

19 Неорганические электроизоляционные материалы

Изоляционные газы

Для высоковольтной изоляции наиболее широкое применение находит **элегаз** (электрический газ, гексафторид серы SF_6). Он инертен по отношению к меди и алюминию, химически стоек до $800\text{ }^\circ\text{C}$. Электрическая прочность элегаза в 2,5 раза больше, чем у воздуха, что позволяет значительно уменьшить объём и массу газонаполненного электрооборудования, по сравнению с воздушным.

Элегаз применяется в герметизированных распределительных устройствах, конденсаторах, трансформаторах, выключателях и высоковольтных кабелях. Трансформаторы с элегазовым заполнением взрывобезопасны. В высоковольтных выключателях элегаз применяется благодаря его высоким дугогасящим свойствам.

Основные недостатки: опасны разряды в элегазе в присутствии органической изоляции, так как образуются химически очень активные и ядовитые вещества; сравнительно высокая стоимость. В целях удешевления газовой изоляции часто применяют элегаз в смеси с более дешёвым азотом.

Перспективны *перфторированные углеводороды*, в молекулах которых все атомы водорода заменены фтором. От CF_4 до C_4F_{10} в нормальных условиях являются газами с электрической прочностью большей, чем у воздуха в 6–10 раз, а также *фреон* CCl_2F_2 – в 2,5 раза.

Стёкла

Стёкла – это неорганические квазиаморфные системы оксидов.

Благодаря высокой химической устойчивости, а также дешевизне и доступности сырьевых компонентов, наибольшее распространение получили силикатные стёкла (т. е. на основе диоксида кремния SiO_2). Для придания определённых свойств, а также из технологических соображений в состав стёкол вводят оксиды различных металлов.

Кварцевое стекло получают из чистого диоксида кремния при температурах выше $1700\text{ }^\circ\text{C}$. Кварцевое стекло обладает рядом замечательных свойств. Оно имеет наименьшее значение температурного коэффициента линейного расширения из всех известных веществ вообще. Нагретое докрасна кварцевое стекло можно погружать в холодную воду, не вызывая его разрушения. Благодаря высокой нагревостойкости и химической инертности к

действию большинства реактивов кварцевое стекло получило широкое применение в технологии производства чистых веществ в качестве конструкционного материала – реакторы, ампулы, лодочки, тигли и т. п.

Кварцевое стекло отличается высокой прозрачностью для излучения в ультрафиолетовой, видимой и инфракрасной области спектра вплоть до длины волны порядка 4 мкм. По электрическим свойствам кварцевое стекло относится к очень хорошим высокочастотным диэлектрикам ($\varepsilon = 3,8$; $\rho > 10^{16}$ Ом·м; $\operatorname{tg}\delta = 0,0002$ на частоте 10^6 Гц).

Кратковременная электрическая прочность стёкол при электрическом пробое очень велика и в некоторых случаях может достигать 500 МВ/м. Пробой стёкол имеет тепловой характер.

Из расплавленной стекломассы методом вытяжки через фильеру с последующей быстрой намоткой на вращающийся барабан можно получать тонкое *стекловолокно*, обладающее хорошей гибкостью и повышенной механической прочностью. Из стеклянных нитей, скрученных из отдельных волокон, ткнут стеклянные ткани, ленты и шланги. Для производства стекловолокна используют щелочные алюмосиликатные и бесщелочные алюмоборосиликатные стёкла.

Ситаллы – это стеклокристаллические материалы, получаемые путём почти полной стимулированной кристаллизации стёкол специально подобранного состава. Они занимают промежуточное положение между обычными стёклами и керамикой.

Керамика

Керамическим диэлектрикам присущи многие положительные свойства: высокая нагревостойкость, отсутствие у большинства материалов гигроскопичности, хорошие электрические характеристики при достаточной механической прочности, стабильность характеристик и надёжность, стойкость к воздействию излучения высокой энергии, развитию плесени и поражению насекомыми. Сырьё для производства основных керамических изделий доступно и дёшево. Преимуществом керамики является возможность получения заранее заданных характеристик путём изменения состава массы и технологии обжига.

Керамический материал состоит из двух фаз – кристаллической и стекловидной. Основные свойства керамики – диэлектрическая проницаемость, диэлектрические потери, температурный коэффициент линейного расширения – во многом зависят от особенностей кристаллической фазы. Проводимость зависит от стекловидной.

Из низкочастотных установочных материалов наиболее распространён *изоляторный фарфор*. Сырьём для его изготовления служат специальные сорта глины, кварцевый песок и полевой шпат.

Улучшенными характеристиками обладает *радиофарфор*. Улучшение достигается путём введения в состав исходной шихты оксида бария, резко снижающего диэлектрические потери и проводимость стекловидной фазы.

Дальнейшим усовершенствованием радиофарфора является *ультрафарфор*, относящийся к группе материалов с высоким содержанием глинозёма (более 80 % Al_2O_3).

Конденсаторная керамика может иметь диэлектрическую проницаемость с повышенным ($\epsilon = 10\text{--}230$) и высоким ($\epsilon > 900$) значениями. Конденсаторную керамику используют для производства низкочастотных и высокочастотных конденсаторов низкого и высокого напряжений.

Слюда и слюдяные материалы

Слюда обладает исключительно ценными качествами: высокой электрической прочностью, нагревостойкостью, гибкостью, теплопроводностью. Встречается в природе в виде кристаллов, легко расщепляющихся на пластинки. Водные алюмосиликаты – мусковит $\text{K}_2\text{O}\cdot 3\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 6\text{SiO}_2\cdot 2\text{H}_2\text{O}$ и флогопит $\text{K}_2\text{O}\cdot 6\text{MgO}\cdot \text{Al}_2\text{O}_3\cdot 6\text{SiO}_2\cdot 2\text{H}_2\text{O}$.

Применяется для изоляции мощных высоковольтных электрических машин и высоковольтных высокочастотных конденсаторов. При нагреве до нескольких сотен градусов из слюды выходит кристаллическая вода, она вспучивается и теряет прозрачность, электрические и механические свойства ухудшаются.

Кроме пластин самой слюды применяют материалы на её основе: миканиты, микаленты, слюдиниты, слюдопласты, микалекс.

Миканиты – листовые материалы, склеенные из отдельных лепестков слюды с помощью клеящего лака или сухой смолы. Их используют в качестве различных изоляционных прокладок, например между коллекторными пластинами электродвигателей. Пластины миканита используют также в качестве конструктивных изоляционных элементов, например, внутри электронно-вакуумных приборов.

При изготовлении *микаленты* на подложку из стеклоткани или особо прочной бумаги с двух сторон приклеивают пластинки слюды с перекрытием.

Из отходов слюды с использованием различных связующих изготавливают *слюдинитовые* и *слюдопластовые* бумаги.

Микалекс это пластмасса, в которой наполнитель – отходы слюды, а связующее – легкоплавкое стекло.

Синтетическая слюда *фторфлогопит* способна работать при температуре от минус 200 до плюс 800 °С. В её структуре атомы кислорода частично заменены на атомы фтора.

Асбест и асбестовые материалы

Асбест – название группы минералов, обладающих волокнистым строением. Хризотилитовый $3\text{MgO}\cdot 2\text{SiO}_2\cdot 2\text{H}_2\text{O}$. Залегают в каменных породах в виде жил, состоящих из параллельных друг другу волокон (горный лён). Длина волокон асбеста достигает нескольких сантиметров. Нагревостойкость асбеста превышает 400 °С.

Из асбеста изготавливают пряжу, ленты, ткани, бумаги, картоны и другие изделия. Ленты из асбеста с высоким содержанием магнетита используют в электрических машинах высокого напряжения для улучшения картины электрического поля. В качестве наполнителя асбест входит в состав термостойких пластмасс. Из него изготавливают *асбогетинакс*, *асботекстолит*.

Асбоцемент – материал холодной прессовки, в котором наполнителем является асбест, а связующим – цемент, применяется для распределительных щитов, искрогасящих камер, труб кабельной канализации. Следует помнить о канцерогенности асбеста.

Неорганические диэлектрические плёнки

Оксидные плёнки на поверхности некоторых металлов, в частности алюминия, широко применяются в качестве электрической изоляции.

Температура плавления оксида алюминия 2050 °С. Недостатками оксидной изоляции являются её малая гибкость и заметная из-за пористости плёнки гигроскопичность. Если не требуется особая нагревостойкость, оксидную изоляцию можно пропитать и покрыть лаком.

Нагревостойкость электроизоляционных материалов

По наибольшей температуре длительной эксплуатации электроизоляционных материалов их подразделяют на 7 классов *нагревостойкости*:

У (до 90 °С) – волокнистые материалы на основе целлюлозы и шёлка (пряжа, ткани, бумаги, картоны, древесина), а также большинство термопластичных полимерных материалов;

А (до 105 °С) – материалы из органических волокон, пропитанных лаками, компаундами либо погруженных в жидкий диэлектрик, а также полиамиды и поливинилацетали;

Е (до 120 °С) – терморезистивные полимерные материалы, а также полиэфиры, полиуретан и эпоксидные смолы;

В (до 130 °С) – материалы с большим содержанием неорганических компонентов и органическими связующими;

Ф (до 155 °С) – неорганические вещества с эпоксидными, кремнийорганическими и терморезистивными связующими повышенной нагревостойкости;

Н (до 180 °С) – материалы, получаемые при использовании кремнийорганических смол особо высокой нагревостойкости;

С (выше 180 °С) – чисто неорганические материалы, а также фторопласт и полиимиды.