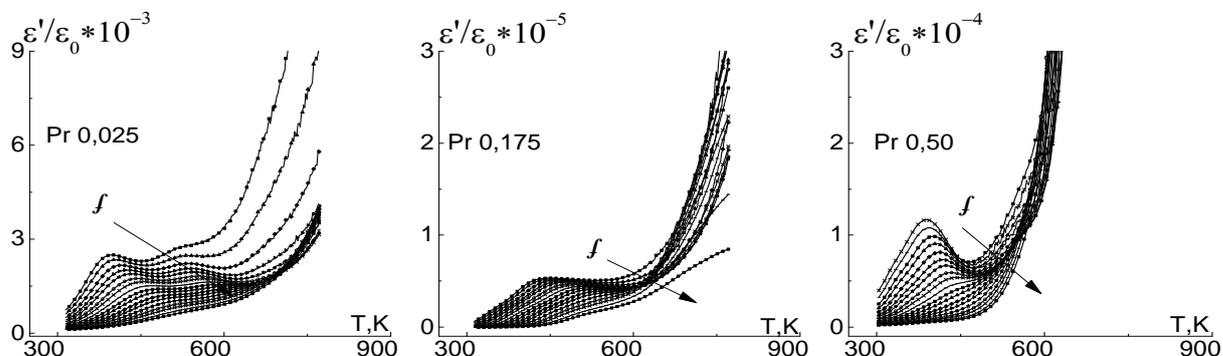


Рис.2 – Зависимости $\varepsilon''/\varepsilon_0$ (Т) образцов керамики $\text{Bi}_{1-x}\text{Pr}_x\text{FeO}_3$ $0,025 \leq x \leq 0,50$ от температуры в интервале частот $(25 \div 1,2 \cdot 10^6)$ Гц, (стрелкой указан рост частоты, f)

На рис. 2 показаны термочастотные зависимости $\varepsilon''/\varepsilon_0$ $\text{Bi}_{1-x}\text{Pr}_x\text{FeO}_3$ (x $0,00 \leq x \leq 0,50$, $\Delta x = 0,05 \div 0,10$). Рассматриваемые зависимости испытывают аномалии в области температур (300–500)К, имеющие вид сильно дисперсионных максимумов, релаксационная природа которых, вероятно, связана с явлением Максвелл-Вагнеровской релаксации за счет накопления свободных зарядов на поверхностях раздела компонентов [9,10].

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 (базовая и проектная части Госзадания).

Литература

1. Jalaja M.A., Dutta S. // Advanced Materials Letters. 2015. V. 6. N 7. pp. 568-584.



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. Разумовская О.Н., Вербенко И.А., Андриюшин К.П. и др. // Фундаментальные проблемы радиоэлектронного приборостроения. 2009. Т. 9. №1. С. 126-131.
5. Карпинский Д.В., Троянчук И.О., Мантыцкая О.С. и др. // ФТТ. 2014. Т. 56. №4. С. 673.
6. Карпинский Д.В., Троянчук И.О., Сиколенко В.В. и др. // ФТТ. 2014. Т. 56. №11. С. 2191.
7. Zhang J., Wu Yu-Jie, Chen Xiao-Jia // J. Magn. Magn. Mater. 2015. V. 382. pp. 1-6.
8. Karpinsky D.V., Troyanchuk I.O., Mantytskaya O.S. et al. // Solid State Communications. 2011. V. 151. pp. 1686-1689.
9. Хасбулатов С.В., Павелко А.А., Гаджиев Г.Г. и др. // Вестник Казанского технологического университета. 2014. Т. 17. №20. С. 142-146.
10. Lin P., Cui S., Zeng X. et al. // Journal of Alloys and Compounds. 2014. V. 600. pp. 118-124.

References

1. Jalaja M.A., Dutta S. Advanced Materials Letters. 2015. V. 6. N 7. pp. 568-584.
2. Kostishin V.G., Krupa N.N., Nevdacha V.V. et al. Inzhenernyj 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. Razumovskaja O.N., Verbenko I.A., Andrjushin K.P. et al. Fundamental'nye problemy radioelektronnogo priborostroenija. 2009. V. 9. №1. pp. 126-131.
5. Karpinskij D.V., Trojančuk I.O., Mantyckaja O.S. et al. Fizika Tverdogo Tela. 2014. V. 56. №4. P. 673.
6. Karpinsky D.V., Troyanchuk I.O., Sikolenko V.V. et al. Fizika Tverdogo Tela. 2014. V. 56. №11. P. 2191.
7. Zhang J., Wu Yu-Jie, Chen Xiao-Jia J. Magn. Magn. Mater. 2015. V. 382. pp. 1-6.
8. Karpinsky D.V., Troyanchuk I.O., Mantytskaya O.S. et al. Solid State Communications. 2011. V. 151. pp. 1686-1689.
9. Khasbulatov S.V., Pavelko A.A., Gadzhiev G.G. et al. Vestnik Kazanskogo tehnologičeskogo universiteta. 2014. V. 17. №20. pp. 142-146.
10. Lin P., Cui S., Zeng X. et al. Journal of Alloys and Compounds. 2014. V. 600. pp. 118-124.