



# Разработка радиозащитных стекломатериалов

Электромагнитные волны, излучаемые ретрансляционными передающими станциями, антеннами, установленными на жилых, промышленных, спортивных и культурно-просветительных зданиях и сооружениях значительно влияют на биологические и технические объекты. Уменьшение мощности электромагнитного излучения может быть осуществлено использованием специальных устройств, которые полностью отражают или поглощают передаваемую энергию.

Наиболее чувствительными к воздействию электромагнитного излучения (ЭМИ) являются иммунная, эндокринная и нервная системы организма человека. Облучение в течение длительного времени может привести к серьезным заболеваниям. В настоящее время весьма актуальными являются вопросы защиты от воздействия ЭМИ в широком диапазоне частот.

Металлы характеризуются высоким коэффициентом поглощения и полному отсутствию волнового сопротивления благодаря чему обладают высокой отражающей способностью и широко применяются для экранирования ЭМИ. В ряде случаев используют металлические сетки, позволяющие проводить наблюдение и осмотр экранированных установок, но они позволяют частично пропускать из-

лучение. Указанные экраны являются непрозрачными или полупрозрачными (сетки) что приводит к затемнению рабочих помещений и необходимости создания искусственного освещения рабочих мест.

Наряду с материалами, способными поглощать или только отражать электромагнитную энергию сверхвысоких частот, существуют полупроводники, которые одновременно поглощают и отражают ЭМИ, в частности оксидные оловянные пленки за счет своей высокой проводимости. При этом стекла с пленками остаются прозрачными в отличие от металлов.

Радиозащитные стекла с оксидным оловянным покрытием, выпускаемые промышленностью, обладают повышенным коэффициентом отражения за счет различия в величинах коэффициента светопроломления стекла (1,52–1,53) и пленки (1,7–1,92).

В АО Институт стекла (г. Москва) созданы новые типы радиационно-защитных смотровых окон, характеризующихся высокой светопрозрачностью и ослаблением электромагнитного излучения.

Определение коэффициента экранирования осуществляли в коаксиальной камере в обычном помещении. С помощью зондовой каретки снимали картину распределения поля вдоль линии, определяя значения напряженности  $U_{\min}$  и  $U_{\max}$ .

Коэффициент отражения ( $|r|^2$ ) определяли по формуле:

$$|r|^2 = \left( \frac{1 - \text{КБВ}}{1 + \text{КБВ}} \right)^2 \cdot 100\%, \text{ где}$$

$$\text{КБВ} = \sqrt{\frac{U_{\min}}{U_{\max}}}$$

Значение коэффициента отражения, определенное в коаксиальной линии эквивалентно значению коэффициента отражения, определенному при падении волны на материал в свободном пространстве под прямым углом.

Предварительные измерения ослабления интенсивности ЭМИ показали, что силикатное листовое оконное стекло при толщине 5 мм ослабляет излучение на 2–3 дБ, в то время как фосфатные стекла, где стеклообразователем является пентоксид фосфора, на 7–9 дБ при длине падающей волны в 3 см. Введением в составы фосфатных стекол оксидов переходных элементов можно существенно увеличить эффективность радиозащиты. Однако, подобные стекла не выпускаются в виде листов что не позволяет их широ-

ко использовать для остекления зданий и сооружений.

В разработанных нами новых видах радиозащитных стекол используется листовое силикатное стекло по ГОСТ 111-2014: «Стекло листовое бесцветное», выпускаемое стекольными заводами отрасли и широко применяемое при остеклении жилых и общественных зданий, изготовлении стеклопакетов. Толщина листов стекла может меняться в пределах от 5 до 15 мм. Также можно применять стекло, упрочненное в зависимости от области использования стеклопакета. Геометрическая форма применяемого стекла может быть прямоугольной, овальной или круглой, в зависимости от конструкции смотровых радиозащитных стеклопакетов.

Одним из эффективных способов получения радиационно-защитного эффекта в стекле является ионная имплантация металлами переходной валентности, в процессе которой поверхностные слои стекла (подложки) облучаются тяжелыми заряженными частицами (ионами), ускоренными до нескольких мегаэлектрон-вольт, и таким образом происходит частичное распыление подложки с внедрением в нее ускоренных ионов.

В качестве имплантов были выбраны следующие элементы: титан, ванадий, хром, марганец, железо, кобальт, никель, медь, вольфрам и молибден. Имплантацию проводили на модельных отожженных стеклах силикатной и фосфатной системы, размером  $20 \times 20 \times 4$ ;  $30 \times 30 \times 4$ ;  $10 \times 10 \times 0,5$ ;  $10 \times 20 \times 0,5$  и  $20 \times 20 \times 1$  мм.

Эксперимент проводили при следующих условиях: величина энергии  $E = 150$  кэВ; потоки  $F$ , меняющиеся в диапазоне от  $2 \cdot 10^{15}$  до  $5 \cdot 10^{17}$  ион/см<sup>2</sup>; плотность тока в диапазоне 0,5–5 мкА в целях уменьшения температуры разогрева пластины стекла в процессе имплантации, при этом температура на его поверхности не превышала 70–80°С.

Таким образом, измерения поглощения электромагнитного излучения имплантированными модельными и листовыми стеклами показало, что наибольший радиозащитный эффект наблюдается на стеклах, имплантированных никелем Ni<sup>+</sup> и кобальтом Co<sup>+</sup>. Степень поглощения ЭМИ можно увеличить до 37,5 дБ путем проведения термообработки при 610°С в восстановительной атмосфере в водородно-аргоновой среде.

Кроме этого, показано, что в стеклах, имплантированных переход-



ными элементами, наночастицы образуются в поверхностном слое, не превышающем 110 нм, что не снижает прозрачности листового стекла в ультрафиолетовой и видимой частях спектра.

Вполне эффективными радиозащитными являются стеклопакеты, заполненные определенными электролитами.

Расстояние между двух пластин стекел варьируется от 10 до 20 мм.

Между двумя пластинами стекла помещается электролит, состоящий из водного раствора глицерина, содержащего смесь солей хлористого и азотнокислого лития.

При выборе электролитов критерием явилась величина электросопротивления не более 10 ом, максимальная величина электропроводности и возможность работы при достаточно низких температурах в диапазоне от –30°С до –50°С.

Выбор солей лития объясняется их высокой растворимостью в воде при 20°, в частности в 100 мл дистиллированной воды растворяется 78,5 г хлористого лития и 74,5 г азотнокислого лития. В качестве растворителя выбран глицерин, представляющий бесцветную жидкость, относящийся к простейшим трехатомным спиртам и характеризующийся высокой гигроскопичностью, т.е. смешиваемостью с водой в любых соотношениях.

Составы электролитов представлены следующим соотношением входящих компонентов в масс. %:

- глицерин — 20–40;
- дистиллированная вода — 17–50;
- литий хлористый (LiCl) — 10–25;
- литий азотнокислый (LiNO<sub>3</sub>) — 14–30.

При этом ослабление мощности электромагнитного излучения составляет от 25 до 68 дБ.

Стеклопакет может быть использован в качестве радиационной защиты объектов, в частности к устройствам радиационной защиты электронных приборов летательных аппаратов, радиотехнического оборудования элементов радиозащитной аппаратуры, изделий военной и космической техники и для наблюдения за объектами в облучательных установках.

Относится к области защиты человека и окружающей среды от электромагнитного излучения (ЭМИ) и может быть использована в качестве стеклопакетов в жилых и общественных (промышленных, культурно-просветительных, спортивных и лечебных) зданиях, для защиты рабочего персонала от ЭМИ, генерируемых технологическим оборудованием, а также в качестве радиационной защиты электронных приборов летательных аппаратов, элементов радиозащитной аппаратуры изделий военной и космической техники.

Использование разработанных радиозащитных материалов для остекления детских учреждений (ясли, детские сады, школы, профилактории) может способствовать сохранению и улучшению здоровья подрастающего поколения. Остекление жилых, производственных и офисных помещений позволит увеличить работоспособность людей и избавиться от синдрома хронической усталости. ■

Павлушкина Т.К, Бабинова А.А.

## Литература

1. Павлушкина Т.К, Бабинова А.А. Стёкла, ослабляющие электромагнитное излучение. Стекло и керамика, 2020, №8.
2. Павлушкина Т.К, Бабинова А.А. Положительное решение о выдаче патента на «Стеклопакет, ослабляющий электромагнитные излучения» по заявке 2020110317/07(017257).