

**ОСОБЕННОСТИ СИНТЕЗА И МАГНИТНЫХ СВОЙСТВ КОМПОЗИЦИОННОГО  
МУЛЬТИФЕРРОИКА  $(1-x)\text{BiFeO}_3-x\text{ScMnO}_3$ .**

**Вальков В.И.<sup>1</sup>, Михайлов В.И.<sup>1</sup>, Довгий В.Т.<sup>2</sup>, Кравченко З.Ф.<sup>1</sup>, Кулик Н.Н.<sup>3</sup>,  
Боднарук А.В.<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>*Донецкий физико-технический институт им. А.А. Галкина, Украина.*

<sup>2</sup>*Донецкий физико-технический институт им. А.А. Галкина НАНУ, г. Киев, Украина*

<sup>3</sup>*Институт физики НАНУ, г. Киев, Украина*

*e-mail: [mikhaylovv55@gmail.com](mailto:mikhaylovv55@gmail.com), [vladimirdovgij@gmail.com](mailto:vladimirdovgij@gmail.com)*

Среди мультиферроиков наиболее интересным является  $\text{BiFeO}_3$ . В последние годы появилось много работ по системам твердых растворов на основе  $\text{BiFeO}_3$  [1-3]. Интерес к данной тематике обусловлен с одной стороны фундаментальными свойствами мультиферроиков, с другой стороны ожидаются практические применения, такие как сенсорная техника, спинтроника, логические устройства.

$\text{BiFeO}_3$  и  $\text{ScMnO}_3$  являются мультиферроиками 1-го типа и антиферромагнетиками. В этих мультиферроиках сегнетоэлектричество проявляется при более высоких температурах, чем магнетизм. Спонтанная поляризация  $P$  часто достигает порядка  $10-100 \mu\text{C}/\text{cm}^2$  (в пленках). Например, в пленке  $\text{BiFeO}_3$  ( $T_{\text{FE}} \sim 1100 \text{ K}$ ,  $T_{\text{N}}=643 \text{ K}$  вдоль оси [111]  $P \sim 90 \mu\text{C}/\text{cm}^2$ , а в  $\text{ScMnO}_3$  ( $T_{\text{FE}} \sim 914 \text{ K}$ ,  $T_{\text{N}} \sim 90 \text{ K}$ ), а  $P \sim 5 \mu\text{C}/\text{cm}^2$ . Связь между магнетизмом и сегнетоэлектричеством в этих материалах довольно слабая.

Нами исследовались системы твердых растворов, которые в качестве вторых компонентов к  $\text{BiFeO}_3$  содержат гексагональные манганиты  $\text{hex-RMnO}_3$ . Структурные изменения в твердых растворах  $\text{BiFeO}_3 - \text{YMnO}_3$  достаточно подробно описаны в работе [2], а магнитные и диэлектрические свойства этих твердых растворов в [3]. Для твердых растворов  $\text{BiFeO}_3 - \text{ScMnO}_3$  данных значительно меньше.

В настоящей работе проведены исследования магнитных свойств системы твердых растворов (керамик) состава  $(1-x)\text{BiFeO}_3 - x\text{ScMnO}_3$ . Цель работы – выяснить особенности магнитного упорядочения в зависимости от концентрации  $x \text{ ScMnO}_3$ .

### **Получение образцов**

Образцы керамик состава  $(1-x)\text{BiFeO}_3 - x\text{ScMnO}_3$  с  $x = 0; 0.1; 0.2; 0.25; 0.3; 0.35; 0.4$  были получены по нитратной технологии, как и  $(1-x)\text{BiFeO}_3 - x\text{YMnO}_3$  [3]. Исходными веществами для получения данного состава служили нитраты висмута, железа, скандия и марганца. Стехиометрические количества растворенных в воде нитратов подвергали выпариванию до сухих солей. Полученный продукт для разложения нитратов нагревали при температуре  $200 - 600 \text{ }^\circ\text{C}$ . После перетирки полученного продукта были спрессованы таблетки  $\varnothing 8$  и толщиной  $d = 1.5 \text{ мм}$  для каждого значения  $x$ .

В отличие от метода получения образцов состава  $(1-x)\text{BiFeO}_3 - x\text{YMnO}_3$ , которые отжигались при температуре  $T = 1000 \text{ }^\circ\text{C}$  18 часов, таблетки  $(1-x)\text{BiFeO}_3 - x\text{ScMnO}_3$  подвергали отжигу при  $T = 800 \text{ }^\circ\text{C}$  10 минут на воздухе. При температуре отжига  $1000^\circ\text{C}$  в течение 10 часов они теряли ферромагнитные свойства.

### **Результаты**

Запись петель перемагничивания производилась по одной схеме при  $T=300 \text{ K}$  с помощью вибрационного магнитометра LDJ-9500 в магнитном поле  $0 \div \pm 0.25 \text{ T}$ . Петли магнитного гистерезиса - результаты измерений  $M(H)$  для керамических образцов  $(1-x)\text{BiFeO}_3 - x\text{ScMnO}_3$  ( $0.1 \leq x \leq 0.4$ ) представлены на рис.1.

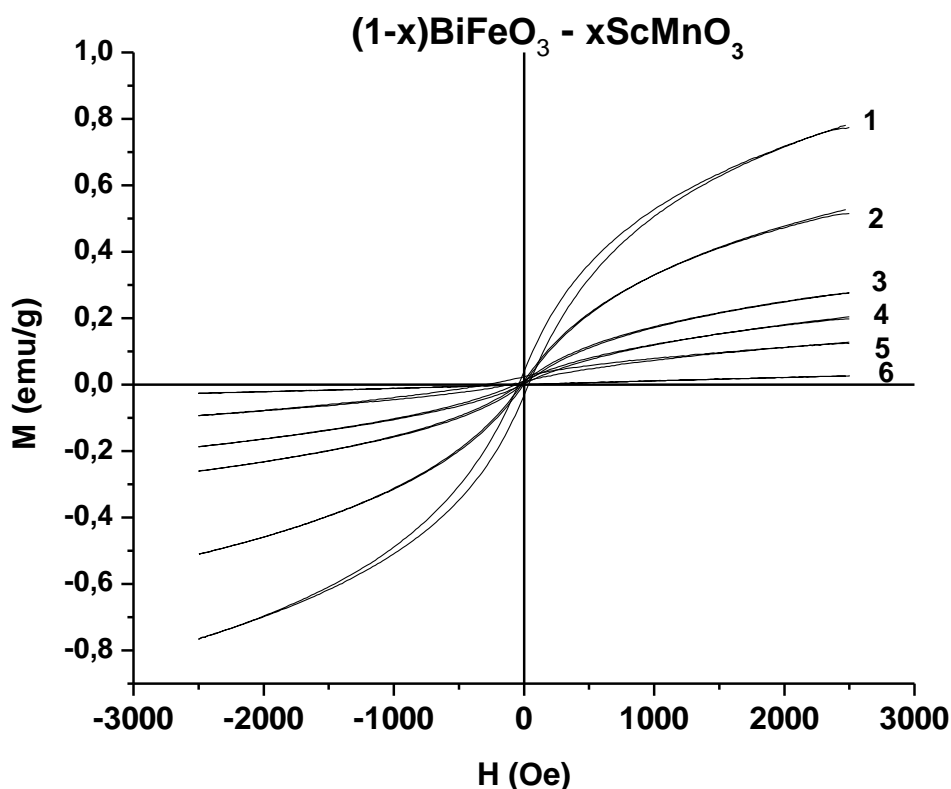


Рисунок 1 - Петли магнитного гистерезиса, измеренные с помощью магнитометра LDJ-9500 при  $T = 300\text{K}$  для образцов системы  $(1-x)\text{BiFeO}_3 - x\text{ScMnO}_3$ : 1-  $x=0.2$ ; 2-  $x=0.25$ ; 3-  $x=0.3$ ; 4-  $x=0.35$ ; 5-  $x=0.4$  и 6-  $x=0.1$ .

Характер петель перемагничивания (рис.1) свидетельствует о том, что твердые растворы  $(1-x)\text{BiFeO}_3 - x\text{ScMnO}_3$  при комнатной температуре проявляют ферромагнитные свойства. На рис.1 видно, что из всех составов  $(1-x)\text{BiFeO}_3 - x\text{ScMnO}_3$ , где  $0.1 \leq x \leq 0.4$ , максимальной намагниченности достигает образец с  $x=0.2$ . Далее по мере убывания  $M(2.5 \text{ кЭ})$  идут  $x=0.25$ ,  $x=0.3$ ,  $x=0.35$ ,  $x=0.4$  и  $x=0.1$ .

По ширине петель магнитного гистерезиса (рис. 2) можно сделать вывод, что составы  $(1-x)\text{BiFeO}_3 - x\text{ScMnO}_3$  ( $0.2 \leq x \leq 0.35$ ) – ферромагнетики, чувствительные к слабому магнитному полю. Видно, что ширина петли гистерезиса зависит от  $x$ . Для  $x=0.25$  она минимальна, для  $x=0.2$  петля шире. Петля гистерезиса для  $x=0.4$  имеет наибольшую ширину, соответственно, поле коэрцитивности  $H_C \approx 90 \text{ Oe}$ . Для  $x=0.35$   $H_C \approx 40 \text{ Oe}$ ,  $x=0.3$   $H_C \approx 15 \text{ Oe}$ ,  $x=0.25$   $H_C \approx 7.5 \text{ Oe}$  и для  $x=0.2$   $H_C \approx 50 \text{ Oe}$ . Для  $x=0.1$  ширина петли гистерезиса графически не определяется.

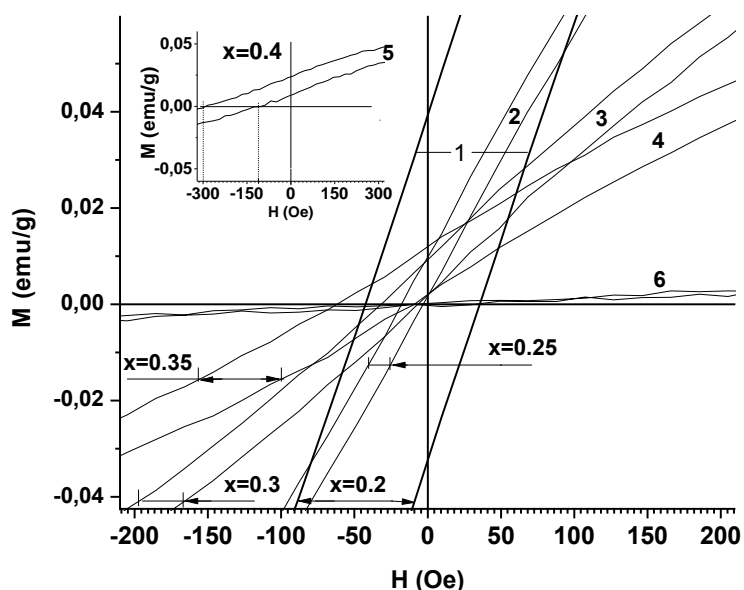


Рисунок 2 -  
Определение ширины  
петель магнитного  
гистерезиса (по оси  
H) для образцов  
системы  $(1-x)\text{BiFeO}_3$   
-  $x\text{ScMnO}_3$ : 1-  $x=0.2$ ;  
2-  $x=0.25$ ; 3-  $x=0.3$ ;  
4-  $x=0.35$ ; 5-  $x=0.4$  и  
6-  $x=0.1$  (фрагмент  
петли гистерезиса для  
 $x=0.4$  представлен на  
вставке).

### Заключение

Анализ кривых  $M(H)$  (рис.1) позволяет сделать вывод, что в этой системе твердых растворов  $(1-x)\text{BiFeO}_3 - x\text{ScMnO}_3$  в диапазоне концентраций  $0.1 < x < 0.4$  при комнатной температуре наблюдается ферромагнитное упорядочение. Причем в большей степени при  $x=0.2$  и в меньшей при  $x=0.1$ .

Максимальная намагниченность наблюдалась у образца с  $x = 0.2$ , а минимальная у образца с  $x = 0.1$ . Несимметричность петель магнитного гистерезиса относительно  $H=0$  (особенно для  $x=0.4$ ) свидетельствует о том, что кроме ферромагнитной фазы в твердых растворах  $(1-x)\text{BiFeO}_3 - x\text{ScMnO}_3$  присутствует и антиферромагнитная фаза. За магнитное упорядочение в  $(1-x)\text{BiFeO}_3 - x\text{ScMnO}_3$  отвечают как взаимодействие Дзялошинского, так и суперобменные взаимодействия Fe-O-Fe, Fe-O-Mn и Mn-O-Mn.

Поле коэрцитивности для  $(1-x)\text{BiFeO}_3 - x\text{ScMnO}_3$  различно и изменяется в пределах от  $H_c \sim 7.5$  Oe ( $x=0.25$ ) до 90 Oe ( $x=0.4$ ). Это свойство отличает  $(1-x)\text{BiFeO}_3 - x\text{ScMnO}_3$  ( $0 \leq x \leq 0.4$ ) от твердых растворов  $(1-x)\text{BiFeO}_3 - x\text{Ymno}_3$  ( $0.1 < x < 0.4$ ) [3].

В перспективе, используя пленочную технологию, из этих материалов можно создавать магнитоэлектрические преобразователи или память, хранящую и записывающую информацию без использования больших электрических токов.

### Список литературы

1. Пятаков А.П., Звездин А.К. Магнитоэлектрические материалы и мультиферроики // Успехи Физических Наук. - 2012, т.182, № 6, с.593-620.
2. Назаренко А.В., А.Г. Разумная, М.Ф. Куприянов и др. Особенности структурных состояний в твердых растворах  $\text{BiFeO}_3 - \text{Ymno}_3$  // Физика твердого тела. – 2011, т.53, вып.8, с.1523-1525.
3. Михайлов В.И., Довгий В.Т., Линник А.И., Кравченко З.Ф. и др. Магнитные и диэлектрические свойства твердых растворов  $(1-x)\text{BiFeO}_3 - x\text{Ymno}_3$  // Физика и техника высоких давлений. – 2018, т.28, № 2, с.52-59.