***Класификация на материалите***

**1.** Класификация според електрическите свойства:

* проводници – материали, които провеждат ел. ток;
* полупроводници – материали, които могат да провеждат или да не провеждат ток.
* диелектрици – материали, които не провеждат ел. ток;

\* Признаци:

1) според широчината на забранената зона

* проводник – СЗ (свободна зона) – в нея има разрешени, но не заети енергийни нива; ВЗ (валентна зона) – енергийна зона, в която се намират всички валентни електрони; ∆W=0
* полупроводник – ЗЗ (Забранена зона)=∆W – енергиен интервал между ВЗ и СЗ, в който няма разрешени енергийни нива. ∆W<3eV
* диелектрици - ∆W>3eV

2) стойност на специфичното съпротивление ρ[Ω]: проводници αs до 10-4ρ; полупроводници αs от 10-4 до 108, диелектрици - αs над 108.

**2.** Класификация според магнитните свойства: μr – относителна проницаемост на материала; μr<1 – диелектрици (немагнитни материали); μr >1 – парамагнетици (немагнитни); μr >>1 – феромагнетици (магнитни).

***Поляризация на диелектриците – видове, температурна зависимост.***

**I Основни определения**

* голямо специфично съпротивление – не пропускат ел. ток и се използват като изолации;
* притежават способността да натрупват заряди;
* имат приложение в кондензаторите;

**1**. Относителна диелектрична проницаемост **εr**, C0=ε0.S/d, където C0-капацитет, d-разстоянието между електродите; S-площта на електродите; ε0-диелектрична константа (абсолютна диел. проницаемост); С=εrC0 -> **C=ε0.S/d; εr=**С/C0=QU/Q0U=Q/Q0, където Q е натрупания заряд при наличие на диелектрик, а Q0 – заряд когато няма диелектрик.εr>1

Процеса на изместване на свързаните в диелектрика заряди, под въздействие на външно ел. поле, се нарича **поляризация**.

**2**. Поляризация P: в следствие от поляризацията всяка градивна частица на диелектрика притежава електрически момент. P=εpi/V, където V е обема на материала, pi – диелектричен момент на частица на материала. Интензитета на ел. поле E е индукцията: D0=ε0E – индукцията на полето във вакуум.; D=εrε0E, P=D-D0=ε0(εr-1)E=ε0ærE, където ær-диелектрична възприемчивост.

**3**. Определения за поляризация:

* като състояние – състояние на диелектрика, което се характеризира с това, че електрическия момент на част от него е различно от 0;
* процес на изместване на еластично свързаните заряди в диелектрика.

**II Видове поляризации:**

**1.** Бързи поляризации (без загуби на енергия)

* електронна поляризация: среща се във всички диелектрици и представлява поляризация на самия атом. Изместване и деформиране на електронния облак на атома. Pe=NαeE; αe=4πε0R3, N – брой атоми, E – интензитет на полето; R – радиус на атома, αe – поляризуемост на атома. ЕП е бърза поляризация без загуби на енергия (електроните се изместват на малки разстояния). Характерна е за всички материали. P=NαeE=(εr-1)E; εr=1+Nα/ε0
* йонна поляризация: наблюдава се при йонни кристали. Изместванията са на малки разстояния – поляризацията е бърза и без загуби на енергия. Pй=NαйE, N-брой йони; αй-поляризуемост на йоните. αй=q2/Kел, q - заряд на йоните, k-коефициент на еластичност.

**2**. Бавни поляризации (придружени със загуба на енергия)

* диполна поляризация – характерна за материали, в които не е приложено външно ел. поле, но частиците им са заредени. Материалите изградени от диполни молекули (полярни). Представлява ориентиране на диполните молекули по посока на полето. Поляризацията протича бавно, деполяризацията също. αд=pд2/3кТ, p – електрически момент на дипол, k – константа на Болцман, T-температура по Келвин. Деполяризация: N(t)=N0exp(-t/τ), N –брой на ориентирани диполи, след време t, след премахване на ел.поле, N0-брой на ориентираните диполи под въздействие на полето, τ-време за релаксация, τ=1/ω0, ω0- температурните колебания на диполите по време на релаксация.
* структурна поляризация: при неефнородни диелектрици, в които има проводящи и непроводящи слоеве. При внасяна на ел. поле, ел. заряди се преместват и се натрупват по границите на тези слоеве. Така се образуват заряди с големи размери, които много бавно се поляризират.
* Спонтанна поляризация – нелинейна поляризация.

**III Зависимост на εr от температурата:**

εrе – при стопяване или кипване на материала, неговия обем се увеличава, в следствие на което N намалява;

εrй – с повишаване на температурата, силата на връзките между йоните намалява и εr се увеличава;

εrд – наблюдаваме два процеса: 1) с увеличаване на температурата, отслабва силата на връзките на молекулите; 2) с увеличаване на температурата, се увеличава температурното движение на диполите, което пречи на поляризацията.

При газообразни диелектрици има минимална диелектрична проницаемост.

***Поляризация на диелектриците при променливо електрическо поле.***

**1.** Зависимост на εr от честотата на полето:

* комплексна диелектрична проницаемост - εr**˙**

εr**˙=**1+Nα**˙**, α**˙=**α0/1+jωτ, α**˙-** комплексна поляризуемост на частиците**;**  α0 – поляризуемост при постоянно поле; ω – кръгова честота на полето;

εr**˙=**1+(Nα0)/ε0(1+ω2τ2) – j(Nα0ωτ)/ε0(1+ω2τ2).

имагинерната част определя честотната част на загубите. εr**=**1+(Nα0)/ε0(1+ω2τ2)

1) когато ω→0 -> εr→1+(Nα0)/ε0; 2) ω→∞ -> εr→1+(Nα0)/∞=1; 3) ω=ω0=1/т; εr**=**1+(Nα0)/2ε0

**2.** Класификация на диелектриците:

1) според механизма на поляризация

* диелектрици с линейни поляризации, без загуби (електронна и йонна пол.);
* диелектрици с линейни поляризации, със загуби (диполна пол.);
* диелектрици с нелинейни поляризации (спонтанна пол.)

2) според строежа на диелектрика:

* неполярни материали – състоят се от неполярни молекули (полиетилен, въглероден диоксид.) /електронна пол./
* полярни диелектрици – полярни молекули – поливинилхлорид, вода /електронна и диполна пол./
* йонни съединения – неорганични материали, с йонна кристална решетка. Проявява се електронна и йонна пол.
* диелектрици със сложен състав – проявяват се всички видове поляризация.

***Електропроводимост в диелектричните материали***

Електропроводимостта на диелектриците се получава за сметка на поляризацията им и наличието на малко количество свободни заряди.

***Електропроводимост при постоянно ел. поле***: по време на поляризацията протича електрически ток, който се нарича поляризационен ток или ток на изместване.

При прилагане на постоянно ел. поле поляризацията се осъществява еднократно и материалът остава поляризиран докато е под въздействие на полето.

Токът, получен от бързите поляризации Iб.пол (електронна и йонна) протича за много кратко време (10-13 до 10-15s) и трудно може да бъде регистриран. Токът от бавните поляризации, наричан още абсорбционен ток Iаб., се регистрира в областта на намаляването му. Плътността на поляризационния ток Jпол. Се определя от скоростта на изменение на плътността на зарядите (индукцията): Jпол=dD/dt≈ Jаб, където Д е индукцията на ел. полето, t-времето, Jаб – плътността на абсорбционния ток.

Във всеки реален диелектрик има макар и малко свободни токоносители, т.е винаги протича малък ток от електропроводимост, наречен утечен ток Iут. Колкото по-добри диелектрични свойства притежава даден материал, толкова утечния ток е по-малък.

I=Iпол+Iут= Iб.пол+Iаб+Iут.

Много често вместо утечния ток като характеристика на електропроводимостта се използва *изолационно съпротивление R*из*:* Rиз=U/(I-Iпол)=U/Iут, където U е приложеното постоянно напрежение, I – общият ток, Iпол- поляризационния ток през диелектрика.

***Електропроводимост при променливо ел. поле***: Ако приложеното ел. поле е променливо от вида E=Emsinωt, където Е е интензитетът на полето, Em - амплитудната стойност на интензитета на полето, ω – кръгова честота, t - времето; посоката на полето се изменя непрекъснато в такт с честотата. За поляризации без загуба на енергия, индукцията D следва интензитета на полето: D=Dmsinωt, където Dm е амплитудната стойност на индукцията, а плътността на поляризационния ток Jпол е Jпол=dD/dt=Dmωcosωt=Jmcosωt, където Jm- амплитудната стойност на плътността на тока. Поляризационния ток е Iпол=JполS=DmSωcosωt=Imcosωt, S – повърхнината на диелектрика; Im-амплитудна стойност на поляризационния ток. При прилагане на променливо електрическо поле през диелектрика протича променлив поляризационен ток и променлив утечен ток: I=Iпол+Iут=Imcosωt+Iут.msinωt.

При поляризация със загуби, променливият ток е: Iпол=Imcos(ωt-δ).

***Електропроводимост на газообразни, течни и твърди диелектрични материали****:* Ел. проводимостта на газовете при слаби електрически полета е много малка. Електропроводимостта на газовете се определя с помощта на волт-амперна характеристика. В първата област тя е линейна. Във втората област се наблюдава ток на насищане Iнас. В третата област започва ударна йонизация (пробивът) на газа.

Електропроводимостта на течните диелектрици зависи от наличието на дисоциирани примеси, включително влага при неполярните, и дисоциирани собствени молекули при полярните материали. Тя има йонен характер. Полярните течности винаги имат повишена електропроводимост.

Електропроводимостта на твърдите диелектрици се обуславя от движението на собствени или примесени йони, а при някой материали и от свободни електрони. В материали с йонен строеж електропроводимостта се получава от йони, напуснали кристалната решетка поради топлинни колебания. В материали с атомна или молекулна кристална решетка ел.пров. се получава изключително от примесите.

Температурната зависимост на ел.пров. на диелектриците се определя от йонния характер на проводимостта или от необходимата енергия за дисоциация Wд и преместване Wпр на йоните в структурата на материала. Специфична електропроводимост: *σ=nqμ, S/m,* където q е заряда на токоносителя, n – броя на свободните токоносители в единица обем, m-3, μ – подвижността на токоносителите m2/V.s. В слаби електрически полета броят на свободните токоносители и подвижността не зависят от интензитета на полето, а от температурата по известна експоненциална зависимост: n=n0exp(-Wд/kT), където n0 е броят на свободните токоносители при нормална температура на околната среда; Wд – енергията на дисоциация; k - константа на Болцман; T – температурата; μ= μ 0exp(-Wпр/kT), където Wпр - е енергия на преместване. *σ=n0qμ0exp(-(Wд+Wпр/kT))=Aexp(-b/T),* където А=n0qμ0 и b=*Wд+Wпр/k,* са коефициенти зависещи от материала.

***Загуби в диелектричните материали.***

Загубите на енергия в диелектричните материали се обуславят от процесите, които настъпват в тях под въздействието на електрическо поле, основен от които е поляризацията. В постоянно ел. поле поляризацията се осъществява еднократно и необходимата енергия за това се изразходва също еднократно. В променливо ел. поле материалът се поляризира непрекъснато в такт с изменението на посоката на интензитета на полето (честотата). Загубите на енергия от поляризацията в променливо ел. поле нарастват значително, когато периодът на изменение на интензитета на полето стане съизмерим с необходимото време за установяване на поляризацията.

Диелектрични загуби - електрическа мощност, изразходвана за нагряването на диелектрика, когато той се намира в електрическо поле. Използва се ъгъла δ, наречен ъгъл на загубите. Той представлява ъгъла, допълващ до 90о фазовия ъгъл φ между тока и напрежението в капацитивна верига.

***Паралелна еквивалентна схема:*** Активното съпротивление R е равно на диелектричните загуби. δ=90о-φ; tgδ=IR/Ic=U/R.1/UωC=1/ωCR, където С е капацитета, а ω – кръговата честота на приложеното напрежение.

Активните загуби Р в материала са: P=UIR=U2/R=U2ωCtgδ, W;

Специфичните загуби Pv (загубите в единица обем): Pv=P/V=(U2ωCtgδ)/Sd=E2ωε0εr, W/m3, където V=Sd е обемът на диелектричния образец. C=ε0εrS/d – капацитета на образеца.

Ако R=1/σ.S/d и C=ε0εrS/d -> tgδ=σ/ωε0εr, отношението на имагинерната към реалната част, т.е tgδ=ε”r/ε’r -> имагинерната част е: ε”r=ε’rtgδ или ε.r=εr-jεrtgδ.

***Поляризационни загуби:*** Релаксационните поляризации се придружават от загуба на енергия, и често се наричат релаксационни загуби. Наблюдават се само в променливо ел. поне и честотната им зависимост се описва от имагинерната част на комплексната диелектрична проницаемост. εrtgδ=(Nα0ωτ)/[ε0(1+ ω2τ2)]: 1) при ω→0, εrtgδ→0, но εr→ 1+Nα0/ε0 =>tgδ→0; 2) при ω→∞, εrtgδ→0, но εr→1=>tgδ→0; 3) при ω→ ω0(ω0=1/τ), εrtgδ→0, εr→Nα0/ε0, но εr=1+Nα0/ε0 =>tgδ=Nα0/2ε0+Nα0; При постоянно поле няма загуби от поляризация. При много високи честоти поляризацията не може да се осъществи и няма да има загуби от нея. Максималните загуби се получават, когато честотата на полето съвпада с честотата, определена от времето за релаксация. В полярните диелектрици се наблюдават по-бавни поляризации в сравнение с тези в неполярните, поради което максималните загуби се получават при по-ниски честоти. Температурната зависимост на tgδ се определя от температурната зависимост на времето за релаксация τ. Времето за релаксация намалява при повишаване на температурата.

***Загуби от електропроводимост:*** Тези загуби при добрите диелектрици са малки. Характеризират се с това, че не зависят от честотата. Изолационното съпротивление е омнично (не зависи от честотата на полето). Активните загуби от електропроводимост: P=U2/Rиз, където U e напрежението, Rиз- изолационното съпротивление. Загубите от електропроводимост са основен вид диелектрични загуби в постоянно електрическо поле. Те са температурно зависими, защото изолационното съпротивление зависи от температурата. Rиз=1/σ.d/S, където σ – специфична електропроводимост на материала; d -дебелина на образеца; S-сечение на образеца. Rиз=1/Aexp(-b/T).d/S=A’exp(b/T) -> изолационното съпротивление намалява по експоненциална крива при повишаване на температурата. P=U2/A’exp(-b/T).

***Йонизационни загуби:*** наблюдават се в газообразни или твърди диелектрици с газова фаза (порести). Pйон=Bf(U-Uйон)3, където B-коефициент, f – честотата на приложеното напрежение, U – приложеното напрежение, Uйон-йонизационно напрежение; U>Uйон. При високи честоти йонизационните загуби в порестите материали могат да бъдат толкова големи, че да предизвикат недопустимо нагряване на материала.

***Последователна еквивалентна схема:*** При тази схема активното съпротивление, еквивалентно на диелектричните загуби, е включено последователно на капацитета. tgδ=Ur/UCs=Ir/(I/ωCs)=ωrCS и P=UI=I2r=U2r/[(1/ωCS)2+r2]=U2ωCStgδ/1+tg2δ, където CS-капацитета на диелектричния образец в последователна схема, r-еквивалентно загубно съпротивление. Диелектричните загуби в материалите се определят от структурата им и околните условия и не могат да зависят от субективния избор на еквивалентната схема. Задължително трябва да бъдат изпълнени условията: (tgδ)пар=(tgδ)посл и (Р)пар=(Р)посл.

1/ωCR=ωCSr и U2ωCtgδ=(U2ωCStgδ)/(1+tg2δ); C=CS/(1+tg2δ) и R=r(1+1/tg2δ).

***Пробив в диелектричните материали***

Високото изолационно съпротивление на диелектричните материали се запазва до определена критична стойност на интензитета на електрическото поле. Ако интензитетът на полето превиши тази критична стойност, диелектрикът изгубва диелектричните си свойства – това явление се нарича *пробив.* Напрежението, при което настъпва пробив, се нарича пробивно напрежение Uпр, а съответният интензитет на полето – диелектрична якост Eпр. Eпр=Uпр/d, V/m, където d е дебелината на образеца от диелектр. материал, m. Диелектричната якост на материалите зависи от структурата им, поради което механизмът на пробива се определя от агрегатното им състояние.

***Пробив в газообразни диелектрици****:* Важна отличителна черта на пробива на газовете е неговата обратимост – след премахване на въздействието на електрическото поне газообразният диелектрик възстановява диелектричните си свойства. Пробивът в газовете зависи от това дали полето е еднородно или нееднородно. Нееднородното поле се характеризира със закривени силови линии в местата на нееднородност. Еднородно се смята полето между два безкрайно дълги успоредни електрода със заоблени краища. Енергията на заредените частици за еднородно поле: W=Eqλср, където E – интензитет на полето, q - заряд на частицата, λср – дължината на средния и пробег. Пробивът на газовете зависи от налягането им. В нееднородно поле пробивното напрежение зависи от поляритета на приложеното напрежение. Силно нееднородно поле се създава между два електрода, единият от които е с форма на игла, а другият е плосък.

***Пробив в течни диелектрици*** – Течните диелектрици имат значително по-висока диелектрична якост от газовете. Като най-важна причина за това се сочи значително по-голямата плътност на течностите, т.е. значително по-малка средна дължина на свободния пробег. В много чистите течни диелектрици пробивът може да се получи в резултат на избиване на електрони от металните електроди. В технически чистите течни диелектрици пробивът може да се получи в резултат на частични прегрявания в местата с примеси с повишена проводимост, кипване на течностите в тези места.

***Пробив в твърди диелектрици*** – пробивът в твърдите диелектрици се осъществява по три механизма: електрически, топлинен и електрохимически. Това зависи от околните условия и структурата на материалите.

* ***електрически пробив –*** представлява чисто електронен процес и се развива за много кратко време (10-7 до 10-8 s). За да се наблюдава чисто електрически пробив, не трябва да има загуби от поляризация, йонизация на газови включвания и електропроводимост, с което се осигурява температурата на диелектрика да бъде еднаква с тази на околната среда. Има пробив ако електрическото поле и структурата на образеца се еднородни. Пробивното напрежение е линейна функция на дебелината на образеца. В диелектрици с нееднородна структура се наблюдават повече слаби места и вероятността за тяхното съществуване се увеличава с нарастване на дебелината на материала. Диелектричната якост е по-голяма при тънки образци, отколкото при дебели.
* ***топлинен пробив –*** получава се при нарастване на температурата на материала, когато той се намира в електрическо поле. Пробивът се характеризира не само с материала, но и с конструкцията. Пробивното напрежение зависи от честотата на полето, условията на топлоотдаване и околната температура. Отдадената топлина Pот от диелектричния образец може да се оцени приблизително чрез формулата на Нютон *Pот=2hS(T-TA),* където h е коефициентът на топлопроводност в мястото на контакта електрод-диелектрик, S-повърхнината на диелектрика, T-температурата на диелектрика, TA - температурата на околната среда.
* ***електрохимически –***получава се в резултат на структурни изменения на материала, подложен на продължително въздействие на електрическо поле.

***Физически свойства на диелектричните материали.***

**1. *Влагоустойчивост*** – Водата представлява силно полярна течност с висока диелектрична проницаемост (εr≈80), големи диелектрични загуби (tgδ≈0,08 при f=1MHz) и ниско изолационно съпротивление (Rиз≈103-104Ωm). Присъствието на вода в структурата на диелектричните материали предизвиква рязко влошаване на електроизолационните им свойства. Една от важните характеристики на въздуха като среда за съществуване на електронните апаратури е неговата влажност. При температура 30-40˚С и относителна влажност на въздуха около 98% въздействието на влагата става много съществено. За оценка на поведението на материалите в среда с висока влажност се използват понятията хигроскопичност (способност да се овлажняват) и влагопроницаемост (способност да пропускат влага).

Образец от диелектричен материал, поставен при определени условия, след достатъчно дълго време придобива някаква равновесна влажност, която зависи от изходната влажност на материала и въздуха. Достигането може да стане по два начина – овлажняване и сушене. Полярните и неполярните диелектрици имат различна влажност при еднаква влажност на въздуха и еднаква порьозност на структурата им. Това е защото имат различна степен на умокряне. Полярните диелектрици се мокрят много повече от неполярните. *Хигроскопичността* на материалите зависи от структурата им и най-вече от размера на капилярите (порестите материали са по хигроскопични от тези с плътна структура). *Влагопроницаемостта* е важно свойство за материалите предназначени за защита от влиянието на околната среда.

**2. *Топлоустойчивост –*** свойството на материала да издържа въздействието на повишена температура за кратко време. Определя се от температурата, при която се получават недопустими изменения на параметрите. Топлоустойчивостта на органичните материали се определя от изменението на механичните им свойства, а на неорганичните – от изменението на електрическите им параметри (tgδ и Rиз).

**3. *Студоустойчивост –*** способността на материала да издържа (без повреди и без изменение на механичните и електрическите параметри извън определени граници) въздействието на ниски температури. Електрическите параметри на материалите при ниски температури се подобряват, но голяма част от органичните материали влошават механичните си параметри – стават крехки и твърди.

**4. *Топлопроводността*** оказва влияние върху устойчивостта на материала на температурни цикли и върху диелектричната якост при топлинен пробив.

**5. *Коефициентът на топлопроводност hт –*** *hт=∆Pт/∆S.dl/dT, W/m˚C,* където ∆Pт – мощността на топлинния поток през сечението ∆S. dT/dl – температурният градиент по дължината на образеца. Коефициентът на топлопроводността на диелектричните материали е много по-малък от този на проводниковите материали. Ниската топлопроводност на въздуха е причина за ниската топлопроводност на порестите материали. Кристалните диелектрични материали имат по-висока топлопроводност от аморфните.

***Въпрос №9: Основни свойства на материалите с електронна проводимост.***

**1**. Физическа природа на ел. проводимост: структурата на метала е кристална решетка, във възлите, на която се намират атоми, а между тях се движат свободни електрони. Тези свободни електрони, при прилагане на външно ел. поле, извършват насочено движение, т.е протича ел. ток.

а) Квантова статистика на електроните в метала – с увеличаване на температурата, се увеличава, вероятността електроните да заемат по-високи нива. Тази вероятност се подчинява на **разпределението на Ферми**. P(W)=1/[1+exp((W-WF)/kT)], W – енергията на веригата, WF – ниво на Ферми.

Ниво на Ферми: 1) T=0˚K -> най-високото заето енергетично ниво; 2) T>0˚K -> ниевото, вероятността за заемането, на което е 0,5; P(WF)=0,5. Разпределението на Ферми е симетрично, т.е. заетите енергетични нива над нивото на Ферми, са точно толкова колкото свободните под него.

б) Специфична електропроводимост – ***σ=nqμ***, n – концентрация на свободните електрони, q=e – заряд на електрона, μ – подвижност на електроните -> *μ=eλср/2mVт*, λср- дължина на средния свободен пробег на електрона, *Vт*- топлинна скорост на електроните, m – маса на електрона. Различните метали имат различни електропроводимости, за сметка на различни подвижности на електроните.

**2**. Коефициент на токопроводимост **hт** – Топлината в металите се предава чрез движение на свободните електрони. hт=aT*σ*, W/m˚K, a – флоренцово число.

**3**. Влияние на температурата върху електропроводимостта на металите: q – константа, която не се влияе от външни фактори. С увеличаване на темп. се увеличава концентрацията на свободните електрони. С увеличаване на темп. се увеличава амплитудата на трептене на възлите на крист. решетка → λср намалява, намалява и μ. На практика, основни влияние оказва намаляването на подвижността.

ρ=1/σ специфично съпротивление. В работния температурен диапазон, специфичното съпротивление на чистите метали нараства линейно.

Относителен температурен коефициент на ρ: αρ=TKρ=dρ/ρdT, ˚K-1. Използвайки метода на линейна апроксимация за температурния коефициент αρ=∆ρ/ρ∆T=(ρт-ρА)/ρт(Т-ТА), ТА- стайна температура. апроксимация=приближение. ρт=ρА[1+αρ(Т-ТА)]

**4.** Зависимост на проводимостта на металите от примесите:

* примесните атоми, създават изкривявания в кристалната решетка на метала, поради което намалява подвижността на електроните, в следствие на което намалява и електропроводимостта.
* получаването на отрицателен температурен коефициент се дължи на това, че процесът на увеличаване на концентрацията, получава преобладаващо влиянието спрямо намаляването на подвижността. При подходящо отношение между двата метала, може да се получи сплав с α=0.

**5.** Константна потенциална разлика и термоелектродвижещо напрежение: За всеки материал е характерна отделителна работа. Това е енергията, необходима за електрона, за да напусне структурата на метала.

* При контакт на двата метала, електроните преминават от областите с по-високо ниво на Ферми (метал В), към тези с по-ниско (метал А). В следствие на това метал В обеднява (зарежда се с ‘+’), а метал А се обогатява (зарежда се с ‘-’). Получава се контактна потенциална разлика. Uk~(WOA-WOB) -> пропорционална.
* Електроните ще се придвижват от по-топлия към по-студения край. Тази разлика се нарича термо ЕДН. Преминаването е с цел предаване на топлина между двата края на проводника. ∆U=Uk(T2)-Uk(T1).

***Собствени полупроводници – основни свойства.***

**1.** Общи сведения:

* полупроводниковите материали проявяват проводникови или диелектрични свойства, в зависимост от енергетичното им състояние. Тясната забранена зона е причина за това.
* собствени ПП – материали, които нямат примеси и дефекти в кристалната си решетка. Чистотата на ПП кристал се определя с брой примесни атоми в единица обем.
* ПП притежават кристална структура с ковалентна връзка: WB – най-високото ниво на ВЗ, WC – най-ниското ниво на СЗ. На мястото на електрона остава некомпенсиран положителен заряд (електронна дупка), чийто физически носител е ядрото на атома.
* *Генерация* – процеса на освобождаване на електрони и дупки. Този процес е обратим, като връщането на ел. в СЗ се нарича *рекомбинация*.

**2.** Разпределение на Ферми**: P(W)=1/[1+exp((W-WF)/kT)],** W. В собствените ПП концентрацията на електроните и дупките е равна, т.е. разпределението на Ферми е симетрично, като нивото на Ферми се намира точно в средата на ЗЗ*. ni=pi=√NCNB.exp(-∆W/2kT),* ni – концентрация на свободни електрони в собствен ПП; pi – концентрация на дупките в собствените ПП; NC – плътност на енергетичните състояния в СЗ, NB – плътност на енергетичните състояния във ВЗ, ∆W – широчина на ЗЗ.

**3.** Собствена проводимост – под влияние на ел. поле, свободните електрони се движат в кристала и имаме N-проводимост.

* дупките се движат фиктивно, като валентните електрони от съседните ковалентни връзки заемат некомпенсираните положителни заряди (дупки). Тази проводимост е P (positive). σi=nieμn+pieμp=nie(μn+μp), μn- подвижност на електроните, μp – подвижност на дупките.

***Примесни полупроводници – основни свойства. Температурна зависимост на примесна проводимост.***

**1.** Видове примесни ПП: полупроводников материал, със значително количество строго контролирани примеси.

а) **Донорови** ПП: примеси, които увеличават електроните в СЗ. Wд – ниво на донорите, ∆Wд – енергията необходима електроните да станат свободни (енергията на йонизация на доноровите примеси). ∆Wд>∆Wд → В доноровите ПП концентрацията на електрони е по-голяма от дупките (n>p). Доноровите ПП се наричат NПП.

б) **акцепторни** ПП (PПП) – имат акцепторни примеси, т.е. увеличават концентрацията на дупките във ВЗ. ∆WА – енергията необходима за преминаване на електрони от ВЗ (енергия на йонизация). WА – акцепторно ниво. ∆WА<∆W,  p>n.

**2.** Разпределение на Ферми – разпределението за примесните ПП не е симетрично спрямо средата на забранената зона.За NПП нивото е изместено към СЗ, а за PПП към ВЗ. В примесните ПП имаме основни и неосновни токоносители. За NПП основни токоносители са електроните, а за PПП – дупките. Основните токоносители в NПП се дават с n≈√NдNc.exp(-∆Wд/2kT); p≈√NANB.exp(-∆WA/2kT). Nд – концентрация на донорните примеси, NA – концентрация на акцепторните примеси.

**3.** Температурна зависимост на примесната проводимост – **σ=neμn+peμp**, за NПП → σ≈neμn, за PПП → σ≈peμp. Намаляването на проводимостта при повишаване на температурата в областта на изтощени примеси, се дължи на намаляването на подвижността на токоносителите.

***Методи за определяне на типа на проводимостта на полупроводниците. Ефект на Хол.***

***Ефект на Хол –*** образецът от полупроводников материал от донорен тип е поставен в магнитно поле с индукция By и през него протича ток с плътност Jx. Под влияние на магнитното поле движещите се свободни заряди се отклоняват към една от страничните стени на образеца и по този начин възниква напречно електродвижещо напрежение с интензитет Ez1. Полученото поле с интензитет Ez се нарича поле на Хол и интензитетът се означава с Ez=Eн. Отклоняващата сила FL, която въздейства върху движещите се свободни електрони, се нарича Лоренцова сила и се изчислява по израза FL=qByvx=eByvx, където q=e е зарядът на електрона, By- индукцията на магнитното поле, vx - скоростта на движение на електроните. vx=Exμe, μe- подвижността на електроните. → FL=eByExμe. Силата FL се уравновесява от силата *е*Eн → eByExμe=*е*Eн, μe=Eн/ByEx**. RH** – Коефициент на Хол → Jx=σEx=*ne*μeEx, където σ=*ne*μe е специфичната проводимост, *n*- концентрацията на основните токоносители, μe- подвижността на електроните. **Eн=μeByEx=Jx/*ne*Ex.ByEx=RHJxB**, където RH=1/*ne.* За образец от Р-тип, за който Eн е насочен обратно в сравнение с образец от N–тип, коеф. На Хол → RH=1/p*e.* RH=Eн/ByEx

***Метод на горещата сонда –*** към едната страна на полупроводников образец с неизвестен тип на проводимостта контактува волфрамова игла, а към другата страна - плосък метален електрод. Иглата и електродът са свързани към галванометър, с който може да се отчете посоката и стойността на протичащия ток. Волфрамовата игла се загрява, в резултат на което се повишава температурата на една ограничена област около иглата. Повишената по този начин енергия в областта е достатъчна за преодоляване на ∆Wд или ∆Wа, т.е независимо от типа на полупроводника в тази област се получават свободни токоносители. Благодарение на температурния градиент в полупроводниковия образец свободните токоносители дифудират към областта с по-ниска температура и в резултат на това за N-ти полупроводник областта около иглата обединява на електрони (зарежда се положително), а останалата част се обогатява (зарежда се отрицателно). За Р-тип полупроводник е обратното. Поляритетът се отчита с галванометър.

***Основни свойства на магнитните материали – намагнитване, магнитна проницаемост и хистерезисен цикъл.***

***Намагнитване –*** Индукцията B, създадена от магнитно поле с интензитет H във вакуум, се изчислява така: B=μ0H, където μ0=4π10-7H/m е абсолютна магнитна проницаемост на вакуума (магнитната константа).В материална среда: B=μ0μrH=μH, където μ=μ0μr, μr – абсолютна магнитна проницаемост на материала. Магнитна поляризация: JM=B-μ0H= μ0μrH-μ0H. Намагнитване на материала: M=JM/μ0=(μr–1)H=ĸrH [A/m], където ĸr=μr–1 – магнитна възприемчивост на материала. B=f(H). Намагнитването М може да се разглежда като магнитен момент на единица обем: M=Pm/V, Am2/m3. Магнитният момент на атома се формира от спиновия магнитен момент на електроните, магнитният момент на ядрото и магнитния момент, създаден от орбиталното движение на електроните. Атомите и йоните с небалансирани спинови моменти на електроните имат магнитен момент, а тези с балансирани (напълно запълнени орбити) – нямат магнитен момент. Съответните на това разделяне материали се наричат парамагнити и диамагнити. Магнитната възприемчивост на тези материали е близка до нула, като на диамагнетиците е отрицателна, а на парамагнетиците – положителна. Феромагнитите (магнитните материали) притежават спонтанно намагнитени области, наречени домени, т.е. притежават доменна структура. Домените са области, в които всички спинови моменти са еднопосочно ориентирани, поради което магнитният момент на областта е голям. Процесът на намагнитване е нелинеен. При кривата на първоначално намагнитване се разграничават 5 области: I. Област на начално намагнитване – началното намагнитване се получава при много слаби полета; за него е характерно еластичното изместване на границите на домените, което означава, че процесът е обратим. II. Област на Р елей – тази област се получава в по-широк обхват от слаби полета; изместването на границите на домените е все още еластично и процесът е обратим; намагнитването се изменя незначително. III. Област на най-големи диференциални магнитни проницаемости – изместванията на границите на домените са необратими, намагнитването рязко нараства и магнитната проницаемост нараства скокообразно. Процесът на намагнитване е необратим. IV. Област на ориентиране на магнитните моменти по посока на полето – намагнитването нараства по-слабо в сравнение с III област. V. Област на насищане – тази област се достига при много силни магнитни полета; увеличаването на намагнитването е незначително (процесът е приключил) и индукцията в материала асимптотично се приближава до граничната стойност, известна като *индукция на насищане.*

***Магнитна проницаемост –*** мярка на процеса намагнитване или по-точно мярка за изменението на състоянието на намагнитване. Диференциална магнитна проницаемост μrd=dB/μ0dH. Има две характерни стойности: в областта на слабите полета – начална магнитна проницаемост μri, и в областта на най-голямо намагнитване – максимална магнитна проницаемост μrmax. В променливото магнитно поле се използва *амплитудната магнитна проницаемост* μrа. μrа=Bm/μ0Hm. При работа в импулсни магнитно поле се използва *импулсната магнитна проницаемост* μrrev. μrrev=∆B/μ0∆H, където ∆B е изменението на индукцията.

***Хистерезисен цикъл –*** след I и II втора област, процесът на намагнитване става необратим и в резултат на това се получава известният хистерезисен цикъл. Първоначално процесът на намагнитване се осъществява еднократно по кривата на първоначално намагнитване, а при по-нататъшно изменение на интензитета на променливото магнитно поле – по хистерезисния цикъл. Цикълът е важна характеристика на магнитните материали. Чрез него се дефинират няколко важни параметъра: индукция на насищане Bs, остатъчна индукция Br и коерцитивен интензитет Hc. Те важат само за граничния хистерезисен цикъл, при който е достигната индукцията на насищане Bs. По-нататъшното увеличаване на интензитета на полето не предизвиква описването на нов хистерезисен цикъл.

***Полимерни диелектрични материали – видове, свойства и приложение.***

**1. *Високочестотни полимери*** – неполярни и слабо полярни (притежават симетрична структурна формула).

Основни параметри – малки диелектрични загуби tgδ (следователно могат да работят до високи честоти) и малка диелектрична проницаемост εr (следователно могат да се използват като изолация и по-рядко за кондензатори с малки капацитети).

Приложение – Високочестотна изолация (кабелна).

Представители – полиетилен, полипропилен, полистирол, тефлон.

Тефлонът (политетртафлуоретилен) има отлични електрически и физически свойства, които се запазват до високи честоти и в широк температурен диапазон. Това се дължи на химическата инертност на F атоми и симетричната му структурна формула.

**2. *Нискочестотни полимери*** – полярни (притежават симетрична структурна формула).

Основни параметри – големи диелектрични загуби tgδ (не могат да работят до високи честоти) и относително по-голяма диелектрична проницаемост εr≈3 (могат да се използват и като изолация и за кондензатори).

Приложение – кондензатори и нискочестотна изолация.

Представители – поливинилхлорид, поликарбонат.

***Електроизолационни компаунди и лакове.***

***1. Компаунди –*** маса за заливане на елементи и схеми с цел защита от околната среда (основно от повишена влажност на средата). Служат основно за корпусиране.

Основни изисквания – голямо изолационно съпротивление Rиз, малки диелектрични загуби tgδ, малка диелектрична проницаемост εr, влагопроницаемост, голяма механична якост. Получават се органични смоли (полимери), втвърдители и допълнителни вещества.

***2. Електроизолационни лакове –*** Представляват полимерен материал, разтворен в разтворител, който се изпарява след нанасяне на лака. Служат основно за климатична защита.

Основните изисквания са голямо изолационно съпротивление Rиз, малки диелектрични загуби tgδ, малка диелектрична проницаемост εr, влагопроницаемост, адхезия, възможност за нанасяне на тънък слой, гъвкавост.

Според приложението си лаковете биват: с общо предназначение (полиуретанови и епоксидни); с повишена топлоустойчивост (силиконови); с малки диелектрични загуби (полистиролни).

***Неорганични диелектрични материали – видове, свойства и приложение.***

***1. Керамики –*** притежават три структурни фази:

* кристална – определя електрическите и механичните свойства на керамиката (tgδ, εr, механична якост);
* аморфна – свързва кристалната фаза и определя технологичните свойства на керамиката (температура на изпичане, степен на свиване);
* газова – получава се в следствие на технологията и като цяло влошава параметрите на керамиката.
  1. Изолаторни керамики 0 имат малка диелектрична проницаемост εr (≈3 до 12) и се използват за изолатори (тела на резистори и бобини, подложки на хибридни интегрални схеми и др.). В състава им участват основно Al2O3 и SiO2. Представители са радиопорцелана, стеатитова, алуминооксидна, берилиевооксидна.
  2. Кондензаторни керамики – имат голяма диелектрична проницаемост (≈20 до 200) и се използват за кондензатори. В състава им участват основно TiO2 и SiO2. Представители са рутилова, титано-циркониева, станатна, петровскитова.

***2. Стъкла –*** квазиаморфни вещества, които представляват система от различни оксиди: стъклообразуващи (SiO2, B2O3, P2O5), примесни (Na2O, K2O) – влошават електрическите свойства на стъклото и допълнителни (BaO, PbO).

Видове – безалкални (минимално количество примеси и с отлични електрически свойства, но лоша технологичност), алкални без тежки оксиди (наличието на Na2O и K2O рязко влошава електрическите свойства), алкални с тежки оксиди (тежките оксиди донякъде компенсират лошото влияние на алкалните примеси). Приложение – изолатори, кондензатори, балони на електро-вакуумни лампи, оптически прибори.

***Метали и сплави с висока проводимост. Благородни метали.***

***1. Мед (Cu).*** Основни свойства – малко специфично съпротивление ρ, добра технологичност (лесно се изтегля на тънки проводници и листове), запояване при ниска температура, добра корозоустойчивост, ниска цена. Приложения – проводници, за фолио (метализация) на печатни платки.

***2. Алуминий (Al).*** Малко специфично съпротивление ρ, малко тегло; голяма топлопроводност; много бързо се оксидира и се покрива с тънък слой Al2O3, който притежава отлични диелектрични и механични свойства (от една страна този слой предпазва метала от корозия, но от друга много затруднява запояването на Al); Al е вентилен метал. Използва се за електролитни кондензатори и радиатори.

***3. Благородни метали (Ag, Au, Pt, Pd).*** Изключителна корозоустойчивост, но висока цена. Използват се за бондиране на интегрални схеми (много тънки проводници, които свързват изводите на схемата с изводите на корпуса), в химически активни среди.

***Припои и флюсове. Метали и сплави за контакти и термо-двойки. Сплави с високо съпротивление.***

***1. Припои и флюсове –*** Припоите са сплави, които се използват за запояване (създаване на механически здрав шев и/или електрически контакт с малко контактно съпротивление). Основни изисквания са ниска температура на топене ТТ, галванична съвместимост със спояваните метали, голяма механична якост, добра корозоустойчивост, малко специфично съпротивление ρ, ниска цена. До скоро най-разпространени припои бяха калаено-оловните сплави. Все по-широко навлиза използването на безоловни припои – сплави на калай, сребро и мед.

*Флюсовете* са материали, които осигуряват доброто умокряне на спояваните метали, отделяне на оксидния слой от повърхността им, защита от оксидиране по време на запояване и др. Производителите на различните припои препоръчват и най-подходящите флюсове, като най-разпространени са колофонните флюсове.

***2. Метали и сплави за контакти и термо-двойки.*** Основни изисквания са малко механично износване, висока температура на топене ТТ (да не се запои контакта), добра корозоустойчивост, малко специфично съпротивление ρ, голяма химическа устойчивост и др. В състава им влизат основно метали с висока температура на топене ТТ  като W, Mo, Cr, Cd. Основни изисквания към материалите за термо-двойки са да имат голяма стойност на термо ЕДН, висока температурна стабилност на параметрите. Представители: константан, мед и Pt.

***3. Сплави с високо съпротивление.***

- резистивни сплави – използват се за изготвяне на токопровеждащия елемент на резистори. Основни изисквания: голямо специфично съпротивление ρ, добра технологичност, малка стойност на термо ЕДН основно спрямо Cu (обикновено от Cu са изготвени изводите на резистора), висока температурна стабилност на параметрите им (основно малък температурен коефициент на специфично съпротивление αρ). Представители: манганин, константан, сплави на благородни метали.

- топлоустойчиви сплави – използват се за изготвяне на нагреватели. Основни изисквания: голяма работна температура, при която да образуват стабилен косид. Представители са най-разпространени са Cr-Ni сплави (нихром).

***Полупроводникови материали – прости полупроводници и полупроводникови химически съединения.***

***1. Основни попупроводникови материали:***

* *Силиций (Si) –* Основни параметри и свойства – относително широка забранена зона ∆W=1,12eV (това определя високата му работна температура), малка подвижност на електроните μn=0,14m2/V.s (което ограничава използването му при високи честоти), висока температура на топене ТТ=1414˚С (трудно се получава и пречиства), образува стабилен оксид SiO2 с отлични диелектрични свойства (това свойство е в основата на планарно-епитаксиалната технология за изготвяне на интеграли схеми). Приложения – интегрални схема, фотоприбори, слънчеви елементи.
* *Германий (Ge) –* Относително тясна забранена зона ∆W=0,72eV (ниска работна температура), голяма подвижност на електроните μn=0,39m2/V.s (работи до високи честоти), ниска температура на топене ТТ=936˚С (лесна технологичност), образува аморфен оксид GeO2, който е разтворим дори във вода (много трудно може да се използва за интегрални схеми). Приложение – високо честотни полупроводникови дискретни елементи (диоди, транзистори), преобразуватели на Хол и др.

***2. Полупроводникови химически съединения:***

* *Полупроводникови материали от типа AIIIBV* (индексът с римска цифра представлява валентната група на съответния елемент). За елемента *AII* се използват Al, Ga и In, а за *BV*– P, As и Sb. Класифицират се по металоодният елемент, т.е. фосфиди (AlP, GaP, InP), арсениди (AlAs, GaAs, InAs) и антимониди (AlSb, GaSb, InSb). Типичен представител е (галиев арсенид), чиито основни свойства са относително широка забранена зона, голяма подвижност на електроните. Основното му приложение е за високочестотни схеми и прибори.
* *Полупроводникови материали от типа AIIBVI.* За елемента *AII* се използват Zn, Cd, Hg, а за *BVI*– S, Se, Te. Те също се класифицират по металоодния елемент, т.е. сулфиди, селениди и телъриди. Основните им приложения са за фотоприбори и полупроводникови лазери.

***Методи за обработка на полупроводниковите материали.***

Най-широко разпространени са методите чрез изтегляне на монокристал от стопилка (метод на Чохралски), зонно топене и безтиглово зонно топене.

***Метод за изтегляне на монокристал от стопилка –*** бавно изтегляне на ос, на чийто край е закрепен монокристален зародиш от стопилката. По този начин стопилката започва бавно да кристализира върху монокристалния зародиш, който извършва въртеливо движение по време на изтеглянето. Скоростта на кристализация се регулира чрез температурата на стопилката и количеството изгубена топлина вследствие на топлопроводността на кристала и по оста на излъчването от повърхността на стопилката. Скоростта на изтегляне и въртене определя диаметъра на кристала.

При ***метода на зонното топене*** чрез ултразвуково нагряване се оформя тясна зона от стопилка, която се придвижва бавно по дължината на слитъка от полупроводников материал. Така по посока на движението се получава разтопяване на материала, а в края на разтопената зона започва кристализацията. При постепенната кристализация материалът се пречиства. Чистотата след еднократна процедура зависи от концентрацията на примесите и няма да е еднаква по дължината на слитъка. Процесът се повтаря няколко пъти до постигането на необходимата чистота и разпределение на примесите по дължината на кристала. Скоростта на движение на разтопената зона е в границите от 15-20μm/s.

***Безтигловото зонно топене*** е специално разработен метод за обработка на силиций. При температура на топене силицият е силно активен и независимо от материала на ладията се получава допълнително замърсяване на по време на топенето. Кварцовият слитък е разположен вертикално и е закрепен чрез кварцови държатели. Върху единия държател е поставен кристален зародиш. Чрез ултразвуково нагряване се създава разтопена зона. Методът осигурява получаването на кристали с максимална чистота, а като недостатък – невъзможността да се получават кристали с по-големи диаметри.

Кристализацията по описаните методи се извършва във вакуум или инертна атмосфера.

***Магнитномеки метали и сплави – видове, свойства и приложение.***

Основни свойства: голяма магнитна проводимост μr, малък коерцетивен интензитет Hc, голяма индукция на насищане Bs, малко специфично съпротивление ρ, големи загуби от вихрови токове (могат да се използват само в нискочестотни или постоянни магнитни полета).

Видове: *Желязо (Fe) –* основен компонент на повечето магнитни материали и сплави, но като всеки метал има малко специфично съпротивление ρ, което води до големи загуби от вихрови токове и силно ограничава приложението му при променливи магнитни полета.

*Електротехническа листова стомана –* стомана легирана с Si. За намаляване на загубите от вихрови токове повърхността на стоманата се лакира (за повишаване на ρ), и се намалява нейната дебелина. Поради ниската си цена основно приложение намира за магнитопроводи за мрежови трансофрматори (ниска честота 50Hz).

***Магнитнотвърди материали – видове, свойства и приложение.***

Основни свойства: голяма енергия на размагнитване (запазват дълго време намагнитеното си състояние), голям коерцитивен интензитет Hc, голяма остатъчна индукция Br. Приложения – постоянни магнити. Представители – сплави от типа ални (Al, Ni, Fe) и алнико (Al, Ni, Co, Fe), бариеви и стронциеви ферити.

***Резистори – параметри.***

**1.** Номинална стойност – тази, която резисторът може да разсейва, при определени условия – **PN**. Резисторът трябва да не променя основните си параметри извън определени граници. *PN=hS(TRmax-TN),* h – коефициент на топлопроводност, S – площ, през която се извършва топлоотдаването, TRmax – максималната допустима Т на резистора. Определя се от материала с най-малка топлоустойчивост и с температура > от нея, резисторът не може да работи, TN – номинална температура. Дефинира се като най-високата темп. На околната среда, при която резисторът може за разсейва номинална стойност.

- TА<TN – резисторът разсейва PN.

- TN<TA<TR – може да разсейва мощност по-малка от номиналната;

- TА>TN – не може да работи.

**2.** αr – температурен коефициент на съпротивление. αr=dR/RdT; αr=αρ+αe-αs, αe-температурен коефициент на линейното разширяване на материала, αs-темп. коефициент на обемното разширение на материала. αr≈αρ

**3.** Гранично работно напрежение **Vгр** – най-високото променливо напрежение, което може да бъде приложено на изводите на резистора. За нискоомни резистори напрежението се определя от номиналната мощност. За високоомни резистори, се определя и от възможността за пробив в диелектричните материали, използвани в конструкцията.

**4.** Ниво на шума – отношението на шумовото напрежение възникващо в резистора към напрежението приложено в неговите изводи. *Um/U, [μV/V]*

**5.** Стабилност на резистора – с този параметър се оценява промяната на номиналните параметри на резистора с течение на времето. Основен фактор е стареенето на материалите.

**6.** Собствена индуктивност **LR** – зависи от дължината на изводите и от броя на навивките при жичните резистори; собствен капацитет **CR** – определя се от диелектричната проницаемост на изолацията и от размерите на резистора.

**7.** В зависимост от конструкцията на токопроводящия елемент, резисторите биват слоеви (слойни), обемни и жични.

**8.** Обобщен признак – според конструкцията и материала на токопров. Елемент биват въглеродослойни, металослойни, металооксидни, композиционни, полупроводникови.

***Жични, слойни и композиционни резистори - свойства.***

***Металослойни резистори –*** токопровеждащият слой се изпълнява от метални сплави чрез вакуумно изпарение или катодно разпрашване. Температурният коефициент на съпротивлението на металослойните резистори е в границите от ±25.10-6 до ±250.10-6˚C-1. Резистори, в които токопровеждащият слой е от метален оксид вместо метална сплав, се наричат металооксидни. Те имат по-висока топлинна и химическа устойчивост, по-ниско на шума и малко размери в сравнение с металослойните.

***Композиционни резистори –*** при тях материалът на токопровеждащия елемент е композиция от проводникови и диелектрични материали. Композиционните резистори се произвеждат като слойни и обемни. Материалът, от който се изгражда токопров. Елемент на слойните резистори, представлява композиция от проводников материал, свързващ материал и пълнител. Проводниковият материал е прахообразен графит и сажди с голяма дисперсност. Като свързващи материали се използват маслени лакове на основа алкидни смоли. Пълнителите са неорганични материали, с които се подобрява топлоустойчивостта, влагоустойчивостта, механичната якост и устойчивостта на износване на композицията. Пълнителят заема 30% от обема. Недостатъци: по-високо ниво на шума и по-малка стабилност. Използват се като високоомни резистори. Токопров. елемент на обемните резистори се изготвя чрез пресуване на прахообразна композиция. Като свързващ материал се използва термореактивна смола. Пълнителят е 50-60% от обема на композицията.

***Жични резистори –*** Токопров. елемент се изпълнява от неизолирани или изолирани проводници от сплави с голямо специфично съпротивление – обикновено константан, манганин. Свойства: висока точност и сравнително малък темп. коефициент на съпротивлението; много високо ниво на шума; най-висока устойчивост на импулсно претоварване; висока стабилност във времето; възможност за получаване на малки стойности на номиналното съпротивление. Номинално съпротивление при тези резистори от 0,1Ω до 100кΩ, номинална мощност от 3W до 100W, максимална допустима температура 400˚C.

***Кондензатори – параметри.***

**I. Основни свойства:**

* да не пропускат постоянен, а да пропускат променлив ток.
* имат способността да натрупват ел. заряд; да съхраняват енергия.
* със индуктивност образуват трептящи кръгове.

**1.** По характер на изменение на капацитета, биват постоянни (не може да им се променя капацитета) и променливи (може да им се променя капацитета).

**2.** Според вида на диелектрика:

* с газообразен диелектрик (въздушни и вакумни)
* с течен диелектрик;
* с твърд органичен диелектрик;
* с твърд неорганичен диелектрик (керамични, стъклени);
* с оксиден диелектрик (електролити).

**3.** Според режима на работа:

* по работно напрежение (нисковолтови и високоволтови);
* според честотен обхват (постоянно напрежение, с промишлена честота (50Hz), нискочестотни, високочестотни).

**II. Параметри и свойства на кондензаторите**

**1.** Номинален капацитет: *CN=ε0εr.S/d, F.*

**2.**  Номиналното напрежение UN → постоянно напрежение или е ефективна стойност на променливото синусоидално напрежение, което може да бъде приложено непрекъснато между изводите на кондензатора при всяко работно темпо.

**3.**  Изпитвателно напрежение Uизп → напрежението приложено между изводите или между изводите свързани на късо и корпуса, което кондензатора може да извърши за кратко време (няколко секунди). Граничен параметър.

**4.** Температурен коефициент на капацитета: *αc=dC/CdT*, C˚-1. *αc≈εr.* За кондензатори с линейна зависимост, за оценка на температурната стабилност се използва *αc=(C2-C1)/C3(T2-T1). C3* – при стайна темп. 20˚, *C2* - при темп. *T2*. За кондензатори с нелинейна зависимост, за оценка се използва C/C20˚C=f(T).

**5.** Изолационно съпротивление Rиз– съпротивлението между изводите на кондензатора, измерено при определено постоянно напрежение, след като процесите на поляризация на диелектрика са приключили.

**6.** Време константа τ=CNRиз. – Характеризира свойството на кондензатора да се саморазрежда.

**7.** Коефициент на загубите tgδ – загубите на енергия на входа на кондензатора се дължат на загуби на поляризация. Най-малко загуби в металните електроди.

**8.** Обобщена еквивалентна схема на кондензатора – Собствената индуктивност на С зависи от дължината на изводите → колкото по-къси са те, на толкова по-високи честоти може да се използва.

**9.** Стабилност на кондензатора – оценява се как параметрите на С се променят с течение на времето.

***Кондензатори с ограничен диелектрик – видове и свойства.***

За производството на кондензатори се използват полимерни диелектрици, които могат да се изтеглят на тънки ленти. Основни изисквания са:

* да имат голяма диелектрична якост, Епр
* малки загуби, tgδ
* големи диелектрични проницаемости, εr
* голяма механична якост.

***Кондензатори с неограничен диелектрик – видове и свойства.***

* Изработват се основно от кондензаторни керамики. Имат голяма диелектрична проницаемост;
* Дискови керамични кондензатори;
* Призматични кондензатори;
* Слоести кондензатори;

Керамичните кондензатори се разделят на 2 класа: клас I с линейна темп. зависимост ма капацитета, клас II с нелинейна темп. зависимост, диел. Проницаемост по-голяма от клас I. εr>250.

***Електронни кондензатори – особености, видове и свойства***

1. Конструкция – за изясняване на вентилните свойства на Al се използва т.нар. електролитна клетка. Al е вентилен метал, тъй като при посочения поляритет, електролитната клетка не провежда ток, докато при обратен поляритет оксидния слой се разрушава и клетката пропуска ток.

2. Особености:

* полярни кондензатори – при подаване на напрежение в обратна посока, кондензатора се разрушава;
* има много големи CN;