

## ЛЕГКОПЛАВКИЕ СТЕКЛА, ПРЕДНАЗНАЧЕННЫЕ ДЛЯ ОСЛАБЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Дяденко М., Малявская., Сидоревич А.

*[dyadenko-mihail@mail.ru](mailto:dyadenko-mihail@mail.ru)*

Студенты 4 курса- Белорусского государственного технологического университета, Минск,  
Республика Беларусь

Научный руководитель – Дяденко М.В.

Электромагнитное излучение представляет собой взаимосвязанные колебания электрического и магнитного полей, составляющих единое электромагнитное поле (ЭМП).

При попадании СВЧ-излучения на облучаемую поверхность происходит частичное поглощение поступающей энергии тканями человека, в результате чего в них возбуждаются высокочастотные токи, вызывающие нагрев организма. Наиболее значительной поглощательной способностью отличаются ткани с большим содержанием жидкого компонента: крови, лимфы, слизистой желудка, кишечника, хрусталика глаза. В результате этого могут наблюдаться изменения в крови и щитовидной железе, снижение эффективности адаптационных и обменных процессов, изменения в психической сфере.

Ослабление электромагнитного излучения является актуальной задачей защиты здоровья, информационной безопасности, электромагнитной совместимости и электромагнитной экологии жилых помещений, защиты помещений для серверов и электронного оборудования и может быть достигнута путем использования радиоотражающих или радиопоглощающих материалов: вспененных материалов, пеностекла, ячеистого бетона и стекла.

В настоящее время приобретают актуальность стекла с особым комплексом физико-химических и радиофизических характеристик, предназначенные для высокоэффективного поглощения либо отражения электромагнитных излучений.

К такому типу стекол предъявляют следующие требования: отсутствие признаков фазового разделения в процессе их получения, величина температурного коэффициента линейного расширения (ТКЛР) не должна превышать  $(50-55) \cdot 10^{-7} \text{ K}^{-1}$ , величина поглощения или отражения электромагнитного излучения радиочастотного диапазона должна быть не менее 0,7 дБ/мм.

Целью данной работы явилась разработка составов легкоплавких стекол, ослабляющих электромагнитное излучение в диапазоне 1–3 ГГц.

В качестве основы для получения радиозащитных стекол предложена система  $\text{BaO}-\text{ZnO}-\text{PbO}-\text{V}_2\text{O}_5$ , выбор которой обусловлен отсутствием в составе стекол оксидов щелочных металлов, значительно снижающих их химическую устойчивость. Вводимые катионы бария и цинка являются крупными по размерам и легкополяризуемыми, что определяет повышенный уровень диэлектрических потерь. Кроме того, при высоком содержании оксида свинца сопротивление стекла ниже, так как  $\text{PbO}$  как стеклообразователь, встраиваясь в кремнекислородную сетку, способствует разрыхлению структуры, облегчая перенос тока щелочноземельными ионами. При низком содержании оксида свинца стекла обладают более высоким электрическим сопротивлением, так как наличие ионов свинца, выступающих в роли модификаторов в пустотах кремнийкислородной сетки сильно затрудняет движение основных носителей тока.

Известно, что при содержании  $\text{PbO}$  выше 15–20 % свинец входит в структуру стекол в виде тетраэдров  $[\text{PbO}_4]$ . Однако следует иметь в виду, что стекла с высоким содержанием оксида свинца обычно окрашены в интенсивный желтый цвет [1].

Синтез свинцовых стекол осуществлялся в фарфоровых тиглях в электрической печи периодического действия при температуре  $1000 \pm 20 \text{ }^\circ\text{C}$ . Скорость подъема температуры составляла  $250 \text{ }^\circ\text{C/ч}$  с выдержкой при максимальной температуре 2 ч. Подъем температуры в

печи контролировался термопарой градуировки ТПП, точность измерения которой составляла  $\pm 5$  °С. При достижении однородности стекломассы тигли извлекались из печи и осуществлялось формование изделий путем отливки в формы. После выработки образцы подвергались отжигу в муфельной печи марки SNOL 6,7/1100 при температуре  $320 \pm 5$  °С.

Для определения кристаллизационной способности опытных стекол проведена их градиентная термообработка в интервале температур 400–700 °С с выдержкой в течении 1 ч. Образцы, включающие 0,140–0,155 ZnO/PbO, в интервале температур 490–700 °С характеризуются наличием поверхностной пленки, что свидетельствует об их недостаточно высокой устойчивости стеклообразного состояния. Стекла остальных составов не проявляют признаки фазового разделения.

Энергия радиоволны при ее распространении в веществе преобразуется в электрическую и тепловую, в связи с чем радиозащитный материал должен обладать полупроводниковыми свойствами и термостойкостью, которая характеризует способность опытных стекол выдерживать резкие перепады температур без разрушения [2]. Термостойкость стекол определяется в первую очередь величиной температурного коэффициента линейного расширения (ТКЛР).

Температурный коэффициент линейного расширения синтезированных стекол измерялся на электронном горизонтальном dilatометре DIL 402 РС фирмы «Netzsch» (Германия) в интервале температур 20–300 °С. Погрешность измерения составляла  $\pm 0,2 \cdot 10^{-7}$  К<sup>-1</sup>.

Установлено, что ТКЛР опытных стекол системы BaO–ZnO–PbO–В<sub>2</sub>O<sub>3</sub> изменяется от  $75,40 \cdot 10^{-7}$  до  $103,26 \cdot 10^{-7}$  К<sup>-1</sup>, при этом с ростом содержания PbO, вводимого взамен В<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, наблюдается рост данного показателя, что связано с увеличением доли слабых связей Pb–O, чем связь В–O. Данный факт обусловлен тем, что Pb<sup>2+</sup> имеет значительный ионный радиус (0,065 нм), чем ион В<sup>3+</sup> (0,023 нм) [3]. Минимальные показатели ТКЛР характерны для опытных стекол, содержащих в своем составе 0,23–0,33 ZnO/PbO, однако в целом такие показатели не отвечают в полной мере требованиям, предъявляемым к стеклам радиозащитного типа.

Радиофизические свойства опытных стекол оценивались волноводным методом в диапазоне 1–3 ГГц. При измерении опытных образцов использовали волноводные камеры, представляющие собой отрезки стандартных волноводов с сечением заданного частотного диапазона. Входное и выходное сечения измерительной волноводной камеры закрывали плоскими слоями фторопласта толщиной 0,1 мм.

Данным методом определили коэффициент стоячей волны (КСВ) и показатель ослабления, характеризующие исследуемые материалы с точки зрения практического их использования в СВЧ-диапазоне. Показатель ослабления – это величина, обратная расстоянию, на котором параллельный пучок света ослабляется в результате поглощения и отражения в среде. Он равен сумме показателей поглощения и отражения.

Экспериментально установлено, что показатель ослабления электромагнитного излучения СВЧ-диапазона опытными стеклами изменяется от 0,40 до 2,78 дБ/мм, а коэффициент стоячей волны – в пределах от 0,22 до 1,02 дБ/мм.

На величину радиофизических свойств, главным образом, оказывают влияние релаксационные и деформационные потери.

Одним из источников релаксационных потерь в неорганических полупроводниках 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.

На рисунке 1 приведено влияние оксида цинка, вводимого взамен оксида свинца, на величину показателя ослабления свинецсодержащих стекол.

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.

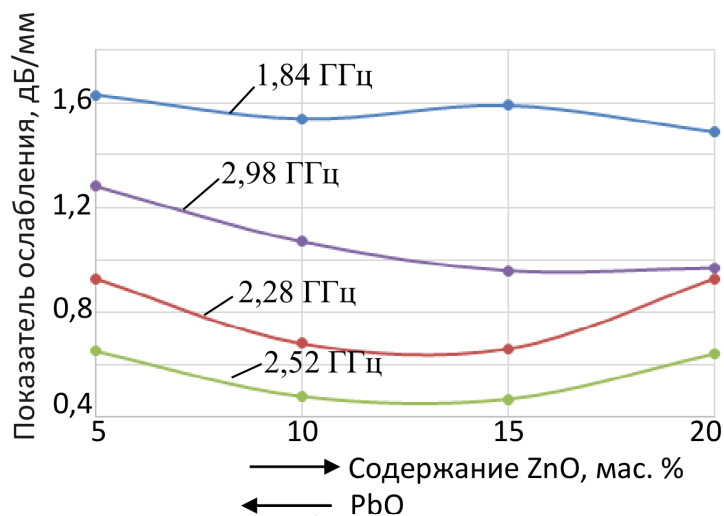


Рисунок 1 – Зависимость показателя ослабления опытных от содержания ZnO

Графическая зависимость коэффициента стоячей волны опытных стекол от химического состава представлена на рисунке 2.

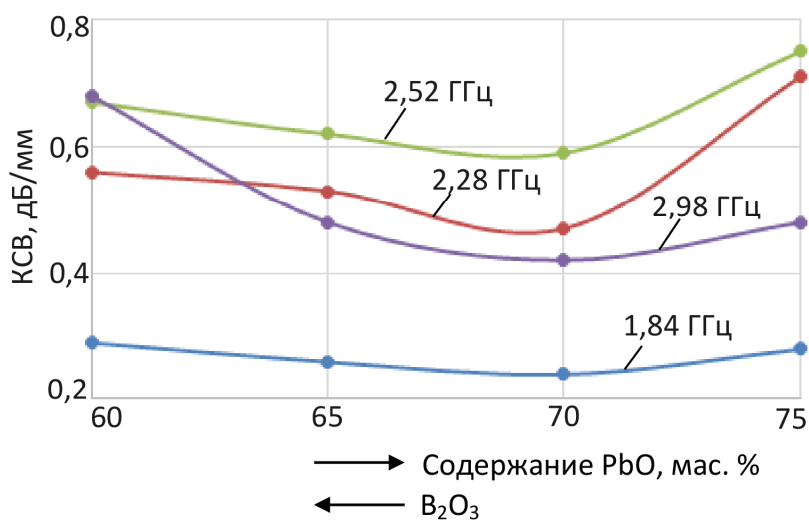


Рисунок 2 – Зависимость КСВ опытных стекол от содержания PbO

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).

Диэлектрические потери связаны в основном с процессами установления поляризации, возникающей в диэлектрике при воздействии электрического поля. Быстро протекающие процессы поляризации вызывают поглощение энергии электрического поля, когда частоты собственных колебаний ионов и электронов совпадают с частотой электрического поля. Различные виды поляризации, связанные с тепловым движением ионов и электронов, устанавливаются гораздо медленнее и являются в большинстве случаев основным источником диэлектрических потерь в широкой области радиотехнических частот [4].

Тангенс угла диэлектрических потерь  $\text{tg}\delta$  характеризует способность материала рассеивать энергию под воздействием на него электрического поля и для опытных стекол изменяется в пределах от 0,37 до 5,05.

На рисунке 3 представлена зависимость тангенса угла диэлектрических потерь от содержания  $\text{PbO}$  при различных частотах.

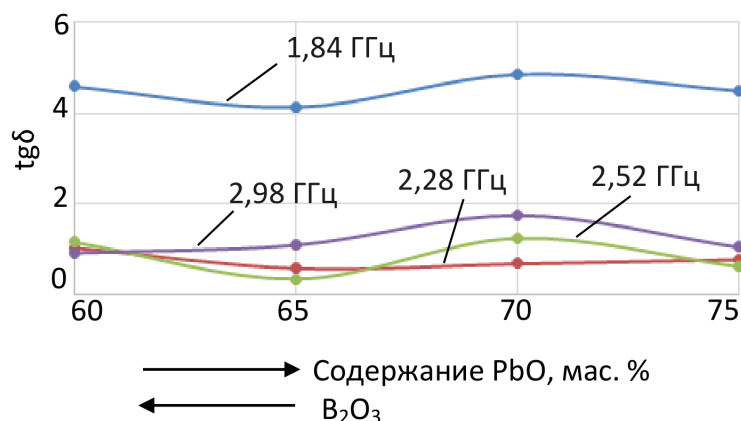


Рисунок 3 – Зависимость тангенса угла диэлектрических потерь стекол от содержания  $\text{PbO}$  при различной частоте

Как видно из рисунка 3, максимальная величина тангенса угла диэлектрических потерь наблюдается при частоте 1,84 ГГц. Для приведенных частот с ростом содержания  $\text{PbO}$  от 60 до 65 мас. % наблюдается незначительное уменьшение исследуемого показателя, а при дальнейшем увеличении содержания  $\text{PbO}$  от 65 до 70 % для частот 1,84, 2,28 и 2,98 характерно увеличение  $\text{tg}\delta$ .

По результатам изучения радиофизических свойств опытных стекол можно сделать вывод, что стекла, содержащие в своем составе 0,23–0,33  $\text{ZnO/PbO}$ , в наибольшей степени ослабляют электромагнитное излучение СВЧ-диапазона.

Таким образом, на основании проведенных исследований в качестве стекол, значительно ослабляющих электромагнитное излучение могут быть использованы такие, которые в своем составе содержат 65–70 мас. %  $\text{PbO}$ , а соотношение  $\text{ZnO/PbO}$  составляет 0,23–0,33. Однако показатель ТКЛР таких стекол достаточно высок, что требует последующей оптимизации их составов.

#### Список использованных источников

1. Шелби Дж. Структура, свойства и технология стекла. М.: Мир, 2006. – 288 с.
2. Машкович, В.П. Защита от ионизирующих излучений/ В.П. Машкович. – Минск: Энергоатомиздат, 1995. – 440 с.
3. Бобкова, Н.М. Теоретические основы стеклообразования. Строение и свойства стекол / Бобкова Н.М. – Минск : БГТУ, 2003. – 133 с.
4. Негоденко О.Н., Мирошниченко С.П. Материалы электронной техники: методич. пособие, часть 1, Таганрог, изд-во ТРТУ.- 2006.- 66 с.