

4.9 Поважни претставници на диелектрични материјали, нивни својства и примена

Диелектричните материјали можеме да ги поделиме според разни критеријуми. Според агрегатната состојба, постојат гасовити, течни и цврсти.

Поголемо практично значење има поделбата според нивната хемиска природа на **органски** и **неоргански**. Под органски материјали ги разбираме соединенијата на јагленородот; тие обично содржат освен јагленород и водород, кислород, азот, халогени и други елементи. Другите материјали се неорганските. Многу од нив содржат Силицијум, Алуминијум, и други метали, кислород и други елементи.

Многу органски електроизолациони материјали имаат некои специфични и важни механички својства, како свитливост, еластичност, од нив може да се прават влакна, фолии и други специјални форми, и затоа имаат голема примена. Но, органските изолациони материјали имаат и некои специфични слабости, меѓу кои спаѓаат ниската топлинска постојаност. Исклучок се само некои, како флуоропластите, полиимидите.

Неорганските ел. изолациони материјали обично не се свитливи и еластични, напротив, тие се крти и затоа технологијата за изработка на делови од нив е многу сложена. Но, тие имаат голема топлинска постојаност и се употребуваат таму каде ова својство е најпотребно. Бидејќи топлинската постојаност е многу важна, во праксата се користат комбинации на изолации кои се состојат и од органски и од неоргански компоненти.

4.9.1 Гасовити диелектрици

Општо земено, од даден гасен диелектрик во електричните изолациони конструкции се поставуваат повеќе барања, од кои се поважни: Електрична цврстина, хемиска инертност, ниска температура на втечнување, стабилност против разложување под дејство на електричниот лак.

Основни својства на гасовитите диелектрици се: малата диелектрична пропусливост, екстремно малите диелектрични загуби, големиот специфичен отпор. Меѓу сите гасни диелектрици посебно место му припаѓа на **воздухот** кој заради големата распространетост влегува во состав на електрични апарати заедно со цврсти или течни диелектрици. Во некои уреди (високонапонски преносни водови) преставува најважна изолација (во меѓустолбието).

Други примени на гасовитите диелектрици се на пример следните: -Диелектрици во високонапонските кондензатори и прекинувачи на моќност; осветлителната техника (тлеечки лампи, светлечки цевки), електронско-лампова техника (живини пареи, живини насочувачи, тиратрони, игнитрони).

При исти други услови (притисок, температура, форма на електродите, растојание меѓу нив) различни гасови можат да имаат многу различни вредности за електричната цврстина. Азотот има практично еднаква електрична цврстина со воздухот, но тој се применува наместо воздухот таму каде кислородот би бил непожелен заради евентуалните

оксидирачки ефекти. Некои гасови кои имаат голема молекуларна маса и содржат флуор и (или) хлор, имаат повишена ел. цврстина во однос на воздухот, бидејќи за нивна јонизација треба многу поголема енергија.

Сулфурен хесафлуорид (SF_6) има околу 2,5 пати поголема ел. цврстина во однос на воздухот. Тој е 5,1 пати потежок од воздухот и има ниска температура на испарување ($-63,8^\circ\text{C}$). Тој не е отровен, хемиски е стабилен и не се разложува при загревање до 800°C . Се користи во кондензатори, кабели, разводни построенија, прекинувачи. Во прекинувачите тој се искористува како изолационо средство и средство за гасење на лакот. Во каналот на електричниот лак под влијанието на високата температура (до 10000°C) молекулата на SF_6 се дисоцира. После гасењето на лакот, SF_6 скоро целосно се обновува без нуспродукти (или само со незначително количество)

Многу перспективна е примената на SF_6 под притисок за разводни постројки до 500 kV при што знатно се намалуваат изолационите растојанија, а ова е важно за намалување на истите во урбани средини (во т.н. со метал оклопени разводни построенија).

Флуорираните јагленоводороди кои се гасови, C_2F_6 , C_3F_8 и цикличниот C_4F_8 кои не содржат хлор имаат голема топлинска постојаност и хемиска инертност. Во електричните апарати може да се користат долго на температури $200-300^\circ\text{C}$. Оваа голема топлинска постојаност се должи на големата енергија на хемиската врска меѓу јагленородот и флуорот.

Гасот $\text{C Cl}_2\text{F}_2$, наречен **Фреон 12**, има голема диелектрична цврстина (како и SF_6) но температурата на испарување му е само $-30,5^\circ\text{C}$, то е недоволно за некои примени. Агресивен е према некои органски материјали, за што треба да се води сметка при неговата примена. (во последно време неговата употреба се избегнува од еколошки причини).

Голем интерес за Електротехниката има **Водородот**. Тој е многу лесен гас и има добри својства кои го квалификуваат како лабилно средство наместо воздухот. Тој има голема топлинска постојаност и топлински капацитет. Ако воздухот се замени со Водород кај вртливите електрични машини, се намалуваат загубите на триењето и на вентилацијата, бидејќи тие загуби се пропорционални на густината на гасот. И габаритите на машините се помали. Бидејќи немаме присуство на воздух, немаме ни забрзано стареење на изолацијата на машината. Но, употребата на водородот за оваа намена бара специјални технолошки решенија за херметизација. Во табелата 4.14 се даваат својствата на некои гасови:

Табела 4.14

гас	неон	водород	CO_2	O_2	N_2	SF_6	CCl_2F_2	C_4F_8
$U_{\text{pr}}/U_{\text{pr-voz}}$	0,12	0,6	0,9	0,9	1,0	2,5	2,6	2,8
темп на испар.	-246	-253	-78,5	-183	-196	-64	-28	-4

4.9.2 Течни диелектрици

Овде спаѓаат диелектрици кои на нормални услови (температура и притисок) се наоѓаат во течна агрегатна состојба. Овде пред се спаѓаат минералните масла и некои синтетички масла.

Во изолационите системи течните диелектрици се користат во комбинација со цврсти изолациони материјали (кај трансформатори, кабли) како изолационо и разладно средство. Во прекинувачите за високи и средни напони тие се употребуваат и како средство за гасење на електричниот лак.

Минерални изолациони масла

Потекнуваат од нафтата и претставуваат една од фракциите при дестилацијата. Според **примената** се делат на трансформаторско, кабелско и кондензаторско. Составот и својствата на овие масла доста зависат од потеклото на нафтата од која се добиваат.

Според својот **хемиски состав** овие масла се смеса на нафтенски, ароматични, парафински и изопарафински јагленоводороди.*) Средната молекуларна тежина на изолационото масло изнесува 260 до 300. Поделбата на јагленоводородите може да се појасни со сликата 4.55.



сл.4.55

*) ПОЈАСНУВАЊА:

Нафтенски (или циклопарафински) јагленоводороди. Овие се заситени, но циклични јагленоводороди. Тие се главни состојки на некои видови нафта (кафкаска, галициска). По својства се слични на парафините. Општа формула им е C_nH_{2n} . Во нивната молекула јагленовите атоми се поврзани во прстен. Претставници се: Циклопентан, циклохексан, циклопропан.

Парафински јагленоводороди. Името доаѓа од грчкиот збор „парум,“=без, и „афинис,“= привлечност, што значи дека не реагираат со други супстанции. Ова е заеднички назив за алифатични заситени јагленоводороди (алифатични, кај кои атомите на јагленородот се наредени во отворена низа). Овие може да бидат нормални и изопарафини. Кај нормалните сите С атоми се во една линиска низа, а кај изопарафините има една бочна гранка. Може да се гасовити (1 до 5 С атоми), течни (5-15 С атоми) и цврсти (>15 С атоми). Примери: метан, етан, пропан, бутан, пентан, хексан...

Ароматични јагленоводороди. Овој назив не е многу прецизен. Се подразбираат бензолот и неговите деривати. Името потекнува од времето кога не било развиено систематското познавање на органските соединенија и вака се именувале некои органски соединенија пронајдени во природата кои имаат пријатен мирис.

Во тој смисол постои поделба на: Нафтенски масла, кои содржат повеќе од 66% нафтенски јагленоводороди; Метанови (парафински) масла - кои содржат повеќе од 66% парафински јагленоводороди.

Од составот на маслата зависат и физичките и хемиските својства. Така, парафинските масла имаат повисока точка на втврдување, па според тоа не се погодни за студени предели. Нафтенските - обратно, може да се применат и при пониски температури. Добар преглед на својствата на минералните масла кои се важни за примената и кои им ги даваат соодветните компоненти, имаме во табелата 4.15.

Табела 4.15

редослед за својството ¹	Парафини	Нафтени	Аромати
отпорност на студ	2	1	3
постојаност на оксидација	1	2	3
Стабилност во ел. поле	3	2	1
Диелектрични својства	1	2	3

Маслата се користат кај енергетските трансформатори, кондензатори, прекинувачи и кабели.

Трансформаторско масло е малкувискозна, прозрачна добро очистена од вода и примеси течност. Кондензаторското и кабелското масло се додатно уште подобро пречистени масла инаку, во принцип тие се еднакви со трансформаторското.

Маслото кај трансформаторите има задача да импрегнира, изолира и да ја одведува генерираната топлина. Моќта за одведување на топлина е многу битна. Ако трансформаторот се користи на отворен простор, битно е точката на стврдување да биде што пониска (- 40 до - 50 °C). Во погонот се дозволува максимална работна температура до 95°C. Високата работна температура предизвикува брза оксидација (старење) на маслото. Затоа предимно се користат нафтенски масла сиромашни со ароматски соединенија. Најсилното електрично поле изнесува околу 10 kV/cm.

Со **кондензаторското** масло се натопува хартиениот диелектрик кај кондензаторите. Маслото треба да ги исполни сите шуплини и затоа треба да е доста течливо. За кондензаторите не е битна ниска температура на втечнување, бидејќи тие обично се држат во затворени простории. Овде се бара висока диелектрична цврстина, мал специфичен отпор ρ и мал $\tan \delta$ како и стабилност во силно електрично поле (работна јачина на полето е 100 KV/cm). Се користат претежно парафински масла со голема чистота и додаток на аромати. Маслото мора добро да се исуши и дегазира.

Маслото за **прекинувачи** служи за гасење на електричниот лак во прекинувачите. Заради погонот на отворен простор, се бара ниска температура на стврдување. За оваа цел се користи квалитетно трансформаторско масло.

Кабелското масло има за цел да ја натопа (импрегнира) хартијата во кабелите и да ги исполни сите шуплини. Така се добива многу квалитетна масло-хартиена изолација. При ова разликуваме:

¹ 1 значи најдобро

- Кабели со густа импрегнација (за напони помали од 50 KV). За оваа цел се користи масло со голема вискозност кое се добива со додаток на згуснувачки материјали.
- Кабели со масло под притисок. Овие се наменети за напони повисоки од 50 KV. Маслото се наоѓа под притисок кој делува преку посебни садови. За ова се користи ретко нафтенско масло.

Бојата на маслото варира од темножолта до безбојна во зависност од хемискиот третман при очистувањето. Бојата зависи од високомолекуларните и ароматичните јагленоводороди и од асфалтно-смолните состојци. Колку повеќе е пречистувано со сулфурна киселина и адсорбенти, толку е посветло. Колку подолго работи во експлоатација, толку е потемно.

Густината е важен показател за квалитетот. Кај нормално очистени, стабилизирани и нови масла густината се движи од 0,87 до 0,89 Mg/m³ при 20°C. Најголема густина имаат ароматичните, потоа нафтенските, а најмала парафинските јагленоводороди. Според тоа, повишената густина може на пример да значи дека маслото содржи повеќе ароматични и нафтенски деривати.

Вискозноста и температурата на втврдувањето се важни, бидејќи маслото е средство за ладење и гасење на лакот. За висококвалитетните масла температурата на втврдување е околу -(55-60)°C. Вискозноста пак, многу зависи од температурата.

Температурата на палење на маслените пареи не смее да е пониска од 135°C.

Топлински капацитет е во границите 1,8-2,45 kJ/kgK, а топлинската проводливост при 20°C -од 0,0015 до 0,00164 W/cmK и истата зависи од густината, притисокот, температурата. Разладната способност се карактеризира со производот од густината, топлотниот капацитет и топлинската проводливост. Таа моќ е 28 пати поголема од онаа на воздухот.

Површинскиот напон се движи од 0,32 до 0,42 N/m. Сnižената вредност на овој параметар е знак за нечистотија и остареност.

Диелектрична пропусливост Ако маслото е суво, ново, $\epsilon_r=2,1$ до 2,2. Тоа е неполарен диелектрик.

Специфична отпорност зависи од степенот на чистотата. Највисока вредност која може да се постигне е до $10^{14} \Omega m$, но обично се движи од 10^{10} до 10^{12} , а кај масла од експлоатација се допуштаат и помали вредности, но не под $10^8 \Omega m$.

Факторот на загубите $tg\delta$ се движи од 0,003 при 20°C и 50Hz, до 0,025 при 70°C. Со оваа вредност се суди за стареењето на маслата.

Електрична цврстина зависи од присуството на гасови, вода и други загадувачи на маслото, и таа е најголема при чисто, суво и дегазирано масло. Доброто масло има 20-25 MV/m, но ако има помалку, со физички третман во специјални машини може да се очисти и да се подобри во смисол на ел. цврстина. Многу добро очистеното од сите физички и хемиски загадувања достига цврстина до 100 MV/m, а во некои случаи и до 180 MV/m.

Синтетички течни диелектрици

Во овие материјали спаѓаат пред сј **хлорираните дифенили** и тие се користат почнувајќи од триесеттите години. Најширока примена имаа пентахлордифенилот. Но се користат и смеси на пентахлордифенил (50%) и тетрахлордифенил (во Русија познат под името “совол”). Слични материјали се познати под трговските имиња **клофен, аскарел, сибанол, пирален**. При собни температури овие материјали се течности. Тие не се запаливи и експлозивни, отпорни се на корона и ел. лак, кои својства биле и главна причина за нивната примена. Се користеле воглавно за изработка на кондензатори на моќност во комбинација со хартиена или друга изолација (голем ϵ_r)

Основен недостаток на овие материјали е нивната отровност. Затоа денес во многу земји, па и кај нас се забранети за употреба. Преостанатите постројки треба да се уништат на многу висока температура на 1500 °C во специјални печки (не со обично согорување на воздух, бидејќи се создаваат уште поотровни гасови), така што сега преставува економско-технички проблем нивното уништување.

Други карактеристични својства: $\epsilon_r=3,7-5,0$; $\rho=10^{10} \Omega m$; $\tan \delta=0,06-0,01$, густина $\gamma=1,4-1,5 \text{ Mg/m}^3$ (Обрни внимание на големата густина! може да послужи за едноставна идентификација).

Силициевите органски течни диелектрици (силиконски масла) се карактеризираат со мал $\tan \delta$, мала хигроскопност, зголемена топлинска постојаност. Познати се под името Силиконски масла. Може да работат на температури до 180 °C. Запаливи се. Точката на втврднување им е ниска (-80 °C). Вискозноста многу малку им се менува со температурата (100 пати помалку одошто кај маслата од минерално потекло).

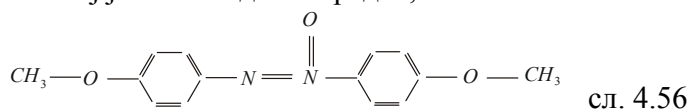
Флуороорганските течности имаат одлични електроизолациони својства. Топлинска постојаност им достигнува до 300°C, хемиски се инертни. Не се многу распространети заради високата цена. Во табелата 4.17 дадени се некои својства.

Табела 4.17

величина	силиконска течност	флуороорганска течност
ϵ_r на 20°C-50Hz	2,5-3,5	1,85-1,90
$\tan \delta$ на 20°C, 50Hz	0,0002-0,0003	0,0005
ρ_v на 20°C, Ωm	$10^{12} - 10^{13}$	$10^{12}-10^{15}$
ел. цврстина, kV/mm	20-25	---

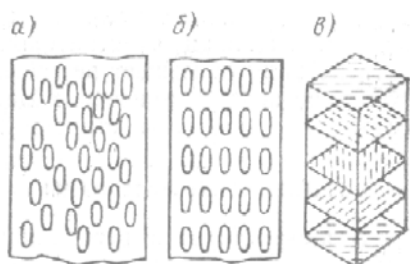
Течни кристали

Тоа се органски соединенија кои по своите механички својства личат на вискозни течности, но при тоа покажуваат анизотропија на своите оптички, електрични и магнетни својства². Течните кристали почнале да се истражуваат уште во 1888 кога австрискиот ботаничар Ф. Рајницер забележал дека бензооксихолестеринот од состојба на тврда (многу вискозна) при 145 °C преминува во матна течност која на температура од 179 °C се осветлува и станува прозрачна. Супстанците со слични промени на својствата во зависност од температурата се нарекуваат **термотропни течни кристали**. Пример на ваква супстанца е параазоксианизол - од кој ја има следната градба, сл. 4.56:



Покрај термотропните, постојат и **лиотропни** течни кристали (зависни од концентрацијата на течнокристалните молекули во погоден растворувач), кои претставуваат раствори на сапуни во вода и некои органски супстанции во дихлоретилен и други поларни растворувачи.

Анизотропијата и поврзаните со тоа својства на течните кристали се резултат на правилниот распоред на молекулите според кој тие се делат на **нематски**, **смектички** и **холестерички**. На сликата 4.57 прикажан е распоредот на молекулите во тие видови течни кристали. Во праксата, течните кристали се користат во вид на тенки слоеви.



сл. 4.57: Шематски приказ на структурата на течните кристали: а) нематски (од грчки збор кој значи концепвидни) кај кои молекулите се наоѓаат паралелни едни на други, но нивните подолжни поместувања се случајни; б) смектички (името доаѓа од грчкиот збор за сапун) кај кои молекулите се подредени во слоеви; в) холестерични, кај кои молекулите се подредени во слоеви, спирално завити еден во однос на друг по вертикалната оска.

Течните кристали се многу осетливи на температурни промени (и до десетти дел од степенот) и при тоа ја менуваат својата боја. Со избор супстанции различни по состав, може да се добијат индикатори во границите на температури од -20 до +250. Тие исто така силно реагираат на промената на јачината на електричното и магнетното поле, при што ги менуваат својата просирност и оптичките својства, а ова може да се користи во техниката. Анизотропијата на електричната проводливост на течните кристали поврзана е со анизотропијата на нивната вискозност, која пак е дефинирана од начинот на распределбата на молекулите. Голем број светлосни ефекти, како на пример, звртувањето на рамнината на поаризацијата на светлината, двојното прекршување на светлината, спектралното менување на апсорпцијата и одбивањето, ги прави интересни за примена во оптиката.

² анизотропија значи разлика во својствата зависно од смерот

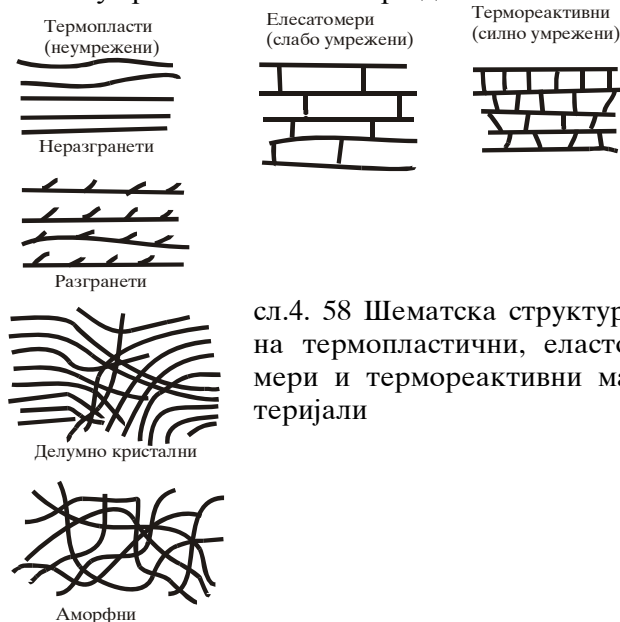
Течните кристали исто така реагираат и на пареи од хемиски материи. При искористувањето на течните кристали во својство на светлосни индикатори, треба да се земе предвид дека ним им треба надворешна светлина, а индикацијата може да зависи од аголот на гледање.

Поголема осетливост кон различни енергетски влијанија, не принудува да водиме сметка и за односот сигнал - шум. Како и кај сите органски материјали, и кај течните кристали постојат процеси на стареење.

4.9.3 Цврсти диелектрици

4.9.3.1 Органски диелектрици

Во електротехниката се користат многу диелектрици со органска природа. Тие може да бидат како природни материјали (на пример памук, восок, асфалт, шелак и други) така и видоизменети природни материјали (хартија, гума и други), но денес пред сè целосно синтетички материјали (т. нар. вештачки смоли). Според градбата и физичките својства разликуваме **термопластични материјали** (познати и под името **термопласти и пластомери**) **еластомери** (гуми) и **термостабилни** (познати и под името **термореактивни, дурупласти**). Сите тие имаат големи молекули, т. н. макромолекули. Термопластичните материјали се составени од долги низовидни молекули кои се помалку или повеќе разгранети. Во нив може да постојат и кристални домени, сл.4.58. Молекулите пак на еластомерите се слабо умрежени со попречни врски, а кај термостабилните материјали постои силна умреженост во сите три димензии



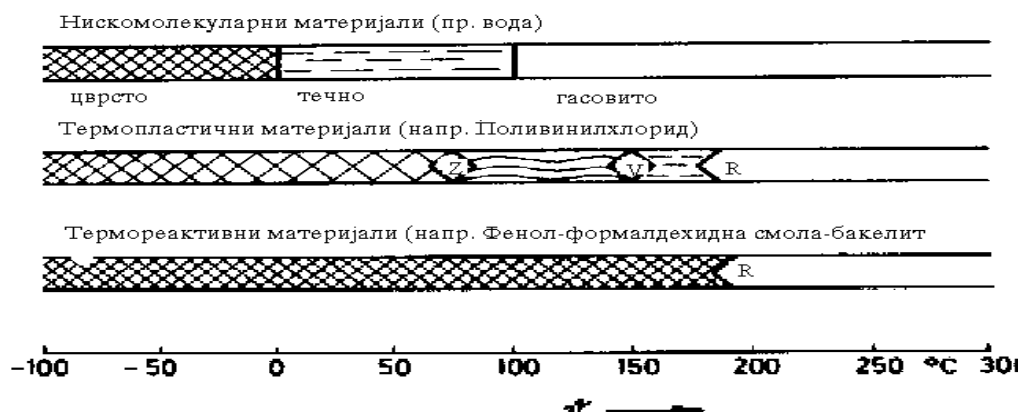
сл.4. 58 Шематска структура на термопластични, еластомери и термореактивни материјали

Многу е битна промената на физичките својства во зависност од температурата кај овие материјали. На сликата 4.59 најгоре имаме состојби на едно нискомолекуларно соединение, напр. водата. Во средниот ред се преставени состојбите на еден термопластичен материјал, а долу - на еден термореактивен материјал. Кај нискомолекуларното соединение при достигнување на точката на топење и испарување имаме веднаш премин од една фаза во друга (цврста, течна и гасовита). Кај термопластите имаме постепено

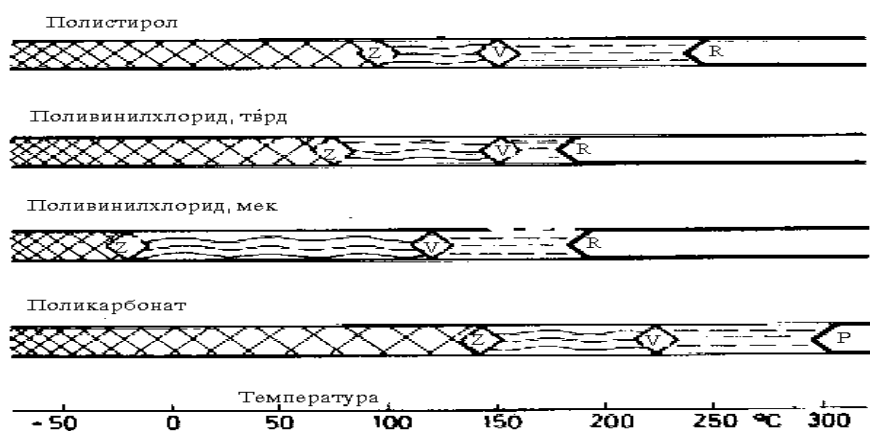
При надминувањето на точката на мрзнење (Z) се доаѓа во едно вискозно-еластично подрачје во кое материјалот е мек, а по достигнувањето на точката на втечнување (V) материјалот е течен. Сега тој може да се оформува на разни начини, со лиење или

шприцање. Притоа кај термопластичните материјали тој процес е реверзибилен и може да се повторува повеќе пати.

При уште повисоки температури, при точката на распаѓање (R) тој хемиски се распаѓа. Кај термостабилните материјали немаме промени на физичките својства сј до точката на распаѓање. Притоа точката на распаѓање кај термореактивните материјали е доста повисока одошто кај термопластичните. Затоа термореактивните материјали мора да ја добијат завршната форма уште додека се синтетизираат, бидејќи покасно не е можна натамошна термичка обработка.



сл. 4.59. Состојби на нискомолекуларни соединенија (вода), термопластични (PVC) и термореактивни материјали (Фенолформалдехидна смола) во зависност од температурата.



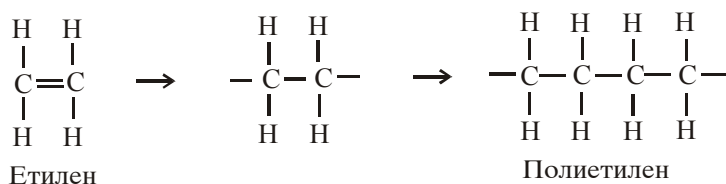
сл. 4.59a. Состојби на различни термопластични материјали во зависност од температурата.

Синтезата на високомолекуларните вештачки материјали станува поаѓајќи од нискомолекуларни соединенија на еден од следните начини:

- со полимеризација,
- со поликондензација,
- со полиадиција.

При **полимеризацијата** настануваат големи молекули на полимерите со сврзување на малите молекули на мономерите. Мономерите имаат двојни врски кои преку побудување

(со катализатори) се активираат и така тие стануваат реактивно способни. На пример полиетиленот настанува со полимеризација на етиленот, сл. 4.60:



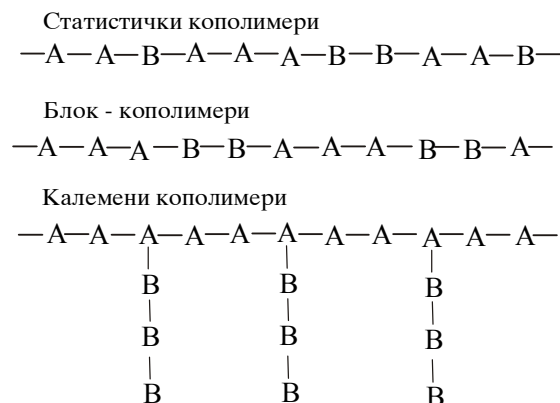
Молекулата на полимерот е изградена од илјадници молекули на мономерот. (Во врска со бројот на молекули на мономерот во молекулата на полимерот се воведува и поимот “степен на полимеризација”). Во самата низа на макромолекулата владеат јаки хемиски врски преку ковалентна врска, а странично кон соседните макромолекули - слаби ван дер Валсови врски, диполни врски или водородни врски. На следната шема дадена е структурата³, својствата и примената на некои полимери, како и нивни трговски имиња.

Полимеризацијата може да настане и со мешавина на два мономера (т. нар. **кополимеризација**), па така се добиваат додатни видови материјали со уште поразлични својства. Според распоредот на составните делови во низата на макромолекулата разликуваме **†статистички°** и **†блок полимери°**. Со додатно воведување на странични низи настануваат **†калемени°** кополимери, според сл.4.61

Табела 4.18

Полимеризациски производи				
<div style="text-align: center;"> $\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \\ \quad \\ -\text{C} - \text{C}- \\ \quad \\ \text{H} \quad \text{H} \end{array}$ </div> <p>Полиетилен</p> <p>PE</p>	<div style="text-align: center;"> $\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \\ \quad \\ -\text{C} - \text{C}- \\ \quad \\ \text{H} \quad \text{C}_6\text{H}_5 \end{array}$ </div> <p>Полистирол</p> <p>PS</p>	<div style="text-align: center;"> $\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \\ \quad \\ -\text{C} - \text{C}- \\ \quad \\ \text{H} \quad \text{Cl} \end{array}$ </div> <p>Поливинилхлорид</p> <p>PVC</p>	<div style="text-align: center;"> $\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{CH}_3 \\ \quad \\ -\text{C} - \text{C}- \\ \quad \\ \text{H} \quad \text{CH}_3 \end{array}$ </div> <p>Полиизобутилен</p> <p>PIB</p>	<div style="text-align: center;"> $\begin{array}{c} \text{F} \quad \text{F} \\ \quad \\ -\text{C} - \text{C}- \\ \quad \\ \text{F} \quad \text{F} \end{array}$ </div> <p>Политетрафлуоретилен</p> <p>PTFE</p>
својства и примена				
Добри електрични својства и хемиска стабилност	одлични електрични и добри механички својства	добри изолациони својства, но поголема диел пропусливост одошто PE или PS, пларен, отпорен на киселини и алкалии	добри ел. својства и отпорност на хемикалии, отпорност на стареење	многу добри ел. својства, висока отпорност на хемикалии, топлинска отпорност
кабелска изолација, маса за шприцање, фолии, заштита од корозија	изолација за високи фреквенции, кабели и проводници, маса за шприцање, за vlf техника, диелектрик за кондензатори, пенлив материјал	плочи, цевки, пасти, кабелска и жижена изолација, маси за пресување	средство за затнување на масло, изолација на кабели, заптивки, завршетоци	цевки, фолии, изолација на жици, излеани делови
трговски имиња				
Луполен, хостален	тролитул, стирофлекс, стиропор	Игелит, хосталит, вестолит, винофлекс, миполам	опанол В	Тефлон

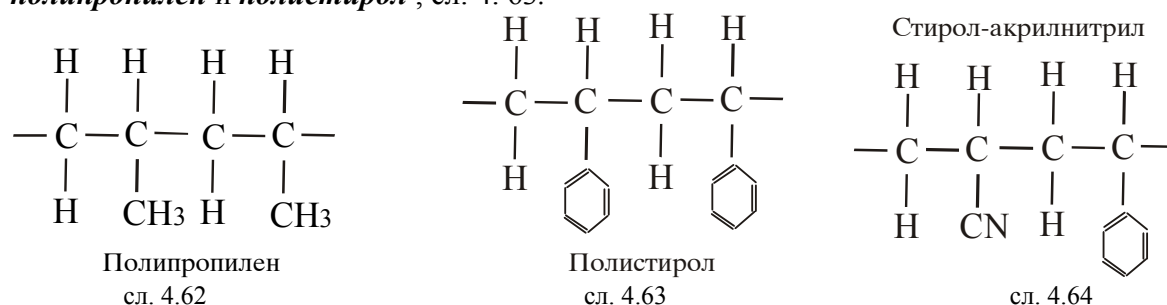
³ Прстенот кај формулата за стиролот претставува бензолов прстен



Сл. 4.61: Видови кополимеризација

Кај **Полиетиленот** (PE) разликуваме високопритисен полиетилен, кој се синтетизира при околу 200°C , при притисок од 1500 бари, и нископритисен полиетилен кој се синтетизира со присуство на катализатори при температура од $50\text{--}70^{\circ}\text{C}$. Високопритисниот полиетилен има поразгранета молекула и има помала густина од нископритисниот. Тврдоста на мнозинството PE видови се движи меѓу 200 и 600 НВ, нивната густина се колеба меѓу 0,92 и 0,96; работната температура е од $70\text{--}80^{\circ}\text{C}$. Полиетиленот може по хемиски пат или по пат на озрачување со електрони да се \dagger умрежи $^{\circ}$ (во англиската литература познат како XLP полиетилен или \dagger Cross linked polyethylen $^{\circ}$) Ваквиот полиетилен има подобри својства и денес е многу ценет како изолација за кабели дури и за највисоки напони (до 400 kV) и неговата работна температура е околу 110°C .

Подобрување на механичките својства може да се постигне ако во јагленоводородната макромолекула еден дел од H атомите се заменат со јагленоводородни групи, како на долните два примери. Така се добиваат додатни два многу ценети материјали, **полипропилен** и **полистирол**, сл. 4. 63.



Полипропиленот (PP) во однос на полиетиленот има поголема тврдост (350 до 400 НВ) при помала густина (0,9). Полистиролот (PS) се одликува има многу добри електрични својства: Голем изолационен отпор ($\rho=10^{18}\Omega\text{cm}$),многу мали диелектрични загуби ($\text{tg}\delta<10^{-4}$). Но максималната работна температура изнесува само околу 70°C . Механичките својства може битно да се подобрат а работната температура да се подигне на околу 85°C ако се изврши кополимеризација со акрилнитрил (**Стирол-акрилнитрил**, SAN), сл. 4.64. Повишување на отпорноста на удари се постига со додатна кополимеризација со Бутадиен ($\text{CH}_2=\text{CH}-\text{CH}=\text{CH}_2$) (ова е познатата \dagger **ABS $^{\circ}$ пластика** се користи доста за куќишта на апарати за домаќинство, напр. миксери, мелници, бормашини).

Кај **поливинилхлоридот** (PVC), таб. 4.18, кој не е чист јагленоводород (содржи и хлор) и кој е поларен материјал, се јавуваат од низа кон низа силни поларни врски. Релативната диелектрична константа за разлика од досега спомнатите е поголема и фреквентно зависна ($\epsilon_r=4$ при 50 Hz и $\epsilon_r=3$ при 1 MHz); Факторот на загубите при ова фреквентно подрачје изнесува околу $2 \cdot 10^{-2}$. Поливинилхлоридот се користи со додаток на омекнувачи кои битно ги менуваат електричните и механичките својства (Примена: за нисконапонски кабели, до 100 V).

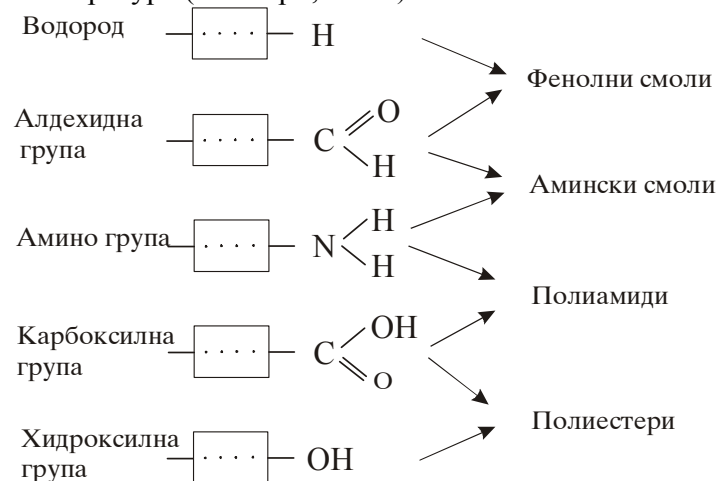
Полиизобутиленот (PIB), таб. 4.18, се користи во кабелската техника во разни варијанти.

Политетрафлуоретилен (PTFE), таб. 4.18, е топлински многу попостојан од другите јагленоводородни полимеризати (подрачје на примена до 300°C). Специфичниот отпор му е многу голем - до $10^{24} \Omega \text{cm}$. Многу е отпорен на хемиски влијанија. Познат е под името **“тефлон”**

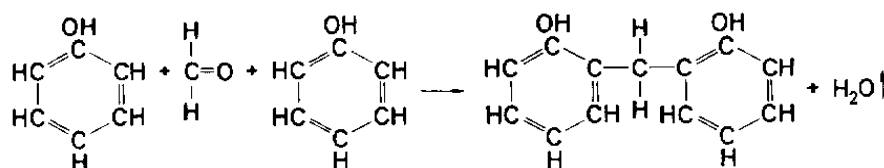
Се користат исто така и разгранети флуоро-јагленоводородни полимеризати (на пример **хексафлуор-пропилен**) и Хлор-флуорјагленоводородни соединенија (на пример, **полихлор-трифлуор-етилен** PCTFE).

При **поликондензацијата** настанува хемиска реакција меѓу два, обично различни мономерии кои имаат некоја особено реактивна крајна група. Притоа настанува издвојување на споредни производи (на пример H_2O , HCl). Овие споредни продукти треба да се испарат и отстранат од реакционата смеша или да се врзат со посебни додадени материјали. Како реакционоспособни крајни групи од органски карактер служат водородни атоми, алдехидни групи, аминокрупи, карбоксилни групи или хидроксилни групи. Така се добиваат разни поликондензати разгледани подолу.

Фенолните смоли, сл. 4. 66, настануваат со просторно умрежување на Фенол ($\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}$) со помошта на формалдехид (H_2CO) при делување на притисок и повишена температура (150 бари, 150°C)



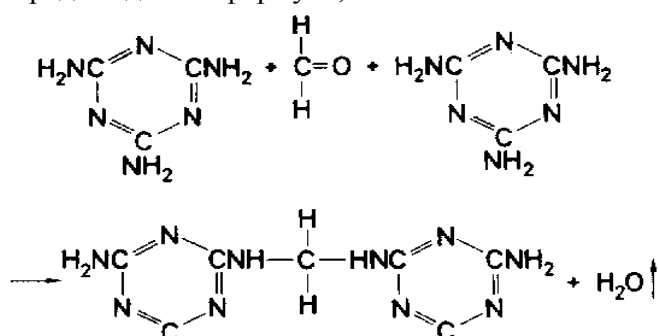
Слика: 4.65: Поликондензациони процеси



Сл.4.66: Добивање на фенолна смола со поликондензација на фенол и формалдехид

Откако настане умрежувањето, повеќе не е можно формирање на смолата Ова е одлика на сите термостабилни материјали.

На сличен начин се синтетизираат **Амионо-смолите**, преку умрежување на материи кои содржат аминокрупи и формалдехид. На пример, **меламинската смола** се синтетизира според следената формула, сл. 4.67:



Сл. 4.67: Добивање на меламинска смола со поликондензација

Полиамидите настануваат со реакција на диамини со дикарбонски киселини. Тие се термопластични материјали. Ознаката на полиамидите се создава според бројот на јагленови атоми на излезните супстанции. Полиамидите се одликуваат со необично голема вискозност, отпорност на кинење и отпорност на виткање и со релативно остро дефинирана точка на топење (за горниот пример е тоа 220°C); но над 100 °C тие се осетливи на кислород. Релативно слабата врска од низа до низа се остварува со водородни врски Пример:

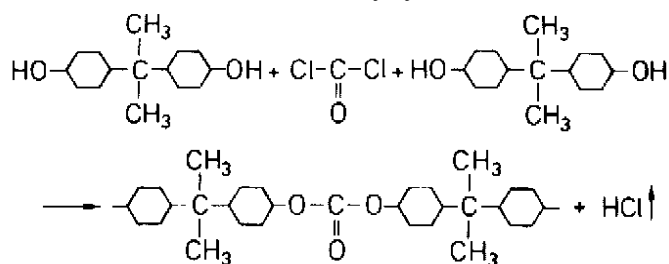


Сл. 4. 68: Добивање на полиамид

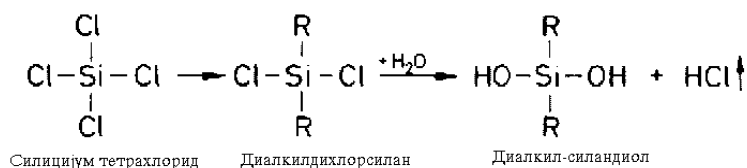
Со комбинација на дикарбонски киселини со двовалентни алкохоли настануваат **полестерите**. Како пример да го спомнеме Полиетилентерафталатот.

Како натамошно “врзивно средство” за поликондензацијата се користи фосгенот (Cl_2CO). Тој се користи за добивање на **поликарбонати** (PC), сл. 4.69, кои се одликуваат со добра термпературна постојаност.

Како појдовна суровина за добивање на **силиконите**, сл.4.70, служи силицијум-тетрахлорид. Некои од хлорните атоми се заменуваат со други органски радикали (на пример метил групи) На крајот настанува хидролиза, при што преостанатите хлорни атоми се заменуваат со OH групи. Според видот на поликондензацијата (степенот на умреженост, бројот на реактивно-способните OH групи) настануваат разни силиконски материјали: силиконски масла, масти, каучук или смоли:



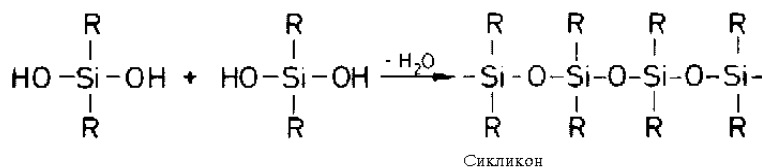
Сл. 4.69: Поликарбонати



Силицијум тетраклорид

Диалкилдихлорсилан

Диалкил-силандиол

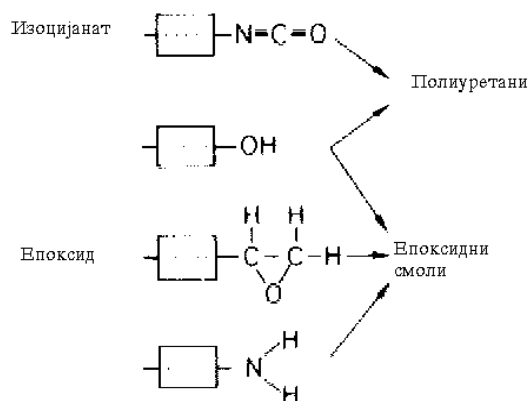


Силикон

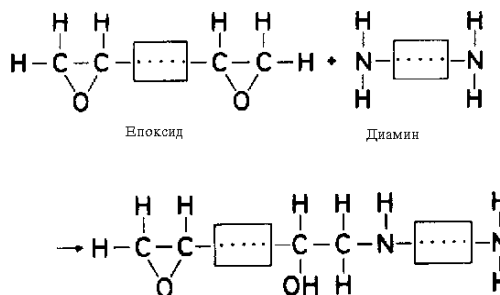
Сл. 4.70: Силикони

Битна одлика на силиконското масло е вискозност која е независна од температурата (од -50°C до 150°C). Дозволената трајна температура на силиконската смола изнесува околу 170°C . Освен тоа, силиконите ја одбиваат водата, не се натапуваат (многу важна позитивна одлика на диелектриците).

Полиадицијата се одликува со хемиска реакција на преместување на H атомите без да се одделуваат споредни продукти. Како крајни групи способни за реакција овде служат особено изоцијанатските групи и епоксидната група.



Сл. 4.71: Полиадисија



Сл. 4.72: Епоксид

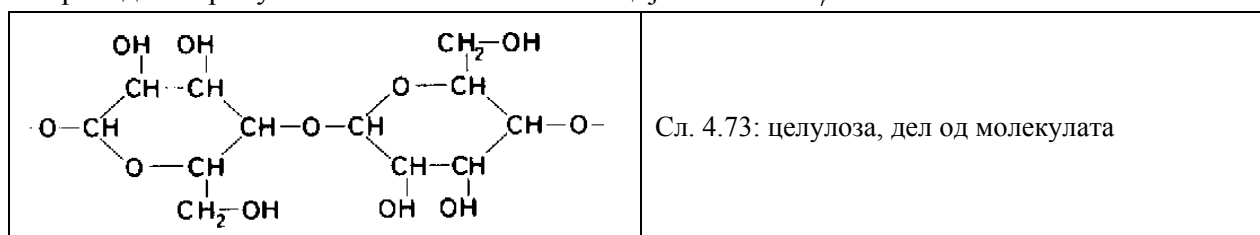
Со комбинација на ди - или три изоцијанати со двовалентни алкохоли (диоли) настануваат **полиуретаните**. Умрежувањето на **епоксидите**, сл. 4.72, настанува со користење на амини, односно повеќевалентни алкохоли.

Полиадисионите реакции може да се одвиваат и на собна температура, особено ако е присутен катализатор (ладно оцврстување) На пример, кај полиуретаните.

Различните примери на примена за производите на поликондензацијата и полиадисијата се шематски дадени во табелата 4.19. Смолите за залевање обично се прават со комбинација на органска смола и додаток на неоргански изолационен материјал како полнител (на пример кварцно брашно).

Особено евтин изолационен материјал е **хартијата**. Основна состојка на хартијата е **целулозата**, сл. 4.73. Хемиската формула е $(\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5)_n$. Низата се состои од меѓусебно поврзани глукозни прстени со кислородни мостови.

Заради големиот број OH групи целулозата е поларна материја. Коефициентот на релативната диелектрична пропусливост е $\epsilon_r = 5,6$. Факторот на загубите $\text{tg} \delta$ се движи од $5 \cdot 10^{-3}$ при 1 kHz до $5 \cdot 10^{-2}$ при 1 MHz. Кога се користи како изолационен материјал во кондензаторите и во кабелите хартијата мора прво добро да се исуши и да се импрегнира со некое импрегнациско средство (лак, минерално или силиконско масло) Така коефициентот на рел. диел пропусливост на готовата изолација опаѓа на $\epsilon_r = 4$.



Преку третирање со киселини од целулозата може да се добијат други деривати, како на пример целулозенитрат (целулоид), целулозенацетат (Ацетилцелулоза, †Триафол°), целулозен пропионат.

Табела 4.19: Најважни продукти на поликондензацијата и полиадицијата

Вид	Поликондензати				Полиадикти
	Фенолпласти	Аминопласти	Полиамиди	Силикони	Полиетерестер
Добивање – појдовни материјали	Фенол(Крезол) + формалдехид	Меламин + формалдехид	хексаметилендиамин+а-дипинска киселина	силицијумтетрахлорид	епихлорхидрин+ацетон+фенол
добивање – постапка	Оцврстување со притисок и температура (базен катализатор)	оцврстување со кондензација	6,6 полиамид	Силан силандиол	кондензација (се ослободува HCl) Епоксидна смола (течна) + анхидриди на двобазни киселини или амини оцврстување на топло или ладно преку полиадиција
својства и примена	Резолна смола (Термореактивна) Маси за пресување, хартпапир, покривки, лакови	Меламинска смола (Термореактивна) Маси за пресување, покривки, лакови	добри механички својства (отпорност на кинење), ел. својства послаби. хигроскопност. Отпорност на ползешти струи Влакна, фолии, куќишта, маса за шприцање, лежишта, запчаници	1. Силиконски масла - течности 2. Силиконски масти - заштита од влага, масти за лежишта 3. Силиконска гума, заптивки, кабели 4. Силиконска смола Лакови, лепила, покривки	Смоли за лепење. маси за заливање, лепила
трговски имиња	Бакелит, Резинол, Пертинакс, Тексолит	Ултрапас, Мелопас, Мапренал	најлон (влакна) супронил (фолија) Ултрамид А	Силикон, Силастик	Аралдит (Швајцарија) Деврон, Епон (САД) Епикот (Англија) Скурол (Франција)

За подобрување на механичките својства, својства, органските изолациони материјали често се применуваат во формата позната како композитни материјали. Најважните комбинации на материјали се следните, таб. 4.20:

Табела 4.20: Композитни материјали

	фенолна смола	меламинска смола	епоксидна смола	силиконска смола	полиестерска смола
хартија	x	x	X	x	x
памук		x			
стакло			X	x	x

Природни органски диелектрици (Природни смоли)

Калафонијум е најраспространета од сите природни смоли, а се добива со дестилација на течните делови од смолите на зимзелени дрва (бор). За изолациони цели додатно се очистува. Нерастворлив е во вода, добро се раствора во алкохол, бензин, бензол, терпентин^{*)} и во минерални и билни масла. Поларен материјал. Губитоците зависат од

^{*)} ПОЈАСНУВАЊА:

Терпентин е смола која ја лачат четинарски дрвја. Од него се добива терпентинско масло и калафонијум. Се користи во индустријата за бои и лакови како растворувач. Запалив е. Има карактеристичен мирис.

температурата. На обична температура е крпа смола, а се размекнува на 50-70°C. Други својства: $E_{pr} = 10-15 \text{ MV/m}$. Се користи растворен во нафтни масла за импрегнациски, заливни маси и компаунди во кабелската индустрија.

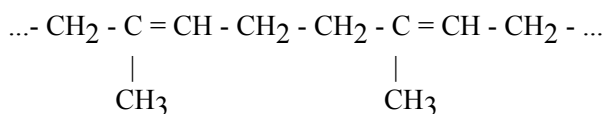
Битумени се аморфни материјали кои претставуваат смеса од јагленоводороди. Тие се црни, на ниски температури се крти. Се раствораат во јагленоводороди (бензол, толуол, бензин). Не се отпорни на масла. Не се раствораат во вода и не се хигроскопни, а во подебел слој се водонепропусливи. Термопластични се, густината им е 1 Mg/m^3 . Ги има добиени со дестилацијата на нафтата, а исто така и природни, ископани од земјата. Во зависност од составот и потеклото, температурата на омекнувањето им варира од 50°C до 125, па и до 200°C. Битумените се слабо поларни супстанции. Други својства: $\epsilon_r = 2,5-3,0$; $\text{tg}\delta=0,01$, $E_{pr} = 10-15 \text{ MV/m}$, $\rho=10^{13}-10^{14} \Omega \text{ m}$. Битумените се користат за изработка на лакови и компаунди за залевање.

Восоци се материјали со мала механичка цврстина, лесно се палат и горат, не се хигроскопни. Имаат сложена хемиска природа. Може да се неполярни (парафин и церезин) или слабо поаларни (пчелин восок, билни восоци) или поларни (синтетичките восоци). Примената им е за импрегнација и заливање. При стврднувањето доаѓа до собирање и до 20%. Се применуваат кај нисконапонски апарати и уреди и за ниски температури. Денес не се многу значајни.

*Парафино*т е восок кој се добива при дестилацијата на нафтата;

Церезин е восок кој се добива од земни фосилни остатоци.

Каучук се добива од “латекс” (млечен сок) на посебен вид тропски дрвја. Латексот е колоиден раствор на каучукот во вода. Откако каучукот се одвои од латексот, се добива суров каучук. Суровиот каучук не е погоден за непосредна употреба, бидејќи веќе на 50°C е мек и леплив, а при ниски температури е кршлив. По хемиска природа природниот каучук е полимерен јагленоводород $(\text{C}_5\text{H}_8)_n$ кој се карактеризира со двојни врски, сл. 4.74:



Сл. 4.74: Природен каучук

Каучукот лесно се раствора во јагленоводороди и сулфуроводороди. Големата растегливост на каучукот се толкува со просторната цик-цак форма на неговите долги молекули, кои под дејство на механичките сили се исправаат.

Толуол (Метил бензол, фенол метан) $\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_3$, е течност со карактеристичен м ирис. Не се раствора во вода, а се раствора во бензин, етанол, етер. Се добива од катранот на камениот јаглен. Запалив е. Се користи како растворувач во индустријата за бои и лакови, за експлозиви, мириси, во фармацевтската индустрија.

Чистиот каучук нема погодни својства за директна примена во електротехниката. Затоа се врши т.н. "вулканизација", што преставува топлотна обработка на 140-150 °C, со додавање на сулфур. Притоа станува укрутување на каучукот бидејќи сулфурот се поврзува хемиски. Процесот е сличен со отврднувањето на термостабилните смоли. Со овој процес се подобрува топлинската постојаност при ниски и високи температури, се подобрува механичката цврстина и отпорноста кон растворувачите. Ако сулфурот е присутен од 1-5%, се добива мека гума со голема истегливост и еластичност. Ако се додаде 30-35% сулфур, се добива тврда гума - ебонит, која сепак не е кршлива. Покрај сулфурот, на гумата се додаваат и други материјали, како омекнувачи, полнители, пигменти, катализатори, средства за заштита од стареење и други.

Сепак, гумата има слаба топлинска постојаност (до 50-60°C) и склоност кон стареење, при што пука и станува крта. Не е отпорна на масла, бензин, бензол, и во нив бубри. Стареењето се забрзува и со делување на светлината, ултравиолетовите зраци, озонот. Затоа, не е погодна како изолација за високи напони.

Додека електричните својства на чистиот каучук се добри (слабо поларен материјал) со вулканизација тие се влошуваат. Се зголемуваат загубите. Тие кај електротехнички марки се движат од 0,02-0,1 а $E_{pr} = 12 - 35 \text{ MV/m}$, $\varepsilon_r = 2,5 - 5$, $\rho = 10^{10}-10^{16} \Omega\text{m}$. Гумата во електротехниката се користи за повеќе цели: Меката се користи како кабелски изолационен материјал, како за самите жили, така и за надворешните плаштови. Со додавање на саѓи се добива полупроводна гума чиј отпор варира од $1 - 10^{12} \Omega\text{m}$ и како таква се користи за одведување на статичкиот електрицитет во експлозивно опасни индустрии.

Синтетичките каучуци ја имаат заменето во голема мерка гумата, и во некои својства многу ја надминуваат (поотпорни се на стареење, растворувачи, светлост, абеење, а ел. својства се скори исти).

Видови диелектрици според примената во јакострујната електротехнологија, без оглед на видот и потеклото

Електроизолационите лакови и компаунди имаат големо значење во електроизолационата техника. Во процесот на изработката на изолацијата се прават во течен вид, но во готовата изолација се наоѓаат во цврста состојба. Според тоа, тие се материјали кои отврднуваат.

Лаковите се колоидни раствори на смоли, битумени, сушиви масла (ова е тн. лакова основа) во испарливи растворувачи. При сушењето на лакот растворувачот испарува, а лаковата основа оцврстува образувајќи тенок лаков покривач. Според примената, постојат три групи лакови: импрегнациони, покривни, лепливи.

Импрегнациските лакови служат за импрегнирање на порозна, во прв ред влакнеста изолација (хартија, картон, ткаенина, изолацијата на намотките на ел. машини и апарати). После импрегнацијата порите во изолацијата се пополнети не со воздух, туку со сушив лак кој има поголема ел. цврстина и топлинска проводливост од воздухот. Како резултат на импрегнацијата, се зголемува топлинската проводливост (важно е заради одведувањето на

топлината на загубите), се намалува хигроскопноста, се подобруваат механичките својства на изолацијата. После импрегнацијата, органската влакнеста изолација е во послаба мерка подвргната на влијанието на воздухот, и затоа нејзината топлинска отпорност се зголемува (на пример, целулозните изолациони материјали после импрегнацијата преминуваат од класата Y во класата A).

Покривните лакови служат за образување на механички цврста, глатка и блескава и водонепропусна покривка на површината на цврстата изолација (често пати на површината на претходно импрегнирана порозна изолација. Таквиот слој ја зголемува отпорноста против површинско ел. празнење и го зголемува површинскиот електричен отпор на изолацијата, ја штити изолацијата од влага, растворувачи и хемиски активни материјали, го подобрува изгледот и допринесува површината да се одржи почиста. Некои видови лакови наречени емајл - лакови се нанесуваат не на цврстата изолација, туку на метал - проводник и самите имаат својство на изолациона покривка. Такви се на пример лаковите за изолирање на бакарни жици (лак жица) која се користи за изработка на ел. машини, лаковите за изолирање на магнетните лимови на ел. машини меѓу себе. Во оваа група спаѓаат и пигментирани лакови. Тоа се лакови со додаток на пигменти - прашоци од неорганско потекло, обично метални оксиди. Со тоа се добиваат одредени својства, на пример естетски, топлински. Ако пигментот е проводлив (напр. саѓи), лакот има полупроводен карактер и има мала површинска отпорност $\rho_s = 10^2 - 10^{10} \Omega$. Вакви лакови се користат кај изолацијата на ел. машини за висок напон (генератори, мотори) за регулирање на сликата на ел. поле на излезот на намотката од каналите на железото.

Лепливи лакови се применуваат за взаимно слепување на цврсти електроизолациони материјали (напр. слепување на ливчињата лискун при добивање на миканитот) или за прилепување кон метал. Од овие лакови се бара високи ел. изолациони својства, добра адхезија кон слепените материјали. Горната поделба на лаковите не мора да биде сосема строга. На пример, при производството на пертинакс и текстолит, лакот кој ги импрегнира слоевите хартија или платно, истовремено и ги слепува.

Според режимот на сушење постојат лакови кои се печат и за сушење им треба повишена температура (над 70°C) и лакови за воздушно сушење, кои се сушат на собна температура. Режимот на сушење е одреден и од видот на основата, и од видот на растворувачот. Ако основата на лакот е термореактивна, за сушење на истиот потребна е повишена температура - печење. Од друга страна, лакови врз термопластична база не треба да се печат. Ако лаковите имаат растворувачи кои вријат на повисоки температури (на пример керозин) им треба сушење во печка, независно од видот на основата на лакот. Лаковите со растворувач кој лесно испарува на нормална температура (на пример бензин, ацетон) може да се сушат на нормална температура, ако основата не бара запечување на повисока температура. По правило, лаковите со печење даваат поквалитетни слоеви.

Компаунди Од лаковите се разликуваат според составот на растворувачот. Тие се состојат од различни смоли, восоци или масла. Ако компаундот во почетната состојба е тврд, пред употребата треба да се загрее до неопходната температура, со цел да се добие маса со ниска вискозност. Според примената, компаундите се делат на две основни групи: Импрегнациски компаунди, чија намена е аналогна на импрегнациските лакови. Компаундите за заливање пак, служат за пополнување на релативно поголеми шуплини меѓу разни детали на ел. машини и апарати, а исто така и за добивање на релативно дебели

покривки на разни ел. технички детали, склопови блокови. Примената на овие материјали е со цел да се заштити изолацијата од навлажување и од делувањето на хемиски активни материјали, за зголемување на пробивниот напон, олеснување на одводот на топлината и слично. Еден од првите материјали кои се употребувале како компаунд е *битуменот* - асфалтот. До скоро се применуваше во изолацијата на статорските намотки на ел. машини. Во кабелската индустрија познати се кабелски компаунди кои може да бидат: а)-импрегнациски и служат за импрегнација на хартиената изолација во енергетските кабли. Тие се прават од нафтно масло со додаток на калофонијум или синтетички смоли; б)-заливни компаунди, кои се применуваат за заливање на завршници (глави), спојници (муфови) и разгранување на каблите. Тие се состојат од битумени или од нафтно масло и калофонијум.

Додека претходниве компаунди се термопластични, во последно време се позастапени термореактивни компаунди кои се со поголема топлинска отпорност, особено за изолација на намотките на ел. машини. Но, поправката во ваков случај е обично отежната. Во последно време се застапени доста компаунди врз база на епоксидни смоли со додаток на полнители, пластификатори и други додатоци, особено во кабелската монтажа (завршници, спојници) бидејќи се поедноставни и посигурни за примена.

Влакнести материјали Во електротехниката се распространети влакнести материјали, т.е. материјали кои предимно или целосно се составени од долги честички - влакна. Кај текстилните материјали тоа е најочигледно. Кај другите влакнести материјали како што се дрво, хартија, картон, влакнестата структура може да се забележи со лупа или микроскоп.

Предностите на влакнестите материјали се ниската цена, доволно добрата механичка цврстина, гипкоста, податноста при примената. Недостатоците се ниската ел. цврстина, слабата топлинска проводливост, (присуство на воздушни шуплини меѓу влакната), хигроскопност поголема одошто во масивен материјал со ист хемиски состав (поголема површина). Меѓутоа, својствата на влакнестите материјали може да се подобрат со импрегнација и тие обично се користат како импрегнирани.

Поголемиот дел од влакнестите материјали се од органско потекло. Кон нив спаѓаат материјали од растително потекло (дрво, памучно влакно, хартија, и други слични материјали во кои доминира целулозата) или од животинско потекло (свила, волна) или вештачки влакна, кои се добиваат со преработка на природни влакнести суровини (на пример целулозата) и, особено во последно време, низа разни синтетички влакна, добиени од синтетички полимери.

Целулозните влакнести материјали имаат релативно поголема хигроскопност, кое е поврзано со нивната хемиска природа (целулозата содржи голем број поларни хидроксилни групи) и самата структура на влакното, а исто така и слаба топлинска постојаност (класа Y во неимпрегнирана состојба, а класа A во импрегнирана состојба). Некои вештачки, а особено синтетички влакнести материјали имаат помала хигроскопност, и поголема топлинска постојаност. Ако е потребна особено висока топлинска постојаност, која органските материјали ја немаат, се применуваат неоргански влакнести материјали, врз база на стаклени влакна и азбест.

Свитливи фолии Се посебен вид на производи од органски материјали, и тоа се танки (најтанките се и помалку од 0,02 mm) провидни фолии кои доаѓаат во ролни. Тие имаат висока механичка и електрична цврстина и се користат за изолација на ел. машини, кабели, проводници за намотување, како диелектрик во кондензатори и сл.

Свитливите фолии се изработуваат од линиски полимери со висока молекуларна маса - т.е. со долги молекули според разни технолошки постапки. Да споменеме некои од нив. Фолиите од *естери на целулозата* се доста застапени во техниката и секојдневниот живот - *фото ленти (ацетил целулоза, целофан*. За електротехнички цели се важни фолии добиени од *целулозен триацетат* ($\epsilon_r=3,6$, $\text{tg}\delta=0,007$, хигроскопност 2-3%) со допуштена температура 90-100°C. Се користи за изолација на секции од намотки на ел. машини за низок напон, за изолирање на намотни проводници. Ако се залепат на хартија или картон, се добива композитен материјал со подобрени својства; повисока ел. цврстина (присуство на фолијата) и поголема механичка цврстина.

Фолиите од *полиетилен-терафталат* (трговско име: мајлар) се добиваат во дебелини од 0,04 до 0,35 mm. Имаат добри ел. својства, а исто така и механички. Отпорни се на хемиски влијанија (корона). Својства: Цврстина на истегнување 120-180 МПа, $\rho=10^{14}\Omega\text{m}$, $\epsilon_r=3,0$, $\text{tg}\delta=0,007$ (50Hz), работна температура -60 до +150°C.

Фолии од *полиамиди* имаат цврстина до 150 МПа, $E_{pr}=60-90\text{MV/m}$ (0,1mm). Меѓу најотпорните во топлинска смисла се фолиите од *полиимиди* (работна температура 200-240°C).

Меѓу неполарните фолии важни се *полиетиленови, полипропиленови, полистиролни и тефлонови*. За изработка на кондензатори се користат разни фолии (напр. полистирол) кои имаат висок ρ , мал $\text{tg}\delta$ (за кондензатори до $5\cdot 10^{-4}$), мали струи на апсорпција, стабилност на капацитетот.

Слоести пластични материјали многу се користат во својство на конструктивен и електроизолационен материјал. Тие се состојат од смола и некој полнител во вид на листовиден влакнест материјал. Да спомнеме некои од нив.

Пертинакс се добива со топло пресување на листови хартија и бакелит. Притоа настанува импрегнирање на хартијата и слепување на слоевите. Во овој процес од смолата А бакелитот преоѓа во смола С - нерастворлива состојба при температура од 160-165°C. Процесот се врши во специјални хидраулични преси. Пертинаксот се добива во разни дебелини во вид на плочи, цевки. Се применува за разводни табли за низок напон, прегради во апарати и инсталации за низок напон, при градба на трансформаторите за конструктивни и изолациони делови кои ќе бидат потопени во масло. Не е отпорен на влијанието на ел. лак. Под дејство на ел. лак настануваат јагленисани патеки “трекинг”. Подобри му се изолационите својства нормално на слоевите, значи анизотропен е. Вакви се сите слоести пластики. Својства: $\epsilon_r=5-6$, $E_{pr}=20-40\text{MV/m}$, нормално на слоевите.

Ако наместо хартија се користи текстилно памучно платно, се добива *текстолит*. Овој материјал е поскап, но поотпорен е на механички сили и е поживав. Од него се прават разни конструктивни делови, дури и запчаници.

Со помошта на фенол-формалдехидните смоли и други полнители (пр. струготини од дрво, азбест и сл.) се прават и други слични слоести изолациони материјали со разни трговски имиња.

Стаклолит е слоест материјал кој се добива од стаклено платно и епоксидни смоли. Има подобри електрични и механички својства од пертинаксот. Се користи како конструктивен и изолационен материјал и при повисоки напони. Познат е и под името *витропласт*.

Каширани плочи За изработка на печатени кола за слабострујната техника се користат горе наведените (но и други) видови слоести пластики (плочи) но со налепена од едната страна (или обете страни) фолија од електролитички бакар дебела 0,035 - 0,05 mm. Печатеното коло потоа се добива со фото постапка и со нагризување на бакарната фолија. Технологијата за производство на слоести пластики врз база на фенол-формалдехидни, епоксидни и други смоли има долга традиција во фабриката “Еуроинвест” во Прилеп. Таму работи и погон за изработка на печатени кола.

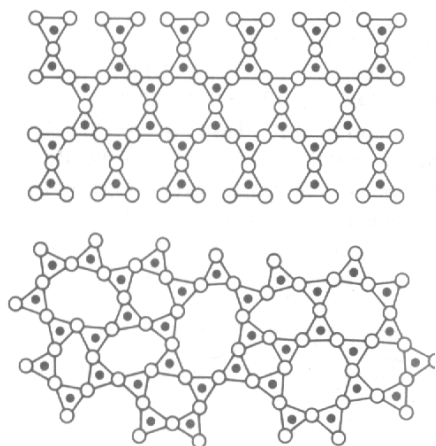
4.9.3.2 Неогрански диелектрици

Стакла

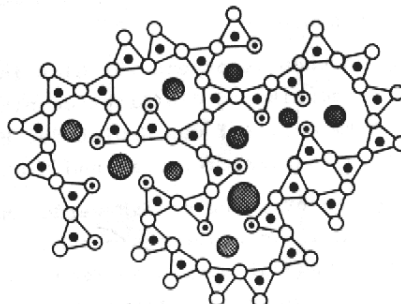
Стаклата се неогрански квазиаморфни материјали. Тие преставуваат сложени системи составени од разни оксиди. Покрај стаклообразните оксиди (т.е. таквите, кои и сами во чист вид може да образуваат стакло, какви што се SiO_2 , B_2O_3), во стаклата влегуваат и други оксиди: -алкални Na_2O , K_2O , земно-алкални, CaO , BaO , а исто така и некои други, PbO , Al_2O_3 . Но, мнозинството стакла го содржи оксидот SiO_2 . Таквите стакла, чија основа е овој оксид, ги викаме силикатни.

Структура на стаклото. Структурата на стаклото е во вид на несредена мрежа од полиедри. Основата за градбата на полиедрите ја чинат малите но повекевалентни (многукратно наелектризирани) јони како што се B^{3+} , Si^{4+} , P^{5+} и атомите на кислородот. Полиедрите кои ги гради Силицијумот се всушност тетраедри, бидејќи тој е четиривалентен. Во стопена состојба тетраедрите се сосема несредени. При бавно ладење се гради кристалната структура на кварцот (сл. 4.75) Тоа е чист кристален кварц. Ако ладењето е нагло, масатата се здрувува во несредена состојба. Тоа е кварцно стакло. Но и во обете шеми секој кислороден јон сврзува 2 соседни тетраедри и на тој начин кислородот се јавува како “градител на мостови”.

Техничките стакла содржат и метални јони кои се вградуваат во мрежата, сл.4.76. Тие јони може да се наречат “јони кои ја видоизменуваат мрежата” За да ја заситат својата валентност, на овие јони им требаат соодветен број кислородни јони, кои на тој начин нема повеќе да имаат функција на врзување на два тетраедри, туку ќе бидат сврзани само со еден тетраедар, и со тоа ја губат улогата на градители на мостови, и станува јон кој “лебди”. Од технолошки и електрични причини, малите алкални јони добиваат посебна улога. Ова пред се се однесува на малиот Na јон. Тој е лесно подвижен низ решетката и со тоа предизвикува поголема проводливост и поголеми диелектрични загуби. Од технолошки причини не може да се избегне присуството на алкални јони. Нивната подвижност сепак може да се ограничи, со вградување на поголеми јони, на пример од земно - алкални метали.



Сл. 4.75 горе: Структура на кварцен кристал; долу: Структура на кварцно стакло; празно кругче - кислороден јон, црно кругче - Силицијум.



сл. 4.76. Структура на силикатно стакло
 ● јон кој ја “гради” мрежата; ○ кислород, градител на “мостови”
 ⊙ кислороден јон кој “лебди”; ⊕ јон кој ја “менува” мрежата.

Својства: Густината се движи од 2-8,1 Mg/m³. Обичните силикатни имаат 2,5 Mg/m³. **Механички својства:** Стаклата се поотпорни на притисок (6000- 21000MPa) одошто на истегање (100-300 MPa). **Топлински својства:** Стаклата немаат јасно изразени температури на топење - со загревањето омекнуваат. Температурата на омекнувањето се движи од 400 - 1600°C. Највисоката температура важи за кварцното стакло (чист SiO₂), а со додавање на алкални оксиди температурата се намалува. Коефициентот α_t се движи од $0,55 \cdot 10^{-6} \text{K}^{-1}$ (кај кварцното стакло) до $15 \cdot 10^{-6} \text{K}^{-1}$. Колку е тој помал, стаклото е поотпорно на т.н. “топлотен удар” (нагло ладење или загревање кое може да доведе до прскање). Коефициентот α_t освен тоа важен е ако низ стаклото треба да минува херметички заварен некој материјал, напр. метална жица. **Оптички:** Обично стаклото е безбојно, но ако се додадат некои оксиди, тоа се обојува (напр. CaO - сино, Cr₂O₃ - зелено). Обично, заради присуството на железни оксиди повеќето стакла се непропусни за ултравиолетови зраци. Но, со згоден избор на суровините, се добиваат и такви стакла кои ги пропуштаат и ултравиолетовите и рентгенските зраци. Коефициентот на прекршувањето на светлината се движи од 1,47 до 1,96 (поголем е за оловното стакло кое содржи PbO).

Отпорност на вода се оценува врз основа на масата од составните делови од стаклото кои преоѓаат во раствор од единична површина на стаклото при трајно контактирање со водата. Растворливоста на стаклото се зголемува на повисоки температури. Ако стаклото не е отпорно на вода, тоа се манифестира со мала вредност на ρ_s во влажна атмосфера. Најотпорно на вода е кварцното стакло. Присуството на алкалните оксиди ја намалува отпорноста на вода. Стакла со состав Na₂O.mSiO₂ (или K₂O.mSiO₂) со вредност за m=1,5 до 4,2 се раствораат во вода и даваат вискозни маси со алкална реакција. Тоа е т.н. “течно стакло”. Силикатните стакла се отпорни на киселини, но слабо се отпорни на алкалии. Единствено Флуороводородната киселина HF ги раствора.

Електрични својства многу зависат од составот. На пример, $\rho = 10^6\text{-}10^{15} \Omega\text{m}$, $\varepsilon_r = 3,8\text{-}16,2$, $\text{tg}\delta = 0,0002 - 0,01$. Кварцното стакло има (при 20°C) $\varepsilon_r = 3,8$, $\text{tg}\delta = 0,0002$, $\rho(200^\circ\text{C}) = 10^{15} \Omega\text{m}$. Отпорите ρ и ρ_s брзо се намалуваат ако се присутни алкални оксиди (особено Na_2O). Стакла со поголем процент на алкални оксиди а при отсуство или мало присуство на оксиди на потешките метали имаат висок $\text{tg}\delta$, кој брзо расте со порастот на температурата. Поповолно е ако истовремено се присутни оксиди на двата алкални метали, Na и K. Присуството на оксиди на тешките метали (PbO , BaO) води кон намалување на $\text{tg}\delta$. Коефициентот ε_r пак, расте со порастот на алкалните оксиди (особено Na_2O). $\text{TK}\varepsilon_r = +30 \cdot 10^{-6} - 500 \cdot 10^{-6} \text{K}^{-1}$. Електричната цврстина зависи од составот. Ако се присутни воздушни меурчиња, истите делуваат негативно на ел. цврстина. Стаклото е многу поцврсто на напрегање од еднонасочен напон (до 500 MV/m).

Добивање. Стаклото се добива со топење во печки на висока температура и брзо ладење, без да настане кристализација. Сировини се: кварцен песок, SiO_2 , сода Na_2CO_3 , поташа K_2CO_3 , варовик CaCO_3 , доломит $\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$, натријум сулфат Na_2SO_4 , Борна киселина H_3BO_3 , $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$, PbO_3 , каолин, фелдшпат. Предметите се изработуваат од вжештена тестеста маса со дување, извлекување, пресување, леење, заварување.

Видови стакла Според намената има: 1. Кондензаторски стакла, кои се користат како диелектрик на кондензатори за висок напон и високи фреквенции. Треба да имаат висок ε_r и мал $\text{tg}\delta$. 2. Конструктивни - од нив се изработуваат изолатори. 3. За лампи, и од нив се прават балоните за разни лампи за осветлување или за електроника. 4. Стакла за пресување со полнители, кои служат за изработување на пресувани делови при високи температури со полнители како на пример лискун.

Според *составот* стаклата може да ги поделиме на : 1. алкални стакла, без оксиди на тешки метали. Наменети се за предмети од секојдневниот живот без примена во електротехниката, 2. алкални, со присуство на оксиди на тешки метали и овие спаѓаат во стакла за примена во електротехниката. Тие имаат висок ε_r и мал $\text{tg}\delta$. 3. Безалкални стакла - (вакво е напр. кварцното) се користат за специјални цели во електротехниката.

Стаклени влакна Иако стаклото во поголеми дебелини е крто, ако е во форма на тенки влакна тоа е свитливо - гипко. На пример, при $d = 4\text{-}7 \mu\text{m}$, веќе може понатаму да се преработува по текстилна технологија и да се добиваат конци, ленти, платна, црева. Цврстината на истегнувањето е толку поголема, колку е стакленото влакно потенко. На пример, најтенките влакна постигаат и до 6000 MPa ($< 3 \mu\text{m}$), а веќе при $10 \mu\text{m}$ - само 1000 MPa . Својствата на влакното се објаснуваат со посебната ориентација на површинскиот слој молекули при извлекувањето на влакното при неговото добивање. **Добивање:** Се добива од стопено стакло со извлекување низ ситни дизни по специјална технологија. Добиените производи (ленти, ткаенина) од стаклени влакна се користат за изолирање на проводници за намотување, за производство на топлински отпорни слоевидни пластики (витропласт, стаклолит). Кратките стаклени влакна се користат како полнители во маси за пресување. Предностите на изолацијата со стаклени влакна во однос на онаа со органски е што таа е топлински отпорна, механички е поцврста, релативно помалку е хигроскопна, има добри изолациони својства. Затоа, стаклената изолација може да се користи во најтешки погонски услови (висока температура, влажна средина). Недостатоците на стаклените

влакна: мала еластичност (издолжување пред кинење само 2%) помала гипкост, помала отпорност на абеење.

Светлински проводници е своевидна примена на стаклените влакна. Тоа се снопчиња од влакна кои имаат срцевина и покривка од стакла со разен состав, со различен коефициент на прекршување n_1 и n_2 , при што n_1 кај срцевината е поголем од n_2 кај покривката. Зракот во срцевината трпи тотална рефлексција и патува по светловодот не излегувајќи надвор од него. Дијаметарот на светлосното влакно заедно со обвивката е 20-30 μm , и во светловодот со дијаметар од 5-6 mm има неколку илјади влакна. Овие проводници се применуваат за пренос на информации.

Керамички диелектрични материјали

Керамичките материјали (керамики) се неоргански материјали од кои се прават предмети со разни форми кои потоа се печат на висока температура. При печењето во масата настануваат сложени физичко - хемиски процеси при што предметите ги добиваат потребните својства. Заради праксата од старо време, и денес под керамика интуитивно разбираме предмети од глина кои се формирани од смеса на вода и глина, а потоа испечени за да добијат механичка јакост. Но, денес поимот керамички материјали е поширок, и опфаќа и такви материјали, во кои глината воопшто не влегува во појдовните суровини, или влегува сосема малку. Керамичките материјали може да бидат многу различни по својствата и примената. Ги има меѓу диелектриците, полупроводниците и магнетните материјали (феритите). Особено се важни керамичките диелектрици во функција на електроизолациони материјали, а исто така фeroелектричните и други со специјална намена. Многу керамички материјали се квалитетни диелектрици (мал $\text{tg}\delta$, добри механички својства). Во споредба со органските изолациони материјали, тие се по правило поотпорни на топлина, стареење, не се деформираат под дејство на трајни сили. Добро својство е и што може да се металитираат.

Порцелан Овој материјал одамна се користи во електротехниката, па денес е многу застапен како електроизолационен материјал. За производство се користи посебен вид глина *каолин*, минералите *кварц* (SiO_2) и *фелдшпат* (KAlSi_3O_8). Технолошкиот процес се состои во припрема и чистење на суровините од примеси, мелење во прав и замесување од нив тестеста маса со вода. Од масата се прават потребните предмети по пат на лиење, пресување или на вртливо коло. Оформените изолатори се сушат заради одстранување на вишокот влага. Следува првото т. н. “бисквитно” печење. Потоа се врши глазирање и главното печење. Глазурата е маса која се нанесува во вид на водена суспензија во тенок слој по површината на предметите. При печењето глазурата се топи и ја прекрива површината на порцеланот со мазен светкав слој. Глазурата е многу битна и корисна. Таа го штити порцеланот од продор на влага во внатрешноста каде сепак има пори. Глазираните изолатори се отпорни на влага и може да работат во надворешни услови изложени на сите атмосферски влијанија (воздушни водови за пренос на енергија, разводни постројки, апарати за висок напон, трансформатори). Глазурата и естетски го подобрува изолаторот, а може да е носител на одредена боја. На глазираната површина не се задржуваат и акумулираат загадувањата, а доколку застанат, лесно се мијат од неа. Глазиранит порцелан има многу подобри механички својства од неглазираниот, бидејќи глазурата ги покрива

пукнатините на површината кои би биле место за почеток на разрушување под дејство на механичките делувања.

При печењето на порцеланот глината ја менува кристалната структура и ја губи врзаната кристализирана вода. Фелдшпатот е супстанција која прво се топи и образува стакловидна маса која ги пополнува меѓу просторите меѓу зрната на глината и кварцот, и со тоа добро ги сврзува. Печењето трае од 20 до 70 часови на температура од 1300 - 1350 °C за обичниот порцелан, и 1330-1410°C за високонапонскиот, а потоа следи уште побавно ладење. При печењето можни се собирања и до 20%, и за ова треба да се води сметка при димензионирањето на изолаторите. Затоа, од порцелан не може да се направат предмети со строго одредени димензии, па натамошното склопување со други делови обично се врши на специјален начин, напр. со цементирање, лепење, заливање.

Готовиот испечен порцелан се состои од кристали на мулит ($3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{Si}_2$) и кварц SiO_2 , и просторот меѓу нив е пополнет со стакловиден материјал добиен со топење на фелдшпатот. Присуството на стакловидната фаза ја објаснува големата механичка цврстина на порцеланот. Електротехничкиот порцелан содржи на пр. 70% SiO_2 и 25% Al_2O_3 . Остатокот се оксиди K_2O , Na_2O , Fe_2O_3 и други.

Својства: Густина 2,3-2,5 Mg/m^3 , $\alpha_t = (3-4,5) \cdot 10^{-6} \text{K}^{-1}$. Отпорност на притисок 400-700 МПа, на истегнување 45-70 МПа, на свиткување 80-150 МПа.

Ел. својства: При обични температури и ниски фреквенции се добри; $\rho = 10^{12}-10^{13} \Omega \cdot \text{m}$, $\epsilon_r = (6-8)$, $\text{tg} \delta = 0,015-0,025$, $E_{pr} = 10-30 \text{MV/m}$. При повишени температури електричните својства се влошени, бидејќи стакловидната фаза од фелдшпатот содржи калијум и натријум што претставува алкално стакло.

Порцеланот најмногу се користи за изработка на изолатори.

Други керамички материјали

Постојат и други керамички материјали освен порцеланот со подобри својства и за специјални намени. Некои од нив се карактеризираат со посебно изразени поедини својства, а влошени други, што ја одредуваат и нивната примена. Тоа се од една страна усовршени видови порцелан, но од друга страна материјали целосно различни од порцеланот според нивниот состав. Притоа, технологијата на производството им е слична; тие се обликуваат во тестеста состојба, а се довршуваат по пат на печење. Такви се следните материјали:

Радиопорцелан - преставува порцелан со додаток на BaO (подобрен $\text{tg} \delta$ и ρ);

Ултрапорцелан - се карактеризира со зголемен удел на Al_2O_3 . Тој има помал $\text{tg} \delta$ а повисок ρ од обичниот порцелан за електротехника. Освен тоа и механички е поцврст.

Керамика врз база на Al_2O_3 се пече на многу високи температури од 1750°C, и има многу висока топлинска постојаност (до 1600°C) Има висок ρ и мал $\text{tg} \delta$, висока механичка отпорност и добра топлинска проводливост.

Стеатит е керамика приготвена врз база на талк, $3\text{MgO} \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ а ова значи дека додека порцеланот е врз база на Алуминиеви силикати, овој е врз база на магнезијумови силикати. Поседува мал $\text{tg} \delta$ (до $2 \cdot 10^{-4}$) и добри механички својства. Не се собира при

печењето, нема потреба од глазирање, се обработува само со шлифување (брусење). Се користи во радиотехниката (за високи фреквенции како изолатор).

Керамика со голема диел. пропусливост ϵ_r се користи за изработка на керамички кондензатори. Таквите кондензатори имаат мали димензии, а релативно голем капацитет. Поголемиот дел од ваква керамика се базира врз Титановиот двооксид TiO_2 . Овој минерал под името *рутил* има во правец на главната кристалографска оск $\epsilon_r = 173$. Но, во изработен кондензатор кој не е монокристал, се добиваат помали вредности за ϵ_r . Покрај TiO_2 , ваквите материјали содржат CaOTiO_2 , BaO.4TiO_2 и други. Кај многу керамички кондензатори ϵ_r зависи од температурата - се снижува со порастот на температурата, на пример во подрачје од $+20$ до $+80^\circ\text{C}$ со коефициент $\text{TK}\epsilon_r = -1000 \cdot 10^{-6} \text{K}^{-1}$, додека некои други со специјален состав со $\text{TK}\epsilon_r = \pm(40-100) \cdot 10^{-6} \text{K}^{-1}$. Факторот на загубите при ниски фреквенции изнесува околу $20 \cdot 10^{-4}$, а со пораст на фреквенцијата до $3 \cdot 10^{-4}$ за 1 MHz.

Фероелектрични и пиезоелектрични материјали

Високи вредности на диелектричната пропусливост (до 10^4) може да се постигнат кај материјали кај кои постои силно взаемно влијание на подвижните јони. Кај Баријум титанатот (BaTiO_3), титановиот јон е опкружен со 6 негативни кислородни јони и 8 позитивни Ва јони (слика 4.77). На тој начин, е овозможена релативно големо изместување на Ti - јонот. Под т.н. “Кири” - ева температура ($T_C = 120^\circ\text{C}$) постои во ограничени подрачја спонтанa поларизација (слично како кај феромагнетните материјали). Над Кириевата температура, релативната диелектрична пропусливост нагло опаѓа. Диелектричната пропусливост и загубите кај овој материјал се најголеми при Кириевата температура.

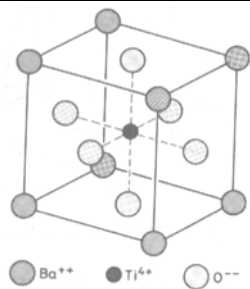
Кај $\text{BaTiO}_3/\text{SrTiO}_3$ мешани кристали Кириевата температура и максималниот износ на рел. диел. пропусливост (рмп) се спушта до собни вредности и температурната зависност се намалува. Заради ефектите на заситување, ефективната вредност на рмп се намалува при зголемување на напонот. Фреквентниот опсег на фероелектричните материјали се протега до најмногу 100 MHz. На сликата 4.79 претставени се рмп и $\text{tg}\delta$ за BaTiO_3 и сличните керамики за кондензатори во зависност од температурата. Освен Баријумтитанатот и сличните супстанции со т.н. “Perowski” структура, (особено PbTiO_3 и KNbO_3) имаат фероелектрични својства. Фероелектрични својства поседуваат исто така и овие материјали: Сегњетова сол (Калијум-натријум Тартарат), Калијум дихидрогенфосфат (“KDP”), триглицинсулфат. Во овие супстанции, може некои атоми да се заменат со други со слични својства. Повишување на кириевата температура може да се направи со замена на водородот со трицијум (види ја табелата 4.21).

Табела 4.21: Примена на фероелектрични и пиезоелектрични материјали		
претворање	механички величини во електричен напон	електрична енергија во енергија на движење
	тонски претвораачи (пр. за грамофони) микрофони,	производство на ултразвук за чистење, заварување,

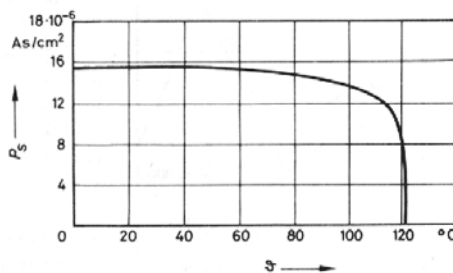
	мерачи на забрзување, производство на висок напон (напр. запалки), тастери	дупчење, терапија и сл.
претворање во обата смера	Осцилатори, филтери, водови за каснење, неструктивно испитување (напр. на заварени конструкции)	

Табела: Фероелектрични материјали

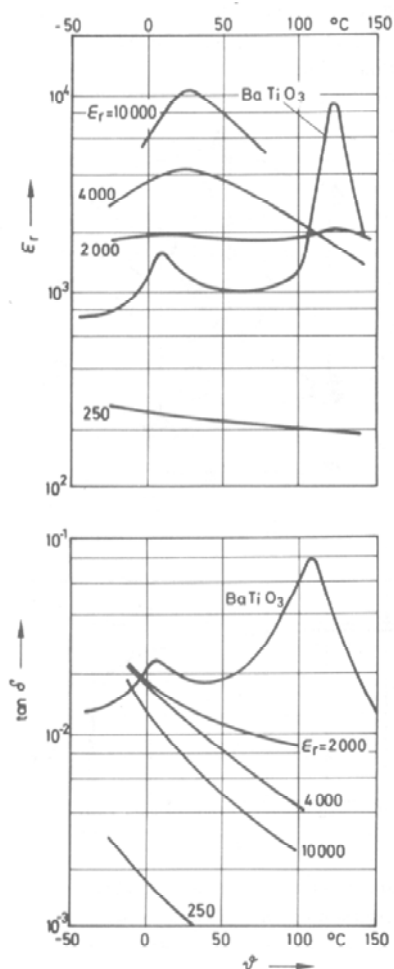
супстанца, име	супстанца, формула	Кириева темп. К
структура "Perovskite"	BaTiO ₃	393
	KNbO ₃	708
	PbTiO ₃	763
група на Сегнетовата сол	NaK(C ₄ H ₄ O ₆)*4H ₂ O	297
	NaK(C ₄ H ₂ D ₂ O ₆)*4D ₂ O	308
	LiNH ₄ (C ₄ H ₄ O ₆)*H ₂ O	106
група KDP	KH ₂ PO ₄ ("KDP")	123
	KD ₂ PO ₄	213
	RbH ₂ PO ₄	147
	RbH ₂ AsO ₄	111
	CsH ₂ AsO ₄	143
	CsD ₂ AsO ₄	212
TGS - група	Триглицинсулфат	322
	Триглицинселенат	295



сл. 4.77 Единична ќелија на Баријумтитанат



Сл. 4.78 Температурна промена на спонтаната поларизација (при отсуство на надворешно електрично поле) кај Баријум титанатот.

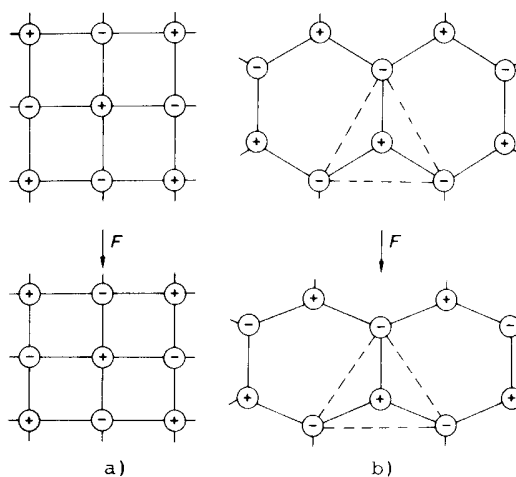


сл. 4.79. Температурна зависност на рдп (горе) и $tg\delta$ (долу) кај $BaTiO_3$ и сродни керамики.

Освен $Pb(Zr, Ti)O_3$, како пиезоелектрични материјали се користат и следните:

1. Кварц. Кога се користи специјално сечење на кристалот, се постига екстремно слаба зависност на резонантната фреквенција од температурата.
2. “KDP” (KH_2PO_4) и сродните супстанции;
3. Сегњетова сол (Рошелова сол) и сродни супстанции.

Примената на пиезоелектричните материјали се гледа од табелата 4.21.



сл. 4.80 Дводимензионална кристална структура: а) со центар на симетрија (не е пиезоелектрична); б) без центар на симетрија (пиезоелектрична)

Кај јонски кристали кои немаат центар на симетрија, можно е со промена на димензиите да се предизвика поларизација. Овој ефект е познат како Пиезоелектричен ефект. Пиезоелектричниот ефект исто така може да се искористи и за претворање на електричните сигнали во механички поместувања. Сликата 4.80 покажува дводимензионални кристални структури со и без центар на симетрија во неоптоварена состојба (горе) и во состојба на оптовареност со механичка сила (долу).

Ефективноста на пиезоелектричниот ефект се карактеризира со коефициент наречен пиезоелектрична константа кој е дефиниран на следниот начин:

$$\text{пиезоел. константа} = \frac{\text{предизвикана површинска густина на товарот}}{\text{применетата механичка сила}}$$

Пиезоелектричната константа зависи од правецот на делување на силата.

Пиезоелектричниот ефект има врска со фероелектричниот. Сите фероелектрични кристали се исто така и пиезоелектрични. Обратното не важи секогаш. Еден пиезоелектричен кристал не е секогаш и фероелектричен. На пример: Баријумтитанатот е пиезо и фероелектричен; Кварцот е пиезо, но не и фероелектричен материјал.

Еден многу важен пиезоелектричен материјал е *олово-цирконат-титанат*. Неговата пиезоелектрична константа изнесува $3 \cdot 10^{-10} \text{ As/N}$. Ова одговара при 10N (1 kp) на напон од 3 kV на 1pF.

Огноотпорна керамика Обично се базира на чисти оксиди на различни метали, без присуство на кварц. Такви се BeO, MgO, Al_2O_3 . Се применуваат во случаи кога е најважна високата топлинска отпорност. На пример, BeO керамика има 3 Mg/m^3 , точка на топење 2670°C , $\epsilon_r = 7,4$, ρ при 1000°C еднакво на $10^5 \Omega\text{m}$, а $\text{tg} \delta$ при 20°C и 1MHz еднаков на $(2-5) \cdot 10^{-4}$.

Електрети се диелектрични материјали кои после одстранувањето на ел. поле долго ја одржуваат поларизацијата. Така тие преставуваат постојан извор на ел. поле. Ги има покрај другите и врз керамичка база, врз база на TiO_2 , CaTiO_3 , $\text{SrO-Bi}_2\text{O}_3\text{-TiO}_2$, BaTiO_3 , MgTiO_3 , ZnTiO_3 , SrTiO_3 . Примероците се изработуваат во облик на дискови дебели 0,3-10 mm и пречник 80-100 mm. Поларизацијата се врши при температури $150-300^\circ\text{C}$ и јачини на ел. поле 1 MV/m во тек на 4-10 часови. Електретите се користат при изработката на кондензаторски микрофони, во мерната техника како давачи и претворувачи.

4.9.3.3. Лискун и лискунски производи

Лискунот е еден од најважните природни материјали. Поседува важни својства: Голема диелектрична цврстина, топлинска постојаност, отпорност на влага, механичка отпорност и гипкост. Се користи најмногу за изолација на ел. машини за висок напон (хидро, термогенератори, ел. мотори), а исто така и како диелектрик во кондензатори. Во природата се среќава во кристален облик, со карактеристични својства да се цепи во тенки листови. Има наоѓалишта кај нас, а најзначајни се во Индија.

Според хемискиот состав лискуните се алумосиликати. Поважни видови лискуни се:

Мусковит: $\text{K}_2\text{O} \cdot 3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$,

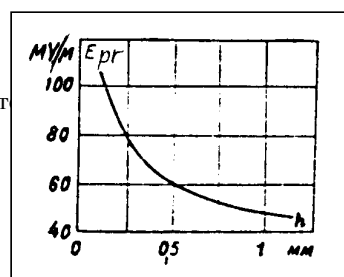
Флогопит: $\text{K}_2\text{O} \cdot 6\text{MgO}_2 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$,

но, во составот може да влегуваат и соединенија на железото, натријумот, калцијумот и други. Мусковитот е обично безбоен или црвеникав, зеленикав, а флогопитот темен, килибарест, златест, смеѓ до црн. Според ел. својства, мусковитот е подобар од флогопитот, а освен тоа тој е и механички потврд, флексибилен во однос на флогопитот. Подолу цитираните ел. својства се однесуваат за смер на ел. поле нормален на површината на листовите. Сите својства се положи паралелно на слоевите.

Својства: Топлинска проводливост $\lambda = 0,44 \text{ W/(mK)}$, густина $\gamma = 2,7-2,9 \text{ Mg/m}^3$, специфична топлина $(0,86-0,87) \text{ kJ/(kgK)}$. Другите својства се дадени во табелата 4.22:

Табела 4.22: Својства на лискуни

Поважни претставници на диелектричните мат



вид лискун	ρ	ε_r	$\text{tg}\delta \cdot 10^4$		
			50Hz	1kHz	1MHz
мусковит	$10^{12}-10^{16}$	6-8	150	25	3
флогопит	$10^{11}-10^{12}$	5-7	500	150	15

сл.4.81: Зависност на ел. цврстина на мусковитот од дебелината во хомогено ел. поле.

Мнозинството лискуни кои се применуваат во електротехниката ги задржуваат добрите изолациони својства и при неколку стотини $^{\circ}\text{C}$ и затоа лискунот спаѓа во најиздржливите материјали во топлински смисол.

Но, сепак, при некоја критична температура, лискунот термички се уништува на тој начин што ја губи врзаната вода, ја губи прозрачноста, бубри и ги губи механичките и електричните својства. Таа критична температура кај мусковитот се движи од $200 - 600^{\circ}\text{C}$, а кај флогопитот од $800-900^{\circ}\text{C}$, зависно од составот.

Лискунот се ископува од карпи каде е смешан со други минерали и се јавува во вид на жили. Потоа внимателно се чисти од примеси и се класира според квалитетот и големината на кристалите. Потоа се цепа во листови. Во сето ова има доста рачна работа, па затоа е релативно скап материјал. Така наречениот “цепен лискун” се класира според површината на плочките, односно според површината на најголемиот правоаголник на 10 класи. Колку се парчињата покрупни, лискунот е поскап по единица тежина. Освен тоа, и според дебелината лискунот се дели на 4 класи. Лискунот во електротехниката се користи или како чист, т.е. делови од чист природен лискун, или како разни производи добиени од лискунот. Како чист, се користи во својство на диелектрик кај кондензатори.

Миканит е листовиден материјал од слепени листови лискун со помошта на лак или смоли, често со дополнително присуство на влакнеста подложка од хартија или ткаенина, налепенa со лискун од едната или од двете страни. Меѓу миканитите има разни врсти, зависно од намената или технологијата на производството. Заради големата содржина на лискун (над 50%), миканитите се термички отпорни. Ако се користат врзивни материјали со помала термичка отпорност, миканитите припаѓаат во класа В, а ако се користат специјални термички отпорни врзивни средства (на пример стаклена ткаенина), спаѓаат во класата F и H, а ако се без врзивно средство - во класата С. И миканитот се користи во изолацијата на намотките на високонапонските ел. машини.

Микалекс е тврд материјал со поголема содржина на полнител (лискун) и леснотопиво стакло во функција на врзивно средство. Од микалекс се прават разни изолациони делови и детали. Прашок од мелен лискун со врзивно средство се пресува на топло (околу 600°C). Се користи во радиотехниката, електровакуумната техника. Својства: Дозволена температура $300-350^{\circ}\text{C}$, $\rho = 10^{10}-10^{12}\Omega\text{m}$, $\varepsilon_r = 6-8,5$, $\text{tg}\delta = 0,003 - 0,010$, $E_{pr} = 10-20 \text{ MV/m}$ при 50 Hz.

Производите од лискун овозможуваат да се искористат сите па и најситните честички лискун. Лискунот и лискунските производи се релативно скапи, па затоа постои и синтетички лискун.

Прашања за самопроверка

1. Наброј неколку гасовити диелектрици со примери на нивната примена.
2. Што знаеш за потеклото и составот на трансформаторското масло?

3. Кои својства битни за примената како диелектрик на трансформаторското масло ги знаеш?
4. Во што е суштината на поделбата на цврстите органски диелектрици на термопластични, еластомери и терморективни? Наведи по некој пример од секоја група.
5. Во што е суштината на полимеризацијата? Наведи пример.
6. Во што е суштината на поликондензацијата? Наведи пример.
7. Во што е суштината на полиадицијата? Наведи пример.
8. Целулоза и целулозни материјали како диелектрици. Својства и примена.
9. Што знаеш за структурата на стаклото?
10. Кои видови стакла имаат својства погодни за електротехничка примена.
11. Својства и примена на електротехничкиот порцелан.
12. Што се тоа керамички материјали и кои општи својства ги имаат кои ги прават погодни за електротехничка примена.
13. Што се тоа фероелектрични и пиезоелектрични материјали?
14. Кои видови керамики имаат висока релативна диелектрична пропусливост?
15. Што е тоа лискун и какво е неговото значење за електротехниката?