

УДК 666.11.01:537.311.32

Маг. В.В. Маскевич

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

РАЗРАБОТКА СОСТАВОВ СТЕКОЛ, ПРЕДНАЗНАЧЕННЫХ ДЛЯ ЭКРАНИРОВАНИЯ ИЗЛУЧЕНИЯ РАДИОЧАСТОТНОГО ДИАПАЗОНА

В настоящее время для общества мощным источником СВЧ-излучения стала мобильная связь. Так, для стандарта GSM 900 диапазон излучаемых частот для мобильных аппаратов составляет 876–915 МГц, для стандарта GSM 1800 – 1,710–1,785 ГГц, для стандарта CDMA – 824–848 МГц, а для стандарта WCDMA – 1,920–1,980 ГГц.

Воздействие на человека электромагнитного излучения и СВЧ-диапазона в частности оказывает пагубное влияние, выражающееся в функциональном изменении деятельности нервной системы (в первую очередь головного мозга), эндокринной системы, появлении свободных радикалов, способствующих повышению вязкости крови, ухудшению памяти, развитию онкологических заболеваний [1–2].

Основными механизмами защиты от СВЧ-излучения является отражение, поглощение и многократное его отражение. К числу радиозащитных материалов относят вспененные материалы, пеностекло, ячеистый бетон, вспененный гипс и стекло. В настоящее время все более важную роль приобретают стекла с особым комплексом радиофизических характеристик для высокоэффективного поглощения либо отражения электромагнитных излучений.

Целью настоящей работы является разработка составов стекол, предназначенных для экранирования излучения радиочастотного диапазона. Взаимодействие стекол с электромагнитным полем предопределяет комплекс особых требований к ним: высокая устойчивость стеклообразного состояния, требуемое значение диэлектрической проницаемости, определенная величина поглощения (отражения) электромагнитного излучения СВЧ-диапазона и термостойкость не ниже 150 °С.

В качестве основы для исследования выбрана система $RO-B_2O_3-Al_2O_3-SiO_2$ (где RO – CaO, BaO, ZnO). Выбор системы обусловлен необходимостью разработки составов стекол с высокой устойчивостью к кристаллизации, минимальной величиной температурного коэффициента линейного расширения (ТКЛР) и показателем ослабления электромагнитного излучения СВЧ-диапазона не менее 0,7 дБ/мм.

Синтез опытных стекол производили в газопламенной печи периодического действия при температуре 1500 ± 20 °С. По результатам варки установлено, что все стекла характеризуются требуемой степенью осветления и отсутствием непровара.

Склонность стекол к кристаллизации определяли методом градиентной термообработки в интервале температур 790–1050 °С с использованием электрической печи, в которой создавалась зона со стабильным падением температур.

На основании результатов установлено, что стекла с постоянным содержанием Al_2O_3 , составляющим 10 %¹, характеризуются отсутствием видимых признаков кристаллизации. Определено, что устойчивость стеклообразного состояния снижается с уменьшением содержания SiO_2 от 45 до 25 %.

Энергия электромагнитной волны при взаимодействии со стеклом может быть преобразована в тепловую и электрическую, в связи с этим, разрабатываемое стекло должно обладать полупроводниковыми свойствами и быть термостойким. Термостойкость определяется в первую очередь величиной температурного коэффициента линейного расширения (ТКЛР), который определяли dilatометрическим методом. По результатам исследований установлено, что ТКЛР опытных стекол изменяется от $32 \cdot 10^{-7}$ до $64 \cdot 10^{-7}$ К⁻¹. Минимальная величина ТКЛР характерна для стекол, включающих 15–25 % Al_2O_3 и 25 % B_2O_3 . Увеличение содержания Al_2O_3 от 10 до 20 % взамен SiO_2 , при постоянном содержании B_2O_3 , равном 25 %, обуславливает уменьшение ТКЛР опытных стекол, что, возможно, обусловлено образованием тетраэдрических группировок $[AlO_4]_2R^{2+}$, которые способствуют полимеризации алюмоборокремнекислородного каркаса стекла [3, 4].

Установлено, что термостойкость опытных стекол изменяется в пределах от 200 до 230 °С.

Радиофизические свойства опытных стекол оценивались волновым методом.

На рисунке представлено влияние соотношения RO/Al_2O_3 на показатель ослабления электромагнитного излучения СВЧ-диапазона опытными стеклами. Как видно из рисунка, с ростом соотношения RO/Al_2O_3 от 0,67 до 2,00 исследуемый показатель опытных стекол уменьшается. Дело в том, что величина показателя ослабления в СВЧ-области зависит от величины диэлектрических потерь (потерь проводимости, релаксационных и деформационных), которые определяются главным образом его химическим составом и структурой.

¹Здесь и далее по тексту, если не указано особо, приведено массовое содержание, мас. %

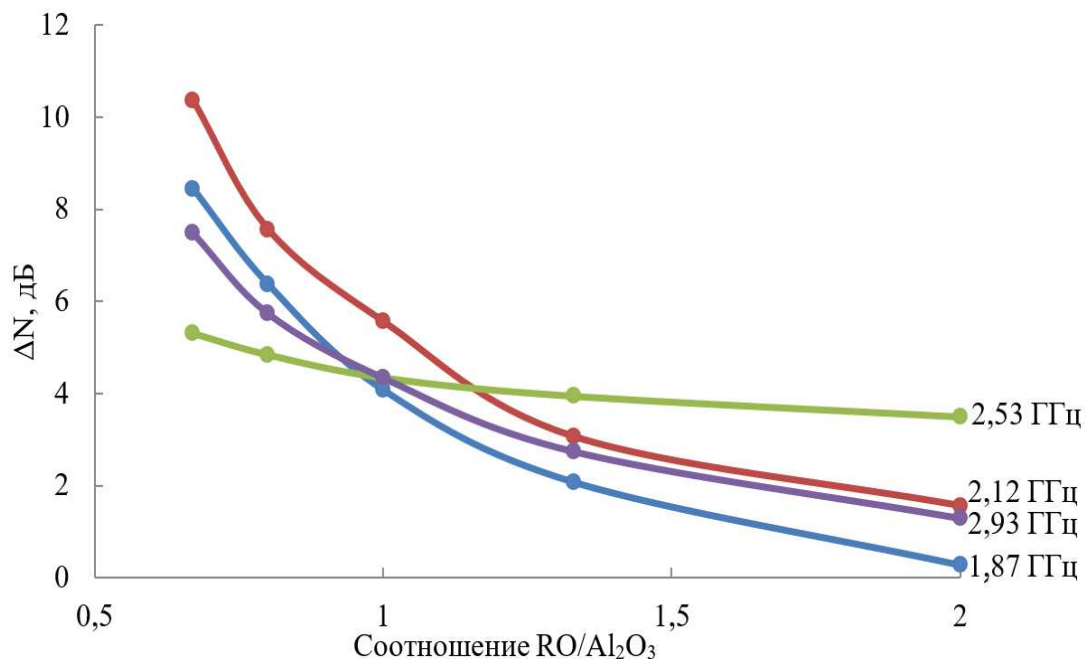


Рисунок – Зависимость показателя ослабления электромагнитного излучения СВЧ-диапазона опытными стеклами от соотношения RO/Al₂O₃

Влияние химического состава стекла на величину диэлектрических потерь подобно его влиянию на электропроводность: компоненты, увеличивающие электропроводность, повышают и диэлектрические потери в стекле. Поэтому стекла, содержащие щелочные и щелочноземельные оксиды характеризуются повышенными диэлектрическими потерями.

При этом с увеличением частоты прилагаемого электромагнитного поля от 1,87 до 2,12 ГГц показатель ослабления увеличивается, а при изменении частоты от 2,53 до 2,93 – уменьшается.

Коэффициент стоячей волны (КСВ) представляет собой отношение наибольшего значения амплитуды напряженности электрического или магнитного поля стоячей волны и характеризует отражательную способность электромагнитной волны.

Увеличение соотношения RO/Al₂O₃ от 0,5 до 2,0 при постоянном значении частоты электромагнитного поля вызывает незначительный рост КСВ. При этом данный показатель в большей мере зависит от частоты прилагаемого поля. Так, с ее увеличением от 1,87 до 2,53 ГГц КСВ возрастает, а изменение частоты от 2,53 до 2,93 ГГц – вызывает резкое уменьшение данного показателя.

По результатам проведенных исследований был выбран оптимальный состав, который в дальнейшем был модифицирован путем варьиро-

вания содержания оксидов группы RO (CaO, MgO, ZnO). При этом их содержание фиксировалось постоянным и составляло 20 %.

Модифицированные составы стекол характеризуются показателем ТКЛР, изменяющимся от 37 до $51 \cdot 10^{-7} \text{ K}^{-1}$ и термостойкостью – от 225 до 280 °С. По результатам определения радиофизических свойств стекол выявлено, что определяющее влияние на показатель ослабления электромагнитного излучения опытными стеклами и их тангенс угла диэлектрических потерь оказывает оксид MgO. Изменение соотношения ZnO/CaO от 0,33:1 до 1:0,33 обуславливает рост показателя КСВ, в то время как изменение соотношения MgO/ZnO не вызывает изменения данной характеристики.

Параллельно, была проведена модификация оптимального состава стекла, путем замены CaO на BaO.

По результатам исследований теплофизических свойств модифицированных составов стекол, показатели термостойкости снизились в среднем на 35 %. Изучение влияния соотношений оксидов RO на радиофизические характеристики выявило, что изменение соотношения BaO/CaO от 0,67:1 до 1:0,25 вызывает уменьшение тангенса угла диэлектрических потерь, однако, произведенная замена CaO на BaO привела к незначительному увеличению степени ослабления электромагнитного излучения модифицированных составов стекол.

На основании проведенных исследований физико-химических и электрофизических свойств стекол системы RO–B₂O₃–Al₂O₃–SiO₂ был выбран оптимальный состав стекла, который характеризуется показателем ослабления электромагнитного излучения в диапазоне частот 1–3 ГГц, составляющим 1,11 дБ/мм, КСВ – 0,81 дБ/мм и термостойкостью, равной 270 °С.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Ясюкевич, Ю.В. Излучение электромагнитных волн / Ю.В. Ясюкевич, Н.К. Душутин – Иркутск: ИГУ, 2012. – 227 с.
- 2 Худницкий С.С. Особенности воздействия низкочастотных электрических и магнитных полей на человека в бытовых условиях // Электромагнитные поля и здоровье человека: Материалы 2-й междунар. конф. «Проблем электромагнитной безопасности человека», 1999, Москва. – М., 1999. – С. 109.
- 3 Павлушкин, Н.М. Химическая технология стекла и ситаллов / Н.М. Павлушкина. – М.: Стройиздат, 1983. – 432 с.
- 4 Гулоян, Ю.А. Технология стекла и стеклоизделий / Ю.А. Гулоян – Владимир: Транзит-ИКС, 2015. – 712 с.