

Діелектричні матеріали

1. Класифікація діелектричних матеріалів

Навіть найпростіша електрична схема не може бути виконана без використання провідникових і діелектричних матеріалів. У діелектричних матеріалів електропровідність практично відсутня, точніше має дуже мізерне значення порівняно з провідниковими матеріалами.

За призначенням діелектричні матеріали можна розподілити на електроізоляційні матеріали та активні діелектрики.

Основне призначення електроізоляційних матеріалів — це перешкода проходженню струму шляхами, небажаними для роботи даної електричної схеми. Їх використовують для створення електричної ізоляції, що оточує струмопровідні частини електричних пристроїв і відокремлює одна від одної частини, що знаходяться під різними електричними потенціалами. Призначення електричної ізоляції — це недопущення проходження електричного струму за будь-якими небажаними шляхами, крім передбачених електричною схемою пристроїв.

Електроізоляційні матеріали використовуються, як діелектрики в електричних конденсаторах для створення певного значення його електричної ємності, а в деяких випадках для забезпечення певного виду залежності цієї ємності від температури або інших факторів. Активні діелектрики, тобто діелектрики з керованими властивостями, не тільки створюють електричну ізоляцію (тобто виконують «пасивну» роль), але в різних пристроях використовується зміна їх параметрів під дією різних факторів. До активних діелектриків належать сегнетоелектрики, п'єзоелектрики і електрети. У сегнетоелектриків діелектрична проникність суттєво змінюється при зміні напруженості електричного поля і при зміні температури. П'єзоелектрики генерують електричні заряди під дією механічних напружень і, навпаки, змінюють свої розміри під дією електричного поля. Електрети можуть розглядатися як електричні аналоги постійних магнітів, оскільки вони здатні тривало зберігати електричний заряд.

Електроізоляційні матеріали за агрегатним станом розділяються на тверді, рідкі й газоподібні. Особливу групу становлять матеріали, які тверднуть. У процесі виробництва виробів їх вводяться в ізоляцію рідкими або пластичними, але потім вони стають твердими речовинами.

За хімічною основою електроізоляційні матеріали поділяються на органічні (сполуки вуглецю з воднем, азотом, киснем і деякими іншими елементами) та неорганічні.

Неорганічні матеріали порівняно з органічними мають вищу нагрівостійкість. Розрізняють також природні, штучні і синтетичні електроізоляційні матеріали. Природні електроізоляційні матеріали — це матеріали природного походження, які використовуються без хімічної переробки. Штучні електроізоляційні матеріали одержують шляхом хімічної переробки природної сировини. Синтетичні електроізоляційні матеріали одержують методом хімічного синтезу.

Електроізоляційні матеріали важно також розділити на полярні й неполярні для оцінювання їхніх електричних, адгезивних властивостей, гігроскопічності та ін.

2. Електричні властивості діелектричних матеріалів

Властивості діелектричних матеріалів необхідно враховувати для оцінювання їх можливих галузей використання, а також експлуатаційних властивостей. До електричних властивостей діелектричних матеріалів відносять поляризацію, електропровідність, діелектричні втрати і пробій.

Основним характерним процесом для будь-якого діелектрика, що виникає при дії на нього електричного напруження, є поляризація.

Поляризація — це процес, який полягає в органічному зміщенні або орієнтації зв'язаних зарядів у діелектрику при дії на нього електричного поля.

Ступінь поляризованості для діелектрика оцінюється відносною діелектричною проникністю. Чим вище її значення, тим сильніше поляризується діелектрик.

Поляризацію умовно можна розподілити на два види:

— поляризація під дією електричного поля практично миттєва, без розсіювання енергії, тобто без виділення теплоти;

— поляризація, яка здійснюється не миттєво, а зростає і спадає повільно, а також супроводжується розсіюванням енергії в діелектрику, тобто нагріває його.

Залежно від будови діелектрика і його агрегатного стану розрізняють електронну, іонну, дипольну, міграційну, спонтанну і резонансу поляризацію.

Електронна поляризація — це зміщення електронних орбіт відносно позитивно зарядженого ядра під дією зовнішнього електричного поля.

Електронно-релаксаційна поляризація виникає внаслідок збудження теплової енергією (дефектних) електронів або дірок.

Іонна поляризація — це зміщення різнойменних заряджених іонів один відносно одного із положення рівноваги на відстань, меншу постійної кристалічних ґраток, у речовинах з іонними зв'язками.

Дипольна поляризація полягає в повороті (орієнтації) дипольних молекул у напрямку зовнішнього електричного поля.

Міграційна поляризація зумовлена наявністю в технічних діелектриках провідних і непровідних включень і шарів з різною провідністю.

Спонтанна (самочинна) поляризація спостерігається у діелектриків з доменною будовою, коли до прикладення зовнішнього електричного поля в таких матеріалах вже є невеликі поляризовані області.

Резонансна поляризація проявляється в області надвисоких частот у газів і твердих діелектриків з дефектами в кристалічній структурі.

Залежно від механізму поляризації всі діелектрики можна розділити на полярні і неполярні.

Полярні діелектрики складають групу матеріалів, що містять постійні електричні диполі, здатні до переорієнтації в зовнішньому електричному полі.

Неполярні діелектрики складають групу матеріалів, які не містять діелектричних диполей та здатні до переорієнтації в зовнішньому електричному полі.

За призначенням електроізоляційні матеріали не повинні пропускати електричний струм під дією прикладеної постійної напруги. Але «ідеальних» непровідників не існує і всі електроізоляційні матеріали, при прикладенні постійної напруги пропускають струм, хоча й дуже незначний. Таким чином діелектричні матеріали мають деяку електропровідність, пов'язану з направленим переміщенням заряджених частинок (електронів, іонів, моліонів).

Електропровідність багатьох ізоляційних матеріалів залежить не тільки від будови і хімічного складу, але й від технології їх виготовлення.

Поверхнева електропровідність твердих діелектриків визначається наявністю в них адсорбованих водно-колоїдних плівок. Щодо води, то ізоляційні матеріали поділяються на гідрофобні та гідрофільні. До гідрофобних матеріалів відносять, наприклад, віск, янтар, полістирол та ін. їхня поверхнева провідність незначна і не залежить від вологості повітря. До гідрофільних матеріалів відносять електроізоляційні стекла, мармур, папір, багато видів пластмас, у яких електропровідність залежить від вологості навколишнього середовища.

Діелектричні втрати пов'язані з складними явищами, що виникають у матеріалі при дії на нього електричного поля. Вони проявляються при постійному і змінному струмі. Проте якість діелектрика при постійному струмі звичайно характеризується не діелектричними втратами, а питомим об'ємним і поверхневим опором.

Під впливом електричного поля на будь-яку речовину частина споживаної ним електричної енергії перетворюється в теплову і розсіюється. Розсіяну частину поглинутої діелектриком електричної енергії називають діелектричними втратами.

У діелектрику, розміщеному в електричному полі з напруженістю E і кутовою частотою ω , виникають струм зміщення і струм провідності. Кут δ між векторами густини змінного струму діелектрика J і струму зміщення J_{zm} на комплексній площині називають кутом діелектричних втрат. Тангенс цього кута є одним з найважливіших параметрів не тільки діелектриків, але також і конденсаторів, ізоляторів та інших електроізоляційних матеріалів. Тангенс кута діелектричних втрат визначає активну потужність, яка втрачається у діелектрику, що працює під змінною напругою.

Електрична ізоляція не може витримувати прикладену до неї необмежено високу напругу, так як це призведе до її пробивання. Явище утворення в діелектрику провідного каналу під дією електричного поля називають пробоем. Якщо провідний канал проходить від одного електрода до іншого і замикає їх, виникає повний пробій. При частковому пробіі пробивається лиш газове або рідке включення твердого діелектрика.

У твердих діелектриках крім пробією за об'ємом можливий пробій на поверхні, такий пробій називають поверхневим.

За фізичною сутністю розвитку пробією розрізняють електричний, електротепловий, електромеханічний, електрохімічний та іонізаційний пробій.

Електричний пробій — це безпосереднє руйнування структури діелектрика силами електричного поля, які діють на електричні заряджені частини в діелектрику.

Електротепловий пробій пов'язаний із нагрівом ізоляції в електричному полі діелектричними втратами.

Електромеханічний пробій підготовлюється механічним руйнуванням матеріалу (утворенням макроскопічних щілин) силами електричного поля (тиском електродів).

Електрохімічний пробій — це вид пробією пов'язаний з хімічними змінами матеріалу в електричному полі.

Іонізаційний пробій пояснюється діями на діелектрик хімічно агресивних речовин, які утворюються в газових порах діелектрика при часткових розрядах.

3. Механічні, теплові, вологоємнісні та фізико-хімічні властивості діелектричних матеріалів.

При виборі діелектричного матеріалу в кожному конкретному випадку слід враховувати не тільки електричні властивості, але й механічні.

Пружність. На матеріали можуть діяти зосереджені і розподілені навантаження, які викликають в них механічні напруження. Під дією останніх матеріал деформується. При невеликих напруженнях виконується закон Гука, який встановлює залежність між механічними напруженнями і відносною деформацією. У таких випадках після зняття навантаження форма зразка відновлюється.

Міцність. Закон Гука справедливий тільки до визначеного значення. З деякого значення механічного напруження деформація зростає швидше, ніж за лінійним законом. Виникає холодна пластична текучість металу і після зняття напруження форма зразка не відновлюється. Напруження називають границею текучості.

Подальше підвищення механічного напруження призводить до руйнування зразка при напруженні, яке називається границею міцності.

Міцність матеріалів характеризують границями міцності при розтягуванні, стисненні і згину. Границі міцності вимірюються в одиницях механічного напруження — паскалях (Па).

Механічна міцність залежить від типу зв'язків молекул речовини: вона максимальна в кристалах з ковалентним зв'язком і мінімальна в кристалах з молекулярним зв'язком.

Матеріали, в яких пластична деформація не спостерігається і зразок руйнується (наприклад, скло, кераміка), називаються крихкими. Крихкі матеріалам легко руйнуються під дією вібрацій і динамічних навантажень. Матеріали, в яких ділянка пластичної деформації дуже широка, називаються пластичними

До основних теплових властивостей діелектрика відносять:

- нагрівостійкість — це здатність діелектрика функціонувати при підвищених температурах або при різкій зміні температур без недопустимого погіршення його властивостей;
- теплопровідність – це здатність діелектрика проводити теплоту;
- теплове розширення — це властивість діелектрика змінювати свої лінійні розміри під дією температури. Теплове розширення оцінюється температурним коефіцієнтом лінійного розширення ТКІ;
- холодостійкість — це здатність електричної ізоляції працювати при низьких температурах без недопустимого погіршення експлуатаційних характеристик.

До основних вологоємних властивостей діелектрика відносять:

- вологостійкість—це здатність матеріалу зберігати свої експлуатаційні властивості при дії вологи;
- гігроскопічність - здатність матеріалу поглинати водяні пари з навколишньої атмосфери;
- водопоглинання — це здатність матеріалу поглинати воду;
- вологопроникність – здатність матеріалу пропускати крізь себе пари води.

До основних фізико-хімічних властивостей діелектрика відносять:

- кислотне число – кількість міліграм їдкого калію необхідного для нейтралізації вільних кислот, що містяться в 1 г діелектрика;
- хімічностійкість – це здатність електроізоляційних матеріалів протистояти хімічно активним речовинам;
- світлостійкість – здатність матеріалів зберігати свої експлуатаційні характеристики під дією світлового опромінювання;
- радіаційна стійкість – здатність діелектрика зберігати свої експлуатаційні характеристики при взаємодії іонізуючого випромінювання.

4. Тверді органічні діелектрики (полімеризаційні синтетичні полімери, поліконденсаційні синтетичні полімери, електроізоляційні пластмаси, шаруваті пластики і фольговані матеріали, лаки та емалі, компаунди, флюси).

До органічних діелектриків відносять матеріали, до складу яких входить вуглець.

В якості органічних діелектриків у промисловості використовують природні і синтетичні полімери, які одержують методом хімічного синтезу (часто їх називають смолами).

Більшість органічних діелектриків — це високомолекулярні речовини, які містять дуже велике число атомів або найпростіших молекул. Основу багатьох високомолекулярних діелектриків складають полімерні сполуки, які отримують з мономерів (низькомолекулярні сполуки) в процесі реакції полімеризації або поліконденсації.

Полімеризація — це процес сполучення великої кількості мономерів з утворенням нової високомолекулярної речовини (полімеру) без виділення побічних продуктів реакції.

Поліконденсація — це процес сполучення різнорідних мономерів з утворенням полімеру і виділенням побічного продукту.

Властивості полімерів визначаються хімічним складом, взаємним розміщенням атомів і будовою макромолекул. За будовою макромолекули полімерів поділяються на лінійні (ниткоподібні) і просторові (сітчасті).

Лінійні полімери — це сполучення ланок однієї визначеної структури.

За тепловими властивостями полімери поділяються на термопластичні і термореактивні.

Термопластичні матеріали (термопласти) характеризуються тим, що нагрівання до температури, яка відповідає пластичному стану, не викликає незворотних змін їх властивостей. Вони тверді при достатньо низьких температурах, але при нагріванні стають пластичними і легко деформуються.

У термореактивних (термозатверджувальних) матеріалах за достатньої витримки при високій температурі виникають незворотні процеси, в результаті яких вони втрачають здатність плавитися і розчинюватися, стають твердими і механічно міцними.

Полімеризаційні синтетичні полімери

Полімеризаційні синтетичні полімери одержують у процесі полімеризації під дією теплоти, тиску, ультрафіолетових променів, а також ініціаторів і каталізаторів. При полімеризації подвійні та потрійні зв'язки мономерів розриваються і молекули, з'єднуючись між собою, ще більше подовжуються.

До полімеризаційних синтетичних полімерів відносять полімерні вуглеводні, фторорганічні полімери, кремнійорганічні полімери (полісилоксани).

Полімерні вуглеводні. До них відносять полістирол, поліпропілен, поліетилен, полівінілхлорид (ПВХ), вініпласт, поліметилметакрилат (оргскло) та ін.

Полістирол — твердий прозорий матеріал, неполярний діелектрик з високими електроізоляційними властивостями.

Полістирол має такі властивості: низька гігроскопічність; водостійкий; стійкий проти впливу нейтронів; не розчиняється в спиртах, парафінових вуглеводнях; стійкий проти дії лугів і ряду кислот.

До недоліків полістиролу відносять: крихкість при знижених температурах; схильність до старіння і утворення тріщин; розчинність в ароматичних вуглеводнях (бензолі, толуолі), хлороформі, концентрованій кислоті; невисоку нагрівостійкість.

Полістирол — один із кращих високочастотних діелектриків. Він використовується для виготовлення каркасів індуктивних котушок, корпусів радіоприймачів і телевізорів, плат перемикачів, для ізоляції кабелів і конденсаторів.

Поліетилен — твердий білий або світло-сірий матеріал без запаху, неполярний діелектрик, одержаний в результаті реакції полімеризації газу етилену.

Електроізоляційні властивості такі ж високі, як і у полістиролу, але відрізняються високою стабільністю. На відміну від полістиролу поліетилени містять значну кількість кристалічної фази.

Поліетилен має такі властивості: висока морозостійкість (зберігає гнучкість при температурі -70°C); висока вологостійкість, негігроскопічний; стійкий проти дії міцних кислот (крім азотної), лугів й інших розчинників; при кімнатній температурі не розчиняється в жодному розчиннику; стійкий проти цвілі; газонепроникний; стійкий проти стирання і вібрації; в полум'ї горить і оплавлюється; гранична робоча температура 100°C (міцність починає зменшуватись тільки при нагріванні вище 60°C).

До недоліків поліетилену відносять такі властивості: теплове старіння призводить до утворення тріщин на поверхні виробу; при нагріванні до температури до 80°C і вище розчиняється в ароматичних і хлорованих вуглеводнях; під дією концентрованої сірчаної кислоти чорніє, а в концентрованій азотній кислоті навіть при кімнатній температурі набухає, збільшуючись у масі на 4,6% протягом 85 діб; під дією теплоти, ультрафіолетового випромінювання, кисню повітря старіє; в сильних електричних полях виникають структурні зміни, що знижують якість ізоляції.

Завдяки високим електроізоляційним властивостям його широко використовується як конструкційний матеріал для виготовлення каркасів котушок, деталей, які працюють у колах високої частоти. Поліетиленові плівки товщиною від 0,02 до 0,2 мм використовують для виготовлення кабелів і проводів.

Поліпропілен — лінійний неполярний полімер, одержаний полімеризацією газу пропілену аналогічно полімеризації етилену низького тиску.

Поліпропілен використовують як комбінований папери-плівковий діелектрик у силових конденсаторах, як плівковий діелектрик в обмоткових проводах.

Полівінілхлорид (ПВХ) — білий дрібнодисперсний порошок. Лінійний полярний полімер, одержаний в результаті полімеризації газоподібного полімеру вінілхлориду у присутності емульгаторів (желатину, полівінілового спирту) та ініціаторів (пероксиду водню, пероксиду ацетилену)

Полівінілхлорид не розчинюється у воді, бензині, спирті; розчиняється в діхлоретані і метиленхлориді; набухає в ацетоні і бензолі. При нагріванні вище 140°C під дією світла полівінілхлорид розкладається з виділенням хлористого водню. Газ, що виділився, шкідливо впливає на організм людини і викликає корозію апаратури. Цей процес супроводжується зміною фізико-механічних властивостей: знижується міцність, відносно видовження при розриві; підвищується крихкість, що призводить до появи тріщин; змінюється колір.

Суспензійний полівінілхлорид випускають для кабельного світлотермостійкого ізоляційного матеріалу, кабельного пластикату і для виготовлення вінілпласту.

Полівінілхлоридний пластикат використовують для виготовлення плівок, ізоляційних стрічок, монтажних і телефонних проводів, трубок, а також як спеціальні світлотермостійкі ізоляційні і шлангові матеріали.

Поліметилметакрилат (оргскло, плексиглас) — прозорий безбарвний матеріал, полярний діелектрик, який одержують в результаті полімеризації ефірів метакрилової кислоти.

Поліметилметакрилат має невелику гігроскопічність, високу хімічну стійкість; легко зварюється в спеціальних пристроях, склеюється полярними розчинниками.

Використовують органічне скло для виготовлення корпусів приладів, шкал, лінз, а також як дугогасильний матеріал, оскільки воно має властивість виділяти при взаємодії з електричною дугою велику кількість газів.

Фторорганічні полімери. Одним з суттєвих недоліків органічних полімерів є знижена теплостійкість.

Найбільшого поширення набули фторорганічні (фторопласт) і кремнійорганічні полімери (полісилоксани).

Фторопласти — кристалічні полімери фторпохідних етилену, де атоми водню заміщені фтором.

В радіоелектроніці найчастіше використовують фторопласт-4 (політетрафторетилен) і фторопласт-3 (політрифторхлоретилен).

Фторопласт-4 — білий або сіруватий матеріал з більш високою густиною, ніж у інших органічних полімерів. Цифра 4 вказує на число атомів фтору в молекулі мономеру

Фторопласт-4 має такі властивості: робочий діапазон температур від -250 до +250°C; високі діелектричні властивості, які майже не залежать від температури; добрі вакуумні властивості; найбільш хімічно стійкий матеріал із всіх відомих полімерів (його стійкість проти хімічного впливу вища, ніж у золота, платини, скла, фарфору, емалі, тобто тих матеріалів, які використовують для захисту від корозії в найбільш сильнодіючих агресивних середовищах; не змочується з водою і не набухає в ній; не розчинюється в жодному розчиннику; не горить; за електроізоляційними властивостями належить до кращих із відомих діелектриків; абсолютно стійкий в тропічних умовах, не доступний до дії грибків.

До недоліків фторопласта-4 відносять: виділення отруйного газоподібного фтору в результаті розкладання при температурі вище 400°C, низьку радіаційну стійкість, складну технологію переробки, високу вартість, відносну м'якість і схильність до холодоплинності.

Із фторопласту-4 виготовляють тонкі конденсаторні і електроізоляційні плівки товщиною 5...200 мкм. Залежно від способу виготовлення випускаються орієнтовані і неорієнтовані плівки. В радіоелектроніці із фторопласту виготовляють хімічний посуд для виконання технологічних операцій в агресивних середовищах; в обладнанні для температурних випробувань, оскільки він добре переносить різку зміну температур в широкому діапазоні; у вакуумних вентилях.

Поліконденсаційні синтетичні полімери

Фенолформальдегідні смоли. Вони можуть бути термореактивними і термопластичними.

Найважливішою особливістю фенолформальдегідних смол є їхня властивість у сполученні з різними наповнювачами утворювати фенопласти, які мають такі властивості: високу міцність, добрі елек-троізоляційні властивості, здатність тривалий час функціонувати при високих температурах або у будь-яких кліматичних умовах.

Фенолформальдегідні смоли здатні суміщатися з багатьма полі-мерами і утворювати сополімери, які мають властивості фенопласту і всі позитивні якості суміщеного з ним компонента. Ці смоли поділяються на резольні і новолачні.

Резольні смоли — термореактивні матеріали, полярні ді-електрики. Використовуються для виготовлення таких шаруватих пластмас як текстоліт, гетинакс; для композиційних прес-матеріалів (фенопластів); трубок, клеїв та інших матеріалів.

Поліефірні смоли. за фізичними властивостями близькі до природних смол (каніфоль, шелак). Із поліефірних смол найбільш поширеними є лавсанова смола (поліетилентетрафталат), гліфтаєва смола, полікарбонати.

Кристалічний лавсан має високу температуру плавлення 265°C; високу механічну міцність у широкому діапазоні температур; добрі електроізоляційні властивості; стійкий проти дії слабких лугів, соляної кислоти, ефірів, масел, жирів, плісені; нестійкий проти дії міцної азотної і сірчаної кислот, фенолу, хлору; світлопроникність плівки така ж, як у скла, має малі гігроскопічність і газопроник-ність. Кристалічний лавсан старіє під дією сонячних променів.

Лавсан кристалічної будови використовується для виготовлен-ня волокон, пряжі, тканин, тонких електроізоляційних плівок. Волокна і плівки використовують для ізоляції проводів і кабелів. Лавсанова конденсаторна плівка має високу електричну міцність і підвищену нагрівостійкість.

Гліфталеві смоли мають такі властивості: високу нагрівостійкість до температури 130°C, високу гнучкість, досить високу твердість, високу здатність до склеювання, розчинність в органічних розчинниках, розм'якшується при нагріванні, підвищену гігроскопічність при неповній полімеризації, стійкість проти поверхневих розрядів.

Використовують як основу лаків для склеювання, просочуван-ня і покривання, плівки яких стійкі проти нагрітого мінерального масла: для виготовлення лаків, пластмас, клеїв.

Полікарбонати —це поліефірні вугільні кислоти, які мають добрі електричні і механічні властивості, відносно високу температуру розм'якшення (кристалічний полікарбонат розм'якшується при температурі 140°C), виражену хімічну стій-кість« невисоку гігроскопічність.

Використовують полікарбонати для виготовлення шаруватих пластиків, компаундів, плівок для ізоляції в електричних машинах.

Кремнійорганічні смоли мають високу нагрівостійкість проти температури +250°C; високу холодостійкість проти температури -60 С; добрі діелектричні властивості, які мало залежать від темпе-ратури; малу гігроскопічність; хімічну інертність.

У промисловості кремнійорганічні смоли використовують для виготовлення електроізоляційних матеріалів, таких як склотекстоліти; слюдяна ізоляція, компаунди, кремнійорганічний лак, по-кривні емалі, гумосклотканинн та ін.

Епоксидні смоли мають порівняно невелику усадку приблизно 0,5...2%; високу адгезію до пластмас, стекол, фарфору, металів; нагрівостійкість і механічні властивості вищі ніж у кремнійорганічних смол; вартість меншу ніж у кремнійорганічних смол. Використовують для виготовлення лаків, клеїв, заливочних компаундів.

Поліаміди — термопластичні полярні діелектрики, які мають високу механічну міцність (малий коефіцієнт тертя, абразивостійкість); високу еластичність; високу хімічну міцність (стійкі проти дії лугів, масел, жирів і вуглеводнів; розчинюються тільки в певних розчинниках — крезолі, розплавленому фенолі); невисокі електричні параметри, які значно змінюються під дією підвищеної температури і вологості; високу гігроскопічність; малу радіаційну стійкість; низьку світлостійкість.

Серед полімерів найбільшого поширення набули капрон і нейлон.

Капрон має температуру розм'якшення 215...250°C і використовується для одержання синтетичного волокна, яке за міцністю, стійкістю проти стирання та гігроскопічністю значно переважає текстильне волокно.

Нейлон має більш високу температуру розм'якшення, ніж капрон.

Із поліамідів виготовляють також стійкі проти корозії ізолювальні кріпильні гвинти, гайки, шайби і деталі вимикачів.

Полііміди — це органічні полімери, які мають високу нагрівостійкість; дуже високу холодостійкість; добрі діелектричні властивості.

Поліімідні плівки використовують у конденсаторах і нагрівостійких кабелях, як підкладки в мікросхемах; поліімідні лаки застосовують для емалювання проводів і просочування катушок, а також як міжшарову ізоляцію в багатокристальних великих інтегральних схемах.

Поліуретани — це лінійні термопластичні матеріали, які мають такі властивості:

температура плавлення нижче, ніж у поліамідів;

більш стійкі проти окиснення, дії кислот, вологи і морозу, ніж поліаміди;

електроізоляційні властивості кращі, ніж у поліамідів, можуть зберігати високі електроізоляційні характеристики в умовах підвищеної вологості і після тривалої дії води, що кипить;

стійкі проти впливу більшості органічних розчинників — бензину, бензолу, масел і спиртів.

Найбільше поширення одержали пінополіуретани, які мають достатню механічну міцність, виражені електричні властивості, високу тепло- і звукоізоляцію. Їх використовують для герметизації радіоблоків і малогабаритних приладів, а також для захисту їх від вібрації, дії тепла і механічних навантажень.

Пластичні маси (пластмаси) об'єднують групу твердих або пружних матеріалів, які повністю або частково складаються з полімерних сполук і формуються у виробі методами, заснованими на використанні їх пластичних деформацій.

Вони мають такі властивості:

порівняно високі механічні властивості, достатні для виготовлення виробів, які не піддаються значним динамічним навантаженням;

добрі електроізоляційні властивості, що дозволяє використовувати їх як діелектрики високої стійкості проти корозії;

високу хімічну стійкість;

низьку гігроскопічність;

легкість та виражені оптичні властивості та прозорість.

До основних недоліків пластмас відносять повзучість, тобто здатність матеріалу повільно деформуватися на холоді під впливом постійних механічних навантажень; порівняно невисоку теплостійкість; знижену міцність при змінних навантаженнях; швидке порівняно з іншими матеріалами старіння.

У більшості випадків пластмаси складаються із в'язучої речовини і наповнювача.

До їх складу вводять пластифікатори, стабілізатори і барвники.

Пластмаси можна класифікувати за різними властивостями: застосуванням, хімічними зв'язками, способом переробки, використаними в'язучими смолами.

Щодо застосування пластмаси поділяють на: конструкційні (для виготовлення корпусів приладів, ручок керування та інших деталей); електроізоляційні (для каркасів котушок, панелей, плат та ін.); спеціальні (магнітоелектрики, електропровідні та ін.).

За хімічним складом пластмаси ділять на термопластичні й термореактивні.

За способом переробки пластмаси поділяються на прес- порошки і прес-матеріали, листові й фасонні шаруваті матеріали і плівкові матеріали.

Залежно від використаних в'язучих смол виготовляють пластмаси на основі кремнійорганічних, епоксидних, фенолформальдегідних та ефірних смол.

Кремнійорганічні пластмаси мають високі стабільні електроізоляційні властивості, високу нагрівостійкість до 300°C, виражені механічні властивості, підвищену міцність на удар, підвищену лугостійкість. Використовуються для виготовлення деталей радіотехнічного призначення (ізоляційні шайби, дугогасильні камери для контакторів), які працюють в умовах дугових й іскрових електричних розрядів.

Пластмаси на основі епоксидних смол мають виражені елект-роізоляційні властивості, підвищену механічну міцність (зберігають механічні властивості до температури 120...140°C), високу вологостійкість, стійкість проти спрацювання і хімічну стійкість.

Використовують для виготовлення деталей радіотехнічного призначення (лугостійких деталей, при опресуванні слюдяних і керамічних конденсаторів), які працюють в умовах тропічної вологості і підвищених температур.

Шаруваті пластики — це один із різновидів пластмас, які одержують гарячим пресуванням листових волокнистих матеріалів, попередньо просочених синтетичними смолами. В'язучими речовинами в цьому випадку слугують синтетичні фенолформальдегідні, кремнійорганічні та епоксидні смоли, а наповнювачами — полотна тканин, папір або шпон з дерева.

Із шаруватих пластиків найбільш поширені гетинакс, текстоліт, склотекстоліт, азботекстоліт.

Г е т и н а к с — шаруватий листовий матеріал, зберігає основні параметри в інтервалі температур від -60 до +105°C; має анізотропність, низьку лугостійкість. Після іскрового розряду на поверхні гетинаксу залишається науглецьований шар з великою провідністю.

Випускають гетинакс у вигляді листів і плит товщиною 0,4...50 мм або у вигляді трубок і циліндрів, з яких виготовляють каркаси котушок та ізоляційні трубки діаметром 10...80 мм з товщиною стінок 1Д..5 мм. Гетинакс використовують також як основу для печатних плат.

Текстоліт — шаруватий матеріал, виготовлений методом гарячого пресування бавовняної тканини, просоченої фенолформальдегідною смолою.

Текстоліт конструкційний випускається у вигляді листів товщиною 0,5...8 мм і плит товщиною 8...70 мм. Текстоліт використовують в інтервалі температур від -60 до +150°C.

Листовий текстоліт використовують як конструкційноізоляційний матеріал для виготовлення виробів, які піддаються ударним навантаженням, стиранню (деталі перемикачів), не вимагають високих електроізоляційних властивостей (панелі, каркаси, щити, кріпильні планки), а також як основу для печатних плат.

Склотекстоліт — це шаруватий матеріал, одержаний гарячим пресуванням склотканини, просоченої термореактивними смолами. Випускається у вигляді листів товщиною 0,5...8 мм і плит товщиною 9...35 мм.

Азботекстоліт — це шаруватий пластик, використовується для виготовлення деталей з підвищеною теплостійкістю.

Фольговані шаруваті матеріали — це шаруваті пластики або синтетичні плівки, облицьовані з одного або двох боків металевою фольгою.

Як шаруваті пластики найчастіше використовують гетинакс, склотекстоліт, армований фторопласт.

Фольговані шаруваті діелектрики повинні мати високу електричну міцність, великий діапазон робочих температур, достатню механічну міцність, добру зчіплюваність з струмопровідним покриттям, підвищену вологість, легко піддаватись техно-логічній обробці. Фольговані матеріали використовують як основу для печатних плат.

Лаки — це колоїдні розчини плівкоподібних речовин у відповідних летючих розчинниках.

Основні складові лаку:

плівкоподібні речовини, здатні утворювати плівку (рослинні висихаючі масла, смоли, бітуми, ефіри целюлози, поліефірні і кремнійорганічні сполуки);

розчинники (бензол, толуол, спирт, сірковуглець, ацетон та ін.);

пластифікатори — речовини, що надають плівці пластичності (рицинове масло);

сикативи — тверді або рідкі речовини, які вводять у деякі лаки для прискорення висихання; барвники;

розріджувачі, які добавляються для одержання консистенції відповідно до вимог технічних умов (лаковий керосин, бензин, скипидар).

За призначенням електроізоляційні лаки поділяють на просочувальні, покривні й клейкі.

Один і той же лак може використовуватись як просочувальний, покривний і клейкий. Просочувальні лаки використовують для просочення пористої і волокнистої ізоляції. Виготовляють просочувальні лаки холодного і гарячого твердіння.

Просочувальні лаки повинні мати необхідні ізоляційні, виражені просочувальні і цементувальні властивості, швидко твердіти і нормально функціонувати в діапазоні робочих температур.

До просочувальних лаків відносять кремнійорганічні, бітумно- масляні, масляно- алкидні та ін.

Кремнійорганічні лаки використовують для просочення скляної обмотки проводів кабелів і виготовлення склотекстоліту.

Бітумно-масляний лак використовують для виготовлення лакотканин

Покривні лаки використовуються для захисту виробів від впливу атмосферної вологи і парів агресивних речовин. До покривних лаків висувають такі вимоги:

високі електроізоляційні властивості;

висока теплостійкість;

висока радіаційна стійкість;

високі стійкість проти вологи і густина, що захищають поверхню від проникнення води та інших речовин;

виражене прилипання до покривних поверхонь;;

процес нанесення захисного покриття не повинен впливати на електричні характеристики приладу та погіршувати його надійність;

повинні покращувати зовнішній вигляд і перешкоджати забрудненню поверхонь.

До покривних відносять такі лаки: кремнійорганічні на полівінілацетатній та на поліуретановій основі, масляні, поліамідний і поліімідний, а також целюлозні.

Кремнійорганічні лаки використовують для виготовлення нагрівостійких обмоткових проводів зі скловолокнистою ізоляцією; печатних плат, ізоляційних деталей з гетинаксу, склотекстоліту; для теплостійких прозорих покриттів напівпровідникової техніки.

Лаки на полівінілацетатній та на поліуретановій основі використовують для виготовлення мідних емальованих проводів.

Масляні лаки використовують для виготовлення обмоток провідів.

Поліамідний лак використовують для підвищення нагрівостійкості ізоляції обмоткових проводів, які працюють при температурі 200...220°C.

Емалі — це різновид покривних лаків, до складу яких вводять неорганічний наповнювач — пігмент. Останні підвищують твердість, теплостійкість, вологостійкість покриттів і надають їм відповідного кольору. Як наповнювачі використовують залізний сурик, оксиди цинку, титану та ін.

Емалі на епоксидних лаках мають добру адгезію і нагрівостійкість до температури 150°C. Емалі на основі кремнійорганічних лаків мають високу нагрівостійкість до температури 180...200°C.

Емалі використовують, в основному, для захисних покриттів різних деталей і елементів радіоелектроніки і для декоративного опорядження корпусів електрорадіотехнічних приладів.

Компаунди — це механічні суміші із електроізоляційних матеріалів, що не містять розчинників.

Порівняно з лаками компаунди забезпечують кращу вологостійкість і вологонепроникність ізоляції, оскільки при охолодженні після просочення повністю твердіють без слідів випарного розчинника; підвищення потужності апарата за рахунок кращих умов відведення тепла,

У первинному стані компаунди можуть бути рідкими або твердими.

Залежно від виду смоли компаунди можуть бути термопластичними або термореактивними.

Термопластичні компаунди розм'якшуються при нагріванні і твердіють при охолодженні.

Термореактивні компаунди у первинному стані є рідинами. Для підвищення нагрівостійкості, механічної міцності й зменшення схильності до розтріскування в термореактивні компаунди вводять наповнювачі (кварц, фарфорове борошно).

За призначенням компаунди поділяються на просочувальні і задивочні.

Просочувальні компаунди, як і аналогічні лаки, використовують для просочення пористих і волокнистих матеріалів.

Заливальні компаунди використовують для заповнення порівняно великих порожнин і проміжків у різних деталях, а також для нанесення порівняно товстих покриттів на деталі, вузли і блоки. Для заливання вироби поміщають у спеціальні форми і заливають компаундом так, щоб він повністю оточував виріб. Після закінчення процесу твердіння заливного матеріалу форма видаляється. При цьому утворюється гладка однорідна поверхня, яка повторює поверхню форми.

Епоксидні компаунди — це модифікації епоксидних смол з затвердниками, пластифікаторами і наповнювачами.

Епоксидні компаунди добре прилипають до металів, кераміки, пластмас і волокнистої ізоляції; мають підвищену механічну міцність; малу об'ємну усадку (0,5...2,5%).

Застосовують як заливну суміш для виготовлення трансформаторів, які працюють у складних умовах, блоків опорів замість громіздких фарфорових і металевих деталей, у виробництві напівпровідникових приладів та інтегральних схем для герметизації кристалів.

Кремнійорганічні компаунди — це в'язкі рідини, які після полімеризації перетворюються в пружні тверді речовини.

Кремнійорганічні компаунди мають високі діелектричні та механічні властивості, малу в'язкість, високу просочувальну здатність, нагрівостійкість до температури 350°C, холодостійкість до -60°C.

Використовують для герметизації напівпровідникових приладів й інтегральних схем за методом трансферного пресування і заливанням в форми.

По лі е ф і р н і компаунди виготовляють на основі ненасичених полієфірів у поєднанні зі стиролом, метилметакрилатом та іншими мономерами. Органічні пероксиди використовують як каталізатори для твердіння. Полієфірні компаунди схильні до усадки (до 6%).

Застосовують для герметизації оптичних електронних приладів і інтегральних схем. Флюси — це допоміжні матеріали для отримання якісного і надійного паяння.

Вони повинні:

добре змочувати поверхні металу і покращувати розтікання припою;
розчиняти і видаляти оксиди і забруднення з поверхні з'єднувальних деталей;
захищати у процесі паяння поверхню металу і розплавлений припій від окиснення, утворивши рідку або газоподібну зону;
знижувати поверхневий натяг розплавленого припою для покращення змочування основного металу;
не викликати корозії;
не змінювати свого складу при температурі паяння;
легко видалятися з поверхні після паяння

За впливом на з'єднувальні поверхні та флюси поділяються на активні (кислотні), безкислотні, активовані та антикорозійні.

Активовані (кислотні) флюси інтенсивно розчиняють кислотні плівки на поверхнях з'єднувальних деталей, забезпечуючи добру адгезію і механічну міцність паяння.

При монтажному паянні радіоелектронної апаратури використовувати активні флюси не рекомендується.

Безкислотні флюси — це каніфоль і флюси, виготовлені на її основі з додаванням неактивних компонентів (спирту, гліцерину). Залишки безкислотних флюсів не викликають окиснення місця паяння і не змінюють електричний опір ізоляції (наприклад, флюси КС, ФПП).

Антикорозійні флюси виготовляють на основі органічних кислот, фосфорної кислоти з додаванням різних органічних сполук і розчинників. Залишки цих флюсів не викликають корозію (наприклад, флюс ВТС).

5. Тверді неорганічні діелектрики (скло, ситали, кераміка, неорганічні електроізоляційні плівки, слюда і матеріали на її основі).

До твердих неорганічних діелектриків відносять стекла; скло-кристалічні матеріали, які одержують з використанням спеціальної термообробки скла; оксидні електроізоляційні плівки; кераміку; слюду і матеріали на їх основі.

Стекла — тверді неорганічні аморфні речовини, що являють собою складні системи різних оксидів, атоми яких не можуть вільно переміщуватись один відносно іншого. Іноді такий стан речовини називають склоподібним.

За положенням у структурі скла і за впливом на процес склоутворення оксиди поділяють на оксиди-склоутворювачі, оксиди-модифікатори і проміжні оксиди.

Скло має порівняно високу хімічну стійкість, але вода, луги і кислоти поступово руйнують його поверхню. З підвищенням температури води, лугів і кислот процес руйнування скла підсилюється. Скло стійке проти впливу органічних розчинників. СКЛО добре розчиняється в плавиковій кислоті, тому при травленні напівпровідникових матеріалів у суміші плавикової і азотної кислот не можна використовувати скляний посуд. За хімічною стійкістю стекла розподіляють на п'ять гідролітичних класів.

За хімічним складом технічні силікатні стекла ділять на три групи:

лужні стекла без важких оксидів або з незначним їх вмістом. До них відносяться найпоширеніші у побуті стекла віконні, пляшкові;
лужні стекла з великим вмістом важких оксидів (BaO, PbO), які використовують як ізолятори;
безлужні стекла (кварцеве скло), а також стекла з дуже малим вмістом лужних оксидів.

Залежно від застосування в електроніці розрізняють електровакуумні стекла, ізоляторні стекла, склоемалі, скловолокно і скловоди.

Електровакуумні стекла застосовують для виготовлення балонів газорозрядних і електронних ламп, оболонок рентгенівських ламп, кінескопів та ін.

Ізоляторні стекла використовують для герметизації виводів деяких типів конденсаторів, терморезисторів, для одержання металоскляних спаїв корпусів мікросхем. Боросилікатні і алюмосилікатні стекла застосовують для виготовлення ізоляційних підкладок, на які монтують активні й пасивні елементи мікросхем.

Склоемалі — це легкоплавкі стекла, які наносять на поверхню виробів з метою захисту від корозії, електричної ізоляції, а також для надання естетичного зовнішнього вигляду. Як електроізоляційний матеріал склоемалі застосовують для трубчастих резисторів.

Із скляних ниток виготовляють світловоди, ізоляцію монтажних, обмоткових і мікропроводів, скляні тканини, які використовують у виробництві нагрівоємких склакотканин і склотекстолітів. Прес-порошок із коротких скловолокон застосовують як наповнювач для пластмас.

Світловоди — це світлопровідні волокна, які складаються із світлопровідної жили з високим показником заломлення світла. У видимій і найближчій інфрачервоній області спектру найбільше поширення набули світлопровідні волокна, виготовлені із оптичного скла. Світловоди широко використовують для передачі інформації в обчислювальній техніці, телебаченні, фототелеграфії та ін.

Ситали — продукт часткової кристалізації скломаси, у яку крім звичайних оксидів вводять тонкодисперсні домішки, які слугують центрами кристалізації. У різні марки ситалів вводять оксиди кремнію — від 30 до 90%, титану — від 10 до 20%, бору — від 15 до 30%, алюмінію — від 12 до 28%, магнію — від 5 до 20%, калію — від 2 до 4%, літію — від 5 до 10%.

Від стекол ситали незначно відрізняються іншим хімічним складом і будовою; вони займають проміжне місце між звичайними стеклами і керамікою. Ситали складаються із рівномірно розподілених по всьому об'єму дрібних кристаликів, які зрослися або з'єднані один з одним тонкими прошарками залишкового скла. На відміну від стекол ситали непрозорі, але деякі з них частково пропускають світло.

Технологія виготовлення ситалів складається із одержання виробів із скломаси спеціально підібраної суміші традиційними способами та їх подальшій двоступеневій термообробці. При температурі 500...700°C утворюються центри кристалізації, а при температурі 900...1100°C — кристалічна фаза.

У процесі термообробки виникає усадка матеріалу, яка досягає 2%. Одержані таким способом ситали називають термоситалами.

Розроблені сегнето- і п'єзоситали, які використовують як активні діелектрики.

Залежно від хімічного складу вихідного скла і режиму термообробки одержують ситали, які мають такі властивості: високу механічну міцність, твердість, термічну і хімічну стійкість, інтервал робочих температур від -50 до +700°C, більш високі електроізоляційні властивості порівняно зі стеклами того ж хімічного складу, невисоку вартість виробу завдяки доступності сировини і простоти технології виготовлення, малі діелектричні втрати.

Ці властивості ситалів дозволяють застосувати їх для різних приладів електронної техніки, які працюють у широкому діапазоні частот і температур.

Кераміка — твердий щільний матеріал, який одержують спіканням неорганічних солей з мінералами і оксидами металів.

Як вихідний матеріал використовують непластичні кристалоподібні компоненти і пластичні компоненти.

До кристалоподібних компонентів відносять неорганічні соді (хлористий амоній, хлористе залізо, хлористий магній та ін), мінерали (кварц, глинозем і тальк), а також карбонати.

До пластичних компонентів відносять різні глинисті матеріали.

Керамічні матеріали — це багатофазова система, яка складається з кристалічної, аморфної, або склоподібної і газової фаз.

Керамічні матеріали мають високі нагріво- і вологостійкість, механічну міцність, діелектричні властивості, стабільність і надійність параметрів при експлуатації, можливість одержання наперед заданих електрофізичних параметрів матеріалу.

Керамічні матеріали різноманітні за властивостями і галузями використання. Залежно від призначення виготовляють радіотехнічні керамічні матеріали таких типів: конденсаторна кераміка (високо- і низькочастотна), установочна кераміка (високо- і низькочастотна).

Кожний тип кераміки поділяють на 10 класів.

Конденсаторна кераміка повинна мати високу діелектричну проникність, малий тангенс кута діелектричних втрат, електричну і механічну міцність, високу термостабільність і малий температурний коефіцієнт діелектричної проникності (контурні стабільні конденсатори), від'ємне значення температурного коефіцієнту діелектричної проникності (термокомпенсувальні конденсатори).

Високочастотна конденсаторна кераміка відрізняється високим вмістом кристалічної фази і невеликим вмістом безлужної аморфної фази.

Низькочастотна конденсаторна кераміка характеризується високим значенням діелектричної проникності і відносно великим значенням тангенсу кута діелектричних втрат. Діелектрична проникність низькочастотної кераміки залежить від температури і напруженості електричного поля. Низькочастотну конденсаторну кераміку поділяють на IV і V класи.

Кераміку IV класу використовують дану кераміку для виготовлення низькочастотних конденсаторів (<10 кГц) і однополярних відеоімпульсних конденсаторів.

Кераміку V класу використовують для виготовлення роздільних блокувальних конденсаторів.

Установочна кераміка використовується для виготовлення виробів, які піддаються механічному навантаженню (опорні й підвісні ізолятори), або деталей для композитних конструкцій.

Високочастотна установочна кераміка використовується для виготовлення різних установочних деталей радіоелектронної апаратури, які піддаються механічному навантаженню, працюючи у полі високої частоти.

Ультрафарфор — це високоякісний керамічний матеріал, який є удосконаленим радіофарфором з великим вмістом корунду.

Ультрафарфор має підвищену порівняно зі звичайним фарфором механічну міцність і теплопровідність, менший тангенс кута діелектричних втрат $\tan\delta$ до частот 1010 Гц. Він використовується для виготовлення відповідальних установочних деталей складної конфігурації, високовольтних конденсаторів, вакуумних спаїв з металами, плат і радіотехнічних підкладок.

Алюмооксид (високоглиноземиста кераміка) — непластичний, дуже твердий керамічний матеріал високої нагрівостійкості (робоча температура до 1600°C). Вихідна сировина алюмооксиду містить 95...98% глинозему і 5...2% мінералізаторів (мармур, глина).

Широке застосування виробів із алюмооксиду стримується їх значною вартістю і складністю технології виготовлення. Він використовується для ізоляції в електронних лампах, виготовлення вакуум-щільних перехідних ізоляторів корпусів напівпровідникових приладів і радіотехнічних антенних ізоляторів, що зазнають великих механічних навантажень.

Полікор відноситься до високоглиноземистої кераміки, його густина близька до теоретичної густини корунду Al_2O_3 . На відміну від звичайної (непрозорої) корундової кераміки полікор прозорий. Використовується для підкладок у гібридноплівкових інтегральних мікросхемах.

Низькочастотна установочна кераміка порівняно з високочастотною має гірші електричні характеристики і, як пра-виш, більш низьку механічну міцність, але відрізняється високою пластичністю вихідної сировини і більш простою технологією виготовлення виробів.

Низькочастотна установочна кераміка поєднує в собі IX і X класи.

Радіофарфор — це фарфор, у склоподібну фазу якого вводять важкий оксид барію BaO .

Радіофарфор застосовують для виготовлення каркасів котушок індуктивності, лампових панелей, ізоляції статорних пластин повітряних конденсаторів, антенних ізоляторів. Неорганічні електроізоляційні плівки являють собою хімічні покриття, які одержують в процесі створення на поверхні деталей тонких оксидних плівок або плівок важкорозчинних солей за допомогою спеціальних розчинів.

Хімічні покриття використовують для захисту від корозії, підвищення стійкості проти спрацювання і декоративного опорядження різних виробів.

Для ізоляції алюмінієвих проводів і стрічок, плівкових електролітичних конденсаторів, елементів інтегральних схем використовують плівки оксидів алюмінію Al_2O_3 , танталу Ta_2O_5 , титану TiO_2 , ніобію Nb_2O_5 , кремнію SiO_2 , германію GeO та ін. Такі плівки наносять на метали, напівпровідники та інші матеріали.

Найбільше поширення в радіоелектроніці одержали оксидування, фосфатування і азотування.

Оксидування — це процес одержання на поверхні деталей тонких оксидних плівок.

Оксидуванню піддають деталі із чавуну, сталі, кольорових металів і сплавів.

Оксидні покриття одержують хімічним і електрохімічним способами.

Електрохімічне оксидування (анодування) виконують в електролітичних ваннах у розчині сірчаної кислоти. Деталь при цьому є анодом, катодом — свинцеві пластини.

Оксидну плівку на поверхні алюмінієвих проводів і стрічок одержують анодуванням. При використанні в процесі анодування хромовокислих розчинів утворюються оксидні плівки світло-сірого кольору, а сірчано-кислих — безбарвні. Для зменшення пористості одержаної плівки застосовують додаткову обробку анодованих деталей гарячою водою, водяною парою, просочуванням ланоліном, парафіном, лаками тощо.

Процес ізолювання простий, дешевий та дозволяє одержати оксидну ізоляцію, яка має малу товщину (від 3 до 12 мкм), високу нагрівостійкість (робоча температура досягає $600^\circ C$); високі теплостійкість і хімічну стійкість.

Недоліками такої оксидної ізоляції є погана гнучкість і виражена гігроскопічність.

Якість плівок при хімічному і електрохімічному оксидуванні сталі рівноцінна. Розміри сталевих деталей при оксидуванні практично не змінюються. Колір оксидної плівки на маловуглецевих сталях чорний, на високовуглецевих — чорний з сірим відтінком. Товщина плівок становить 0,6...0,8 мкм, але може досягати 1,5...3 мкм.

Оксидні плівки на поверхні сталі еластичні, пористі, мають низьку міцність, тому їх не використовують для деталей, які працюють в умовах тертя.

Захисні властивості пористих оксидних плівок на сталевих виробках підвищують обробкою мастильними маслами або вкривають лаками.

При оксидуванні деталей з міді та її сплавів для захисту від вологи більш якісними є оксидні плівки, одержані електрохімічним оксидуванням. Товщина плівки становить 3...12 мкм. Вона має більш високу твердість, ніж основний метал, стійкість проти спрацювання і вологостійкість.

Оксидну ізоляцію застосовують також в оксидних електролітичних, оксидно-напівпровідникових і метало-оксидних конденса-торах. У якості діелектрика в цих конденсаторах використовують оксиди алюмінію, титану, ніобію.

Завдяки малій товщині діелектрика (до 1 мкм), малим розмірам і масі оксидні конденсатори мають високу ємність і значну (приблизно 10...40) діелектричну проникність ϵ .

Тонкоплівковий конденсатор конструктивно являє собою бага-тошарову структуру, яка складається у найпростішому випадку з двох металевих обкладок, розділених шаром діелектрика. Параметри плівкових конденсаторів визначаються, в основному, властивостями діелектричного шару, який може бути у вигляді анодноокиснюва- них плівок або може наноситись на підкладку методом вакуумної технології.

Фосфатування — це процес нанесення на поверхню деталей покриттів у вигляді важкорозчинних солей. Одержані плівки слугують захисним покриттям від дії корозії, електроізоляційним шаром і підшаром для подальшого лакофарбного покриття.

Фосфатування застосовують для захисту від корозії чорних металів, магнію, цинку (трансформаторні, роторні й статорні пластини); для зменшення тертя при одержанні виробів витяжкою (плівку утворюють після вирубки, зняття задирок і випалу пластин), а також для ізоляції поверхні при лудженні, цинкуванні. Хімічне фосфатування проводиться при зануренні деталей у ванну, що містить фосфорно-кислі солі заліза і марганцю.

Фосфатні плівки мають виражену адгезивну здатність, жаростійкість (приблизно 500°C), високий електричний опір (витримують напругу до 1200 В); добре утримують масла, лаки і фарби.

Азотування — це процес насичення поверхневого шару сталевих виробів азотом при температурі 500...600°C.

Азотування проводять для надання виробам великої твердості, стійкості проти спрацювання, підвищення границі втоми і корозійної стійкості.

Слюда — це природний кристалічний електроізоляційний ма-теріал, який легко розчеплюється на тонкі пластини по паралельних одна до одної площинах, які називають площинами спайності.

Слюда має високі електроізоляційні властивості, нагрівостійкість, механічну міцність, гнучкість, прозорість (у тонких шарах слюди багатьох видів), різко виражену анізотропію (властивість слюди уперек і вздовж площини спайки суттєво відрізняються).

За хімічним складом слюда є водним алюмосилкатом лужно-земельних металів. До складу кристалічних ґраток входить крис-талізаційна вода. Виділяючись при нагріванні, кристалізаційна вода викликає здування слюди і збільшення її товщини через роз-шарування за площинами спайності. При цьому слюда втрачає про-зорість, різко знижуються її електричні та механічні властивості.

Відомо понад 30 різновидів слюди, але для електричної ізоляції використовують тільки мусковіт і флогопіт.

Мусковіт — це алюмосилкат калію, прозорий, домішки забарвлюють його у світлі тони (зелений, рожевий).

Мусковіт має добрі електроізоляційні властивості (кращі ніж у флогопіту), високу механічну міцність, твердість, гнучкість, пружність, стабільність властивостей з часом, температуру початку зне-воднювання і різкого погіршення властивостей 500...600°C.

Із кращих сортів мусковіту виготовляють конденсаторну і телевізійну слюду.

Конденсаторну слюду у вигляді пластинок прямокутної форми довжиною 7...60 мм, шириною 4...50 мм і товщиною 20...55 мкм використовують для виготовлення слюдяних конденсаторів постійної ємності.

Телевізійну слюду використовують у вигляді діелектричної основи для фотокатодів і мішеней в передавальних телевізійних грубках.

Флогопіт — це магнезійний силікат калію, який має темний колір і більш високу нагрівостійкість (робоча температура до 1000°C), але за ізоляційними властивостями поступається пускові ту.

Слюду використовують у вигляді штампованих фасонних виробів для кріплення і електричної ізоляції внутрішньої арматури в електронних лампах як тепловий захист цоколів потужних електричних ламп розжарювання, як наповнювачі в нагрівостійких органічних пластмасах.

Крім мінеральної (природної) застосовується синтетична слюда фторфлогопіт, у якому атоми води заміщені фтором. Цю слюду одержують в результаті вирощування кристалів із розплавленої шихти, яка містить кварцовий пісок, оксиди алюмінію і магнію, фтористі сполуки калію і магнію. Фторфлогопіт має вищі електричні параметри, ніж природна слюда, більш нагрівостійкий, хімічно стійкіший звичайного флогопіту, не здувається при нагріванні і витримує зміну температури від -70 до +1000°C.

Через порівняно високу вартість синтетична слюда має обмежене застосування. Її використовують для виготовлення вікон хвильоводів, лічильників частинок високої енергії, конденсаторів з високою робочою температурою.

Слюдяні електроізоляційні матеріали виготовляють на основі пластинок щипаної природної або синтетичної слюди. До них відносяться міканіти, слюдиніти, слюдокераміка, пресмика, мікалекс.

Міканіти — це шаруваті матеріали, у яких окремі пластинки слюди склеюють між собою лаком або органічною в'язучою речовиною. Інколи ці матеріали пресуються.

Колекторний міканіт — це пресована слюда флогопіт з додаванням невеликої кількості в'язучої речовини, для чого використовують лак на основі синтетичної смоли. Використовується в електричних машинах для ізоляції колекторних пластин.

Прокладний міканіт містить велику кількість в'язучої речовини порівняно з колекторним (15...25%), має меншу густину і більш широкі допуски щодо товщини. Використовується як матеріал для твердих прокладок у електричних машинах.

Формовочний міканіт виготовляється у вигляді листів товщиною 0,1...0,5 мкм. Він повинен добре формуватись при температурних і механічних навантаженнях в процесі виготовлення і зберігати набрану форму після відповідної термообробки. Застосовуються для виготовлення різних фланців, каркасів котушок, ізолювальних колекторних пласти

Гнучкий міканіт повинен формуватись і згинатись на відміну від формувального при нормальній температурі. Випускається в рулонах і листах товщиною 0,15...0,60 мм. Застосовується для ізоляції нагрівних приладів.

Мікафолій відрізняється від гнучкого міканіту тим, що він набуває гнучкості тільки у нагрітому стані. Його одержують наклеюванням одного і більше шарів слюди на папір або склотканину. Застосовують для виготовлення різних ізоляційних шпильок і стержнів.

Слюдиніти порівняно з міканітами більш монолітні й однорідні за товщиною, мають більш високу робочу температуру і електричну міцність. Для виготовлення слюдинітів використовують слюдинітовий папір. Його одержують із відходів слюди мусковіту, які нагрівають до температури 800°C і обробляють содою, сірчаною і соляною кислотами. В результаті пластинки розшаровуються на більш тонкі і утворюється пульпа, яка фільтрується і перетворюється в слюдинітовий папір на спеціальних машинах для виготовлення паперу. Галузі застосування ті ж самі, що в міканітів.

Слюдокераміку застосовують як термостійку ізоляцію установочних і вакуум-щільних деталей, елементів корпусів напівпровідникових приладів та інтегральних схем, ізоляторів радіоламп.

Пресмика — щільний матеріал, який одержують гарячим пресуванням подрібненої синтетичної смоли без в'язучого компоненту. Застосовується для виготовлення прохідних і антенних ізоляторів, конденсаторів, які працюють при температурах до 400вС.

Мікалекс — високоякісний ізоляційний матеріал, негігроскопічний, вогнестійкий, може бути підданий складній технологічній обробці і запресуванню металевих стержнів. Застосовують для виготовлення плат перемикачів, панелей малогабаритних повітряних конденсаторів, гребінок котушок індуктивності.