

2. Khazaei, M. Insights into exfoliation possibility of MAX phases to MXenes / M. Khazaei, A. Ranjbar, K. Esfarjani, D. Bogdanovski, R. Dronskowski, S. Yunoki // (arXiv:1803.00692 [cond-mat.mtrl-sci]).

3. Sun, Y. Two-dimensional MXenes for energy storage and conversion applications / Y. Sun, D. Chen, L. Ziqi // Materials Today Energy. – 2017. – Vol. 5. – P. 22–36.

УДК 611.11.01:537.86

М.В. Дяденко, А.Г. Сидоревич

Белорусский государственный технологический университет

РАЗРАБОТКА СОСТАВОВ СВИНЦОВЫХ РАДИОЗАЩИТНЫХ СТЕКОЛ

Экранирование электромагнитных полей является актуальной задачей защиты здоровья, информационной безопасности, электромагнитной совместимости и электромагнитной экологии жилых помещений, защиты помещений для серверов и электронного оборудования. Повышенный уровень электромагнитного излучения (ЭМИ) приводит к нарушению нормальной физиологии человека. В частности, ЭМИ радиочастотного диапазона могут вызывать заболевания нервной, сердечно-сосудистой и дыхательной систем, изменять показатели крови и обмена веществ. Сверхвысокочастотные (СВЧ) излучения являются наиболее вредными для органов с медленной циркуляцией тепла: тканей головного мозга и глаз.

К категории наиболее опасных источников ЭМИ относятся высоковольтные линии, трансформаторные будки, антенны сотовых сетей.

Основными элементами системы сотовой связи являются базовые станции (БС), которые в зависимости от стандарта излучают электромагнитную энергию в диапазоне частот 0,5–2,5 ГГц.

В зависимости от стандарта телефона передача ведется в диапазоне частот до 2–3 ГГц. Мощность излучения является величиной переменной и значительно зависит от состояния канала связи «мобильный телефон–базовая станция»: чем выше уровень сигнала БС в месте приема, тем меньше мощность излучения мобильного телефона.

Нормирование электромагнитного поля базовой станции (ЭМП БС) проводится в соответствии с требованиями Санитарных правил и норм «Электромагнитные излучения радиочастотного диапазона (ЭМП РЧ)» №2.2.4/2.1.8.9-36-2002, согласно которым в диапазоне частот 0,3–

300 ГГц интенсивность электромагнитного излучения радиочастотного диапазона оценивается значением плотности потока энергии, которая для населения не должна превышать $10,0 \text{ мкВт/см}^2$. Гигиенически значимые уровни ЭМП РЧ наблюдаются только в непосредственной близости от передающих антенн БС и от антенн радиорелейной связи, на расстоянии до 10–15 м. В связи с этим техническое оборудование, расположенное на территории передающих радиоцентров, должно предусматривать не только специальные экраны для защиты обслуживающего персонала, но и индивидуальные средства защиты (очки).

Защита от электромагнитного облучения может быть достигнута путем использования радиоотражающих или радиопоглощающих материалов: пористых материалов и стекла.

В настоящее время значительную актуальность приобретают стекла с особым комплексом радиофизических характеристик, предназначенные для высокоэффективного поглощения либо отражения электромагнитных излучений, именуемые радиозащитными.

К ним предъявляются следующие требования: суммарная величина поглощения и отражения электромагнитного излучения радиочастотного диапазона должна составлять не менее 1,0 дБ/мм, тангенс угла диэлектрических потерь должен характеризоваться высокими значениями.

Разработанные в рамках данной работы радиозащитные стекла предназначены для получения линз при изготовлении очков специального назначения. Учитывая ассортимент выпускаемой продукции (специальные защитные очки) на основе радиозащитного стекла разработанного состава, определяющим в вопросе ослабления электромагнитного излучения является ее отражение, которое определяется значением коэффициента стоячей волны, зависящего в свою очередь от плотности материала, в данном случае стекла. Это объясняется тем, что в случае поглощения электромагнитного излучения стеклом часть ее энергии будет преобразовываться в тепловую, вызывая некоторый разогрев стекла, а это свою очередь будет доставлять определенный дискомфорт сотруднику, использующему защитные очки на его основе.

В качестве основы для получения радиозащитных стекол выбрана система $\text{Na}_2\text{O}-\text{K}_2\text{O}-\text{ZnO}-\text{PbO}-\text{B}_2\text{O}_3$. Ее выбор обусловлен присутствием в ней оксидов щелочных элементов, которые способствуют ослаблению электромагнитного излучения СВЧ-диапазона, так как они вызывают рост диэлектрических потерь за счет деполимеризации структурной сетки стекла и образования немостиковых атомов кислорода.

Важным фактором, определяющим получение качественных изделий на основе стекла является его устойчивость к фазовому разделению, в частности к кристаллизации.

Для оценки кристаллизационной способности опытных стекол проведена их градиентная термообработка при максимальной температуре 760 °С с выдержкой при ней 1 ч. По данным результатов исследования установлено, что образцы, включающие 60–75 % PbO, проявляют признаки объемной кристаллизации в интервале температур 400–760 °С.

Как известно [1], возможность использования радиозащитных стекол на практике зависит от массы готовых изделий, которая определяется плотностью стекла. Кроме того, плотность является одним из факторов определяющих величину коэффициента стоячей волны (КСВ): чем плотнее структура стекла, тем больше количество электромагнитного излучения может быть отражено стеклом.

По результатам исследований выявлено, что определяющее влияние на величину плотности опытных стекол оказывает оксид PbO. Так как плотность стекол определяется атомной массой элементов, то при увеличении содержания оксида свинца данный показатель для опытных стекол возрастает.

При эквимольной замене ZnO на B₂O₃ плотность опытных стекол снижается. Как известно [2], переход к более высокому координационному числу приводит к уплотнению упаковки ионов, экономии структурного пространства, уменьшению удельного объема, в связи с чем показатель плотности увеличивается. При повышении содержания B₂O₃ взамен ZnO доля трехкоординированного бора увеличивается, а четырехкоординированного бора – уменьшается, что вызывает снижение плотности стекол. Наиболее оптимальной с точки зрения получения радиозащитных стекол является область, включающая, %: 55–60 PbO, 20–25 ZnO, 15–20 B₂O₃.

Радиофизические свойства стекол (показатель ослабления, КСВ) оценивались волноводным методом в диапазоне частот 1–3 ГГц.

Показатель ослабления электромагнитного излучения СВЧ-диапазона опытных стекол изменяется в пределах 0,48–2,90 дБ/мм, а коэффициент стоячей волны – 0,35–1,13 дБ/мм.

Коэффициент стоячей волны (КСВ) характеризует отражательную способность электромагнитной волны: чем выше его значение, тем интенсивнее отражение электромагнитного излучения СВЧ-диапазона.

При эквимольных заменах ZnO на PbO, ZnO на B₂O₃ и PbO на B₂O₃ во всех случаях наблюдается следующая зависимость. С ростом частоты электромагнитного поля от 1,84 до порядка 2,4 ГГц наблюдается рост показателя КСВ, а при дальнейшем повышении частоты до 2,98 ГГц – его уменьшение.

При этом рост содержания таких оксидов как B₂O₃ и ZnO в опытных составах стекол вызывает смещение максимума на кривых КСВ в

область более низких частот. Кроме того, чем ниже содержание оксидов ZnO и PbO, тем менее выражен экстремум в области частоты 2,4 ГГц.

Величина показателя поглощения в СВЧ-области зависит от величины диэлектрических потерь (потерь проводимости, релаксационных и деформационных потерь), которые определяются главным образом химическим составом и структурой стекла.

В случае зависимости показателя ослабления электромагнитного излучения опытными стеклами от частоты прилагаемого электромагнитного поля ситуация обратная: с ростом частоты электромагнитного поля от 1,84 до значений порядка 2,5 ГГц наблюдается уменьшение показателя ослабления, а от в диапазоне 2,50–2,98 ГГц – его рост.

При этом чем выше содержание V_2O_3 , тем менее выражен экстремум в области частот 2,3–2,5 ГГц. При этом рост содержания V_2O_3 вызывает незначительное смещение максимума на кривых в область более высоких частот.

Часть проходящей через стекло электромагнитной энергии рассеивается в виде потерь проводимости, вызываемых в основном сквозным движением ионов в стекле и его нагревом. Эти потери характеризуются тангенсом угла диэлектрических потерь. Тангенс угла диэлектрических потерь характеризует способность материала рассеивать энергию под воздействием на него электрического поля. Тангенс угла диэлектрических потерь опытных стекол в зависимости от частоты электромагнитного поля изменяется от 0,32 до 3,10.

Стоит отметить, что для опытных стекол всех составов с ростом частоты электромагнитного поля от 1,84 до 2,28 ГГц наблюдается резкое уменьшение величины тангенса угла диэлектрических потерь, а при дальнейшем повышении частоты до значений 2,98 ГГц – незначительный его рост.

По результатам проведенных исследований установлена оптимальная область составов радиозащитных стекол, которая в максимальной степени отвечает предъявляемым к ним требованиям. Стекла данных составов могут быть рекомендованы для изготовления очковых линз, используемых в специальных очках, предназначенных для снижения воздействия электромагнитного излучения СВЧ-диапазона на органы зрения персонала, обслуживающего базовые станции систем сотовой связи.

Список использованных источников

1. Павлушкин, Н. М. Химическая технология стекла и ситаллов / Н.М. Павлушкин. М.: Стройиздат, 1983. – 432 с.
2. Аппен, А.А. Химия стекла / А.А. Аппен. – М.: Химия, 1974. – 360 с.