

отношению к гранулированному пеностеклу на основе сортированного стеклобоя (90 \$);

– расширение сырьевой базы за счет использования стеклобоя различных стекол и отказа от сульфатного механизма газовой выделения. С этой целью дополнительно вводится в шихту жидкое стекло – гидратный механизм газовой выделения;

– вспенивание гранулированного полуфабриката обеспечивает возможность получения на его основе, как блоков, так и щебня, и гравия, снижает трудоемкость процесса и энергозатраты.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Демидович, Б.К. Производство и применение пеностекла / Б.К. Демидович // Б.К. Демидович – Минск. «Наука и техника». – 1975. – 248 с.

2. Пеностекло. Научные основы и технология / Н.И. Минько [и др.] : Воронеж ООО "Издательство "Научная книга". – 2008. – 168 с.

УДК 666.3

Студ. А.А. Карниевич

Науч. рук. доц. к.т.н. Е.М. Дятлова

(кафедра технологии стекла и керамики, БГТУ)

### **КЕРАМИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ ТИТАНАТА МАГНИЯ ДЛЯ ТЕРМОСТАБИЛЬНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ КОНДЕНСАТОРОВ**

Керамические диэлектрики находят широкое применение в электронной технике. Диэлектрическими называют материалы, основным электрическим свойством которых является способность к поляризации и в которых возможно существование электростатического поля. Как известно [1], диоксид титана обладает повышенным значением диэлектрической проницаемости и является основным материалов для изготовления «конденсаторной керамики». Современные материалы на основе различных титанатов обладают широким диапазоном электрофизических характеристик.

Особый интерес представляют диэлектрики с положительным коэффициентом диэлектрической проницаемости. Получение таких материалов являлось целью данного исследования. Согласно литературным данным большинство титанатов металлов и оксид титана обладают отрицательным коэффициентом диэлектрической проницаемости. Исключение составляет титанат магния. Диэлектрики, син-

тезируемые на основе титаната магния, могут достигать значений ТКЕ до  $+70 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ .

Синтез опытных образцов проводился на основе титаната магния с дополнительным введением оксидов-модификаторов. Оксиды титана и циркония вводились в виде чистых реактивов, оксид магния – жженой магнезией, оксид кальция – карбонатом кальция. Для активизации процесса спекания и снижения температуры обжига вводился минерализатор в виде оксида кальция. Диоксид циркония использовался для уменьшения диэлектрических потерь на высоких частотах за счет формирования мелких кристаллитов. Оксид кальция вводили эквивалентно оксиду магния, оксид циркония – вместо оксида титана. Содержания компонентов варьируется в следующий пределах, мас. %:  $\text{TiO}_2$  – 57,7-66,5;  $\text{MgO}$  – 33,5-30,9;  $\text{ZrO}_2$  – 9,8-19,1;  $\text{CaO}$  – 0,9-2,8. Изготовление образцов производилось методом полусухого прессования. Обжиг материалов осуществлялся при температурах 1250–1400 °С.

Образцы при температуре 1400 °С не сохранили свою форму и оплавившись, что объясняется малым температурным интервалом спекания данных материалов.

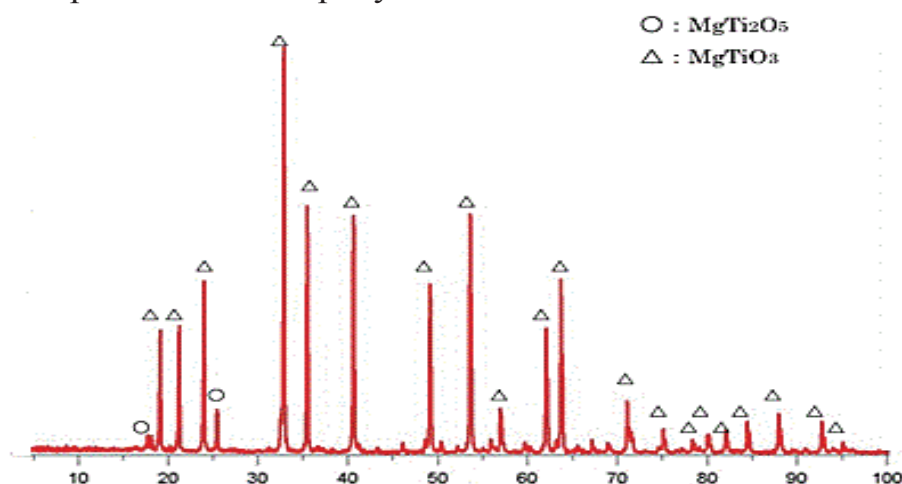
Общая усадка образцов составила от 0,82 до 3,50 %, и увеличивалась с ростом температуры обжига. Водопоглощение варьировалось в пределах 1,25-4,11 %, а кажущаяся плотность 2630-3770 кг/м<sup>3</sup>. Такие изменения зависят как от состава исходных смесей, так и от температуры обжига.

Значения температурного коэффициента диэлектрической проницаемости опытных образцов находится в диапазоне от  $42,9 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$  до  $69,8 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ , диэлектрические потери составили  $\text{tg } \delta = (8-15) \cdot 10^{-4}$ , диэлектрическая проницаемость от 13,63 до 21,65, а величина электрического сопротивление более  $10^{11} \text{ Ом} \cdot \text{м}$ .

Установлено, что ведение в состав модифицирующих добавок в виде оксида кальция и диоксида циркония способствует увеличению диэлектрической проницаемости, что обусловлено изменением структуры керамического материала.

Оксид кальция способствует увеличению диэлектрической проницаемости, но приводит к снижению температурного коэффициента диэлектрической проницаемости. Это в первую очередь, связано с усилением процесса поляризации за счет формирования кристаллической перовскитовой структуры с повышенной степенью тетрагональности, а также с возможным появлением новых кристаллических фаз, таких как  $\text{CaTiO}_3$ , который имеет диэлектрическую проницаемость в 7-8 раз выше чем  $\text{MgTiO}_3$  [2].

С помощью качественного рентгенофазового анализа были проведены исследования фазового состава полученных материалов. Основной кристаллической фазой в образцах на основе системы  $\text{Mg}(\text{Ca}, \text{Zr})\text{O} - \text{TiO}_2$  является титанат магния. Дифрактограмма образца состава № 5 представлена на рисунке 1.



**Рисунок 1 – Дифрактограмма образца состава № 5**

По результатам рентгенофазового анализа можно сделать вывод о том что в образцах преобладает необходимая синтезируемая  $\text{MgTiO}_3$  фаза. Ее количество составляет 59,1 %. Фаза  $\text{Mg}_2(\text{TiO}_4)$  оставляет 26,9 %, а также образец содержит небольшие примеси рутила.

Дифференциально-термический анализ керамической массы позволил установить процессы, происходящие при ее нагревании и обусловленные, главным образом, ее химическим составом и структурой. Кривая ДТА керамической массы состава №5 представлена на рисунке 2 и свидетельствует о наличии ряда термических эффектов. В интервале температур 100–300 °С наблюдается удаление адсорбированной воды, а также выгорание органических примесей. Эндотермический эффект при температуре 384,8 °С характерен для жженой магнезии. Модификационные изменения характерные для оксида титана происходят при температуре 736,3 °С. Это связано с образованием брукита из непрореагировавшего рутила. При температуре 942,7 °С происходит разложение карбоната кальция, входящих в состав смеси.

Для получения сведений о микроструктуре исследуемых образцов, размере кристаллов, их форме, взаимного расположения частиц, характера поверхности использовался метод электронной микроскопии. Результаты представлены на рисунке 3. Результаты оптической микроскопии показали, что материал характеризуется однородностью, равномерностью распределения кристаллических фаз и пор. Все образцы имеют гетерогенную зернистую структуру. Общий

размер зерен кристаллических фаз от 0,09 до 0,165 мкм. При повышении температуры зернистость поверхности уменьшается, получается более спеченный материал. Белые включения свидетельствуют о остаточной фазе непрореагировавшего оксида титана.

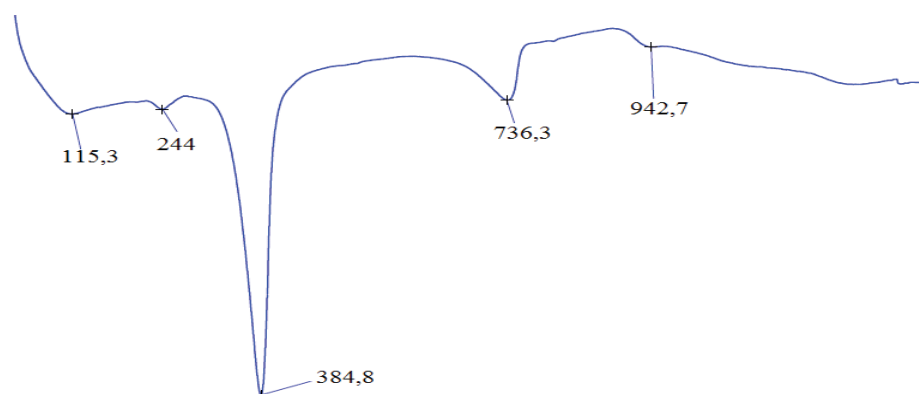
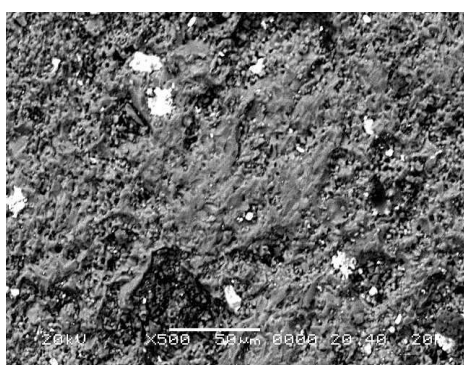
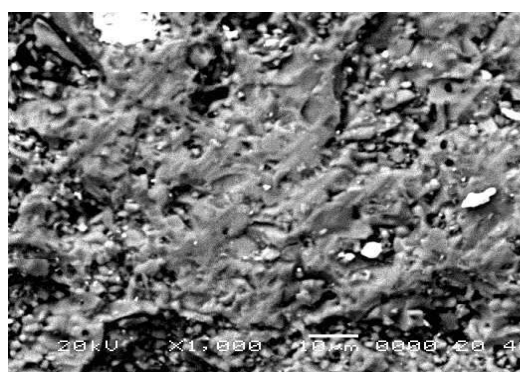


Рисунок 2 □ Кривая ДТА керамической массы состава 5



×500



Б) ×1000

Рисунок 3 □ Электронная микроскопия образца № 5, синтезированного при температуре 1350 °С

На основе проведенного исследования установлено влияние модификаторов и температуры обжига на структуру и свойства синтезированных материалов. Разработанные материалы на основе титаната магния могут быть использованы в электронной отрасли для получения термостабильных конденсаторов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Окадзаки, К. Технология керамических диэлектриков / К. Окадзаки – М.: Энергия, 1976. – 327 с.
2. Котова, О.Б. Технологическая минералогия – основа комплексного использования сырьевого потенциала Европейского Северо-Востока / О.Б. Котова // Вестник Института геологии Коми НЦ УрО РАН. 2010. – № 9. – Вып. 2. – С. 36–38.