

**ОСОБЕННОСТИ СИНТЕЗА И МАГНИТНЫХ СВОЙСТВ КОМПОЗИЦИОННОГО
МУЛЬТИФЕРРОИКА (1 - x)BiFeO₃ - xScMnO₃.**

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

¹Донецкий физико-технический институт им. А.А. Галкина, Украина.

²Донецкий физико-технический институт им. А.А. Галкина НАНУ, г. Киев, Украина

³Институт физики НАНУ, г. Киев, Украина

e-mail: mikhaylovv55@gmail.com, vladimirdovgij@gmail.com

Среди мультиферроиков наиболее интересным является BiFeO₃. В последние годы появилось много работ по системам твердых растворов на основе BiFeO₃ [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 .

BiFeO₃ и ScMnO₃ 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 BiFeO₃ ($T_{\text{FE}} \sim 1100$ К, $T_{\text{N}}=643$ К вдоль оси [111]) $P \sim 90$ $\mu\text{C}/\text{cm}^2$, а в ScMnO₃ ($T_{\text{FE}} \sim 914$ К, $T_{\text{N}} \sim 90$ К), 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 BiFeO₃ содержат гексагональные манганиты hex-RMnO₃. Структурные изменения в твердых растворах BiFeO₃ – YMnO₃ достаточно подробно описаны в работе [2], а магнитные и диэлектрические свойства этих твердых растворов в [3]. Для твердых растворов BiFeO₃ – ScMnO₃ данных значительно меньше .

В настоящей работе проведены исследования магнитных свойств системы твердых растворов (керамик) состава (1-x)BiFeO₃ – xScMnO₃ . Цель работы – выяснить особенности магнитного упорядочения в зависимости от концентрации x ScMnO₃.

Получение образцов

Образцы керамик состава (1-x)BiFeO₃ – xScMnO₃ с x= 0; 0.1; 0.2; 0.25; 0.3; 0.35; 0.4 были получены по нитратной технологии, как и (1-x)BiFeO₃ – xYMnO₃ [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 °С. После перетирки полученного продукта были спрессованы таблетки Ø 8 и толщиной d =1.5 мм для каждого значения x.

В отличие от метода получения образцов состава (1-x)BiFeO₃ – xYMnO₃, которые отжигались при температуре T =1000 °С 18 часов, таблетки (1-x)BiFeO₃ – xScMnO₃ подвергали отжигу при T = 800 °С 10 минут на воздухе. При температуре отжига 1000°С в течение 10 часов они теряли ферромагнитные свойства.

Результаты

Запись петель перемагничивания производилась по одной схеме при T=300 К с помощью вибрационного магнитометра LDJ-9500 в магнитном поле 0 ÷ ±0.25 Т. Петли магнитного гистерезиса - результаты измерений M(H) для керамических образцов (1-x)BiFeO₃ – xScMnO₃ (0.1≤x≤0.4) представлены на рис.1 .

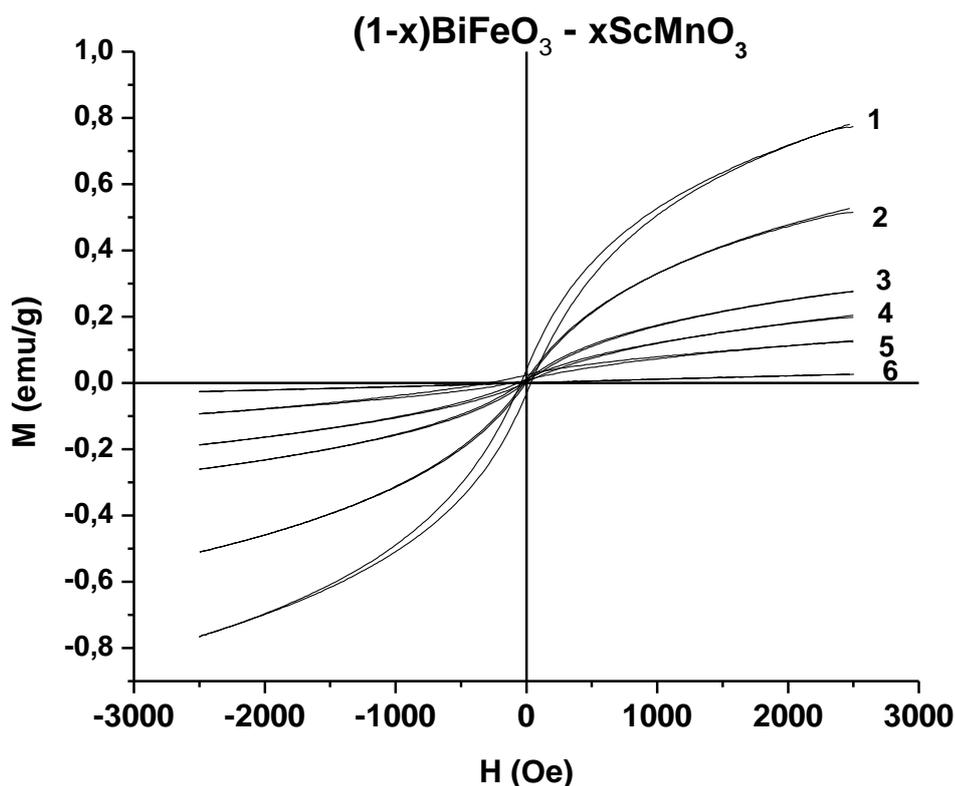


Рисунок 1 - Петли магнитного гистерезиса, измеренные с помощью магнитометра LDJ-9500 при $T = 300\text{K}$ для образцов системы $(1-x)\text{BiFeO}_3 - x\text{ScMnO}_3$: 1- $x=0.2$; 2- $x=0.25$; 3- $x=0.3$; 4- $x=0.35$; 5- $x=0.4$ и 6- $x=0.1$.

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.

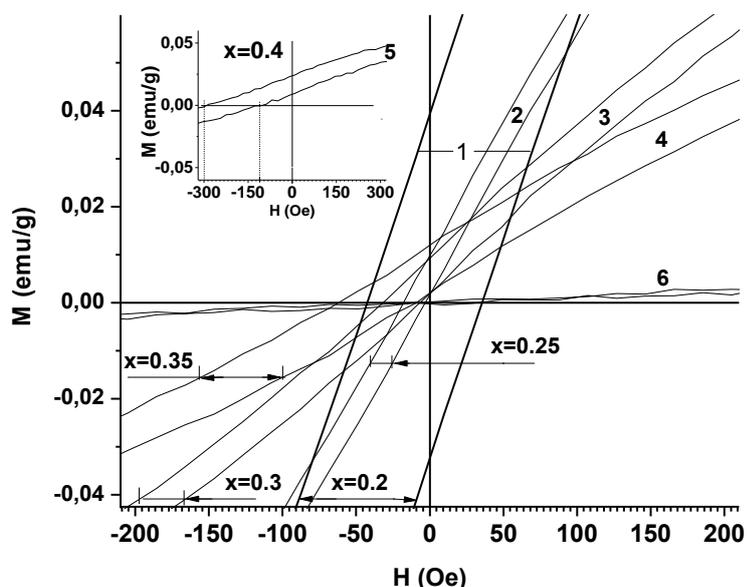


Рисунок 2 -
Определение ширины
петель магнитного
гистерезиса (по оси
H) для образцов
системы $(1-x)\text{BiFeO}_3$
- $x\text{ScMnO}_3$: 1- $x=0.2$;
2- $x=0.25$; 3- $x=0.3$;
4- $x=0.35$; 5- $x=0.4$ и
6- $x=0.1$ (фрагмент
петли гистерезиса для
 $x=0.4$ представлен на
вставке).

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 $(1-x)\text{BiFeO}_3 - x\text{MnO}_3$ ($0.1 < x < 0.4$) [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.