

## Радиозащитное стекло

**Павлушкина Т.К.**, к.т.н., ОАО «Институт стекла», Москва

Разработана технология получения прозрачных наноструктурированных стекол, пригодных для защиты от электромагнитного излучения.

Наряду с материалами, способными только поглощать или только отражать электромагнитную энергию сверхвысоких частот, существуют вещества, которые могут одновременно ее поглощать и отражать, например, полупроводники, в частности – окисно-металлические пленки, которые за счет своей высокой проводимости, создаваемой свободными электронами, отражают электромагнитную энергию и при этом являются прозрачными в отличие от металлов.

Известны составы радиозащитных стекол, содержащие 20-25 масс. % оксидов железа и до 1-6 масс. % оксидов кобальта, титана или ванадия. Однако, эти стекла окрашены в массу и не пропускают лучи видимой области спектра.

Листовое стекло, армированное металлической сеткой с малыми размерами ячеек, не может быть использовано для остекления жилых и общественных зданий.

Металлические наночастицы, внедренные в то или иное вещество, обнаруживают свойства, значительно отличающиеся от свойств исходного

материала, и представляют значительный интерес для многочисленных практических применений (в оптике, микромеханической области, в схемах памяти магнитной информации и др.). Наночастицы могут быть получены физическими (испарение инертных газов, напылением, лазерным испарением) или химическими методами (золь-гель).

Одним из способов, используемых для создания коллоидных металлических частиц в диэлектриках, является ионная имплантация. При взаимодействии твердого тела с заряженными частицами (ионами) ускоренными от нескольких килоэлектронвольт до нескольких мегаэлектронвольт, происходит частичное распыление подложки с внедрением (имплантацией) в нее ускоренных ионов.

Ионная имплантация имеет ряд уникальных преимуществ перед другими методами получения наночастиц, благодаря способности образовывать большие объемы фракций металлических ионов, контролю размера частиц, контролю глубины и ширины слоя на микронной шкале.

Таким образом, возможно имплантировать в стекла, катионы различных металлов переходного ряда и при этом стекло остается прозрачным. Размер

частиц контролируется полной дозой облучения, плотностью тока, температурой подложки (стекла), а глубина проникновения имплантируемых частиц может контролироваться энергией заряженных частиц. Возможно изменение размера частиц и характера их распределения последующей термообработкой. Таким образом, можно получить высокую плотность металлических частиц размером 10-50 нм в тонком поверхностном слое стекла, что приводит к поглощению электромагнитного излучения мм и см диапазона путем рассеяния и отражения на металлических коллоидных частицах.

В качестве имплантов выбраны следующие элементы: титан, ванадий, хром, марганец, железо, кобальт, никель, медь, вольфрам и молибден.

Имплантиацию ионами переходных металлов проводили при энергии  $E = 150$  кэВ и потоках ( $F$ ) меняющихся в диапазоне от  $2 \cdot 10^{15}$  до  $5 \cdot 10^{17}$  ионов/см<sup>2</sup>. Плотность тока выбрана порядка 0,5-5 мкА с целью уменьшения температуры разогрева пластины стекла в процессе имплантации, при этом температура на его поверхности не превышала 70-80°C.

Обнаружено, что при имплантации до доз  $F \leq 10^{16}$  см<sup>-2</sup> все переходные элементы входят в стекло преимущественно в изолированном состоянии и валентных формах, типичных для этих элементов, введенных в оксидные стекла через шихту с последующим плавлением. Увеличение дозы (от  $10^{16}$  до  $6 \cdot 10^{16}$ ) приводит к тому, что изолированные ионы начинают агрегироваться в кластеры, связанные сильными спин-спиновыми взаимодействиями.

При высокодозовой имплантации ( $F = 6 \cdot 10^{16} - 10^{17}$  см<sup>-2</sup>) в имплантированных стеклах образуются наночастицы (размером 5-10 нм) различного типа: оксиды (MnO, VO<sub>2</sub>, Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CrO<sub>2</sub>), сложные соединения (например, TiхPO<sub>4</sub>), коллоидные металлические частицы (Co, Ni, Cu, W).

Оксиды и композиты регистрировались по фазовым переходам и температурным зависимостям спектров ЭПР. Некоторые из них (Co, Ni) являются ферромагнетиками и обнаруживают температурную зависимость формы и ширины линии, характерные для них. В других случаях образование наночастиц диагностируются по наличию полосы поглощения поверхностного плазмонного резонанса коллоидных металлических частиц и микрофотографиям ТЕМ.

Измерения поглощения электромагнитного излучения имплантированными модельными и листовыми стеклами показало, что ослабление мощности ЭМИ находится в пределах 6,2-30,2 дБ для фосфатного стекла и 7,8-34,1 дБ для силикатных стекол. 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°C в восстановительной атмосфере в водородноаргоновой среде.

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

Предлагаемый нами прозрачный радиозащитный материал, полученный на основе листового полированного стекла (флоат) может быть использован для остекления жилых и промышленных зданий, особенно детских учреждений, находящихся в непосредственной близости от ретрансляторов сигналов сотовой связи и источников СВЧ излучения.

Использование разработанного радиозащитного материала 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.

Производство предлагаемого радиозащитного стекла может быть организовано на любом заводе, выпускающем полированное стекло.