

РЕПОЗИТОРИЙ

**СОВРЕМЕННЫЕ НАУЧНЫЕ  
ПРОБЛЕМЫ И ВОПРОСЫ  
ПРЕПОДАВАНИЯ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ  
И МАТЕМАТИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ,  
ФИЗИКИ КОНДЕНСИРОВАННЫХ  
СРЕД И АСТРОНОМИИ**

**Министерство образования Республики Беларусь**

**Учреждение образования  
«Брестский государственный университет имени А.С. Пушкина»**

**СОВРЕМЕННЫЕ  
НАУЧНЫЕ ПРОБЛЕМЫ И ВОПРОСЫ  
ПРЕПОДАВАНИЯ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ  
И МАТЕМАТИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ,  
ФИЗИКИ КОНДЕНСИРОВАННЫХ СРЕД  
И АСТРОНОМИИ**

**Сборник материалов  
IV Республиканской научно-методической конференции**

**Брест, 20–21 сентября 2012 года**

**Брест  
БрГУ имени А.С. Пушкина  
2012**

УДК 537.312: 538.245

**А.Ф. РЕВИНСКИЙ<sup>1</sup>, И.И. МАКОЕД<sup>1</sup>, К.И. ЯНУШКЕВИЧ<sup>2</sup>,  
А.И. ГАЛЯС<sup>2</sup>, О.Ф. ДЕМИДЕНКО<sup>2</sup>, В.Р. СОБОЛЬ<sup>3</sup>, Т.В. ДУБИНА<sup>1</sup>,  
М.В. ЯРМОЛИЧ<sup>1</sup>**

Брест, <sup>1</sup>БрГУ; Минск, <sup>2</sup>ОИФТТП НАНБ, <sup>3</sup>БГПУ

## **ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ТОНКИХ ПЛЕНОК МУЛЬТИФЕРРОИКОВ $\text{Bi}_{1-x}\text{R}_x\text{FeO}_3$ ( $\text{R}=\text{La}, \text{Nd}, \text{Gd}$ )**

В последнее время проявляется значительный интерес к исследованию физических свойств мультиферроиков – соединений с выраженным межэлектронным корреляционным взаимодействием незаполненных электронных оболочек, которое обуславливает наличие в указанных соединениях ряда уникальных свойств, в частности, сосуществования магнитного и электрического упорядочения. В таких веществах в некотором температурном интервале сосуществуют электрическая и магнитная дипольные структуры, что позволяет создавать на их основе многофункциональные элементы электронных схем.

Синтез и исследование магнитоэлектрических материалов является актуальной проблемой современной микроразработки [1; 2]. К числу таких соединений относится феррит висмута. Объемные образцы данного соединения кристаллизуются в R3c структуре, которая является четной относительно пространственной инверсии, что согласно теории антиферромагнетизма, не допускает наличие ферромагнитных свойств.

При температурах, меньших точки Нееля, феррит висмута обладает сложной пространственно модулированной магнитной структурой циклоидного типа. В ней спиновая система сохраняет в ближайшем окружении антиферромагнитный порядок G-типа, но изменяется вдоль направления распространения циклоиды с периодом, несоразмерным периоду кристаллической решетки.

Одним из возможных методов разрушения спиновой циклоиды является допирование феррита висмута редкоземельными ионами. Подобный эффект в силу размерного фактора оказывается возможным и в тонкопленочных образцах, хотя наличие в полученных пленках феррита висмута моноклинной симметрии не снимает рассматриваемую проблему, так как данный тип симметрии также включает операцию инверсии. Таким образом, вопрос о физических причинах нарушения коллинеарности векторов намагниченности подрешеток, а, следовательно, о причине и механизмах существования магнитного упорядочения в мультиферроиках, синтезированных на основе  $\text{BiFeO}_3$ , остается открытым.

Целью настоящей работы является синтез, экспериментальное и теоретическое исследование диэлектрических свойств тонких пленок мультиферроиков, синтезированных на основе феррита висмута.

Прекурсоры синтезировали из порошков  $\text{Bi}_2\text{O}_3$  (о.с.ч.),  $\text{Nd}_2\text{O}_3$  (о.с.ч.) и  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (ч.д.а.) по реакции:  $x\text{R}_2\text{O}_3 + (1-x)\text{Bi}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3 = 2\text{R}_x^{3+}\text{Bi}_{1-x}^{3+}\text{Fe}^{3+}\text{O}_3^{2-}$ . Исходные компоненты смешивали вручную. Перемешивание проводили в течение 0,5 ч. в сухой керамической ступке и 2 ч. в ступке со спиртом. Спекание проводили при температуре  $(1020 \pm 50)$  К в керамическом сосуде на воздухе в течение 3 ч. Образцы загружали в холодную печь. Скорость нагрева составляла около 10 К/мин. Замещение редкоземельными ионами ионов висмута в  $\text{BiFeO}_3$  вызвало структурные изменения и способствовало получению однофазных мультиферроиков.

Тонкие (20–200) нм пленки образцов  $\text{Bi}_{1-x}\text{R}_x\text{FeO}_3$  ( $\text{R} = \text{La}, \text{Nd}, \text{Gd}, x = 0, 0.05, 0.1, 0.15, 0.2$ ) синтезированы методом «вспышки» на установке УВН-71Р-2 при температуре танталового испарителя выше  $2000^\circ\text{C}$ . Подложки из стекла, находящиеся на расстоянии 100 мм от испарителя, разогревали до температуры  $300^\circ\text{C}$ . Пленки более однородны по размерам кристаллитов по отношению к объемным изоструктурным образцам и имеют выраженную гранулированную структуру.

Элементный анализ образцов проведен методом энергодисперсионной спектроскопии (EDX метод) с использованием электронного микроскопа. Результаты анализа представлены на рисунке 1. На полученных спектрах не отмечено дополнительных пиков, связанных с элементами, не входящими в состав исследуемых соединений. Все образцы показывают точное положение стандартных пиков для Bi, Fe, La, Nd, Gd и кислорода. Это подтверждает, что элементный состав всех образцов не содержит примесных элементов и, если паразитные фазы присутствуют, то это могут быть только некоторые формы ионов Bi, Fe, La, Nd, Gd, и кислорода. Для уточнения параметров элементарных ячеек применяли программу «Enderavour 1.2». Положения пиков и их интенсивности, находятся в хорошем соответствии с моноклинной структурой.

Оптические спектры коэффициента отражения записывали с поверхности площадью  $1\text{см}^2$  при комнатной температуре в неполяризованном излучении в диапазоне от 1.5 до 6.0 эВ на Фурье-спектрометре (FTIR spectrometer Vertex 80V Bruker Corporation). Оптическая схема спектрометра, реализована на базе интерферометра Майкельсона. По методу Крамерса-Кронига восстановлены спектры компонент диэлектрических и оптических функций.

На спектрах коэффициента отражения в области фундаментального поглощения слабо выражены два широких максимума. Ряд менее четко выраженных особенностей спектра подтверждает предположение о домини-

рующей роли переходов с переносом заряда  $O^{2-} - Fe^{3+}$  в формировании оптических свойств ферритов в области края фундаментального поглощения [3]. По методу Гауца в модели прямых переходов в области фундаментального поглощения восстановлены величины оптической ширины запрещенной зоны тонких пленок.

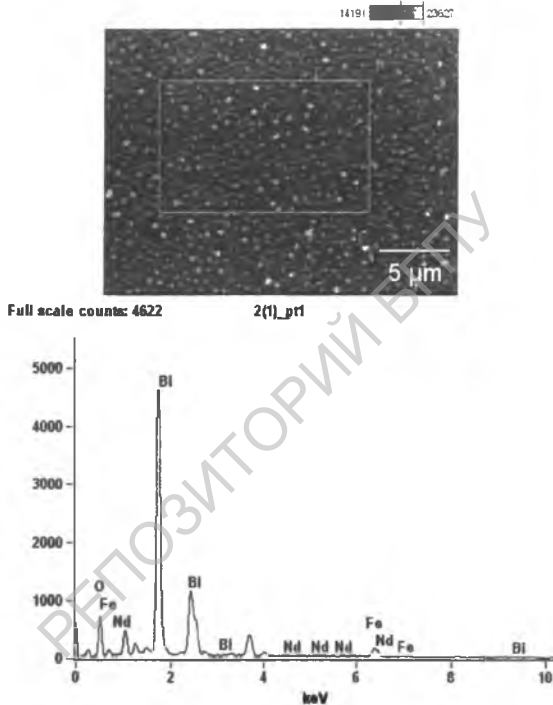


Рисунок 1 – Результаты анализа состава тонкой пленки  $Nd_{0.15}Bi_{0.85}FeO_3$

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Shimakawa, Y. Multiferroic Compounds with Double-Perovskite Structures / Y. Shimakawa, M. Azuma, N. Ichikawa // *Materials*. – 2011. – Vol. 4. – P. 153–168.
2. Structural phase evolution in  $Bi_{7/8}Ln_{1/8}FeO_3$  ( $Ln=La-Dy$ ) series / V.A. Khomchenko [et al] // *J. Elsevier*. – 2011. – № 65. – P. 1970–1972.
3. Pisarev, R.V. Charge transfer transition in multiferroic  $BiFeO_3$  and related ferrite insulators / R.V. Pisarev, A.S. Moskvina, A.M. Kalashnikova [et al.] // *Phys. Rev.* – 2009. – Vol. B79. – P. 235128-1–235128-16.