

Таким образом, нами установлено, что соединения  $\text{BiFeO}_3$  и  $\text{BiMnO}_3$  образуют твердые растворы во всем диапазоне составов. Новая орторомбическая ( $\sqrt{2}a_p \times 4a_p \times 2\sqrt{2}a_p$ ) фаза обнаружена между ромбоэдрическим  $\text{BiFeO}_3$  и моноклинным  $\text{BiMnO}_3$ .

Работа выполнена при поддержке БРФФИ (грант №Т20Р-121) и РФФИ (грант № 20-52-00023).

#### Список использованных источников

1. Слабый ферромагнетизм в мультиферроиках на основе  $\text{BiFeO}_3$  / И.О. Троянчук [и др.] // Письма в ЖЭТФ. – 2009. – Т. 89, №4. – С. 204–208.

2. Фазовые превращения в мультиферроиках  $\text{Bi}_{1-x}\text{Ca}_x\text{Fe}_{1-x}\text{Mn}_x\text{O}_3$  / И.О. Троянчук [и др.] // ФТТ. – 2016. – Т. 58, №9. – С. 1719–1723.

3. Crystal and Magnetic Structure Transitions in  $\text{BiMnO}_{3+\delta}$  Ceramics Driven by Cation Vacancies and Temperature / D.V. Karpinsky [et al.] // Materials. – 2021. – V. 14. – P. 5805.

**Шевченко А.А., к.т.н., доцент**

**Белорусский государственный аграрный технический университет, Минск, Республика Беларусь**

**СИНТЕЗ, СТРУКТУРА И СВОЙСТВА**

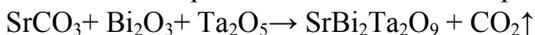
**СЕГНЕТОЭЛЕКТРИКОВ  $\text{Sr Bi}_2\text{Ta}_2\text{O}_9$  ДЛЯ ОСАЖДЕНИЯ ТОНКИХ ПЛЕНОК В МИКРОЭЛЕКТРОНИКЕ**

Тонкие сегнетоэлектрические пленки находят применение при создании устройств энергонезависимой памяти, конденсаторов, микроактюаторов, приемников инфракрасного излучения, оптических процессоров, волноводов и линий задержки, приборов на поверхностных акустических волнах и других акустооптических устройств. Однако практическое использование сегнетоэлектрических пленок в микроэлектронике сталкивается с серьезными трудностями из-за отсутствия совместимой технологии получения тонкопленочных сегнетоэлектрических материалов высокого качества с воспроизводимыми свойствами. И лишь в последнее десятилетие удалось добиться контролируемой совместимости тонких слоев сегнетоэлектриков с полупроводниковыми коммутационными мат-

рицами в рамках планарной технологии полупроводниковых приборов. Такая интеграция, с одной стороны, открывает возможность создания целого ряда новых устройств, а с другой – позволяет избежать дорогих и ненадежных гибридных конструкций.

Для получения сегнетоэлектрических пленок одним из важнейших этапов является изготовление высококачественных распыляемых мишеней. Поэтому целью данной работы являлось исследование влияния технологических параметров процесса синтеза, формования и последующего спекания распыляемых мишеней сегнетоэлектриков  $\text{SrBi}_2\text{Ta}_2\text{O}_9$  на их микроструктуру и свойства.

Соединение  $\text{SrBi}_2\text{Ta}_2\text{O}_9$  было получено методом твердофазного спекания смесей оксидов и карбонатов соответствующих металлов. Необходимое количество оксидов  $\text{Bi}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Ta}_2\text{O}_5$  и  $\text{SrCO}_3$  для синтеза сложнооксидного соединения номинального состава  $\text{SrBi}_2\text{Ta}_2\text{O}_9$  определяли в соответствии с протеканием химической реакции:



Расчитанное количество реагентов смешивали и измельчали в планетарной шаровой мельнице в течение 0,5 ч, в качестве дисперсионной среды использовался изопропиловый спирт. Синтез конечного продукта осуществлялся в две стадии. Первая стадия – медленный нагрев до температуры 690–750 °С и выдержка в течение 12 ч (два раза по 6 ч), после каждого раза образцы измельчали в мельнице. Вторая стадия – обжиг при температуре 800–815 °С в течение 20 ч с промежуточными перетирами после каждых 6 ч.

Результаты рентгенофазового анализа полученного синтезированного порошка состава  $\text{SrBi}_2\text{Ta}_2\text{O}_9$  показали присутствие не более 3 % примесей. Экспериментальные образцы и мишени для вакуумного распыления из синтезированного порошка изготавливали при давлении  $P=500$  МПа и термообработывали на воздухе в интервале температур 1000–1300 °С.

Среди важнейших характеристик распыляемых мишеней, влияющих на параметры формируемых сегнетоэлектрических пленок, следует отметить физико-механические и электрофизические свойства. Причем, первые в значительной мере определяют и электро-теплофизические параметры.

Исследовано влияние режимов термообработки в интервале температур 1000–1300 °С на микроструктуру и свойства полученных экспериментальных образцов (таблица). Исследование микроструктуры (излома) образца сегнетокерамики, спеченного при 1100 °С показало достаточно высокую пористость (примерно 15 %), что является неприемлемым для мишеней, распыляемых в вакууме. Спекание данной керамики при температурах 1250–1300 °С практически не изменяло фазовый состав в объеме образца, однако с наружных поверхностей наблюдалось значительное уменьшение  $\text{Bi}_2\text{O}_3$ . Получена высокоплотная микроструктура ( $\rho_{\text{отн}} \sim 96\%$ ) с преимущественно игольчатыми кристаллами шириной около 1 мкм и длиной 5–10 мкм. Промежутки между игольчатыми кристаллами были заполнены небольшими кристалликами до 1 мкм.

Анализ таблицы показывает, что с ростом температуры спекания от 1000 до 1300 °С относительная плотность керамики, спрессованной при  $P=500$  МПа, возрастает от 69 % до 98 %. Усадка по диаметру после спекания при температуре 1000 °С составляла 0,5 %, а после повторного спекания, при температуре 1300 °С – 17,5 %. Измерить микротвердость  $H_v$  и трещиностойкость  $K_{IC}$  экспериментального образца, спеченного при 1000 °С, 2 ч, не удалось вследствие его высокой пористости.

Таблица 1 – Влияние технологических режимов изготовления соединения  $\text{SrBi}_2\text{Ta}_2\text{O}_9$  (SBT) на его физико-механические и диэлектрические свойства

Соединение	Тспекания	$\rho_{\text{отн.}}$ %	$H_v$ , ГПа	$K_{IC}$ , МПа*м <sup>1/2</sup>	$\epsilon$
$\text{SrBi}_2\text{Ta}_2\text{O}_9$	1000 <sup>0</sup> С, 2 ч	69	–	–	90
$\text{SrBi}_2\text{Ta}_2\text{O}_9$	1100 <sup>0</sup> С, 2 ч	81	3,04	1,4	109
$\text{Sr}_{0,9}\text{Bi}_{2,05}\text{Ta}_2\text{O}_9$	1100 <sup>0</sup> С, 2 ч	–	3,08	1,4	–
$\text{SrBi}_2\text{Ta}_2\text{O}_9$	1200 <sup>0</sup> С, 2 ч	94	–	–	120
$\text{SrBi}_2\text{Ta}_2\text{O}_9$	1250 <sup>0</sup> С, 5 ч	96	3,26	1,6	121
$\text{SrBi}_2\text{Ta}_2\text{O}_9$	1000 <sup>0</sup> С, 2 ч+ 1300 <sup>0</sup> С, 2 ч	98	2,94	1,4	123

Следует отметить, что даже спеченная до высоких плотностей керамика SBT обладает низким значением микротвердости ( $H_v \sim 3 \div 3,26$  ГПа) и коэффициента трещиностойкости  $K_{IC}$  (1,4–1,6 МПа\*м<sup>1/2</sup>)

по сравнению с такими тугоплавкими материалами, как  $\text{Al}_2\text{O}_3$  и  $\text{ZrO}_2$ . Это может свидетельствовать о высокой хрупкости мишенной SBT, что необходимо учитывать при отработке режимов вакуумных методов напыления тонких сегнетоэлектрических пленок. С ростом относительной плотности керамики  $\text{SrBi}_2\text{Ta}_2\text{O}_9$  от 69 до 98 % отмечено увеличение ее диэлектрической проницаемости от 90 до 123. Вероятно, это связано с изменением пористости керамики, а также с ростом размера зерна. Полученные данные по диэлектрической проницаемости нашего материала близки к данным других авторов.