

Рисунок 3– Зависимость кажущейся плотности от содержания модификатора

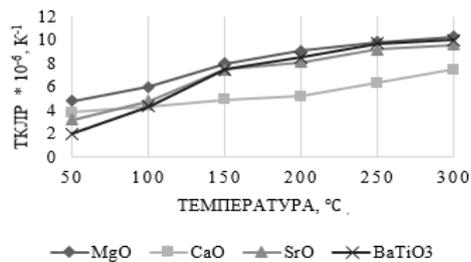


Рисунок 4– Зависимость температурного коэффициента линейного расширения опытных образцов от температуры измерения и вида модификатор

Кажущаяся плотность является функцией двух составляющих – истинной плотности и пористости. Изменение кажущейся плотности можно объяснить уменьшением истинной плотности опытных образцов. Также это связано с тем, что молярная масса оксида бария гораздо выше молярных масс оксидов магния, кальция и стронция ( $M(\text{BaO}) = 153,3$  г/моль;  $M(\text{MgO})=40,3$  г/моль;  $M(\text{CaO}) = 56$  г/моль;  $M(\text{SrO})=103,62$  г/моль), и они, замещая ион бария полностью не заполняют структуру. Плотность в ряду  $\text{BaO}-\text{SrO}-\text{CaO}-\text{MgO}$  уменьшается.

Большинство известных в настоящее время твердых веществ при нагревании расширяются. Несмотря на то, что прочность сил связи в твердом теле очень велика, существуют предпосылки движения элементарных частиц (атомов, ионов). Как в аморфных телах, так и в кристаллических, атомы колеблются около центра равновесия. При этом амплитуда колебаний возрастает с увеличением температуры. Установлено, что и удельный

объем большинства веществ возрастает при увеличении температуры, т. е. имеет место тепловое расширение. Явление термического расширения, однако, связано не только с увеличением амплитуды колебательного движения атомов, как с его ангармоничностью.

Термическое расширение имеет значение для сегнетокерамики, т. к. при производстве изделий из неё проводится нанесение электрода с использованием металлосодержащих паст с определенным ТКЛР.

Температурный коэффициент линейного расширения (ТКЛР) определяли на кварцевом dilatометре.

Нагрев осуществляли до 300 °С со скоростью подъема температуры 5 °С в минуту. Температура фиксируется хромель – алумелевой термопарой, ЭДС которой определяется потенциометром типа ПП – 2.

На рисунке 4 представлена зависимость температурного коэффициента линейного расширения опытных образцов от температуры измерения и вида модификатора. Измерения проводились на образцах, содержащих максимальное количество модификатора (20 мол.%).

Из зависимости видно, что коэффициент линейного расширения образцов модифицированных оксидом магния, находится в пределах  $(5-10) \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ .

Наибольшие изменения происходят в интервале температур 0–200 °С. ТКЛР при использовании оксида кальция изменяется от 3 до  $6 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ , при этом значения монотонно растут с увеличением температуры. ТКЛР образца, модифицированного оксидом стронция, изменяется в интервале  $2,5-8 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ , наибольшее расширение происходит в температурных пределах от 0 до 100 °С.

Наибольшее расширение при нагревании претерпевает образец, содержащий оксид магния.

Таким образом, в работе установлено влияние оксидов-модификаторов на свойства титаната бария, что позволило оптимизировать химический состав, обеспечивающий стабильные сегнетоэлектрические свойства.

УДК 621

## СТРУКТУРНЫЕ СВОЙСТВА ВИСМУТСОДЕРЖАЩЕЙ СЕГНЕТОКЕРАМИКИ Шабур М.А., Колонтаева Т.В.

Белорусский национальный технический университет  
Минск Республика Беларусь

Данная работа посвящена синтезу керамических материалов на основе системы  $\text{RO}-\text{Bi}_2\text{O}_3-\text{TiO}_2$  и исследованию основных структурных свойств опытных образцов. В качестве исходного сырья использовались чистые оксиды и карбонаты. Для управления свойствами материалов

вошел модификатор  $\text{Na}_2\text{O}$  в количестве ( $N_1 = 2,5$  мол. %,  $N_2 = 5$  мол. %,  $N_3 = 7,5$  мол. %)

Физико-химические свойства опытных образцов оценивали по значениям водопоглощения, открытой пористости и кажущейся плотности. Данные характеристики являются критери-

альными, благодаря которым можно проследить процесс спекания и установить его технологические параметры.

В таблице 1 приведены физико-химические свойства опытных образцов исходных составов после второго обжига при температуре 1150 °С.

Таблица 1 – Физико-химические свойства опытных образцов исходных составов

Свойства	Номера составов		
	1	2	3
Водопоглощение В, %	0,142	0,096	0,068
Пористость открытая По, %	0,91	0,65	0,43
Плотность кажущаяся, $\rho_{\text{каж}} \cdot 10^{-3}$ , кг/м <sup>3</sup>	1,65	1,68	1,82

На рисунках 1, 2 и 3 представлены зависимости соответственно плотности, пористости, водопоглощения от температуры обжига для образцов серии N (введение Na<sub>2</sub>O).

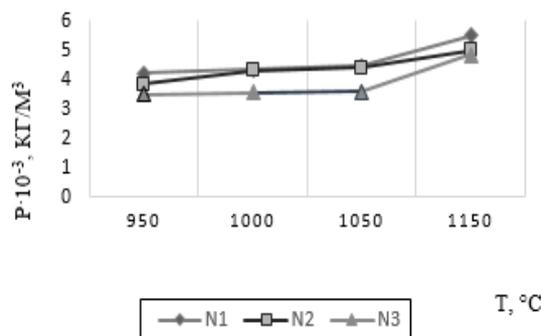


Рисунок 1 – Зависимость кажущейся плотности от температуры обжига

Как видно из приведенных данных, кажущаяся плотность образцов увеличивается при повышении температуры обжига, что объясняется уменьшением пористости, а также увеличением плотности образующихся кристаллических фаз и повышением количества стекловидной фазы, что обуславливает более плотную упаковку зерен образовавшихся структурных составляющих материала.

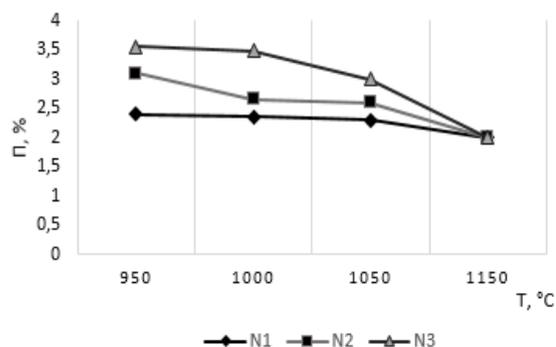


Рисунок 2 – Зависимость открытой пористости образцов от температуры обжига

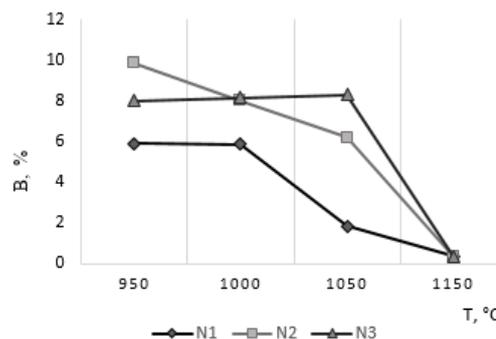


Рисунок 3 – Зависимость водопоглощения образцов от температуры обжига

С увеличением количества Na<sub>2</sub>O плотность уменьшается при низких температурах (950–1150 °С) в связи с разрыхлением структуры Na<sub>2</sub>O. А при температуре 1150 °С значения кажущейся плотности для различного содержания Na<sub>2</sub>O практически не изменяется, в связи с уплотнением структуры.

Открытая пористость и водопоглощение, которые определяются открытыми порами, изменяются на 0,5–1 % в первом случае и на 2–4 % соответственно, но очевидна тенденция к уменьшению величин этих свойств с увеличением температуры обжига, с повышением которой процессы массопереноса активизируются, особенно в случае жидкофазного спекания, так как увеличивается количество расплава, уменьшается его вязкость, повышается проникающая способность. При этом пористость материала заметно уменьшается, вследствие чего снижается водопоглощение образцов и повышается их кажущаяся плотность.

Кроме этого, при увеличении температуры синтеза накопление расплава приводит к уплотнению материала и увеличению усадки образцов в процессе обжига.

Температурный коэффициент линейного расширения опытных образцов размером 4×4×35 мм с подшлифованными до параллельности гранями определяется на горизонтальном кварцевом dilatометре ДКВ-2 в интервале температур 20–400 °С при записи показаний индикатора часового типа через каждые 50 °С согласно методике и ГОСТ 10978-83.

Подготовленный образец вставляется в кварцевую трубку и прижимается кварцевым стержнем и индикатором. После чего кварцевая трубка при помощи каретки задвигается в электрическую печь. Скорость подъема температуры в печи составляет 4–5 °С/мин и регулируется подачей напряжения.

Температура в печи измеряется проградуированной хромель-алюмелевой термопарой, ЭДС которой определяется потенциометром ПП. Средняя ошибка измерения составляет 1–2 %. Расчёт среднего коэффициента линейного рас-

ширения в интервале температур образца  $\alpha$ ,  $K^{-1}$  производится по формуле:

$$\alpha = \frac{nk}{(t_2 - t_1) \cdot L} + \alpha_{кв} \quad (1).$$

где  $n$  – показание индикатора, дел;  $k$  – цена деления индикатора, мм;  $(t_2 - t_1)$  – разность температур (комнатной и конечной) для выбранного интервала при расчёте,  $^{\circ}C$ ;  $L$  – длина образца, мм;  $\alpha_{кв}$  – поправка на расширение кварцевого стекла,  $K^{-1}$ .

Показания прибора фиксировались индикатором часового типа с ценой деления 1 мкм.

Для керамических материалов, на которые наносятся покрытия с последующей термической обработкой, большое значение имеет показатель термического расширения, а именно ТКЛР, так как при несовпадении его значений для материала и покрытия могут наблюдаться нежелательные явления: отскок, коробление, нарушение целостности покрытия.

Графическая зависимость линейного расширения опытных образцов серии N от температуры обжига представлена на рисунке 4.

Данные, приведенные на рисунке 4, свидетельствуют о том, что линейное расширение полученных образцов имеет линейную зависимость от температуры в измеряемом интервале, следовательно термический коэффициент линейного расширения, равный тангенсу угла наклона к оси

температур, постоянный и изменяется в интервале, а для серии N  $(9,013-9,739) \cdot 10^{-6} K^{-1}$ .

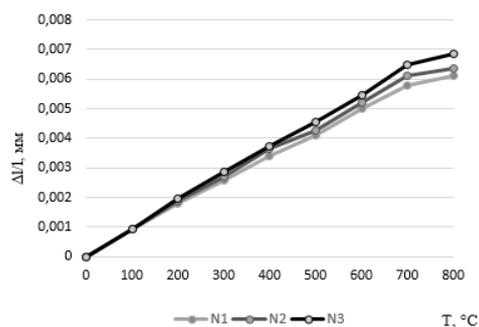


Рисунок 4 – Графическая зависимость линейного расширения опытных образцов серии N от температуры обжига

Такая зависимость указывает на отсутствие полиморфных превращений, связанных с изменением объема и равномерность возникающих напряжений, а значит не приводит к нарушению целостности материала и его деформации, что является благоприятным для технической керамики и позволяет использовать ее в относительно широком интервале температур.

По результатам исследований установлено влияние модификатора на процесс спекания, а также на тепловые свойства синтезированных образцов.

УДК 539.2:669.(6-8)

### ФАЗОВЫЙ СОСТАВ, ТЕКСТУРА И МИКРОТВЕРДОСТЬ БЫСТРОЗАТВЕРДЕВШИХ ФОЛЬГ СПЛАВА $Bi_{20}In_{28}Sn_{52}$ Шепелевич В.Г.<sup>1</sup>, Гусакова С.В.<sup>1</sup>, Гусакова О.В.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Белорусский государственный университет  
Минск, Республика Беларусь

<sup>2</sup>Международный государственный экологический институт имени А.Д. Сахарова БГУ  
Минск, Республика Беларусь,

Тройные сплавы системы Bi-In-Sn находят применение в качестве припоев в стоматологии. Они также рассматриваются как заменители многочисленных тройных сплавов Bi-Sn-Pb, содержащих свинец, являющийся опасным компонентом для здоровья человека и состояния окружающей среды. В связи с высокой стоимостью индия для получения сплав системы Bi-In-Sn целесообразно использовать ресурсо- и энергосберегающие технологии, к которым относится охлаждение расплавов со сверхвысокими скоростями [1]. Однако структура и свойства сплавов, полученных высокоскоростным охлаждением расплава, значительно отличаются от структуры и свойств сплавов, изготовленных при малых и средних скоростях охлаждения [2, 3]. В связи с этим исследовано влияние сверхвысоких скоростей охлаждения расплава на фазовый состав,

зеренную структуру и механические свойства тройного сплава Bi-In-Sn.

Сплав  $Bi_{20}In_{28}Sn_{52}$  изготовлен сплавлением компонентов в кварцевой ампуле (индексы у символов химических элементов указывают их содержание в атомных процентах, массовые концентрации соответствующих компонентов равны 31, 29 и 45 мас. %). Расплав заливался в графитовую изложницу, в которой охлаждался со скоростью  $10^2$  K/c. Затем кусочек сплава массой  $\approx 0,2$  г расплавлялся и капля расплава инжигировалась на внутреннюю полированную поверхность быстровращающегося медного цилиндра. Капля растекалась по поверхности кристаллизатора и затвердевала в виде фольги толщиной 30–120 мкм. Скорость охлаждения расплава составляла порядка  $10^5$  K/c. Структура фольги исследовалась с помощью растрового электронного мик-