

явно определяют параметр решения k , параметр решения ω зависит непосредственно только от β . Зависимость параметра ω от γ представлена только опосредствовано. Таким образом, возможна ситуация, в которой состояние, описываемое топологически нетривиальным решением уравнения (4), не будет зависеть от того, как протекают диссипативные процессы в пространстве.

Отметим, что в случае учета временных диссипативных процессов (уравнение (2)) или без их учета вовсе (уравнение (1)) такая ситуация не имеет места. И для уравнения (1), и для уравнения (2) параметры решения k и ω однозначно определяются через коэффициенты модели. Вследствие этого вопрос о существовании решения, описывающего связанное состояние хотя бы двух топологически нетривиальных решений, для этих нелинейных уравнений в настоящее время остается открытым. В тоже время произвол при выборе параметра k для решения уравнения (4) предоставляет хорошую возможность, чтобы построить связанное состояние не только двух кинков (антикинов) или кинка и антикинка, но и произвольного числа топологически не тривиальных одиночных объектов.

Все вышесказанное позволяет рассматривать нелинейные уравнения при учете диссипативных процессов как такие уравнения, которые допускают существование решений в виде связанных состояний, т. е. относятся к интегрируемым нелинейным уравнениям [8]. Как известно, решение, описывающее связанное состояние произвольного числа одиночных топологически нетриви-

альных состояний можно построить, если в системе имеет место баланс между нелинейностью и дисперсией. Такой баланс можно установить разными путями. Можно учесть в модели более высокие порядки нелинейности (и не только для потенциала). Однако нам представляется более перспективным по возможности более полный учет диссипативных процессов. Чем больше диссипативных процессов, связанных с переносом энергии, принимаются во внимание в той или иной задаче, тем проще установить баланс, позволяющий построить связанные состояния.

Литература

1. Князев, М. А. Топологически нетривиальное состояние в диссипативной модели ϕ^4 с нарушением Лоренц-инвариантности / М. А. Князев // Вестн. НАН Беларуси. Сер. физ.-мат. наук. – 2021. – Т. 57, № 3. – С. 347–352.
2. Раджараман, Р. Солитоны и инстантоны в квантовой теории поля / Р. Раджараман. – М.: Мир, 1986. – 416 с.
3. Додд, Д. Солитоны и нелинейные волновые уравнения / Д. Додд, Дж. Эйлбек, Дж. Гиббон, Х. Моррис. – М.: Мир, 1988. – 694 с.
4. Абловиц, М. Солитоны и метод обратной задачи / М. Абловиц, Х. Сигур. – М.: Мир, 1987. – 479 с.
5. Yan, H. Kink-antikink collision in a Lorentz-violating ϕ^4 model / H. Yan, Y. Zhong, Y.-X. Lui, K.-i. Maeda // Physics Letters B. – 2020. – Vol. 807, № 10. – P. 135542.
6. Barreto, M. N. Defect structures in Lorentz and CPT violating scenarios / M. N. Barreto, D. Bazeia, R. Menezes // Physical Review D. – 2006. – Vol. 73, № 6. – P. 065015.
7. Князев, М. А. Кинки в скалярной модели с затуханием / М. А. Князев. – Минск: Тэхналогія, 2003. – 116 с.
8. Инфельд, Э. Нелинейные волны, солитоны и хаос / Э. Инфельд, Дж. Роуланс. – М.: Физматлит, 2005. – 480 с.

УДК 621

ЗАВИСИМОСТЬ СВОЙСТВ ИЗОЛЯЦИОННОЙ КОМПОЗИТНОЙ КЕРАМИКИ ОТ ПАРАМЕТРОВ СИНТЕЗА

Колонтаева Т. В.¹, Сергиевич О. А.², Гвоздева Н. А.²

¹ Белорусский национальный технический университет

² Белорусский государственный технологический университет
Минск, Беларусь

Аннотация. В результате выполнения исследовательской работы изучены свойства изоляционной композитной керамики на основе сочетания кристаллических фаз кордиерита ($2\text{MgO} \cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{SiO}_2$) и цельзиана ($\text{BaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$) в четырехкомпонентной системе $\text{MgO} - \text{BaO} - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{SiO}_2$. Подобраны оптимальные режимы термообработки керамических образцов. Установлено влияние температуры и продолжительности обработки на удельное электросопротивление. Изучен фазовый состав оптимальных составов и микроструктура.

Ключевые слова: кордиерит, цельзиан, спекание, электросопротивление, микроструктура.

DEPENDENCE OF THE PROPERTIES OF INSULATING COMPOSITE CERAMICS ON SYNTHESIS PARAMETERS

Kolontaeva T. V.¹, Sergievich O. A.², Gvozdeva N. A.²

¹ Belarusian National Technical University

² Belarusian State Technological University
Minsk, Belarus

Abstract. As a result of the research work, the properties of insulating composite ceramics based on a combination of crystalline phases of cordierite ($2\text{MgO} \cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{SiO}_2$) and celzian ($\text{BaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$) in the four-component system $\text{MgO} - \text{BaO} - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{SiO}_2$ were studied. The optimal modes of heat treatment of ceramic samples were

selected. The effect of temperature and duration of processing on the specific electrical resistance was established. The phase composition of the optimal compositions and microstructure have been studied.

Keywords: cordierite, celzian, sintering, electrical resistance, microstructure.

Адрес для переписки: Колонтаева Т. В., пр. Независимости, 65, г. Минск 220113, Республика Беларусь
e-mail: tatkolontaeva@mail.ru

На основании аналитического обзора литературы синтез материалов проводился на основе сочетания кристаллических фаз кордиерита ($2\text{MgO} \cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{SiO}_2$) и цельзиана ($\text{BaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$) в четырехкомпонентной системе $\text{MgO} - \text{BaO} - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{SiO}_2$. Заданное соотношение кристаллических фаз с составом оксидов представлено в таблице 1.

Согласно химическому составу исходных смесей и используемому сырью можно сделать вывод, что механизм процесса спекания и переноса вещества в изучаемой системе сложный. Преобладает жидкофазное спекание с переносом вещества путем вязкого течения расплава. Спекание керамических материалов сопровождается процессом уплотнения, который условно можно разделить на три стадии.

На первой стадии из введенных в массу компонентов при определенной температуре образуется жидкая фаза. Ее появлению способствуют примесные оксиды натрия и калия, участвующие в образовании легкоплавких эвтектик. Жидкая фаза вначале имеет низкую вязкость. Возникающие при этом капиллярные силы способствуют максимальной упаковке за счет уменьшения площади поверхности пор. Уплотнение системы происходит, в том числе, под действием сил поверхностного натяжения.

Вторая стадия уплотнения образцов связана с вторичной кристаллизацией. Новые зерна разделены жидкофазными прослойками (пленками). За счет отрицательного радиуса кривизны возникает давление, способствующее уплотнению структуры.

Количество расплава увеличивается за счет растворения аморфизированного кремнезема, образующегося при разложении глинистых минералов, а также за счет растворения BaO , появляющегося при разложении BaCO_3 . В расплав также вовлекается Al_2O_3 . При этом растворяются участки зерен, главным образом выпуклые, находящиеся в контакте с жидкой фазой, что обуславливает сближение их центров и перемещение жидкости в промежутки между зернами.

Таблица 1 – Химический состав опытных масс

№	Кордиерит: цельзиан, %	$\text{MgO}:$ BaO , мол. доли	Содержание, %			
			MgO	BaO	Al_2O_3	SiO_2
1	100:1	1:0	13,7	—	34,9	51,3
2	90:10	0,9:0,1	12,3	4,0	34,1	49,4
3	80:20	0,8:0,2	10,9	8,1	33,3	47,5
4	70:30	0,7:0,3	9,5	12,2	32,6	45,5
5	60:40	0,6:0,4	8,2	16,3	31,8	43,6
6	50:50	0,5:0,5	6,8	20,4	31,0	41,6

На завершающей стадии спекания заканчиваются физико-химические процессы. Твердые частицы смачиваются жидкой фазой, которая проникает в поры. Результатом перекристаллизации является образование кристаллического каркаса керамических образцов.

Одним из наиболее важных эксплуатационных свойств электроизоляционной керамики является удельное объемное электросопротивление. Керамические материалы в большинстве случаев имеют ионное строение, поэтому для них характерна ионная проводимость. Ионы, входящие в кристаллическую решетку, а также находящиеся в менее упорядоченном состоянии в стекловидном веществе, имеют определенную подвижность. Она тем меньше, чем прочнее внутрискристаллические связи. Основными источниками электропроводности являются ионы стекловидной фазы, обладающие большей подвижностью по сравнению с ионами кристаллической фазы. Зависимость логарифма удельного электрического сопротивления опытных образцов от температуры обжига при температуре измерения 100°C представлена на рисунке 1.

Подобное изменение электрического сопротивления можно связать с ослаблением химических связей в материалах из-за возрастания тепловых колебаний ионов при повышении температуры. При этом получают дополнительную степень свободы в первую очередь слабосвязанные ионы стеклофазы – щелочные и другие примесные ионы.

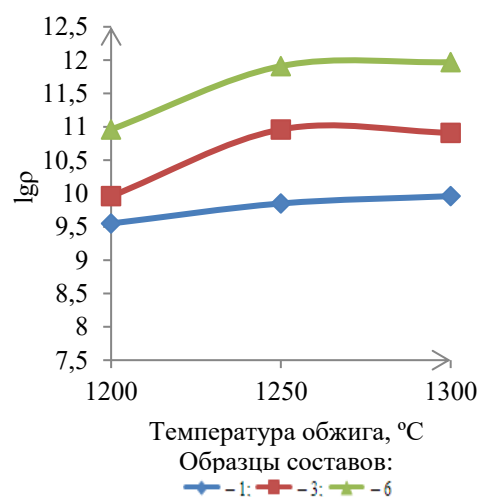


Рисунок 1 – Влияние температуры спекания на логарифм удельного электрического сопротивления образцов

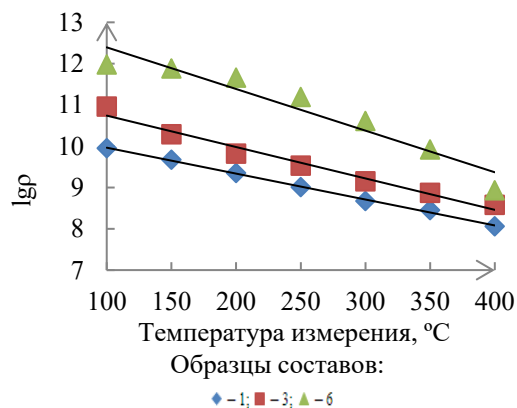


Рисунок 2 – Влияние температуры измерения на логарифм удельного электрического сопротивления образцов, обожженных при температуре 1250 °C

Из-за высокой степени ионной связи ($> 80\%$) по сравнению с ковалентной ($< 20\%$) ионы одновалентных Na^+ и K^+ обладают большой подвижностью. С увеличением температуры обжига подвижность увеличивается и уменьшается электросопротивление. Температурная зависи-

мость логарифма удельного сопротивления образцов, обожженных при температуре 1250 °C, приведена на рисунке 2.

Электросопротивление образцов увеличивается с ростом температуры спекания, т. к. в стекловидной прослойке присутствуют ионы Ba^{2+} . Ионы бария характеризуются высоким ионным радиусом и способны оказывать тормозящее действие на ионы щелочных металлов, чем снижают электропроводность и повышают удельное электросопротивление (имеет место нейтрализационный эффект).

С ростом температуры обжига увеличивается содержание кристаллической фазы, а стекловидная фаза обогащается SiO_2 и Al_2O_3 , которые обладают большей прочностью связи, чем ионы щелочных металлов.

По результатам исследования выбран оптимальный состав образца. Наибольшими значениями электросопротивления характеризуются образцы состава № 6, в составе которых содержится наибольшее количество крупного катиона Ba^{2+} , снижающего подвижность носителей заряда и уменьшающего электропроводность.

УДК 621

ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ КОМПОЗИЦИЙ КРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ФАЗ

Колонтаева Т. В.¹, Сергеевич О. А.²

¹ Белорусский национальный технический университет

² Белорусский государственный технологический университет
Минск, Беларусь

Аннотация. В результате выполнения исследовательской работы изучены базовые трехкомпонентные системы $\text{MgO} - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{SiO}_2$ и $\text{BaO} - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{SiO}_2$ с целью синтеза и изучения свойств и микроструктуры электроизоляционной керамики. Особое внимание уделено изучению основных химических соединений, образующихся в указанных системах, а именно кордиерита и цельзиана. Приведены основные характеристики соединений и их основные свойства. Проведен термодинамический анализ трехкомпонентной диаграммы состояния в области исследуемых составов.

Ключевые слова: электроизоляционная керамика, кордиерит, цельзиан, кристаллическая фаза.

ELECTRICAL MATERIALS BASED ON CRYSTAL PHASE COMPOSITIONS

Kolontaeva T. V.¹, Sergievich O. A.²

¹ Belarusian National Technical University

² Belarusian State Technological University
Minsk, Belarus

Abstract. As a result of the research work, the basic three-component systems $\text{MgO} - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{SiO}_2$ and $\text{BaO} - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{SiO}_2$ have been studied in order to synthesize and study the properties and microstructure of electrical insulation ceramics. Special attention has been paid to the study of the main chemical compounds formed in these systems, namely cordierite and celziite. The basic characteristics of the compounds and their basic properties have been presented, and a thermodynamic analysis of the three-component state diagram in the region of the studied compositions has been conducted.

Keywords: electrical insulating ceramics, cordierite, celcius, crystalline phase.

Адрес для переписки: Колонтаева Т. В., пр. Независимости, 65, г. Минск 220113, Республика Беларусь
e-mail: tatkolontaeva@mail.ru

Рациональный выбор керамических электроизоляционных материалов определяется главным образом их свойствами, а также изменением под воздействием электрического напряжения, температуры и других факторов.

Микроструктура, текстура, а также точность размеров керамических деталей являются определяющими при выборе области использования керамического изделия. Прогнозируемыми должны