

### Тема 3.11 «Стекло и керамика»

*Стеклами* называют аморфные тела, получаемые в результате переохлаждения расплава независимо от их химического состава и температурной области затвердевания, приобретающие в результате постепенного увеличения вязкости механические свойства твердых тел, причем процесс перехода из жидкого состояния в твердое является обратимым.

В состав стекла введена большая часть элементов Периодической системы Д.И. Менделеева. От состава стекла, а также от соотношения между компонентами зависят свойства стекла.

По химическому составу имеющие практическое значение стекла делятся на три основных типа: оксидные (на основе оксидов  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{GeO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  и др., они имеют наиболее широкое применение), галогенидные (на основе галогенидов  $\text{BeF}_2$ ), халькогенидные (на основе сульфидов, селенидов и теллуридов).

Наиболее широко применяются оксидные стекла, которые в зависимости от состава делятся на ряд классов и групп:

- по виду оксида-стеклообразователя – силикатные, боратные, фосфатные, германатные, алюмосиликатные и т.д;
- по содержанию щелочных оксидов - бесщелочные (могут содержать щелочно-земельные оксиды  $\text{MgO}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{BaO}$ ), малощелочные, многощелочные.

Стекла получают в результате «варки» исходных компонентов стекла в стекловаренных печах и при быстром охлаждении расплавленного материала. При расплавлении шихты в результате реакции составляющих оксидов и удаления летучих составных частей ( $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{SO}_3$ ) получается однородная стекломасса, из которой вырабатывают стеклянные изделия., которые затем подвергаются отжигу при достаточно высокой температуре с последующим медленным охлаждением для устранения механических напряжений.

*Свойства стекол.* Наиболее высокие показатели механических свойств имеют кварцевые и бесщелочные стекла, а наиболее низкие – стекла с повышенным содержанием оксидов  $\text{PbO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ . Теплопроводность стекла по сравнению с другими телами исключительно низкая (наибольшую теплопроводность имеют кварцевое и боросиликатное стекла). Термическая стойкость стекла прямо пропорциональна его прочности при разрыве и обратно пропорциональна его упругости и коэффициенту линейного расширения. Химическая устойчивость стекла зависит от сопротивляемости его разрушающему воздействию различных реагентов – воды, кислот, щелочей. Для электротехнических стекол химическая устойчивость имеет в ряде случаев существенное значение. Наибольшей стойкостью к воздействию влаги обладает кварцевое стекло.

Электрические свойства сильно зависят от состава стекла. Большинство стекол характеризуется ионной проводимостью. Некоторые специальные

виды стекол - халькогенидные, ванадиевые (полупроводниковые) - имеют электронную или смешанную проводимость. Наименьшую электропроводность имеет кварцевое стекло, а наибольшую - высокощелочное. Обычно более химически устойчивые стекла имеют меньшую электропроводность. Электропроводность стекол очень быстро возрастает при увеличении температуры из-за увеличения подвижности ионов. Удельное объемное сопротивление промышленных стекол при невысоких температурах колеблется в пределах  $10^8 \dots 10^{15} \text{ Ом}\cdot\text{м}$ .

Самую низкую диэлектрическую проницаемость имеет кварцевое стекло (3,7...3,8) и стеклообразный борный ангидрид (3,1...3,2), у которых наблюдается преимущественно электронная поляризация.

Пробой стекол вызывается электрическими и тепловыми процессами. При постоянном напряжении электрическая прочность стекла весьма велика и достигает 500 МВ/м, а при увеличении температуры резко снижается. В переменном электрическом поле электрическая прочность стекол 17...80 МВ/м.

В зависимости от назначения все электроизоляционные стекла можно разделить на шесть групп:

1) Конденсаторные стёкла применяются в качестве диэлектрика в конденсаторах высокочастотных устройств. Конденсаторные стёкла имеют повышенную относительную диэлектрическую проницаемость, высокую электрическую прочность и малый тангенс угла диэлектрических потерь;

2) Установочные (изоляторные) стёкла применяются при изготовлении установочных деталей, изоляторов, и т.п. В соответствии со своим назначением имеют высокую нагревостойкость при достаточно хороших электроизоляционных свойствах;

3) Ламповые стёкла применяются для изготовления баллонов и «ножек» ламп. Так как эти стёкла находятся в контакте с металлом (например, вольфрамом) и должны хорошо с ним свариваться, для них необходимо подбирать значение температурного коэффициента расширения, равное температурному коэффициенту расширения металла;

4) Стеклоэмали представляют собой легкоплавкое непрозрачное вещество, которое наносится на поверхность изделия с целью защиты от коррозии, электрической изоляции, и для придания эстетического вида. Применяется для покрытия металлов, трубчатых резисторов, а также в качестве диэлектрика в некоторых типах конденсаторов;

5) Стёкла-наполнители применяется при изготовлении некоторых видов пластмасс в качестве неорганического наполнителя для улучшения механических свойств пластмассы;

6) Стекловолокно представляет собой длинные гибкие нити (диаметром 4-7 мкм). Из него изготавливают стеклоткани и стеклотекстолиты, которые используют как электроизоляционные прокладки, подставки и т.п. Достоинствами стекловолокна являются высокая гибкость, механическая прочность, высокая нагревостойкость, малая гигроскопичность и хорошие

электроизоляционные свойства. Особый вид стекловолокна – световоды представляют собой световедущее волокно, состоящее из световедущей жилы с высоким показателем преломления света и изоляционной оболочки с меньшим показателем преломления света. Они широко применяются для передачи различной информации в вычислительной технике, телевидении, фототелеграфии и т.п.

*Керамика* - это материал, получаемый в результате обжига формовочной массы заданного химического состава из минералов и оксидов металлов. При соответствующем выборе состава керамики из нее можно получить материалы, обладающие разнообразными свойствами. Многие керамические материалы имеют высокую механическую прочность и нагревостойкость, высокие электрические характеристики, отсутствие механических деформаций при длительном приложении нагрузки, большую, чем у органических материалов, устойчивость к электрическому и тепловому старению.

В электротехнической и радиоэлектронной промышленности керамическая технология применяется для изготовления диэлектрических, полупроводниковых, пьезоэлектрических, магнитных, металлокерамических и других изделий.

Процесс *производства* керамических изделий состоит из следующих основных этапов: приготовление керамической массы, формирование изделий, сушка, отжиг. В некоторых случаях обожженные изделия могут подвергаться дополнительной механической обработке и металлизации обычно методом выжигания серебра.

Электротехнический фарфор – основной керамический материал, используемый в производстве широкого ассортимента низковольтных и высоковольтных изоляторов и других изоляционных элементов с рабочим напряжением до 1150 кВ переменного и до 1500 кВ постоянного тока.

Основными *компонентами* фарфора являются сырьевые материалы минерального происхождения – глинистые вещества (каолин и глина, кварц, полевошпат, гипс, пегматит).

Изделия из фарфоровой массы получают различными способами обточкой, прессовкой, отливкой в гипсовые формы, выдавливанием через отверстие нужной конфигурации. После оформления изделия их сушат, глазируют и обжигают. Глазировка необходима для уменьшения гигроскопичности фарфоровых изоляторов, а также увеличения их механической прочности.

Недостатками фарфора являются ухудшение электроизоляционных свойств с повышением температуры, относительно большое значение тангенса угла диэлектрических потерь, что затрудняет его использование на высоких частотах.

Поэтому для изготовления высокочастотных высоковольтных изоляторов применяют стеатитовую керамику (стеатиты), которая

изготавливается на основе тальковых минералов, основной кристаллической фазой которых является метасиликат магния  $\text{MgO}$ ,  $\text{SiO}_2$ .

Стеатитовые материалы характеризуются высокими значениями удельного электрического сопротивления, в том числе при высокой температуре, малым тангенсом угла диэлектрических потерь за исключением материала, предназначенного для производства крупных высоковольтных изоляторов.

К числу высоковольтных изоляторов относятся:

- стационарные для оборудования распределительных устройств и аппаратуры (опорные, проходные, вводы, маслонаполненные, покрышки разного назначения);

- линейные для линий электропередачи (подвесные и штыревые).

Стеатиты также характеризуются высокими механическими свойствами, стабильностью параметров при воздействии различных внешних факторов (влаги, температуры, высокого напряжения и др.). Благодаря высоким электромеханическим свойствам стеатит применяют для изготовления высокочастотных установочных деталей, высоковольтных и низковольтных конденсаторов, высоковольтных, антенных, внутриламповых, пористых и других изоляторов. Пластичный высокочастотный высоковольтный стеатитовый материал СПК-2 применяется для изготовления крупногабаритных изоляторов, а непластичные СНЦ, СК-1, Б-17, С-55 и С-4 – для электроизоляционных деталей и высокочастотных конденсаторов.

Конденсаторная керамика отличается высоким значением относительной диэлектрической проницаемости, малым тангенсом угла диэлектрических потерь, позволяющими использовать её в качестве диэлектрика в керамических конденсаторах.

Различают конденсаторную керамику:

- 1) высокочастотную с диэлектрической проницаемостью ( $\epsilon = 10 \dots 230$ ) и тангенсом угла диэлектрических потерь на частоте 1 МГц не более 0,0006;

- 2) низкочастотную с диэлектрической проницаемостью ( $\epsilon = 900$ ) и тангенсом угла диэлектрических потерь на частоте 1000 Гц в пределах от 0,002...0,025. Основную часть этих материалов составляют рутил (диоксид титана). В принятом обозначении такие составы имеют букву Т (титановая керамика); следующая цифра обычно обозначает номинальную диэлектрическую проницаемость. Эти материалы называют также тикондами. При длительном воздействии постоянного напряжения тикондовая керамика подвергается электрохимическому старению.

Для повышения температурной стабильности в керамику вводят компоненты с положительным значением температурного коэффициента диэлектрической проницаемости. Такие материалы называют термокомпенсированными, к ним относятся титано-циркониевая, лантановая керамика.