

УДК 666.11.01:537.311.32

Студ. А.Г. Петуховская

Науч. рук. доц. к.т.н. М.В. Дяденко

(кафедра технологии стекла и керамики БГТУ)

## **РАЗРАБОТКА СОСТАВОВ СТЕКОЛ, ОСЛАБЛЯЮЩИХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ СВЧ-ДИАПАЗОНА**

В настоящее время все более важную роль приобретают стекла с особым комплексом радиофизических характеристик, предназначенные для высокоэффективного поглощения электромагнитного излучения (ЭМИ).

Взаимодействие стекол с электромагнитным полем предопределяет комплекс особых требований к ним: требуемое значение диэлектрической проницаемости, величина поглощения (отражения) электромагнитного излучения радиочастотного диапазона не менее 75 %.

В связи с этим целью работы является разработка составов радиозащитных стекол, обладающих низкой кристаллизационной способностью, требуемым показателем ослабления электромагнитного излучения СВЧ-диапазона, ТКЛР, составляющим порядка  $(40-50) \cdot 10^{-7} \text{ K}^{-1}$ , путем подбора оптимального соотношения  $\text{RO}/(\text{Al}_2\text{O}_3+\text{B}_2\text{O}_3+\text{SiO}_2)$ .

В качестве основы для изучения выбрана система  $\text{BaO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{B}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$ . Выбор обусловлен возможностью синтеза радиозащитных стекол с высокой устойчивостью стеклообразного состояния и требуемым комплексом физико-химических и электрофизических свойств.

Ослабление электромагнитного излучения зависит главным образом от уровня диэлектрических потерь, из которых определяющими являются деформационные потери. Их величина определяется природой оксида-модификатора (однозарядный или двухзарядный), а также их содержанием в составе опытных стекол. В связи с этим в данной работе изучена система  $\text{Al}_2\text{O}_3-\text{B}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$ , в которой в качестве модификаторов использован оксида бария, при этом его содержание оставалось постоянным и составляло 20 мол. %.

Синтез опытных стекол осуществлялся в газовой пламенной печи периодического действия при максимальной температуре  $(1470 \pm 20) \text{ }^\circ\text{C}$ , с выдержкой при ней 2 ч. По результатам варки установлено, что все стекла характеризуются требуемой степенью осветления, отсутствием непровара и однородностью.

По результатам исследования кристаллизационной способности опытных стекол установлено, что максимальная склонность к кри-

сталлизации характерна для стекол, включающих 45–50 мол. %  $\text{SiO}_2$  и 10 мол. %  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Следует отметить, что для стекол с постоянным содержанием  $\text{B}_2\text{O}_3$ , равным 10 мол. %, наблюдается уменьшение кристаллизационной способности с ростом содержания оксида  $\text{Al}_2\text{O}_3$ .

Возможность использования радиозащитных стекол на практике в различных сферах народного хозяйства зависит от величины их температуры начала размягчения, которая определяет рабочий диапазон использования данного типа стекол. Температура размягчения стекол системы  $\text{BaO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{B}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$  изменяется в пределах 580–690 °С. Определяющее влияние на температуру начала размягчения стекол оказывает содержание  $\text{SiO}_2$  и  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Так, с ростом содержания  $\text{SiO}_2$  от 40 до 60 мол. % данный показатель увеличивается от 580 до 690 °С. Для составов стекол с постоянным содержанием  $\text{B}_2\text{O}_3$ , незначительное увеличение температуры начала размягчения наблюдается при замене  $\text{Al}_2\text{O}_3$  на  $\text{SiO}_2$  в количестве от 40 до 60 мол. %. При этом данный показатель изменяется в среднем на 5 °С. Наиболее оптимальной с точки зрения разработки составов радиозащитных стекол является область, включающая 10–15 мол. %  $\text{B}_2\text{O}_3$ .

Как известно [1], энергия радиоволны при ее распространении в веществе преобразуется в другие виды энергии, в частности, в электрическую и тепловую. В связи с этим, радиозащитный материал должен иметь высокую термостойкость, которая зависит в первую очередь от температурного коэффициента линейного расширения (ТКЛР), и характеризоваться полупроводниковыми свойствами.

ТКЛР опытных стекол изменяется  $41,0 \cdot 10^{-7}$  до  $54,5 \cdot 10^{-7} \text{ K}^{-1}$ . Зависимость ТКЛР стекол системы  $\text{BaO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{B}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$  от их химического состава показана на рисунке 1.

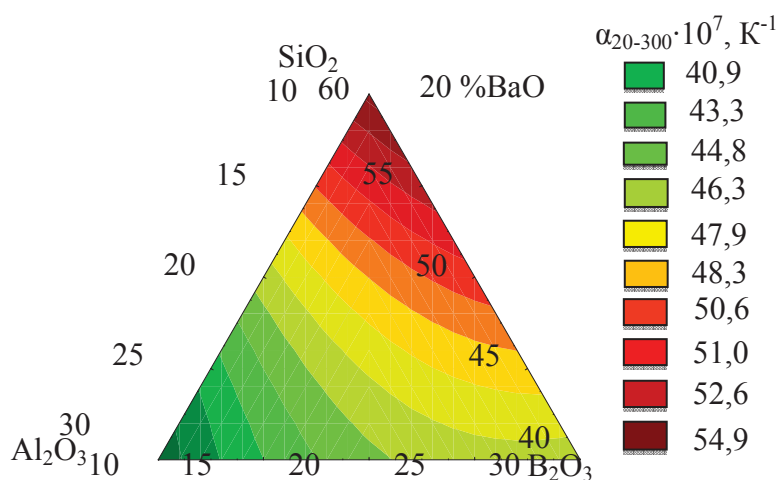


Рисунок 1 – Зависимость ТКЛР стекол от их химического состава

Минимальный показатель ТКЛР характерен для стекол с содержанием  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , равным 15–20 мол. %. При содержании  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , равном 20 мол. %, по-видимому, соотношение группировок  $[\text{AlO}_4]$  и  $[\text{AlO}_6]$  становится практически одинаковым. А дальнейшее повышение количества оксида алюминия приводит к преобладанию в структуре стекла групп  $[\text{AlO}_6]$ , так как кислорода «поставляемого» оксидами групп  $\text{R}_2\text{O}$ , недостаточно для полного перевода алюминия в четверную координацию. А как известно, алюминий переходит в четверную координацию, если отношение  $\text{R}_2\text{O}/\text{Al}_2\text{O}_3 > 1$ . Алюминий в шестерной координации является модификатором, обуславливая деполимеризацию алюмоборокремнекислородного каркаса и вызывая рост ТКЛР.

С ростом содержания оксида бора, вводимого взамен  $\text{Al}_2\text{O}_3$  в количестве от 10 до 30 мол. %, ТКЛР опытных стекол уменьшается. Это происходит из-за перехода четырехкоординированного бора в трехкоординированное состояние. Увеличение доли групп  $[\text{BO}_3]$  над группировками  $[\text{BO}_4]$  способствует образованию структурных пустот, наличие которых обуславливает способность структурной сетки «поглощать» расширение за счет изгиба связей [2–4].

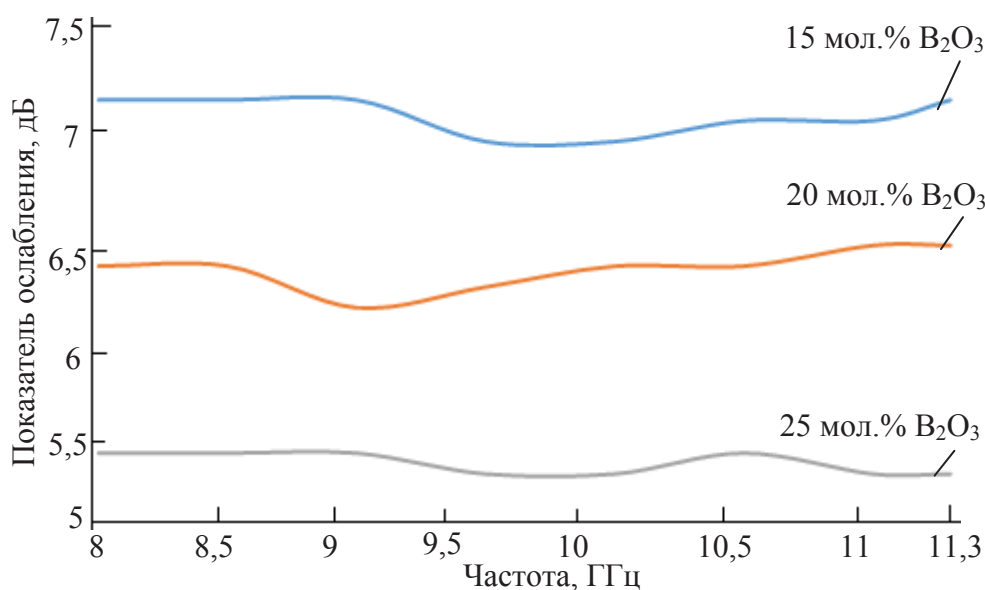
Термостойкость опытных стекол изменяется в пределах от 150 до 200 °С. Максимальные показатели термостойкости характерны для стекол, включающих 10–15 мол. %  $\text{Al}_2\text{O}_3$ .

Электрофизические свойства опытных стекол оценивались волноводным методом, который позволяет определить коэффициент стоячей волны, коэффициент отражения и показатель ослабления СВЧ-излучения. Это позволяет оценить исследуемый материал с точки зрения практического использования его в исследуемом диапазоне.

Графическая зависимость показателя ослабления опытных стекол от частоты в диапазоне 8–11,3 ГГц при разном содержании  $\text{B}_2\text{O}_3$  приведена на рисунке 2.

С увеличением содержания  $\text{B}_2\text{O}_3$  от 15 до 25 мол. %, вводимого взамен оксида алюминия, показатель ослабления будет уменьшаться. Это обусловлено преобладанием доли тетраэдрических групп  $[\text{AlO}_4]$  и  $[\text{BO}_4]$  над группировками  $[\text{AlO}_6]$  и  $[\text{BO}_3]$ , усиливающих степень связности алюмоборокремнекислородного каркаса. Для стекол, включающих 15–25 мол. %  $\text{B}_2\text{O}_3$  характер изменения показателя ослабления от содержания данного оксида сохраняется постоянным в области частот 8–11,3 ГГц.

В качестве оптимальной с точки зрения получения радиозащитных стекол выбрана область составов, включающая, мол. %: 15–20  $\text{B}_2\text{O}_3$ , 40–50  $\text{SiO}_2$  и 15–25  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Показатель ослабления стекол указанной области изменяется в пределах от 4,2 до 11 дБ и от 4,5 до 14,0 дБ.



**Рисунок 2 – Зависимость показателя ослабления опытных стекол от частоты в диапазоне 8–11,3 ГГц при различном содержании В<sub>2</sub>О<sub>3</sub>**

Химическая устойчивость характеризует способность опытных стекол противостоять химическому воздействию влаги, растворов различных реагентов, которые действуют на его поверхность и изменяют его структуру.

Химическая устойчивость стекол определяется его составом: чем ниже доля щелочных оксидов, тем оно более химически стойкое. Все опытные стекла относятся ко II гидролитическому классу.

На основании проведенных исследований для синтеза стекол, значительно ослабляющих электромагнитное излучение и отвечающих в максимальной степени предъявляемым к ним требованиям, могут быть использованы составы с молярным соотношением  $\text{BaO}/(\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{V}_2\text{O}_3 + \text{SiO}_2)$ , составляющим 0,20–0,25.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Григорьев, О.А. Электромагнитные поля и здоровье человека // Энергия: экологические проблемы. – 1999, №5. – С. 3–5.
2. Павлушкин, Н.М. Химическая технология стекла и ситаллов / Н.М. Павлушкин. – М.: Стройиздат, 1983. – 432 с.
3. Гулоян, Ю.А. Технология стекла и стеклоизделий / Ю.А. Гулоян. – М.: Владимир: Транзит-Икс, 2003. – 480 с.
4. Аппен, А.А. Химия стекла / А.А. Аппен. М.: Химия, 1974. – 360 с.