

УДК 611.11.01:537.86

Студ. В.А. Малявская

Науч. рук. доц. к.т.н. М.В. Дяденко  
(кафедра технологии стекла и керамики БГТУ)

## **РАЗРАБОТКА СОСТАВОВ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПОЛУЧЕНИЯ РАДИОЗАЩИТНЫХ СТЕКОЛ**

Радиозащитным называют стекло, ослабляющее воздействие сверхвысокочастотного (СВЧ) излучения. При его попадании на тело человека происходит частичное поглощение поступающей энергии тканями организма, в результате чего в них возбуждаются высокочастотные токи, вызывающие его нагрев. При длительном и регулярном воздействии СВЧ-излучение приводит к глубинным изменениям: в крови и щитовидной железе, вызывает снижение эффективности адаптационных и обменных процессов, изменения в психической сфере.

Защита от электромагнитного облучения может быть достигнута путем установки радиоотражающих или радиопоглощающих экранов на основе неорганических материалов, существенно снижающих уровень электромагнитных полей [1].

В связи с этим основной задачей данной работы является разработка составов радиозащитных стекол, обладающих низкой кристаллизационной способностью, суммарной величиной поглощения и отражения электромагнитного излучения СВЧ-диапазона не менее 75 %. В качестве основы для получения радиозащитных стекол определена система BaO–ZnO–PbO–B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Выбор данной системы обусловлен отсутствием в составе таких стекол оксидов щелочных металлов, которые значительно снижают химическую устойчивость стекол. Вводимые катионы Ba<sup>2+</sup> и Zn<sup>2+</sup> являются крупными по размерам и легкополяризуемыми, что является причиной повышенного уровня диэлектрических потерь в сравнении со стеклами высококремнеземистых составов. Вместе с тем значительное количество PbO в составах стекол обуславливает их невысокое сопротивление.

Известно [2], что при содержании PbO выше 15–20 мас. % свинец входит в структурную сетку стекла в форме [PbO<sub>4</sub>]. Однако следует иметь ввиду, что стекла с высоким содержанием оксида свинца как правило характеризуются наличием желтой окраски.

Синтез опытных стекол осуществлялся в электрической печи периодического действия при максимальной температуре (1000±20)°С.

Для оценки кристаллизационной способности синтезируемых стекол проведена их градиентная термообработка в интервале температур 490–700 °С. По результатам исследования

кристаллизационной способности опытных стекол установлено следующее: образцы, включающие 6,5–7,0 PbO/ZnO характеризуются наличием поверхностной пленки, что свидетельствует об их недостаточно высокой устойчивости стеклообразного состояния. Стекла остальных составов не проявляют признаки фазового разделения.

Плотность стекла характеризует количественное содержание массы вещества в единице объема. С одной стороны, знание плотности стекол позволяет оценить массу готового изделия, а с другой – степень постоянства плотности и химического состава стекол характеризует их однородность. Кроме того, плотность является одним из факторов, определяющих величину коэффициента стоячей волны (КСВ): чем выше плотность, тем большее количество электромагнитного излучения может быть отражено стеклом. Плотность стекол определялась методом гидростатического взвешивания.

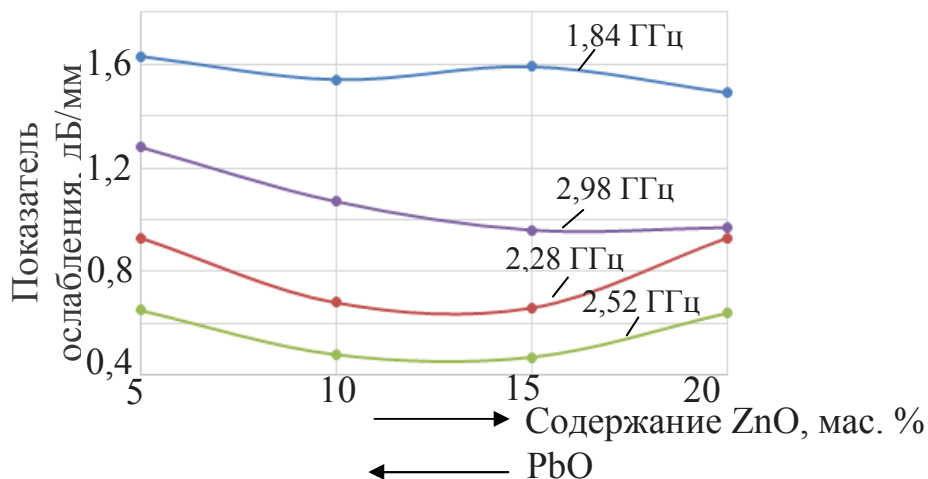
Экспериментально установлено, что определяющее влияние на величину плотности опытных стекол оказывает оксид свинца. Наиболее оптимальной с точки зрения получения радиозащитных стекол является область, включающая 15–20 мас. %  $B_2O_3$ .

Необходимость изучения влияния химического состава опытных стекол на величину их температурного коэффициента линейного расширения (ТКЛР) обусловлена тем, что энергия электромагнитного излучения СВЧ-диапазона при ее распространении в веществе преобразуется в другие виды энергии, в частности, в электрическую и тепловую [1]. В связи с этим радиозащитный материал должен иметь высокую термостойкость, которая зависит, в первую очередь, от ТКЛР. Определение данного показателя в работе осуществляется dilatометрическим методом, по результатам которого установлено, что ТКЛР опытных стекол варьируется в пределах  $(75,40–103,26) \cdot 10^{-7} K^{-1}$ . При этом его минимальная величина характерна для стекол, в которых массовое соотношение PbO/ $B_2O_3$  составляет 2,4–3,2. Дело в том, что с ростом содержания  $B_2O_3$ , вводимого взамен ZnO, наблюдается снижение ТКЛР опытных стекол, так как введение оксида бора в их состав способствует полимеризации структурного каркаса стекла за счет образования прочных координационных полиэдров  $[BO_4]$  [3, 4].

Радиофизические свойства (показатель ослабления, коэффициент стоячей волны) опытных стекол оценивались волноводным методом в диапазоне 1–3 ГГц, по результатам которого установлено, что показатель ослабления электромагнитной волны

СВЧ-диапазона опытных стекол изменяется от 0,40 до 1,70 дБ/мм, а коэффициент стоячей волны – в пределах 0,22–0,79 дБ/мм.

На рисунке 1 представлена графическая зависимость показателя ослабления электромагнитного излучения опытными стеклами от содержания ZnO.



**Рисунок 1 – Зависимость показателя ослабления электромагнитного излучения опытными стеклами от содержания ZnO**

Как следует из рисунка 1, величина показателя ослабления электромагнитного излучения определяется главным образом частотой прилагаемого электрического поля. Так, максимальная величина показателя ослабления наблюдается при частоте 1,84 ГГц. Вместе с тем введение ZnO в состав опытных стекол взамен PbO в количестве от 5 до 20 мас. %, несколько снижает данный показатель. Дело в том, что одним из источников релаксационных потерь в неорганических стеклах являются слабосвязанные ионы щелочных либо щелочноземельных металлов. Прилагаемое электрическое поле вызывает асимметрию в распределении зарядов, в результате чего возникает электромагнитное поле, что проявляется в росте показателя ослабления.

Графическая зависимость коэффициента стоячей волны от содержания PbO в составе опытных стекол представлена на рисунке 2.

Из рисунка 2 видно, что увеличение содержания PbO от 60 до 70 мас. % при всех частотах поля обуславливает снижение КСВ. Дальнейшее повышение оксида свинца от 70 до 75 мас. % вызывает рост данного показателя и тем интенсивнее, чем выше частота поля (для частот 1,84, 2,28 и 2,52 ГГц).

По результатам исследований установлено, что оптимальной с точки зрения получения радиозащитных стекол является область составов, включающая 0,15–0,25 ZnO/PbO.

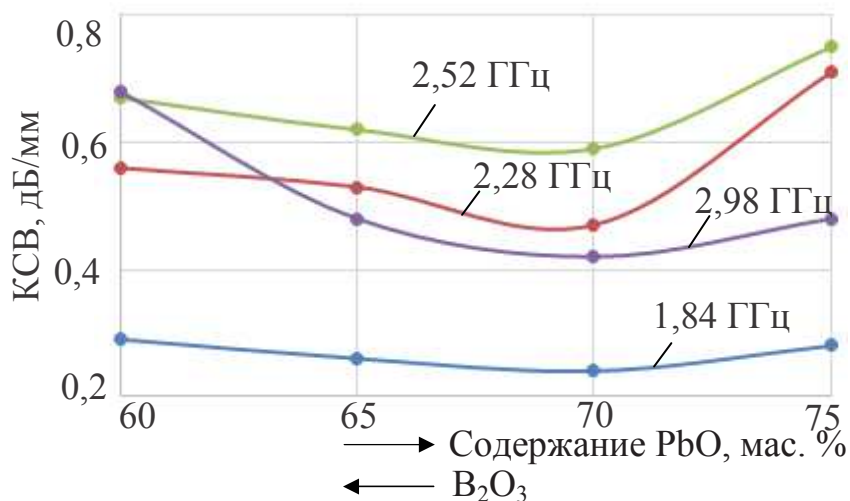


Рисунок 2 – Зависимость КСВ от содержания PbO в составе стекол

На основании проведенных исследований определено стекло оптимального состава, в максимальной степени отвечающее предъявляемым к нему требованиям, однако оно характеризуется относительно невысоким показателем ослабления. В связи с этим на основе стекла оптимального состава системы BaO–ZnO–PbO–B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> синтезирована серия модифицированных стекол с частичной заменой PbO на Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

Экспериментально определено, что показатель ослабления электромагнитного излучения СВЧ-диапазона модифицированных стекол изменяется в пределах от 0,75 до 1,83 дБ/мм. При этом максимальное значение показателя ослабления достигается в стеклах с массовым соотношением PbO/Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, составляющим 9,0.

Таким образом, на основании проведенных исследований установлено, что для получения стекол, значительно ослабляющих электромагнитное излучение и отвечающих в максимальной степени предъявляемым к ним требованиям, могут быть использованы составы, включающие 0,15–0,25 ZnO/PbO и в которых массовое соотношение PbO/Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub> составляет 9,0.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Банный, В.А. Оценка уровня электромагнитного фона и способы защиты от СВЧ-излучения / В.А. Банный. – Гомель: ГомГМУ, 2015. – 62 с.
2. Павлушкин, Н.М. Легкоплавкие стекла / Н.М. Павлушкин, А.К. Журавлев. – М.: Энергия, 1970. – 145 с.
3. Аппен А.А. Химия стекла / А.А. Аппен. М.: Химия, 1974. – 360 с.
4. Шелби, Дж. Структура, свойства и технология стекла / Дж. Шелби. – М.: Мир, 2006. – 288 с.