

М. В. Дяденко, доц., канд. техн. наук;
И. А. Левицкий, проф., д-р техн. наук (БГТУ, г. Минск);
Д. С. Быченко, доц., канд. физ.-мат. наук (НИИ ЯП БГУ, г. Минск);
А. Г. Сидоревич, магистрант (БГТУ, г. Минск)

ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ОКСИДОВ TiO_2 , ZrO_2 , La_2O_3 НА ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЩЕЛОЧНЫХ БОРОСИЛИКАТНЫХ СТЕКОЛ

Воздействие электромагнитного излучения сверхвысокочастотного (СВЧ) диапазона на человека оказывает пагубное влияние, выражающееся в функциональном изменении деятельности нервной, эндокринной систем, появлении свободных радикалов, повышении вязкости крови, ухудшении памяти, развитии онкологических заболеваний.

Основными механизмами защиты от СВЧ-излучения является отражение, поглощение и многократное его отражение.

Изучение электрофизических характеристик имеет важное значение при разработке радиозащитных материалов, которые находят широкое применение в качестве защиты от воздействия электромагнитного излучения сверхвысокочастотного СВЧ-диапазона.

Характер взаимодействия радиоволн со стеклом определяется его электрическими свойствами. При помещении образца стекла в электромагнитное поле в нем может возникнуть ток сквозной проводимости, вызванный движением свободных зарядов и определяемый структурой стекла, а также поляризация, механизм которой связан со смещением центров электрических зарядов частиц, поворотом осей дипольных молекул или миграцией носителей зарядов.

Природа диэлектрических потерь неорганических материалов, в частности стекла, при СВЧ-воздействии на протяжении значительного времени всесторонне не исследовалась, и в литературе приводятся лишь данные для отдельных типов стекол.

В предыдущих работах нами проведено изучение тепло- и электрофизических характеристик щелочных боросиликатных стекол во взаимосвязи с их структурой [1, 2].

Целью данной работы является изучение зависимости электромагнитных свойств щелочных боросиликатных стекол в диапазоне 12–18 ГГц от количества оксидов циркония, титана и лантана, вводимых индивидуально взамен Na_2O в количестве от 2,5 до 7,5 мол. %. Исследование высокочастотных электромагнитных свойств боросиликатных стекол необходимо для их практического применения при изготовлении термо- и радиационностойких элементов СВЧ-систем.

Синтез опытных стекол осуществлялся в фарфоровых тиглях в газовой печи периодического действия при температуре 1480 ± 20 °С.

Электромагнитные свойства исследуемых образцов стекол исследованы в диапазоне 12–18 ГГц с помощью векторного анализатора Микран Р4М («Микран», Томск, Россия). Порты векторного анализатора регистрировали относительную амплитуду и фазу отраженного и прошедшего через образец излучения.

По результатам измерения электромагнитного отклика образцов стекол толщиной порядка 0,9 мм установлено наличие существенной отражающей способности у образцов указанной толщины (значения спектральных коэффициентов отражения и пропускания СВЧ-излучения составили 35–50 % и 50–60 %, соответственно).

Коэффициент поглощения во всем диапазоне измерений не превышал 5 % для всех исследуемых образцов стекол. Максимальная величина коэффициента отражения, составляющая порядка 50 %, характерна для стекла, включающего 5,0 мол. % ZrO_2 , при общем коэффициенте пропускания электромагнитного излучения СВЧ-диапазона 45 %.

Введение оксида титана в составы щелочных боросиликатных стекол в количестве 2,5–7,5 мол. % способствует значительному снижению величины пропускания электромагнитного излучения (на 12 % по сравнению с наиболее прозрачными образцами). Данный факт вероятно связан с формированием в структуре стекла группировок, обладающих повышенной поляризуемостью, что обуславливает общий рост эффективной диэлектрической проницаемости материала и приводит к росту коэффициента отражения, а также способствует уменьшению прохождения электромагнитного излучения СВЧ-диапазона.

Одной из основных электрофизических характеристик, присущих непосредственно материалу, а не образцу, является комплексная диэлектрическая проницаемость $\epsilon = \epsilon' + i\epsilon''$. Ее действительная часть ϵ' обуславливает электрическую емкость материала, в то время, как мнимая часть ϵ'' ответственна за диссипацию энергии в материале, из-за чего в литературе упоминается в виде фактора потерь (loss factor) [3, 4].

Диэлектрическая проницаемость исследованных стекол в рассматриваемом диапазоне практически монотонна (не обладает выраженной дисперсией), что позволяет рассмотреть ее концентрационную зависимость на фиксированной частоте 15 ГГц. Действительная часть диэлектрической проницаемости находится в диапазоне 5,5–7,0 и обладает существенной зависимостью от концентрации вводимого оксида (La_2O_3 , ZrO_2 , TiO_2). Примечательно, что если в состав стекол входит La_2O_3 , зависимость носит монотонно-возрастающий характер, а для стекол остальных составов (включающих ZrO_2 , TiO_2), на представленной зависимости,

по-видимому, наблюдается насыщение. Подтверждение такого поведения требует дальнейшего исследования стекол с более широким диапазоном концентраций вводимого оксида, а также свойств щелочного боросиликатного стекла, не содержащего указанные оксиды. Установлено, что изменение доли вводимых оксидов практически не оказывает влияния на мнимую часть диэлектрической проницаемости, а ее величина не превышает 0,15.

Таким образом, все исследованные стекла характеризуются существенно диэлектрическим поведением и малой диссипацией энергии в СВЧ-диапазоне. Данные свойства позволяют рассматривать боросиликатные стекла в качестве материала для элементов СВЧ-соединений. Совокупность электромагнитных и механических характеристик стекол показывает возможность их использования в качестве термостойких прозрачных окон для вывода СВЧ-излучения в свободное пространство. Существенное отражение излучения от поверхности стекол объясняется отличием их диэлектрической проницаемости (а, следовательно, и коэффициента преломления) от таковых для свободного пространства и может быть устранено путем вариации толщины или формы стеклянных элементов СВЧ-устройств [5]. Возможное насыщение электромагнитных свойств, предположительно наблюдаемое для стекол, содержащих ZrO_2 и TiO_2 , требует дополнительного изучения ввиду возможности дальнейшего увеличения концентрации данных оксидов при сохранении комплекса электромагнитных свойств исследуемых стекол.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дяденко М.В. Стекла радиозащитного назначения // Стекло и керамика. – 2019. – №7. – С. 8–14.
2. Дяденко М.В., Маскевич В.В., Гундилович Н.Н. Стекла, ослабляющие электромагнитное излучение СВЧ-диапазона // Механика и технологии. – 2018. – №1. – С. 103–111.
3. Microwave electronics: measurement and materials characterization / ed. Chen L. Chichester: John Wiley, 2004. – 537 p.
4. THz Spectroscopy as a Versatile Tool for Filler Distribution Diagnostics in Polymer Nanocomposites / Gorokhov G. [et al] // Polymers. – 2020. – Vol. 12, № 12. – P. 3037.
5. Exploring carbon nanotubes /BATiO₃/ Fe₃O₄ nanocomposites as microwave absorbers / Bychanok D. [et al] // Progress In Electromagnetics Research C. – 2016. – Vol. 66. – P. 77–85.