

## ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА СТЕКОЛ, МОДИФИЦИРОВАННЫХ TiO<sub>2</sub>, ZrO<sub>2</sub>, La<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

<sup>1</sup>Дяденко М.В., <sup>2</sup>Быченко Д.С., <sup>1</sup>Сидоревич А.Г.

<sup>1</sup>Белорусский государственный технологический университет, г. Минск,

<sup>2</sup>Научно-исследовательский институт ядерных проблем БГТУ, г. Минск,  
Республика Беларусь

Твердые материалы по характеру взаимодействия со сверхвысокочастотным (СВЧ) излучением можно разделить на три группы: металлы, гладкая поверхность которых полностью отражает СВЧ-лучи; диэлектрики, пропускающие СВЧ-излучение через свой объем практически неизменным; диэлектрики, при прохождении через которые происходит поглощение СВЧ-излучения, сопровождающееся их разогревом. При этом значительная часть стекол относится ко второй группе.

Материалы, в том числе и стекла, ослабляющие электромагнитное излучение СВЧ-диапазона за счет отражения и поглощения энергии электромагнитного излучения называются радиозащитными. Основное назначение таких материалов – снизить до предельно-допустимых значений воздействие неблагоприятного СВЧ-излучения.

Реакция материала на воздействие электромагнитного излучения в зависимости от состава и внешних факторов проявляется в его отражении, пропускании или поглощении, которые, как правило, носят комплексный характер с доминирующей ролью одного из них.

Поглощение энергии СВЧ-излучения происходит только в том случае, если связь молекул (атомов) внутри вещества допускает определенную свободу миграции. Если диполь жестко связан с матрицей, то заметного поглощения СВЧ-энергии происходить не будет.

Целью данной работы является изучение зависимости электромагнитных свойств щелочных боросиликатных стекол в диапазоне 12 – 18 ГГц от количества оксидов циркония, титана и лантана, вводимых в их состав последовательно 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 электрической печи периодического действия при температуре 1480±20 °С.

Ослабление электромагнитной волны при ее распространении в материале происходит за счет преобразования в другие виды энергии, в частности в электрическую и тепловую. В связи с этим разрабатываемый материал должен обладать определенной проводимостью и обеспечивать требуемую термостойкость.

Основным вкладом в нагрев диэлектрических материалов являются потери, возникающие при поляризации диполей, и, как правило, доминирующим механизмом

поглощения в данной спектральной области электромагнитного излучения является изменение ориентации дипольных молекул диэлектрика под действием переменного электрического поля.

По результатам проведенных исследований установлено, что максимальная величина отражения (порядка 50 %) характерна для стекла, включающего 5,0 мол. %  $ZrO_2$ , при общем коэффициенте пропускания электромагнитного излучения СВЧ-диапазона 45 % (коэффициент поглощения составляет 5 %).

Введение оксида титана в составы щелочных боросиликатных стекол в количестве 2,5–7,5 мол. % способствует значительному снижению величины пропускания электромагнитного излучения (на 12 %). Данный факт, по-видимому, связан с формированием в структуре стекла определенных группировок, обуславливающих возникновение потерь (деформационных и резонансных), которые приводят к ослаблению электромагнитного излучения СВЧ-диапазона.

Для всех исследуемых стекол величина поглощения электромагнитного излучения в СВЧ-диапазона находится на уровне значения 3–5 %.

В исследованном диапазоне опытные образцы стекол не обладают выраженной частотной дисперсией диэлектрической проницаемости, что позволяет рассмотреть ее концентрационную зависимость на фиксированной частоте. Действительная часть диэлектрической проницаемости обладает выраженной зависимостью от концентрации вводимого оксида ( $La_2O_3$ ,  $ZrO_2$ ,  $TiO_2$ ). Если в случае стекол, содержащих в своем составе  $La_2O_3$ , зависимость носит монотонно-возрастающий характер, то для стекол остальных составов (включающих оксиды титана и циркония), наблюдается насыщение. Подтверждение такого поведения требует дальнейшего исследования стекол с более широким диапазоном концентраций вводимого оксида, а также исследования свойств базового стекла.

Установлено, что на мнимую часть диэлектрической проницаемости изменение концентрации вводимых оксидов практически не оказывает влияния.

Таким образом, наиболее высокое ослабление электромагнитного излучения в диапазоне 13–18 ГГц обеспечивают образцы стекол, включающих 5 мол. %  $ZrO_2$  или 7,5 мол. %  $TiO_2$ . Введение оксида лантана в составы исследуемых щелочных боросиликатных стекол в количестве 2,5–7,5 мол. % не оказывает существенного влияния на ослабление энергии электромагнитной волны в интервале 13–18 ГГц.