

5.95.

13.16.31.23

**A.X. SULLIYEV, I.M. BEDRISKIY,
O.T. BOLTAYEV**

ELEKTROTEXNIKA MATERIALLARI

TOSHKENT

702 31 23
8002

O'ZBEKISTON RESPUBLIKASI OLIY VA O'RTA MAXSUS
TA'LIM VAZIRLIGI

TOSHKENT TEMIR YO'L MUHANDISLARI INSTITUTI

A.X.SULLIYEV, I.M.BEDRISKIY, O.T.BOLTAYEV

ELEKTROTEXNIKA MATERIALLARI

*O'zbekiston Respublikasi Oliy va o'rta maxsus ta'lim vazirligi
tomonidan 5310200 – Elektr energetikasi (tarmoqlar va
yo'nalishlar bo'yicha) ta'lim yo'nalishidagi bakalavriat talabalari
uchun darslik sifatida tavsiya etilgan*

TOSHKENT – 2017

TERMIZ DAVLAT UNIVERSITETI
DENOV FILIALI ARM
№ 117

UO'K: 621.3.035 (075)

KBK 31.23

S-96

S-96

A.X.Suliyev, I.M.Bedrisky, O.T.Boltayev. Elektrotexnika materiallari. –T.: «Fan va texnologiya», 2017, 220 bet.

ISBN 978-9943-11-649-8

Darslikda "Elektrotexnika materiallari" fanining barcha qismlariga oid nazariy ma'lumotlar, ya'ni elektr texnika materiallarining tarkibi, ishlab chiqarilishi, elektrik, fizik va mexanik xossalari keltirilgan. Dielektriklar, o'tkazgich, yarimo'tkazgich va magnit materiallar to'g'risida hamda bu materiallarning elektr texnikadagi ahamiyati va amalda qo'llanilishi haqida ma'lumotlar berilgan.

Darslik energetika sohalariga oid ta'lim yo'nalishlari uchun mo'ljallangan bo'lib, tasdiqlangan namunaviy dasturga mos holda tayyorlangan.

Ushbu darslikdan ishlab chiqarish sohalarining mutaxassislari, muhandislar, magistrlar va ilmiy-texnik xodimlar ham foydalanishlari mumkin.

В учебнике приведены сведения о составах и технические свойства электротехнических материалов. Приведены сведения о роли и области применения в электротехнике диэлектриков, проводников, полупроводников и магнитных материалов.

Учебник написан в соответствии с учебной программой дисциплины направления образования 5310200-Электротехника (по отраслям и направлениям), а также может быть полезен студентам сменных направлений, учащимся железнодорожных профессиональных колледжей, инженерно-техническим работникам и слушателям курсов повышения квалификации.

The textbook provides information on the composition and technical properties of electrical materials. The article presents the role and scope of application in electrical dielectrics, conductors, semiconductors and magnetic materials.

The textbook is written in accordance with the curriculum of the discipline of the direction of education 5310200-Electric Power Engineering (by industry and directions), and also can be useful to students of shift courses, studying railway professional colleges, engineering staff and students of advanced training courses.

UO'K: 621.3.035 (075)

KBK 31.23

Mas'ul muharrir: S.F. Amirov – texnika fanlari doktori, professor.

Taqrizchilar: A.M. Plaxtiyev – t.f.n., professor;
A.A. Xoliqov – t.f.d., professor.

ISBN 978-9943-11-649-8

© «Fan va texnologiya» nashriyoti, 2017.

KIRISH

Elektr texnikada vujudga kelayotgan muammolarni ijobiy hal etish uchun yangidan-yangi materiallarni ishlab chiqarish, shu bilan birga mavjud materiallar xossalari uzluksiz takomillashtirib borish va ularning sifatini yaxshilash kerak bo'ladi. Bu esa yangi texnologiya asosidagi yuqori sifatli elektr texnika materiallari ishlab chiqaruvchi korxonalarni juda tez rivojlantirishni taqozo etadi.

Qo'yilgan maqsadga amaliy ravishda yondoshish uchun qo'llanishi mumkin bo'lgan materiallarning kimyoviy, fizik va mexanik xossalari chuqur talqin eta bilish kerak. Bunda fan va texnika sohasida erishilgan yutuqlar, olingan ma'lumotlarni talabalarga atroflicha yoritib berish zarur. Zamonaviy elektr texnikada qollaniladigan materiallarni tadqiq etish va yuqorida qayd etilgan maqsadlarga erishish uchun "Elektr texnika materiallari" kursi o'qitiladi.

Elektr texnika materiallari - fani keng ma'noda elektr va magnit hodisalardan amaliy maqsadlarda foydalanish usullarini o'rganadigan fandır.

Hozirgi paytda elektrlashtirish asosida ishlab chiqarish protseslarini kompleks mexanizatsiyalashtirish va avtomatlashtirish kengroq joriy qilinmoqda.

Elektr texnologiya, ya'ni metallar olish va ularga ishlov berishning elektr termik va elektrolitik usullari jadal rivojlanmoqda. Yildan-yilga mashinalarning yangi-yangi avtomatik liniyalari, sexlar va zavod avtomatlar ishga tushirilmoqda. Elektronika bu fanning bir necha o'n yil oldin tashkil topgan yangi sohasidir. Elektronika zaryadlangan zarrachalarning vakuumda, gaz muhitida yoki qattiq jismdagi harakatini hamda elektr kattaliklarni har xil o'zgartirish yoki bir tur energiyani ikkinchi tur energiyaga aylantirish maqsadida shu harakatlarni boshqarish masalasini ko'rib chiqadi. Bu fan elektr texnik materiallarni o'zini va uning ichki tuzilishini bevosita yoritib beradi. Agar moddalar qanday va nimalardan tuzilganligini bilmoqchi bo'lsak, har qanday modda juda mayda zarrachalar – molekulalardan, molekulalar esa atomlardan tashkil topgan. Oddiy

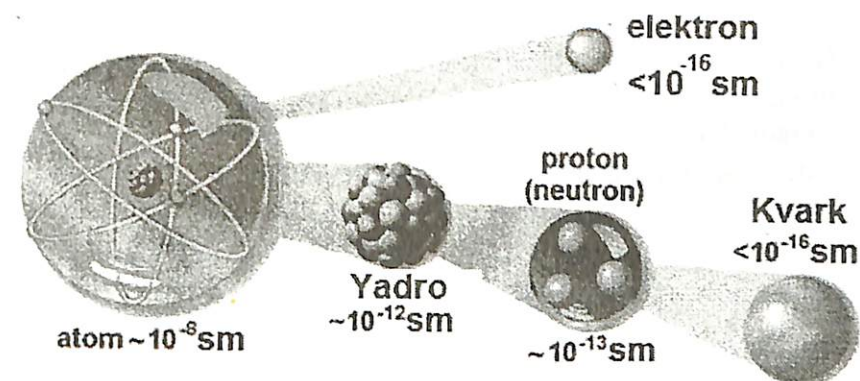
moddalarda (mis, alyuminiy va hokazo) shu moddaning bir xil atomlaridan tashkil topgan molekular bo'ladi. Murakkab moddalarning molekulari esa har xil kimyoviy elementlarning atomlaridan tashkil topgan. Masalan: suv molekulari tarkibiga ikkita vodorod atomi va bitta kislorod atomi kiradi.

Elektr texnika materiallari fanida o'quvchilar e'tiboriga quyidagilar havola etiladi va o'rganiladi: elektr texnika materiallarini o'rganish va tekshirish asoslari; ularning xossalari va tuzilishi; muayyan xossalari orqali materiallarni elektr texnikada ishlatishini aniqlash va amaliy jihatdan qo'llash.

I bob. ELEKTR TEXNIKA MATERIALLARINING KLASSIFIKATSIYASI

1.1. Moddalarning tuzilishi

Har bir atom proton va neytronlardan tashkil topgan yadrodan hamda uning atrofida aylanadigan elektronlardan tashkil topgan bo'ladi. Atom yadrosi musbat zaryadlangan bo'ladi va atom hajmining juda kichik qismini egallaydi. Atomning musbat zaryadli bo'lishi unda protonnikidan biroz katta bo'lgan neytronda hech qanday zaryad yo'q, ya'ni u elektr jihatdan butkul neytral (1.1-rasm).



1.1-rasm. Moddalar strukturasi

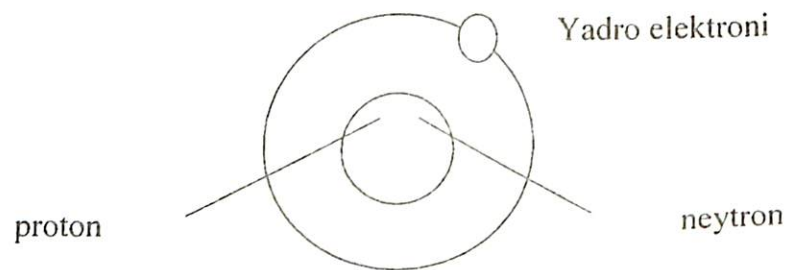
Elektronlar manfiy zaryadlarni tashuvchilar hisoblanadi, elektronning massasi protonnikidan taxminan 1840 marta kichikdir. Yadrodagi protonlar soni yadroni o'rab turgan elektronlar soniga teng, shuning uchun ham atom umuman neytraldir, ya'ni elektr zaryadiga ega emas. Vodorod atomining tuzilish sxemasiga e'tibor beraylik. Uning yadrosi bitta proton va bitta neytrondan iborat, yadro atrofida esa bitta elektron harakatlanadi.¹

¹ T.K. Basak. Electrical engineering materials. New Age International, Nil edition. USA, 2009. 5-bet

Yadrodagi protonlar soni D.I. Mendeleyev davriy sistemasidagi elementning atom nomeriga teng. Protonlar soni Z va neytronlar soni N ning yig'indi massasi soni deb ataladi:

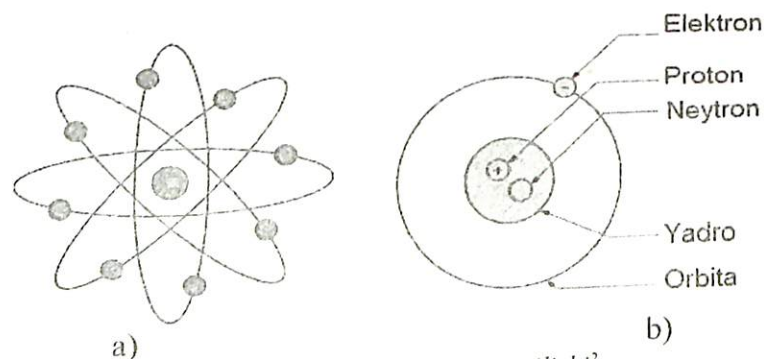
$$A = Z + N \quad (1.1)$$

Bundan tashqari mana shu elektron atomni tashqi qavatini to'ldiradi. Biz kimyodan bilamiz agar ortiqcha bo'lsa olamiz, kam bo'lsa to'ldiramiz (1.1-chizma).



1.1.-chizma. Vodorod atomining tuzilish sxemasi

Bu to'ldirish yoki olish o'z-o'zidan bo'lmaydi albatta, buning uchun ham nimadir kerak bo'ladi. Bu jarayon qandaydir reaksiyani talab etadi. Gaz, suyuq va qattiq jismlar atomlardan, molekula va ionlardan tashkil topganligi ma'lum (1.2-chizma).



1.2.-chizma. Moddalarning tuzilishi²

Atomlarning o'lchamlari angestren tartibida bo'ladi. Gaz molekulari esa har xil atomlar sonidan tuzilgan. Misol uchun – geliy,

argon, neon bular bir atomli gazlar, vodorod, azot, kislorod - bular ikki atomli molekula, uch atomli, ammiak molekulasini 4 atomli; metan esa – 5 atomli. Bu atomlarni tashqi elektron qavatlariga qarab har xil bog'lanishlar bo'ladi. Shu sohada ba'zi bir bog'lanishlarni ko'rib chiqish maqsadga muvofiq bo'ladi.

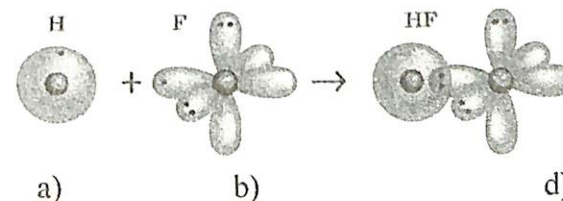
1.2. Ichki atom bog'lanishlari

Kovalent bog'lanish deb bog'lanish elektronlar hisobiga atomlarni bir-biri bilan bog'lanishida yuzaga keladigan jarayonga aytiladi, oxirida ikkita atomli molekular bitta umumiy holatga keladi (1.4-chizma).



1.3.-chizma. Kovalent bog'lanish

Kovalent bog'lanish asosan molekularlarda kuzatiladi, bundan tashqari faqat molekularlarda emas balki atomlar orasida ham bo'lishi mumkin, kristall panjarani tuzilishiga bog'liq bo'ladi. Kovalent bog'lanishni yana xususiyati unda faqat bir xil atomlar emas balki boshqa xil atomlar ham bo'ladi (1.4-chizma).³



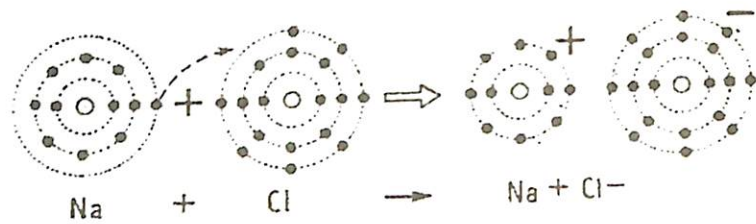
1.4.-chizma. Gidrogen va Floura atomlarining kovalent bog'lanishi

Ion bog'lanish – bu bog'lanish asosan musbat va manfiy ionlarning tortishish kuchiga bog'liq bo'ladi. Qattiq jismlarda ion

² Callister, William D., Materials science and engineering. an introduction, 7th ed p/cm/ - Printed in the United States of America/ John Wiley & Sons, Inc.- 2007. 8-bet.

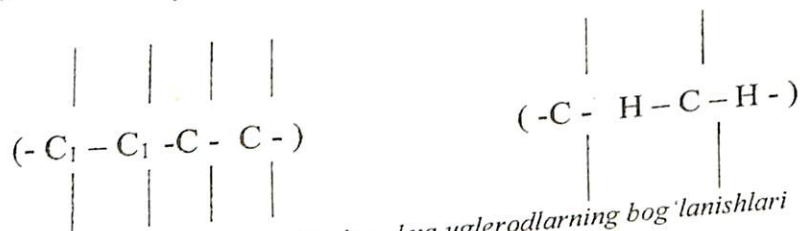
³ Bijay_Kumar Sharma., Electrical and Electronic Materials Science./ - OpenStaxCNX./ Indiya – 2014, 4-bet.

strukturasini xarakterlanishi yuqori mexanik baquvvatligi va yuqori temperaturada eritilishiga bog'liq bo'ladi (1.5-chizma).



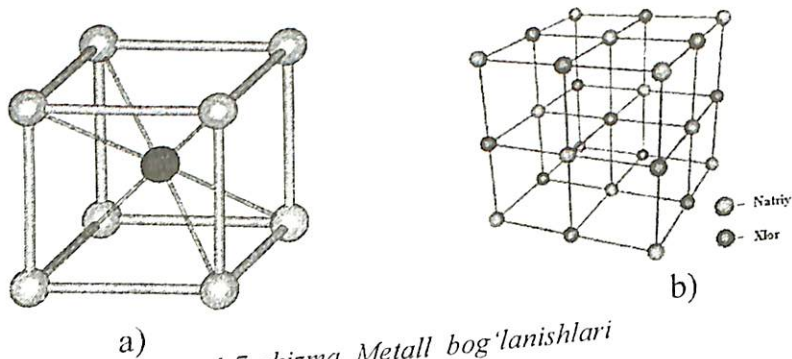
1.5-chizma. Ion bog'lanish

Metall bog'lanish - bu bog'lanish ham qattiq jismlar kristaliga tegishli bo'lib, bizga ma'lumki metallar yuqori elektr o'tkazuvchanlik xususiyatiga ega bo'lganligidadir, shuning uchun ham metallarda erkin elektronlar zich joylashgan bo'ladi. Elektronlarning xususiyatiga qarab, elektr o'tkazish jarayonida qatnashishi *elektr o'tkazuvchanlik* deyiladi (1.6-chizma).



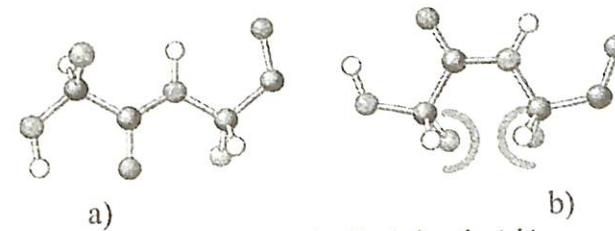
1.6-chizma. Vodorod va uglerodlarning bog'lanishlari

Metall bog'lanishda asosan kamayadi erkin elektronlarga nisbatan valent elektronlarning kinetik energiyasi (1.7-chizma).



1.7-chizma. Metall bog'lanishlari

Vander-Vaals bog'lanishi - bu bog'lanishni barcha bog'lanishlarda kuzatish mumkin, lekin ularni bog'lanishi juda ham kuchsiz shuning uchun ko'p hollarda uni hisobga olinmaydi (1.8-chizma).⁴



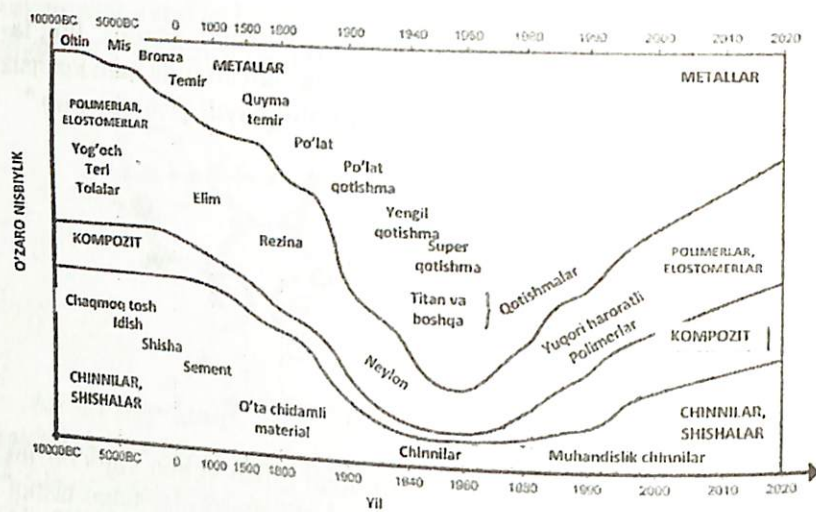
1.8-chizma. Vander-Vaals bog'lanishi

Bu bog'lanishni o'zi esa yoki uni hosil qilish uchun katta bosim va past temperatura kerak bo'ladi, yana bitta sharti ular faqat tashqi elektron qavatlariga to'lgan elementlar bo'lishi kerak, agar tashqi qavat to'lmagan bo'lsa bu bog'lanishni hosil qilib bo'lmaydi. Bog'lanishni yana oddiyroq qilib tushuntirsak, kemalarni pristanlarga maxsus zanjirlarda bog'lashsa yana qo'shimcha qilib ingichka bir arqon ham bog'lanadi, agar biz zanjirni bo'shatsak kema faqat arqonda qoladi lekin bu hol shuncha davom etishi mumkinki, faqat hech qanday tashqi ta'sir bo'lmasa, misol shamol, to'lqin va boshqalar, shungacha kema tinch turadi, keyin buzilishi mumkin mana bu bog'lanishning mohiyati.

1.3. Elektr texnika materiallarining rivojlanish tendensiyasi

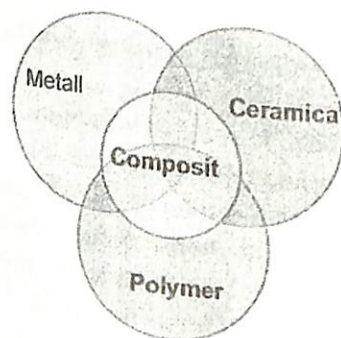
Hozirgi paytda fan va texnika rivojlangan, texnologik jarayonlar takomillashgan bir vaqtda elektr texnika ham yangi bosqichlarga ko'tarilib, turli xildagi materiallar ishlab chiqarilmoqda va o'zlashtirilmoqda. Ishlab chiqarilayotgan elektr texnika materiallarining yangi xossalarga ega turlari ko'p miqdorda tayyorlanmoqda. Yangi turdagi materiallarni yaratishga ularning fizik, kimyoviy va mexanik xossalarni chuqur o'rganish orqali erishilmoqda (1.9-chizma).⁵

⁴ T.K. Basak. Electrical engineering materials. New Age International, Nil edition. USA, 2009. 9-bet
⁵ Callister, William D. Materials science and engineering: an introduction, 7th ed. p. cm/ - Printed in the United States of America/ John Wiley & Sons, Inc. - 2007. 10-bet.



1.9-chizma. Elektr texnika materiallarining rivojlanishi

Elektr texnika uskunalari loyihalash, ishlab chiqarish va tekshirishda mutaxassis turli-tuman xossaga ega bo'lgan elektr texnika materiallari bilan to'qnashadi. Bu materiallar elektr mashinasi va jihozlarida kuzatiladigan elektromagnit jarayonida ishtirok etadi. Elektr texnika materiallaridan ma'lum darajada elektr, mexanik va magnit xossalari talab etiladi (1.10-chizma).

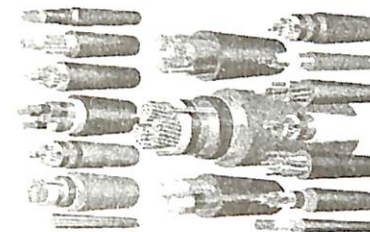


1.10-chizma. Elektr texnika materiallari asosiy turlari⁶

⁶ Bijay Kumar Sharma, Electrical and Electronic Materials Science. / - OpenStaxCNX, / Indiya - 2014, 7-bet.

Elektr texnika materiallari asosan 4 turga - o'tkazgich, dielektrik, yarim o'tkazgich va magnit materiallariga bo'linadi.

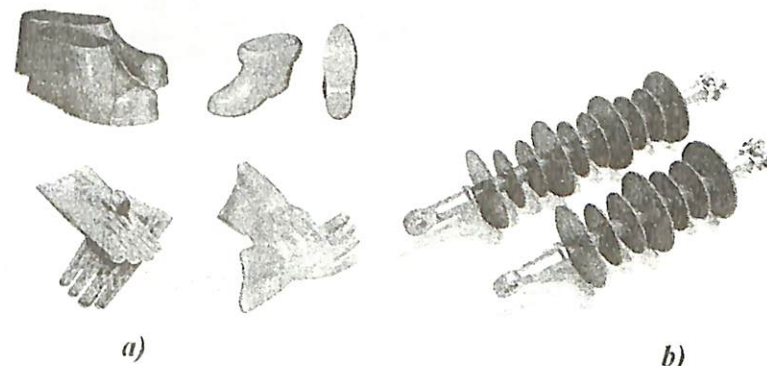
Elektr stansiyalarida ishlab chiqarilgan elektr tokini havo va kabel orqali uzatuvchi uzatgichlar bilan iste'mochilarga yetkazib berishda o'tkazuvchi materiallar ishlatiladi. Bu materiallar katta elektr o'tkazuvchanlikka ega sof metallardan tayyorlanadi (1.2-rasm).



1.2-rasm. O'tkazgichlar

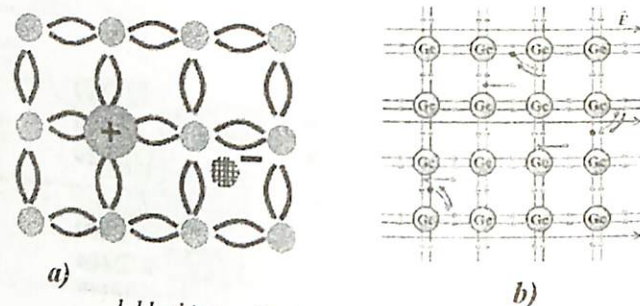
Agar metallarning qarshiligi katta bo'lishi talab etilsa, u holda metallar aralashmasidan iborat qotishmalardan foydalaniladi.

Izolyatsion materiallar yoki dielektriklar apparat uskunalarda elektr toki oqimini cheklash uchun ishlatilganligi sababli, ular juda katta elektr qarshilikka ega bo'lishi shart. Dielektrik sifatida juda ham ko'p turdagi organik va anorganik materiallar qo'llaniladi. Bu materiallar gaz, suyuq va qattiq agregat holatda bo'lishi mumkin (1.3-rasm).



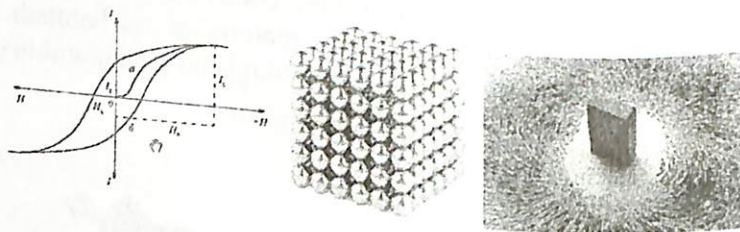
1.3-rasm. Dielektriklar

Yarim o'tkazgichlar o'zining elektr o'tkazuvchanligi jihatidan o'tkazgich bilan dielektrik orasida joylashgan bo'lib, zamonaviy texnikada keng qo'llaniladi. Materiallarda yarim o'tkazuvchanlik xossalari, ko'pincha, tayyor mahsulot olish paytida hosil bo'ladi (1.11-chizma).⁷



1.11-chizma. Yarim o'tkazgichlar

Magnitli elektr texnika asbob-uskunalarida magnit oqimini hosil qilish yoki o'tkazish maqsadida magnit materiallari qo'llaniladi. Bu materiallardan ma'lum darajada magnit xossalari talab etiladi. Bu xususiyat temir yoki uning turli (nikelli, kobaltli va hokazo) qotishmalarida mavjuddir (1.12-chizma).

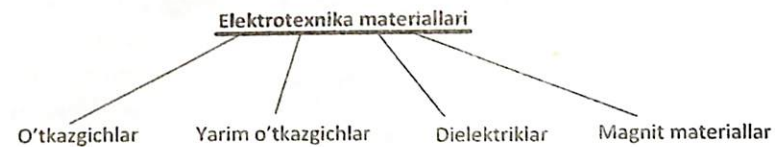


1.12-chizma. Magnit materiallari

Elektr texnikaning rivojlanishi elektr texnika materiallariga bog'lig bo'lib, u o'z navbatida yangi xossali materiallar ishlab chiqish kerakligini taqozo etadi. Xossalari yaxshilangan, issiqqa chidamli izolyatsiya va magnit materiallari kichik hajmli, yengil va ixcham elektr mashina va apparatlarni yaratish imkonini beradi. Yuqori ish

⁷ T.K. Basak. Electrical engineering materials. New Age International, Nil edition. USA, 2009. 12-bet

haroratiga ega bo'lgan yangi turdagi dielektriklar aviatsiya, raketa texnikasida va boshqa sohalarda ishlatilmoqda (1.13-chizma).⁸



1.13-chizma. Elektrotexnika materiallarining sinflanishi

So'nggi paytda ko'plab ishlab chiqarilayotgan yangidan-yangi sun'iy materiallar xalq xo'jaligining turli sohalarida, jumladan, elektr texnikada keng miqyosda qo'llanilmoqda.

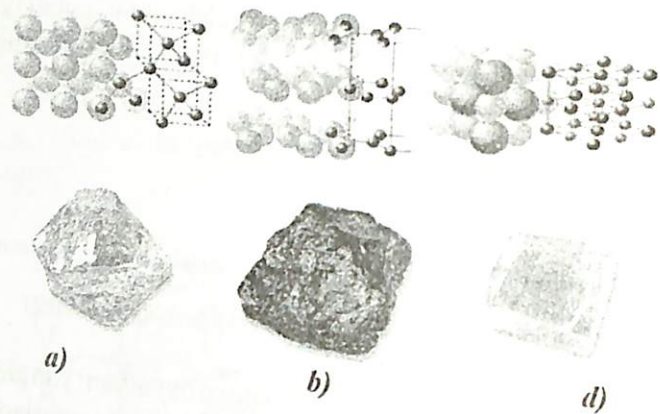
Hozirgi davrda o'z ish faoliyatini yuqori darajada bajarib, xalq xo'jaligini sifatli kabel mahsulotlari bilan ta'minlayotgan "O'zkabel" AJ ishlab chiqarish korxonasida dielektrik va o'tkazgich materiallar ko'p ishlatiladi. Bulardan asosiysini polietilen va mis tashkil etadi. Bo'lajak mutaxassislar uchun elektr texnika materiallarini chuqur o'rganish katta amaliy ahamiyatga ega.

1.4. Qattiq jismlar fizikasining asosiy tushunchalari

Qattiq jismlar fizikasining nazariy masalalari bilan shug'ullangan Y.I.Frenkel 1930 yili yarim o'tkazgichlar va dielektriklarda elektronlarning qo'zg'algan holatida eksiton nazariyasini ishlab chiqqan edi. Bu nazariyaning to'g'ri ekanligini 1952 yilga kelib Y.F. Gross tomondan isbot qilindi ya'ni eksitonning mavjud ekanligi isbot etildi. Qattiq jismlar fizikasi xususan, yarim o'tkazgichlar fizikasining nazariy masalalari ustida ishlab, uning rivojiga katta ta'sir ko'rsatgan Sobiq sovet olimlaridan L.D.Londau, S.P.Pekar, L.E.Gurevich, S.G.Kalashnikov va boshqa nazariyotchilarni ko'rsatish mumkin (1.14-chizma).⁹

⁸ Callister, William D., Materials science and engineering: an introduction, 7th ed. p.cm/ - Printed in the United States of America/ John Wiley & Sons, Inc.- 2007. 12-bet.

⁹ Bijay_Kumar Sharma, Electrical and Electronic Materials Science./ - OpenStaxCNX./ Indiya - 2014, 8-bet.



1.14-chizma. Kristallar

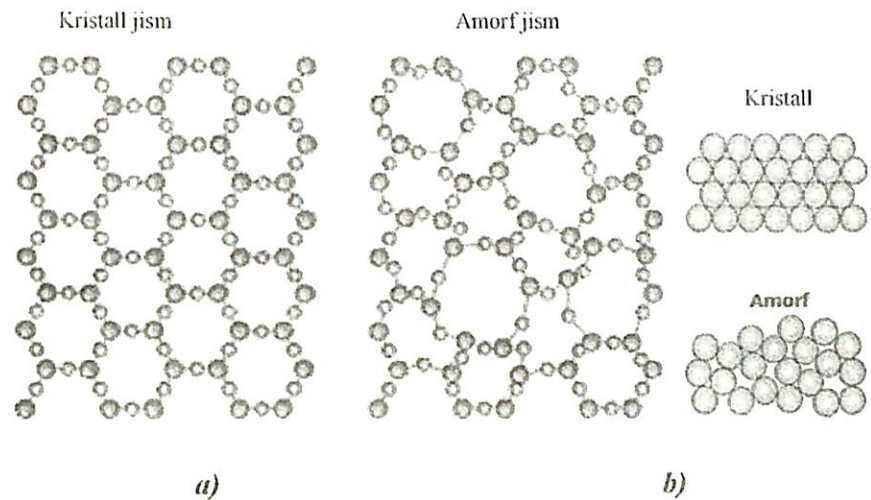
Qattiq jismlar - atom va molekullarning joylashishiga qarab amorf kristall jismlarga bo'linadi, amorf jismlar izotropik xossaga ega bo'lib ularning fizikaviy xossalari hamma yo'nalishlar bo'yicha bir xil bo'ladi. Amorf jismlarning xossalari o'ta qovishqoq suyuqliklar xossalari o'xshashdir. Shu sababli hozirgi vaqtda amorf jismlarni o'ta sovigan suyuqlik deb qaralib, qattiq jism terminida faqat kristall tuzilishga ega bo'lgan jismlarigina xarakterlashda foydalaniladi. Biz kristall jismlarning xossalari, xususan yarim o'tkazgich kristall jism ustida so'z yuritar ekanmiz qattiq jism terminini ishlatganimizda kristall jismni nazarda tutamiz.

Kristall qattiq jismlarda - atom va molekullar ma'lum tartibda joylashgan bo'lib har xil kristall panjarani hosil qiladi shu sababli ularni fizikaviy xossalari turli yo'nalishlar bo'yicha bir xil bo'lmaydi ya'ni anizotropik xossaga ega bo'ladi.

1.5. Amorf va kristall jismlar haqida ma'lumot

Tabiatda uchraydigan kristallar har xil nuqsonlardan holi ham bo'lmagani uchun, ulardan bevosita biror fizikaviy asbob tayyorlashda foydalanish mumkin emas. Texnikada ulardan mavjud nuqsonlarni hisobga olmasa bo'ladigan darajada kamaytirib ba'zi hollarda esa ma'lum nuqsonlarning miqdorini maqsadga muvofiq ravishda ko'paytirib foydalaniladi.

Yarim o'tkazgichlar - fizikaning rivojlanishi va kristall jismlardan turli asboblardan tranzistorlar, fotoelementlar to'g'irlagichlar va boshqalarning tayyorlanishi yarim o'tkazgich kristallar fizikasini chuqurroq o'rganishni taqozo qiladi. Sof kristallarni olish va ulardan amalda foydalanish hozirgi zamon texnikasining asosiy vazifalaridan biri bo'lib qolmoqda. Shu sababdan biron-bir yangi topilmani masalan meteorit yoki boshqa narsani aniqlash albatta zarur bo'ladi, buni ba'zi bir yo'llari mavjuddir.¹⁰



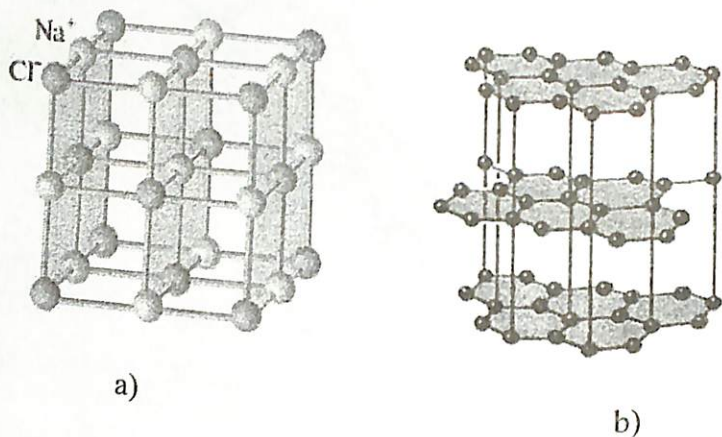
1.15-chizma. Kristall va amorf jismlar

Rus olimi Feyodorov bundan ancha yillar ilgari hattoki rentgent struktura analizi topilmasidan oldin u har-xil qattiq jism panjaralaridagi zarralarning joylashishini tushuntirib bergan va hisoblab chiqqan, bular asosan kristall panjara atomining o'lchamiga va elektronning konfiguratsiyasiga va tashqi elektron qavatiga bog'liq bo'ladi (1.15-chizma). Bizga ma'lumki jism faqat qattiq kristall holatida bo'lsa yuqori tartibli yaqin hamda uzoqdagi zarrachalarning joylashishi kimyoviy bog'lanishi bo'yicha farq qiladi.

¹⁰ T.K. Basak. Electrical engineering materials. New Age International, Nil edition. USA, 2009. 15-bet

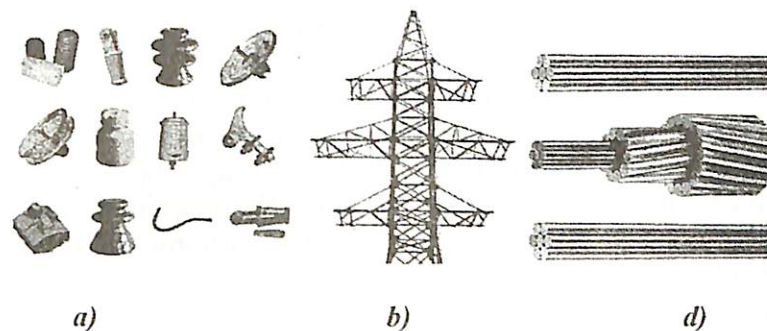
1.6. Qattiq jismlarning texnikada tutgan o'рни

Biz aytib o'tganimizdek, qattiq jismlar - kristalini mohiyati shundaki, atom va boshqa mayda zarrachalarning tartibli va ketma-ket joylashishiga bog'liq, bunga shunday misol keltirsa bo'ladi ya'ni eniga ham bo'yiga ham bir xil joylashishi ko'zda tutiladi (1.16-chizma). Bunga yana xuddi teskari bo'ladigan bog'lanishi tushunchasidan amorf jismlar tushuniladi ulardan bog'lanish boshqacha bo'ladi, ya'ni yaqindagi joylashuv saqlanib qolgan uzoqdagi bog'lanish esa buzilgan bo'ladi.¹¹



1.16-chizma. Qattiq jism kristallarining joylashishi

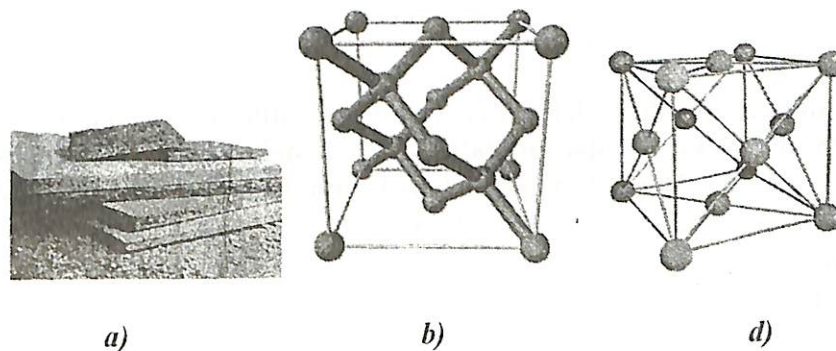
Tartibli yoki tartibsiz joylashishini - yuqori molekulasi-polimer metallarda kuzatish mumkin. Agarda yana meteorit haqida gapiradigan bo'lsak, asosiy aniqlash yo'llaridan ba'zilari, rentgent strukturalari, ionlar bilan bombardimon qilish, yana eng asosiysi begona atomni kirgizish bundan maqsad o'sha topilma ichida bor moddalar haqida bilishdir (1.17-chizma).



1.17-chizma. Qattiq jismlarning energetikada qo'llanilishi

Jismlarda defektlar hosil qilishimiz uchun materialni fizik xususiyatini juda yaxshi bilishimiz kerak bo'ladi, buni hosil qilishdan asosiy maqsad texnikada turli xildagi har xil material va asbob uskunalarini tayyorlashda qo'l keladi, yana eng asosiysi begona atomni kirgizish bundan maqsad o'sha topilma ichida bor moddalar haqida bilishdir (1.18-chizma).

Shu yerda yana qattiq jismlar kristall panjara defektiga, kristall panjarani elektrostatik maydonda buzilishiga aytiladi, sabab har xil begona atomlar, qo'shimcha primeslar, dislokatsiya, termik va boshqalar misol bo'ladi.¹²



1.18-chizma. Materialning fizik xossalari

¹¹ Callister, William D., Materials science and engineering: an introduction, 7th ed.p.cm/ - Printed in the United States of America/ John Wiley & Sons, Inc.- 2007. 8-bet.

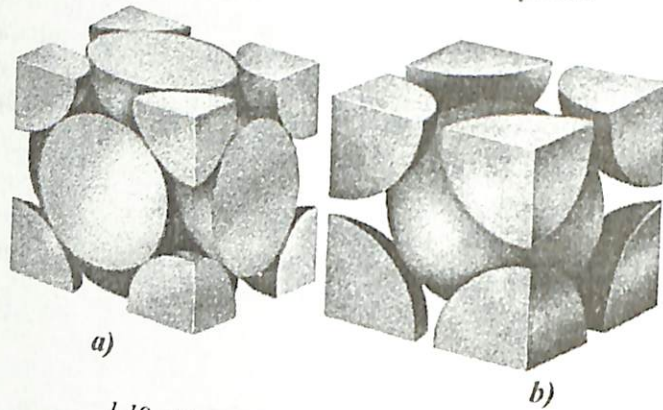
¹² Bijay_Kumar Sharma., Electrical and Electronic Materials Science./ - OpenStaxCNX./ Indiya - 2014, 10-bet.



1.7. Metallar haqida umumiy ma'lumot

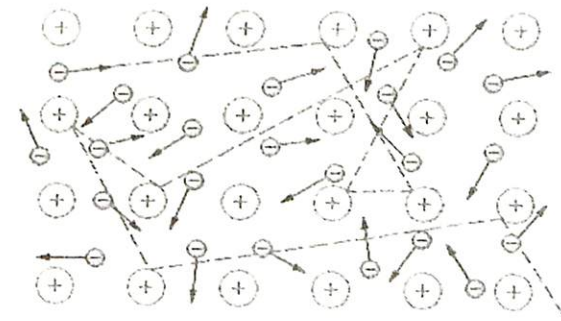
Ma'lumki metallar qattiq holatda kristall tuzilishga ega. Zarralar kristalllarda muayyan tartibda joylashib, fazoviy panjara hosil qiladi. Kristallning ko'rinishi va shakli kristall panjaraga bog'liq. Metallarning kristall panjarasi tugunlarida musbat zaryadli ionlar joylashadi, ular orasidagi fazoda esa erkin, ya'ni o'z atomlarining yadrolari bilan bog'lanmagan elektronlar harakatlanadi (1.19-chizma).

Hamma erkin elektronlarning manfiy zaryadi absolyut qiymati jihatidan panjaraning hamma ionlari musbat zaryadi yigindisiga teng. Shu sababli odatdagi sharoitda metall elektr jihatdan neytral bo'ladi. Unda erkin elektronlar tartibsiz harakat qiladi.



1.19-chizma. Metall kristalining tuzilishi

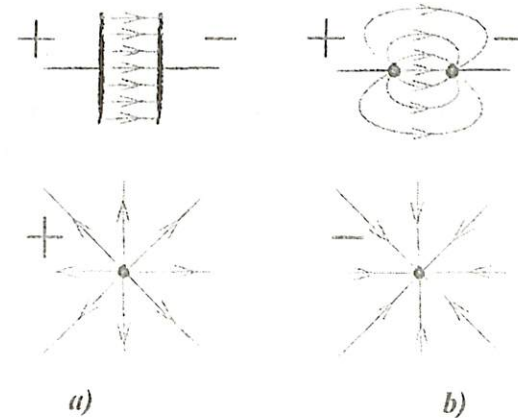
Ammo, metalda elektr maydon hosil qilinsa, hamma erkin elektronlar elektr kuchlarning ta'siri yo'nalishida harakat qila boshlaydi, metalda elektr toki vujudga keladi. Bunda ham elektronlarning tartibsiz harakati, xuddi shamol bir tomonga uchirib ketayotgan chivinlar galasidagi chivinlarning tartibsiz harakati singari albatta saqlanadi.¹³ Shunday qilib, metallardagi elektr toki erkin elektronlarning tartibli harakatidan iboratdir (1.20-chizma).



1.20-chizma. Metallardagi elektr toki erkin elektronlarining harakati

O'tkazgichda elektr maydon ta'siri ostidagi elektronlarning harakat tezligi uncha katta emas – atigi sekundiga bir necha millimetr, ba'zan undan ham kichik bo'ladi. Ammo, o'tkazgichda elektr maydon vujudga kelishi bilan bu maydon yorug'likning vakuumdagi tezligi (300000km/s) ga yaqin juda katta tezlik bilan butun o'tkazgich bo'ylab tarqaladi.

Elektr maydonning tarqalishi bilan bir vaqtda butun o'tkazgich bo'ylab elektronlar bir yo'nalishda harakatga keladi. Masalan: elektr lampa zanjiri ulansa, lampa spiralidagi elektronlar ham tartibli harakatga keladi (1.21-chizma).



1.21-chizma. Turli xil o'tkazish muhitlarida elektr maydonning tarqalishi

¹³ T.K. Basak. Electrical engineering materials. New Age International, Nil edition. USA, 2009. 17-bet

Buni tushunib olish uchun elektr tokini suv quvuridagi suv oqimi bilan, elektr maydonning tarqalishini esa, suv bosimining tarqalishi bilan solishtirish lozim bo'ladi.

Suv quvur minorasiga ko'tarilayotganda uning bosimi butun suv quvuri bo'ylab juda tez tarqaladi. Suv quvuri jo'mragini ochganimizda suv bosim ostida bo'ladi va darhol jo'mrakdan oqib chiqib boshlaydi. Jo'mrakdan unga kelib turgan suv chiqib boshlaydi, ammo minoradagi suv jo'mrakka ancha keyin yetib keladi, chunki suvning harakat tezligi bosimning tarqalish tezligidan kichik.¹⁴

O'tkazgichda elektr tokining tarqalish tezligi to'g'risida so'z borganda shu o'tkazgichda elektr maydonning tarqalish tezligi ko'zda tutiladi.

1.8. Metallarni kristall tuzilishi va uning xossalari

Metallning kristall tuzilishini oddiy ko'z bilan aniqlasa bo'ladi. Metaldan biror namuna olib, uning yuzasini yaxshilab jilvirlasak, yirik donachalarni ko'rishimiz mumkin. Bu donachalar yorug'lik nurini qaytarish xossasiga ega bo'lsa, qattiq jism kristall tuzilishga ega ekan degan xulosaga kelish mumkin lekin har qanday qattiq jism kristall jism bo'lavermaydi.¹⁵

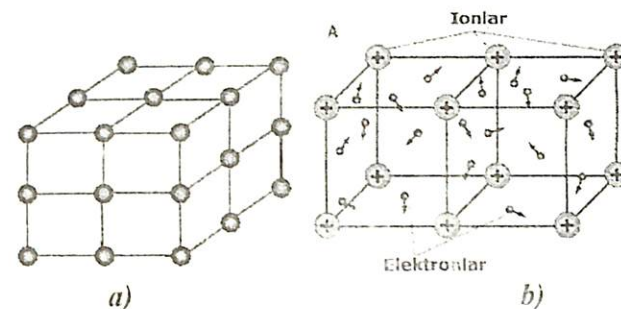
Kristall jism deb zarrachalarning jismda fazoviy joylashishining ma'lum bir geometrik tartibiga aytiladi.

Odatda bunday joylashish aniq simmetriyaga ega bo'lish bilan bir qatorda ko'p qirrali jismni eslatadi. Aslida ana shu qirrali jismni kesilgan joyi (jismning uchi) atomlarning joylashish o'rnini ko'rsatadi. Demak, kristallar uchta o'lchamda joylashgan atomlar tartibi bo'lib, muvozanat sharoitda to'g'ri simmetriyaga ega bo'lgan ko'p qirrali jismdir. Kristall jismda zarrachalarning (atom, ion yoki molekula) uch o'lcham bo'yicha doimiy takrorlanishi (qaytarilishi) natijasida kristall panjarada zarrachalarning o'zaro tortishish va itarilish muvozanatida saqlanadi, bunda ichki potensial energiya ana

¹⁴ Callister, William D., Materials science and engineering: an introduction. 7th ed. p.cm/ - Printed in the United States of America/ John Wiley & Sons, Inc. - 2007. 15-bet.

¹⁵ Bijay_Kumar Sharma., Electrical and Electronic Materials Science./ - OpenStaxCNX./ Indiya - 2014, 12-bet.

shu muvozanatni saqlash uchun kerak bo'lgan eng kam qiymatga ega bo'ladi (1.22-chizma).



1.22-chizma. Metallning kristall panjarasi

Zarrachalarning kristall jismdagi bunday joylashish tartibi yuzlab, minglab kristall panjara davri sifatida qaytarilishi mumkin.

Kristall jismlarda kristall panjaraning turlari atomlarning o'zaro joylashishiga qarab har xil bo'ladi. Kristall katakchanning turi koordinatsion son tushunchasi bilan ifodalanadi. Kristall panjarada eng yaqin bir xil masofada turgan atomlar soniga shu kristall panjaraning koordinatsion soni deb ataladi va u harflar bilan belgilanadi. Masalan: oddiy kub katakning koordinatsion soni 6 ga teng bo'lib K_6 , markazlashgan kub katakchani hisoblanadi.

K_8 , yoqlari markazlashgan kub katakniki esa K_{12} , atomlari zich joylashgan cheksagonal katakniki G_{12} va shuningdek oddiy tetragonal katakniki T_6 deb belgilanadi. Kub katakchanning o'lchamlari qiymati atom o'lchamlari qiymati bilan belgilanadi, bunday o'lchov birligi nanometr (nm) deb ataladi.¹⁶

Ba'zi metallarning polimorf o'zgarishlari

1.1-jadval

	Elementning polimorf ko'rinishi	Muvozanat holatining harorat oralig'i	Kristall tuzilishi
Fe	α	0-911 va 1392-1539	K_8
	β	911-1392	K_{12}

¹⁶ T.K. Basak. Electrical engineering materials. New Age International, Nil edition. USA, 2009. 21-bet

Co	α	0-450	G_{12}
	β	450-1480	K_{12}
Si	α	0-18	K_6
	β	18-232	T_8
Ti		0-882 882-1660	G_{12} K_8
Mn	α	0-700	K_6
	β	700-1079	K_6
	γ	1079-1143	T_{12}
	δ	1143-1244	K_8

Birgina kimyoviy elementning sharoitga qarab bir necha elementar kristall panjara turlariga ega bo'lishi metallardagi *polimorfizm yoki allotropik shakl o'zgarishi* deb ataladi.

Metallardagi polimorf o'zgarish izotermik (harorat o'zgarimasdan sodir bo'ladigan) jarayon bo'lib, u issiqlik chiqarish yoki yutish xususiyatiga ega. Boshqacha qilib aytganda polimorf o'zgarishda qayta kristallanish sodir bo'ladi.¹⁷

Birgina elementning bir necha turdagi kristall panjara ko'rinishlari polimorf qatorni tashkil qiladi. Elementlarning har xil polimorf shakllari misol tariqasida quyidagi 1.2-jadvalda keltirilgan.

Ba'zi metallarning elementlar katakcha o'lchamlari

1.2-jadval

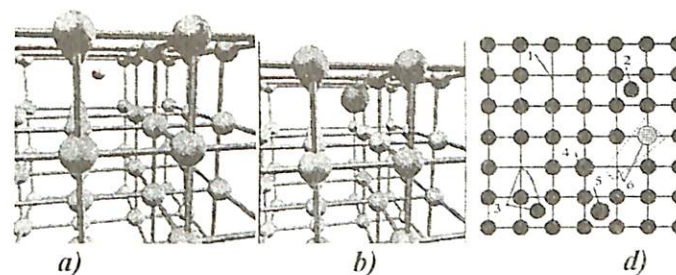
Atom katakchanning turi	Metallar	Elementar panjara qirralari o'lchami, nm (1 nm=10 ⁻³ sm)
K_6	Fe	a=b=s; a=0,28606
K_8	Cr	a=b=s; a=0,28788
K_{12}	Ni	a=b=s; a=0,35165
G_{12}	Ti $_{\alpha}$	a=b=0,2951; s=0,4679; s/a=1,5873

1.9. Kristall panjaradagi chetki moddalar diffuziyasi

Kristall jism atomlari diffuziyasi. Yuqorida kristall jismning tuzilishida vakansiya, dislokatsion atomlar haroratning ko'tarilishi bilan o'z o'rinlarini almashtirishlarini ko'rsatib o'tgan edik. Kristall jismdagi bu harakat diffuziyaning asosini tashkil qiladi. Texnikada qo'llanilayotgan muhim jarayonlar, ko'pgina tabiiy, sun'iy kimyoviy reaksiyalarning asosini diffuziya tashkil qiladi.¹⁸

Jismning gaz, suyuq hamda qattiq holatlarida qo'llaniladigan diffuziya qonunlari Fik qonunlari deb ataladi. Birinchi qonun gazlardagi zarrachalarning tartibsiz harakatiga asoslanadi, ya'ni bu qonun asosida diffuziya yo'nalishini aniqlash qiyin. Agar aralashmaning ma'lum bir yo'nalishda tarkibi, ya'ni konsentratsiyasi bir xil bo'lmasa, diffuziyaga ega bo'ladi. Masalan: zarrachalar katta konsentratsiyali aralashmadan kichik konsentratsiyali massaga diffuziyalanadi. Fikning birinchi qonuniga asosan bunday oqim quyidagicha ifodalanadi.

$$DM = -D \cdot dt \cdot dS \cdot d\phi/dx$$



1.23-chizma. Kristall jism atomlari diffuziyasi

Agar massa bir komponentli bo'lib, ikki qismdan iborat bo'lsa, birinchi qismning zichligi ikkinchi qismga qaraganda kattaroq deb qarash kerak (1.23-chizma). Bu holda modda zichlik katta qismdan zichlik kichik qismga diffuziyalanadi. Agar shartli ravishda jismni ikki komponentli sistema deb qaralsa, minus ishora dt vaqt davomida ds fazoviy yuzadan dx yo'nalishga perpendikulyar bo'lgan

¹⁷ Bijay Kumar Sharma., Electrical and Electronic Materials Science./ - OpenStaxCNX./ Indiya - 2014, 13-bet.

¹⁸ Callister, William D., Materials science and engineering: an introduction, 7th ed.p.cm/ - Printed in the United States of America/ John Wiley & Sons, Inc.- 2007. 18-bet.

yoʻnalishda birinchi komponentning yuqori konsentratsiyali qismdan kichik konsentratsiyali qismga diffuziyalanishini ifodalaydi.

Bu tenglamada $d\phi/dx$ zichlik gradiyenti: D -diffuziya koeffitsiyenti.

Kub katakchali polikristallarda diffuziya koeffitsiyenti diffuziya yoʻnalishiga bogʻliq emas, yaʼni u izotropik xossaga ega. Boshqa hollarda diffuziya koeffitsiyenti tajriba oʻtkazish usuli bilan aniqlanadi.

Kristall jismdagi diffuziya jarayoni mexanizmi har xil boʻlishi mumkin. Oʻz-oʻzidan diffuziyalanishda ham, qoʻshimcha zarrachalar diffuziyasida ham vakansiya mexanizmi muhimdir. Bu holda diffuziyaning eng oddiy koʻrinishi atomning qoʻshni vakansiyaga koʻchishidir, natijada yangi vakansiya hosil boʻladi. Diffuzion almashish mexanizmi kristall katakcha yoqlari, oʻrtasida kichik oʻlchamli atomlar joylashgan hollarda roʻy beradi. Masalan: kristall panjarada uglerod, azot, bor atomlari joylashgan temirda diffuziyaning shu mexanizmi kuzatiladi.

Maʼlumki, diffuziya tezligi kristall panjaradagi vakansiya yoki dislokatsion atomlarning zichligiga bogʻliq. Haroratning oshishi bilan bu nuqsonlarning zichligi ham ortib boradi. Shuning uchun ham diffuziya tezligi haroratga bogʻliqdir.

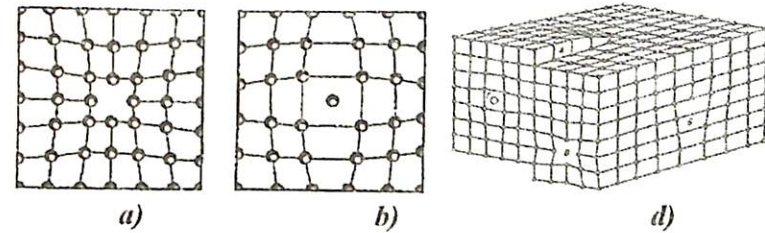
Real kristall jismlar nuqsonlarning notekis joylashishi bilan karakterlanadi.

Real kristallarning tuzilishi diffuziya mexanizmiga katta taʼsir qiladi. Eng muhimi diffuzion jarayonlar kristall jismlarda roʻy beradigan faza oʻzgarishining sababchilaridir.

1.10. Kristall panjaradagi nuqsonlar va ularni bartaraf etish usullari

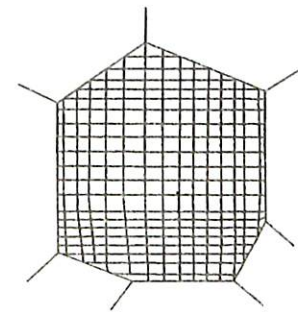
Kristall panjaradagi nuqsonlar va ularni bartaraf etish usullari. Ideal hamda real jismlar degan tushunchalar mavjuddir (1.24-chizma). Biz shu paytgacha kristallardagi atomlarning aniq va yuqori tartibda joylashishini koʻrib oʻtdik, yaʼni ideal kristall panjara haqida fikr yuritdik.¹⁹

¹⁹ T.K. Basak. Electrical engineering materials. New Age International, Nil edition. USA, 2009. 27-bet



1.24-chizma. Kristall panjaradagi nuqsonlar

Vakansiya toʻplangan joydagi normal yoʻnalish boʻyicha siljish natijasida hosil boʻlgan dislokatsiya *vintsimon dislokatsiya* deb ataladi. Bu tushunchani Daniya olimi Byurgers kiritgan. Agar vintsimon dislokatsiya kristalning yuzasiga chiqsa, zinapoya hosil boʻladi. Kristallar kristallanish jarayonida shu zinapoya shaklida oʻsadi. Dislokatsiyaning vujudga kelishidagi siljish vektori *Byurgers vektori* deb ataladi, u dislokatsiya qiymatini belgilaydi. Bu vektor modulining eng kichik qiymati kristall panjara atomlari orasidagi masofaga teng. Umuman olganda, dislokatsiya fazoviy chiziq boʻlishi ham mumkin lekin bunda modul qiymati oʻzgarib ham, dislokatsiya yoʻnalishi oʻzgarishi mumkin. Dislokatsiyaning yana bir muhim xususiyatlaridan biri uning zichligidir. Kristalning 1 sm^2 yuzasini kesib oʻtgan dislokatsiya soniga *dislokatsiya zichligi* deyiladi. Juda sokin kristallanayotgan jismlarning dislokatsiya zichligi 10^2 - 10^4 sm^{-2} ga teng (1.25-chizma).

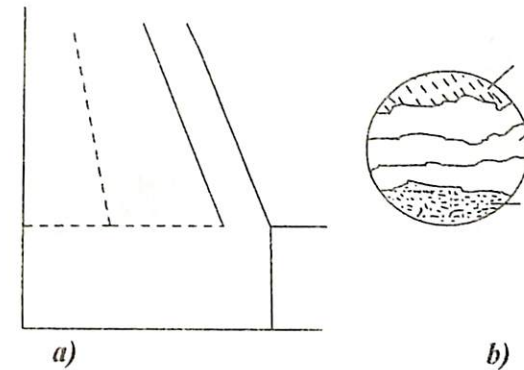


1.25-chizma. Kristallarning ichki tuzilishi

Muvozanatdagi polikristallarning dislokatsiya zichligi 10^6-10^7 sm^{-2} ga yetadi. Juda katta plastik deformatsiya natijasida dislokatsiya zichligi 10^8-10^{12} sm^{-2} ga yetishi mumkin.²⁰

Sirtqi nuqsonlarga dislokatsiyaning yeyilib, to'planib qolgan joyi (dislokatsiya davri) ham kiradi. Elektron mikroskop yordamida ana shunday devorlar yaqqol ko'rinadi. Sirtqi va tekislikdagi nuqsonlar umuman olganda, bloklar, devorchalar chegaralarini hosil qiladi. Haqiqiy polikristallar juda ko'p donachalar (kristalleylardan) iborat. Bu donachalarning o'lchami yuzdan bir millimetrgacha bo'lishi mumkin. Har bir donacha (kristalley) yaxlit bir kristall emas, balki u ham o'z navbatida parchalardan yoki bo'lakchalardan iborat bo'lib, ularning o'lchamlari donachaning o'lchamidan 100, hatto 1000 marta kichikdir.²¹

Agar sinish yuzasi gadir-budur bo'lsa, materialdan tayyorlangan buyum deformatsiyaga uchramaydi, ya'ni metall mo'rt bo'lib, tashqi kuch ta'sirida sinadi. Agar kristall jismdagi donachalar deformatsiyalanmasa, ya'ni donacha chegaralari yetarli darajada nuqsonlarga ega bo'lsa, kristall ana shu donacha chegaralari bo'ylab yemiriladi. Sinish yuzasi oyna kabi yaltiroq bo'lsa, yuzasida sinish markazi bo'ladi, ana shu markazdan sinish tolalarining yo'nalishi ko'rinib turadi, bunday sinish juda katta deformatsiya natijasida vujudga keladi. Charchash natijasida sinish ham xuddi shunday sodir bo'ladi. Sinish yuzasining bir parcha joyi bo'rtib chiqib, qolgan joylari tekis, tolasimon, yaltiroq bo'lsa, *aralash sinish* deb ataladi (1.26-chizma).



1.26-chizma. Charchash natijasida yemirilish diagrammasi (σ) va unga mos keladigan yemirilish turi

1.11. Rangli metallar ishlab chiqarish

Rangli metallardan va ularning qotishmalaridan mashinasozlik sanoatida, elektr texnikada va boshqa sohalarda keng ko'lamda foydalaniladi. Rangli metallarga mis, qo'rg'oshin, alyuminiy, qalay, nikel, magniy, xrom, volfram, titan, va hokazolarni misol qilishimiz mumkin. Eng ko'p tarqalgan rangli metall bu alyuminiydir. Alyuminiy samolyotsozlikda, mashinasozlikda yengil metall bo'lganligi uchun qo'llansa, elektr texnikada elektr tokini yaxshi o'tkazish xususiyati uchun qo'llanmoqda. Korroziyaga ham ancha chidamli, chunki uning yuzasida hosil bo'ladigan oksid parda (Al_2O_3) o'z ostidagi qatlamni oksidlanishdan saqlaydi. Alyuminiy juda aktivligi sababli tabiatda sof holda uchramaydi.²²

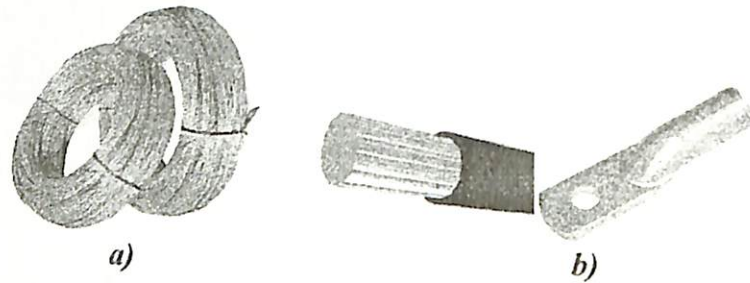
Rangli metallarning yana bir vakili mis bo'lib, mis ham alyuminiy singari korroziyabardosh, elektr tokini juda yaxshi o'tkazadi, tabiatda murakkab birikmalar tarzida tog' jinslari tarkibida uchraydi. Tabiatda sof holda juda kam uchraydi. Umuman olganda rangli metallar sanoatda eng muhim xomashyo hisoblanadi.

Alyuminiy ishlab chiqarish. Asosiy alyuminiy rudalariga boksit, kaolin, alunit, nefelin va boshqa minerallar kiradi (1.27-chizma).

²⁰ Callister, William D., Materials science and engineering: an introduction, 7th ed.p.cm/ - Printed in the United States of America/ John Wiley & Sons, Inc.- 2007. 19-bet.

²¹ Bijay_Kumar Sharma., Electrical and Electronic Materials Science / - OpenStaxCNX,/ Indiya - 2014. 16-bet.

²² Callister, William D., Materials science and engineering: an introduction, 7th ed.p.cm/ - Printed in the United States of America/ John Wiley & Sons, Inc.- 2007. 21-bet.

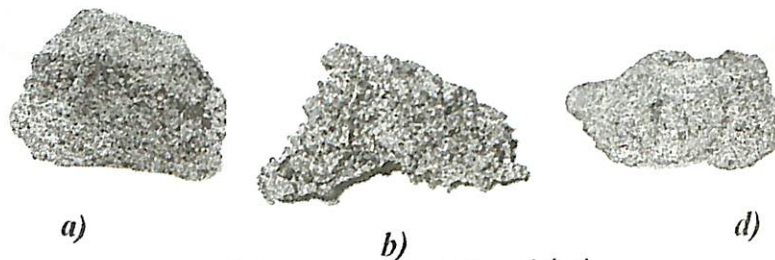
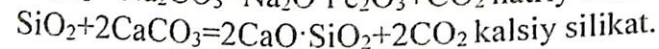
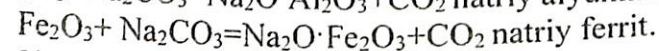
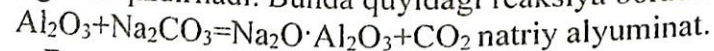


1.27-chizma. Alyuminiydan tayyorlangan mahsulotlar

Alyuminiy rudalaridan alyuminiy olish texnologiyasini ikki turga bo'lish mumkin.

1. Alyuminiy rudalaridan alyuminiy oksid (gil tuproq) olish.
2. Alyuminiy oksiddan alyuminiy ajratib olish.²³

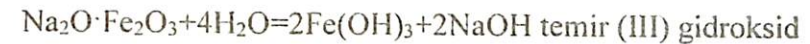
Alyuminiy rudalaridan alyuminiy oksid olishda rudaning tarkibidagi qo'shimchalarning xiliga va miqdoriga qarab, ishqoriy, kislota-
viy va elektr termik usullardan foydalaniladi. Lekin bularning ichida ishqoriy usul ko'proq tarqalgan. Bu usul dastavval boksit tarkibidagi gigroskopik suvdan kutilishi uchun uni ma'lum temperaturagacha qizdirib, olingan boksit sharaviy tegirmonlarda kukun holiga kelguncha maydalanadi, hosil bo'lgan boksit kukuniga ma'lum miqdorda maydalangan ohak (CaCO_3) va soda (Na_2SO_3) aralashtirib olingan aralashma aylanadigan barabanli maxsus pechda $900-1100^\circ\text{C}$ temperaturagacha qizdiriladi. Bunda quyidagi reaksiya boradi.



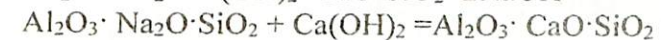
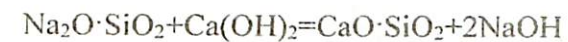
1.28-chizma. Alyuminiy rudalari

²³ T.K. Basak. Electrical engineering materials. New Age International, Nil edition. USA, 2009. 32-bet

Olingan massa sharaviy tegirmonda kukun qilib yanchiladi, so'ngra metall baklarda 60°C chamasidagi temperaturali suv bilan ishlanadi (1.28-chizma). Bunda natriy alyuminat va natriy ferrit suvda eriydi. Kalsiy silikat va boshqa qo'shimchalar esa erimay cho'kadi. Olingan eritmani yana suv bilan ishlab natriy ferrit temir (III)-gidroksid tarzida cho'k tirib ajratiladi:



Endi eritmada Na_2O , Al_2O_3 bilan qisman SiO_2 qoladi. Eritmadagi SiO_2 dan qutulish maqsadida eritmaga biroz ohak qo'shib maxsus apparatga solinib, 130°C temperaturada 5-6 atm bosimda bir necha soat ishlanadi. Bunda tubandagi reaksiyalar oqibatida kremniyli birikma cho'kmaga o'tadi.²⁴



keyin eritmadan karbonat $+2\text{NaOH}$ anhidrid (Ca)₂ ni o'tkazib ishlanadi.

Bunda tubandagi reaksiya boradi.



Alyuminiy gidroksid cho'kma tarzida ajraladi. Natriy karbonat esa eritmada qoladi. Alyuminiy gidroksid ajratilib filtrlanadi, yuviladi va 1300°C gacha qizdiriladi. Bunda u parchalanib, alyuminiy oksid ajraladi.²⁵

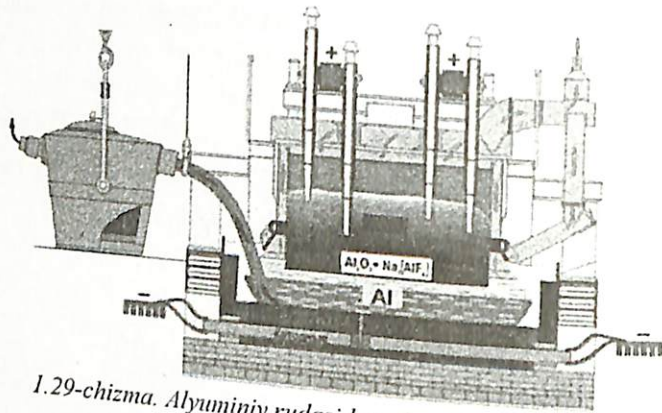


Alyuminiy oksiddan alyuminiy ajratib olish. Alyuminiy oksiddan alyuminiy maxsus vannada elektroliz yo'li bilan olinadi. Bunday vannaning sxemasi keltirilgan. Vannaning ichiga issiqlik o'tkazmaydigan g'isht terilgan, metall kojuxdan iborat bo'lib, biton fundamentiga o'rnatilgan. Elektrolizer futerovkasining tubiga mis katod plita o'rnatilgan. Shunday qilib, vannaning korpusi elektrolizerning

²⁴ Callister, William D., Materials science and engineering - an introduction, 7th ed. p.cm/ - Printed in the United States of America/ John Wiley & Sons, Inc. - 2007 22-bet

²⁵ Bijay_Kumar Sharma., Electrical and Electronic Materials Science. / - OpenStaxCNX./ Indiya - 2014, 18-bet.

katod qurilmasi bo'lib, xizmat qiladi. Anod qurilmasi esa vertikal o'rnatilgan ko'mir elektrolitlardan iborat bo'lib, uning ostki qismi elektrolitlar kriolit – $AlF_3 \cdot 3NaF$ larga botirilgan. Anod va katod elektrolit 930-950°C ga qiziydi. Elektroliz davrida anodning asta-sekin yonishida shtirlar uni pastga tomon surib turadi. Elektrolit chala suyuq anod massasi bilan to'ldirib turiladi. Elektroliz o'zgaras tokda olib boriladi, bunda kuchlanish 5-10V va tok kuchi 50,000-150,000A bo'ladi.²⁶



1.29-chizma. Alyuminiy rudasidan alyuminiy olish texnologiyasi

Elektrolitdan tok o'tganda elektrolit ham, ko'proq molekulari ham ionlarga ajraladi, ya'ni $Na_3AlF_6 \rightarrow 3Na + AlF_6^{3-}$ - $Al_2O_3 \rightarrow Al^{3+} + Al_2O_3^{3-}$ ion katodga borib u yerda zaryadsizlanadi: $Al^{3+} + 3e = Al_{10}$

Ajralgan alyuminiy vannaning tubiga cho'kadi. Elektrolitda giltuproq kamaygan sari vannaga giltuproq qo'shib turiladi (1.29-chizma). AlO_3^{3-} - anodga borib unda zaryadsizlanadi-da alyuminiy oksidga aylanadi va kislorod ajratadi. Ajralgan kislorod anod uglerodi bilan reaksiyaga kirishib, uglerod oksid, karbonat angidrid hosil qiladi va bu gazlar atmosferaga chiqarib yuboriladi. Vanna tubiga yigilgan suyuq alyuminiy har 3-4 sutkada chiqarib turiladi. Olingan alyuminiyda kriolit, giltuproq, gazlar va boshqa qo'shimchalar qisman aralashgan bo'ladi. Shu sababli uni bu aralashmalardan tozalash necha minut xlor o'tkaziladi. Agar juda toza alyuminiy olish zarur

²⁶ Bijay_Kumar Sharma., Electrical and Electronic Materials Science / - OpenStax/CNX, / Indiya - 2014. 19-bet.

bo'lsa, tozalashning elektrolitik usulidan foydalaniladi. Bu usulda anod sifatida tozalanadigan alyuminiy, katod sifatida toza alyuminiy, elektrolit sifatida esa biror xlorid yoki fluoridning suvdagi eritmasi olinadi. Elektroliz davrida anod erib, ajralgan alyuminiy katodga utiradi. Qo'shimchalar esa vanna tubiga cho'kadi. GOST 1169-64 ga ko'ra ishlab chiqariladigan alyuminiy 3 gruppaga bo'linadi:

I - guruhga nihoyatda toza alyuminiy kiradi. Bunday alyuminiyda sof alyuminiyning miqdori 99,999% dan kam bo'lmaydi va u A-999 deb markalanadi.

II - guruhga juda toza alyuminiy kiradi. Uning A-995; A-99; A-97; A-95; markalari bo'ladi.

III - guruhga esa texnikaviy toza alyuminiyning A-85; A-8; A-7; A-6; A-5; A-0; va A markalari bo'ladi. A markali alyuminiyda qo'shimchalar miqdori 1% ga yetadi (1.4-rasm). Alyuminiydan elektr texnikada kimyoviy apparatlar tayyorlashda foydalaniladi.²⁷

Mis ishlab chiqarish. Homaki misni maxsus konvertorlarda suyuq shteyndan havo haydash yo'li bilan olish usuli mavjud. Konvertorga shteynни quyishdan avval konvertor shunday holga keltiriladiki, uning og'zidan shteyn quyilganda u havo haydaydigan forma teshiklaridan oqib ketmasligi kerak. Keyin esa uning og'zidan avvalo suyuq shteyn, uning yuzasiga esa flyus (qumtuproq) solinadi, so'ngra 0,8-1,2 atm. bosimdagi havo trubadan furma orqali haydaylib konvertor ish holatiga keltiriladi. Shu vaqtdan ish jarayoni boshlanadi. Shteynning zichligi misnikidan kichik bo'lganligi uchun ish davomida bir necha bor to'ldirilib turish bilan konvertor sigimidan to'la foydalaniladi.

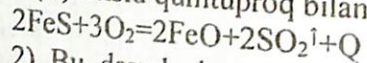


1.4-rasm. Mis rudalari

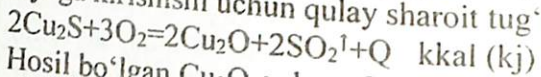
²⁷ T.K. Basak. Electrical engineering materials. New Age International, Nil edition. USA, 2009. 35-bet

Konvertorda o'tadigan jarayonni 2 ta bosqichga bo'lish mumkin.

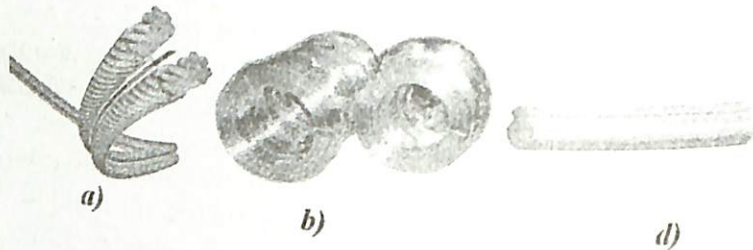
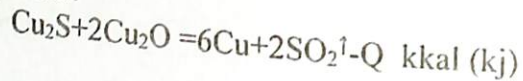
1) Bu bosqichda temir (II)-sulfid oksidlanadi va hosil bo'lgan temir (II)-oksid qumtuproq bilan birikib shlak hosil qiladi.²⁸



2) Bu davrda konvertorda qolgan Cu_2S havo kislorodi bilan reaksiyaga kirishishi uchun qulay sharoit tug'iladi.



Hosil bo'lgan Cu_2O qolgan Cu_2S bilan reaksiyaga kirishib misni qaytaradi.



1.5-rasm. Misdan tayyorlangan mahsulotlar

Bu jarayon 15-20 soat davom etadi va mahsulot konvertorning og'zidan chiqariladi. Xomaki misning 98,5-99,5 foizi mis, qolgani qo'shimcha metallar (Fe, Ni, Pb, va boshqalardan iborat bo'ladi) (1.5-rasm). Xomaki misdan quyma plitalar olinadi. Undan texnika maqsadlari uchun foydalanib bo'lmaydi, chunki uning tarkibida 0,05-1,5% gacha qo'shimchalar bo'lganligi uchun bunday misning mexanikaviy va fizikaviy xossalari yomon bo'ladi. Bunday mislarni texnikada ishlatish uchun, quyidagi 2 usulda tozalanadi. a) termik usul: b) elektroliz yo'li bilan.

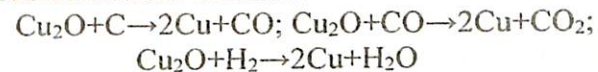
a) *Xomaki misni termik usulda tozalash:*

Xomaki mis tarkibida juda oz miqdorda nodir metallar – oltin, kumush bo'lsa, olinadigan metaldagi bekorchi qo'shimchalar miqdoriga u qadar katta talab qo'yilmasa, bu usuldan foydalaniladi. Bu protsess katta sig'imli (250T gacha) mazut yoki kukun yoqilg'i yoqiladigan alangali pechlarda olib boriladi. Pechga solingan xomaki

²⁸ Callister, William D., Materials science and engineering: an introduction, 7th ed.p.cm/ - Printed in the United States of America/ John Wiley & Sons, Inc. - 2007. 24-bet.

mis to'la suyuqlangach, 20-30 mm diametrli temir trubalari orqali metalga 1-2 atm bosimda havo haydaladi. Havo kislorodi qo'shimchalarni va qisman misni ham oksidlaydi.²⁹

Hosil bo'lgan oksidlarning bir qismi (Sb_2O_3 , PbO , ZnO , SO_2) pech gazlari bilan atmosferaga chiqib ketsa, boshqalari (Fe_2O_3 , Al_2O_3 , SiO_2) shlakka o'tadi. Oltin va kumush esa metalda suyuqlangan bo'ladi. Hosil bo'lgan mis oksidlari suyuq metalda va shlakda eriydi. Shuning uchun ham misni qaytarishdan avval metall yuzasidagi shlak so'rib olinib, qayta ishlash uchun konvertorga uzatiladi. Metall oksidlanmasligi uchun uning yuzasiga pista ko'mir kukuni sepiladi. So'ngra misni qaytarish va undagi erigan gazlardan qutilish uchun metall diametri 250-350 mm, uzunligi 7-10 m keladigan ho'l tayoqlar bilan aralashtirilib turiladi. Bu operatsiya misning to'laroq qaytarilishiga imkon beradi. Bu protsessni quyidagi tenglamalar bilan ifodalash mumkin:



Misni qaytarish plastik mis olinguncha davom ettiriladi, so'ngra undan quymalar olinadi yoki elektroliz usulida yanada tozalash uchun zarur bo'lgan anod plitalar olinadi. Bu usulda olingan misda qo'shimchalar miqdori 0,3-0,5% dan ortmaydi.

b) *xomaki misni elektroliz yo'li bilan tozalash.*

Xomaki misni elektroliz yo'li bilan tozalash usulidan yuqori sifatli mis olishda va undan nodir metallarni (oltin, kumush va boshqalar) ajratib olishda foydalaniladi. Bu protsess maxsus elektrolit qo'yilgan qo'rg'oshin list yoki plastmassa bilan futerovkalangan (yogoch yoki beton) vannalarda olib boriladi. Mis kuporosining suvdagi 12-15% li eritmasi ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) ga 10-15% li sulfat kislotaga (H_2SO_4) aralashmasi qo'shib elektrolit tayyorlanadi. Elektrolitli vannaga bir necha anodli va katodli plitinkalar ketma-ket tushiriladi. Anod sifatida o'lchami 1x1 m, qalinligi 40-50 mm li xomaki mis plitinkalardan, katod sifatida esa 0,5-0,7 mm qalinlikdagi elektrolitik misdan foydalaniladi.³⁰

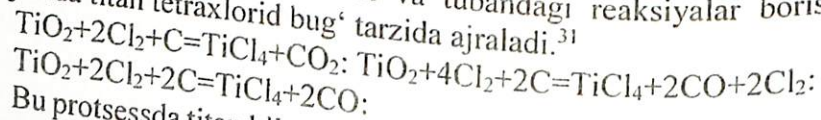
²⁹ Bijay_Kumar Sharma., Electrical and Electronic Materials Science./ - OpenStaxCNX./ Indiya - 2014, 15-bet.

³⁰ Bijay_Kumar Sharma., Electrical and Electronic Materials Science./ - OpenStaxCNX./ Indiya - 2014, 18-bet.

Titan ishlab chiqarish. Titan hozirgi kunda sanoatning turli sohalarida, samolyotsozlikda, mashinasozlikda, metallurgiyada, raketsozlikda, kemasozlikda foydalanilmoqda. Chunki u aktiv muhitda ham korroziyaga chidamli materialdir.

Titan tabiatda birikmalar va minerallar tarkibida uchraydi. Titan ishlab chiqarishda foydalaniladigan minerallarga rutil, ilmenit, titanit, perovskatlar kiradi. Titan rudalardan titan konsentratini olish uchun ruda avvalo boyitiladi, keyin bu konsentrat devori grafitdan yasalgan yoy pechlarida suyuqlantiriladi. Bu jarayonda konsentratdagi temir oksidlari qaytarilib, pech tubiga yigiladi, TiO_2 esa shlakka o'tadi. Sovitilgan shlak kukun qilinadi va uglerodli bog'lovchi moddalar qo'shib ko'riladi-da, keyin zichlanadi. Qizdirish (pishirish) yo'li bilan ulardan briketlar olinadi. Titanni bu briket tarzidagi birikmadan ajratish jarayonini umumiy holda tubandagi ikki bosqichga bo'lish mumkin: 1-bosqich: Titan briketlarini xlor bilan ishlab titan tetraxlorid ($TiCl_4$) olish; 2-bosqich: Titan tetraxloriddan titanni ajratib olish;

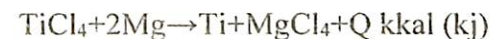
Briketlarni xlorlash uchun germetik pechlarda ularga argon muhitida xlor bilan ishlov beriladi. Pech silindr shaklida, devorning tashqi qismi temir listdan bo'lib, uning ichiga dinas g'ishti terilgan. Pech pastki qismiga joylashtirilgan grafitdan yasalgan qarshilik elementlari vositasida qizdiriladi. Rutil briketlari pechga maxsus yuklash bunkerini orqali vaqti-vaqti bilan kiritib turiladi. Elektrodlar orqali tok berilganda qarshilik elementlari vositasida pech temperaturasi $800-850^\circ C$ ga ko'tariladi va tubandagi reaksiyalar borishi natijasida titan tetraxlorid bug' tarzida ajraladi.³¹



Bu protsessda titan bilan birga boshqa elementlar va oksidlar ham xlorlanadi va qaynash temperaturasi past bo'lganlari esa gaz holatiga o'tadi. Bug'holatida ajraluvchi mahsulotlar, avval chang tutkichda changdan tozalanadi, so'ngra xlorid bug'lari kondensatorga o'tib, sovib suyuqlanadi. Suyuqlangan holdagi $TiCl$ tindirish va filtrlash yo'li bilan qo'shimchalardan tozalanadi. Toza tetraxlorid - $TiCl_4$ dan titan maxsus pechlarda magniy, vodorod yoki natriy yordamida qaytariladi. Amalda, $TiCl_4$ dan titanni Mg bilan qaytarish usuli

³¹ T.K. Basak. Electrical engineering materials. New Age International, Nil edition. USA, 2009. 37-bet

ko'proq tarqalgan. Bu usul bilan qisqacha tanishib chiqamiz. Pech stakaniga juda toza magniy bo'lakchalaridan ma'lum miqdorda solinib, so'ngra reaktor qopqog'i zich biriktiriladi-da, undagi havo so'rib olinib, o'rniga argon, keyin maxsus turi orqali suyuq tetraxlorid kiritiladi. Natijada titan qaytariladi.



Yuqorida reaksiya vaqtida issiqlik ajralib chiqqani bilan u hali sovuq bo'ladi, shu sababli reaksiya sust boradi. Shuning uchun reaktorga magniy $950-1000^\circ C$ gacha qizdirib kiritiladi. Bunda bu reaksiyalar tezlashib, ajraluvchi issiqlik miqdori reaksiyaning normal borishi uchun yetarli bo'ladi. Reaktor stanogiga yuborib turiladigan $TiCl_4$ ning tezligi undagi temperaturaga qarab reaksiya tezligiga moslanadi, lekin reaktor stanogida temperaturaning haddan tashqari ko'tarilib ketishiga yo'l qo'ymaslik kerak, aks holda pech devorning materiali qaytarilgan Ti bilan birikadi. Yuqoridagi protsessda qaytarilgan titan stakanga yig'iladi.³²

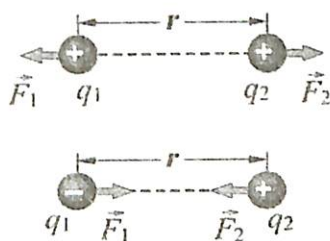
Bu titan maxsus pechlarda $900-950^\circ C$ temperaturada vakuumda tozalanadi. Titanni vakuumli pechda tozalash uchun konteyner titan bilan to'ldiriladi-da, pechning qopqog'i berkitiladi, so'ngra to'nkari-rib o'z joyiga qo'yiladi. Bunday ishlov berishda magniy xlorid va magniy metali suyuqlanib bug'lanib ketadi. Natijada toza titan qoladi. Juda toza texnikaviy titan tarkibida ko'pi bilan 0,1% gacha ko'shimchalar (Fe, Mn, Al, Si, Ni) bo'ladi. Texnikaviy titan tozalik darajasiga ko'ra tubandagicha markalanadi. TGOO, TGO, TGI, TGd. Titan tarkibida qo'shimchalar ortgan sari uning qattiqligi ortib plastlikligi pasayadi. Masalan: TGOO markali titanning cho'zilishidagi mustahkamligi $bv=38 \text{ kG/mm}^2$ (380 Mt/m^2), nisbiy uzayishi $b=36\%$, qattiqligi $NV=115 \text{ kG/mm}^2$ bo'lsa, TG2 markali titanning $bv=60 \text{ kG/mm}^2$ (600 Mt/m^2), $b=20\%$, $NV=185 \text{ kG/mm}^2$.

³² Callister, William D. Materials science and engineering: an introduction. 7th ed. p.cnv/ - Printed in the United States of America/ John Wiley & Sons, Inc. - 2007. 21-bet.

II bob. DIELEKTRIKLAR

2.1. Elektr maydonidagi dielektrik

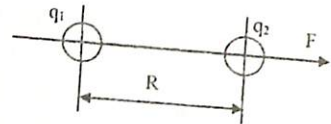
Dielektriklarning muhim xususiyatlaridan biri ularning tashqi elektr maydoni ta'sirida qutblanishidir. Qutblanish deganda dielektriklarda elektr maydoni ta'sirida zaryadlangan zarrachalarning fazoviy joylashuvi o'zgartirish holati tushuniladi. Elektr maydoni ta'sirida bo'lgan dielektrik ikki vektor qiymat – elektr maydon kuchlanganligi (\vec{E}) va qutblanganlik (\vec{P}) bilan ifodalanadi. Elektr maydon kuchlanganligini zaryadlangan jism yoki zarrachalarning elektr maydonidagi ta'sir kuchini ifodalaydi. Elektr maydon kuchlanganligi vektorining yo'nalishi sifatida jism nuqtaviy zaryadining musbat kuch chizig'i yo'nalishi qabul qilingan (2.1-chizma).



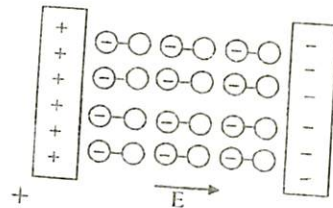
2.1-chizma. Ikki nuqtaviy zaryadlar orasidagi mexanik ta'sir kuchi

Elektr statikaning asosiy qonuni (Kulon qonuni)ga asosan bir jinsli dielektrikning biror-bir muhitda joylashgan va bir-biridan F masofada bo'lgan ikki nuqtaviy zaryadi (q_1 , q_2) orasidagi mexanik ta'sir kuchi quyidagicha aniqlanadi:

$$\vec{F} = \frac{q_1 \cdot q_2}{\epsilon_r \cdot \epsilon_0 \cdot 4\pi R^2}, \text{ N} \quad (2.1)$$



2.2-chizma



2.3-chizma

bunda: R – nuqtaviy zaryadlarni tutashtiruvchi chiziq yo‘nalishidagi birlik vektori, m ; ϵ_r – nisbiy dielektrik singdiruvchanlik; ϵ_0 – elektr doimiysi

$\left(\epsilon_0 \approx \frac{10^{-9}}{36\pi} = 8,854 \cdot 10^{-12} F/m \right) \cdot q$ qiymatli nuqtaviy zaryadning R masofada vujudga keltiradigan elektr maydon kuchlanganligi Kulon qonuniga asosan quyidagicha ifodalanadi:

$$E = \frac{q}{\epsilon_r \cdot \epsilon_0 \cdot 4\pi R^2}, B/m \quad (2.2)$$

Ikki yassi qoplama (elektrod)lar orasiga o‘zgarmas (h) qalindlikdagi dielektrik joylashtirilsa, bu dielektrikning istalgan nuqtasidagi elektr maydonining kuchlanganligi o‘zgarmas bo‘lib, u quyidagicha aniqlanadi:

$$E = \frac{U}{h}, \quad (2.3)$$

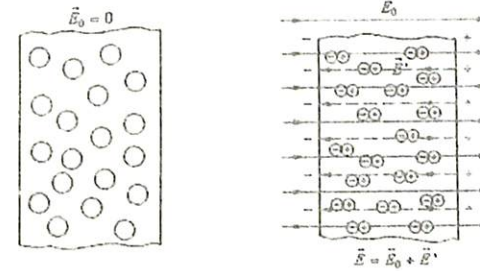
bunda U – yassi qoplamalar orasidagi kuchlanish.

Agar ichki va tashqi radiuslari r_1, r_2 bo‘lgan qoplamalar orasiga dielektrik joylashtirilsa va silindrik kondensator vujudga keltirilsa, o‘q yo‘nalishi bo‘ylab x masofadagi elektr maydon kuchlanganligi quyidagicha aniqlanadi:³³

$$E = \frac{U}{x \ln \frac{r_2}{r_1}}, \quad (2.4)$$

Qutblanganlik yoki qutblanish jadalligi (P) dielektrikning tashqi maydoni ta’siri ostida qutblanishini ifodalaydi. Tashqi elektr

maydoni bo‘lmaganida dielektriklar hajmidagi zarrachalar elektr momentiga ega bo‘lmaydi. Chunki dielektrik hajmidagi molekula zaryadlarining algebraik yig‘indisi nolga teng bo‘ladi, ya’ni musbat va manfiy zaryadlarning og‘irlik markazlari faza jihatidan bir-biriga mos keladi (2.4 – chizma).

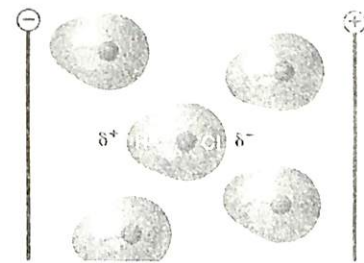


2.4-chizma. Dielektrik hajmidagi molekula zaryadlari

Tashqi elektr maydoni ta’sirida dielektrik molekullari tartibli joylashadi. Bunda dielektrikning elektr momenti ($\sum p$ – dielektrik barcha qutblangan momentlarining geometrik yig‘indisi) noldan farq qiladi. Qutblanganlik dielektrikning ma’lum bir nuqtasi uchun elektr maydon kuchlanganligiga to‘g‘ri proporsional bo‘ladi:³⁴

$$\vec{P} = k_E \epsilon_0 E, \quad (2.5)$$

bunda k_E – dielektrik qabulchanlik; $k_E \epsilon_0$ – absolyut dielektrik qabulchanlik.



2.5-chizma. Dielektriklarning qutblanishi

³³ T.K. Basak. Electrical engineering materials. New Age International, Nil edition. USA, 2009. 38-bet

³⁴ T.K. Basak. Electrical engineering materials. New Age International, Nil edition. USA, 2009. 42-bet

Qutblanish moduli quyidagicha ifodalanadi:

$$[P] = \sigma_k Kl/m^2. \quad (2.6)$$

Bu ifodadan, qutblanganlikning dielektrikdagi bog'langan zaryadlarining sirt zichligiga tengligi kelib chiqadi.

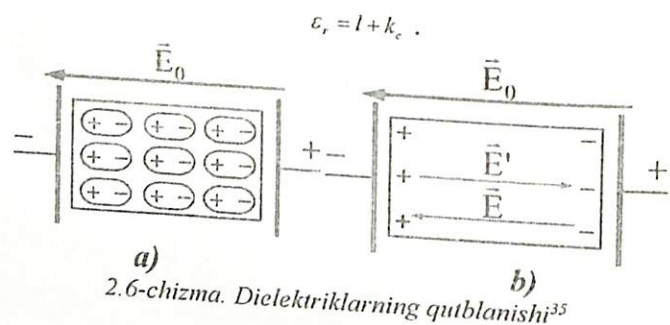
Yuqorida keltirilgan P va E vektor kattaligi ham kiritiladi. Elektr siljish yoki elektr induksiya dielektrikning berilgan nuqtasida elektr maydoni kuchlanganligi vektorining elektr doimiysiga kopaytmasi bilan shu nuqta qutblanish vektorining geometrik yig'indisidan iborat bo'ladi:

$$\vec{D} = \epsilon_0 \vec{E} + \vec{P}. \quad (2.7)$$

Elektr siljish va elektr maydoni kuchlanganligi orasida quyidagicha bog'lanish mavjud:

$$\vec{D} = \epsilon_r \epsilon_0 \vec{E}. \quad (2.8)$$

So'nggi ikki formula taqqoslanib, dielektrik singdiruvchanlik va dielektrik qabulchanlik orasidagi bog'lanish topiladi:



Ushbu formuladan ma'lumki, barcha moddalarning dielektrik singdiruvchanligi birdan yuqori bo'lib, faqat vakuum uchun $k_E = 0$ va, binobarin, $\epsilon_E = 1$ bo'ladi.

³⁵ Callister, William D., Materials science and engineering: an introduction, 7th ed. p.cm/ - Printed in the United States of America/ John Wiley & Sons, Inc. - 2007. 29-bet.

Yuqorida qayd etilishicha, qutblanish elektr maydoni ta'sirida bo'lgan dielektrikda sodir bo'ladigan jarayonlardan biri hisoblanib, bunda zaryad ma'lum yo'nalishga ega bo'ladi. Bu jarayon butun dielektrik hajmi bo'yicha kuzatiladi va zaryadlar qoplama yaqinida to'planishi bilan davom etadi. Qoplama yaqinida joylashgan dielektrikda yig'ilgan zaryadlarning ishorasi qoplamalardagi elektr maydoniga teskari bo'lib, musbat ishorali qoplama yaqinida joylashgan dielektrikda esa musbat zaryad to'planadi. Shuning uchun ham bu jarayon *qutblanish* deb ataladi. Agar dielektrik elektr maydonidan tashqariga chiqarilsa, zaryadlar o'zining asl holatiga qaytadi.

Ikki metall qoplama orasiga dielektrik joylashtirilib, kondensator hosil qilish mumkin. Kondensator qoplamalaridagi erkin zaryadlar yig'indisini q bilan belgilasak, u holda (2.7-chizma):

$$q = CU \quad Kl \quad (2.9)$$

bunda C -kondensatorning sig'imi, U -kondensator qoplamasiga berilgan kuchalanish, V .



2.7-chizma. Yassi kondensatoridagi elektr maydon³⁶

Agar qoplamalar orasidagi dielektrik o'rnini vakuum bilan almashtirilsa, kondensatoridagi zaryad miqdori (q) qoplamalarda yig'ilgan zaryad miqdori (q_0), bilan dielektrik qutblanish zaryadi (q_D) yig'indisidan iborat bo'ladi:

$$q = q_0 + q_D, \quad (2.10)$$

³⁶ Callister, William D., Materials science and engineering: an introduction, 7th ed. p.cm/ - Printed in the United States of America/ John Wiley & Sons, Inc. - 2007. 31-bet.

Kondensatorning sig'imi va dielektrik qiymatini aniqlaydigan ifoda dielektrik sing'diruvchanlikdir. (2.11) ifoda yordamida nisbiy dielektrik singdiruvchanlik ϵ_r aniqlanadi:

$$\epsilon_r = \frac{q}{q_0} = \frac{q_0 + q_x}{q_0} = 1 + \frac{q_x}{q_0} \quad (2.11)$$

Odatda, nisbiy dielektrik singdiruvchanlik jumlasidagi nisbiy so'zi tushirib qoldiriladi va ϵ_r dielektrik singdiruvchanlik deb yuritiladi.

Elektr maydonida joylashgan dielektrikning sifatida uning qutblanish mobaynida aniqlanadigan dielektrik singdiruvchanligi qiymati bilan ifodalanadi. Dielektrik qutblanish xususiyatining qiziq tomoni, uning sig'im qiymatini ifodalashdadir. Agar vakuumli kondensator qoplamalariga kuchlanish bersak, u zaryadlanadi. Bu zaryad qiymati kuchlanish birligiga, kondensator o'lchamiga, qoplama yuzi va ular orasidagi masofaga bog'liq bo'ladi. Kondensator sig'imi C_0 ifodasi yordamida aniqlanadi.³⁷

Kondensator qoplamalari o'rnini o'zgartirmagan holda vacuumni dielektrik bilan almashtirilsa, dielektrikda qutblanish sodir bo'ladi. Qoplama yuzasiga yaqin joyda unga qarama-qarshi ishorali zaryad paydo bo'ladi va natijada qoplamadagi ma'lum miqdordagi zaryadni neytrallaydi. Buning hisobiga qoplamalardagi zaryad miqdori ma'lum qiymat $[A]$ da ko'payishi mumkin, natijada kondensator sig'imi quyidagicha ifodalanadi:

$$C = \frac{q_2 + \Delta q}{U} C_0 \quad (2.12)$$

Bu sig'imlarning bir-biriga nisbati $C/C_0 = \epsilon_r$ materialning dielektrik singdiruvchanligini bildiradi. Kondensatorning sig'imi dielektrikning materialiga, metall qoplamalarining geometrik o'lchami va ularning shakllariga bog'liqdir. Ixtiyoriy shakl va o'lchamga ega elektrod larni vakuumda joylashtirsak, C_0 sig'imli kondensator hosil bo'ladi. Elektrodlar orasiga dielektrik kiritsak, u holda kondensator sig'imi ortadi:

$$C = \epsilon_r \cdot C_0.$$

Demak, berilgan shakl va geometrik o'lchamga ega bo'lgan kondensatorning sig'imi dielektrikning ϵ_r qiymatiga to'g'ri proporsionaldir.

Qoplama yuzalari S va dielektrikning qalinligi h ga teng bo'lgan yassi kondensator sig'imi quyidagicha aniqlanadi:

$$C = \epsilon \frac{\epsilon_0 S}{h} = \epsilon \frac{8,854 \cdot 10^{-12} S}{h} F \quad (2.13)$$

Agar kondensator silindrik shaklli (qoplama radiuslari r_1 , r_2 , uzunligi l) bo'lsa, u holda:

$$C = \epsilon \epsilon_0 \frac{2\pi l}{\ln \frac{r_2}{r_1}} = \frac{5,56 \cdot 10^{-12} l}{\ln \frac{r_2}{r_1}} \quad (2.14)^{38}$$

Bir-biriga parallel joylashgan sim, kabel va hokazolarda solishtirma sig'im (c) dan foydalaniladi:

$$c = \frac{C}{l} F/m. \quad (2.15)$$

Kuchlanish U , sig'imi C ga teng bo'lgan kondensatorlardan elektr maydon energiyasi:

$$E = \frac{1}{2} CU^2 \quad J \quad (2.16)$$

yoki quvvatning hajm birligidagi qiymati:

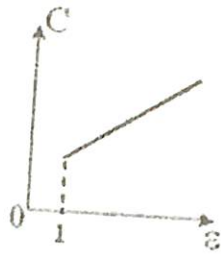
$$E = \frac{1}{2} ED = \frac{1}{2} \epsilon \epsilon_0 E^2 \quad J/m^3 \quad (2.17)$$

Agar dielektrikning ϵ_r qiymati qancha katta bo'lsa, undan yasalgan kondensator sig'imi shuncha yuqori bo'ladi (2.8-chizma).

³⁷ T.K. Basak. Electrical engineering materials. New Age International, Nil edition. USA, 2009. 48-bet

³⁸ Bijay_Kumar Sharma, Electrical and Electronic Materials Science./ - OpenStaxCNX./ Indiya - 2014, 28-bet.

Shu sababli, kondensator ishlab chiqarishda ϵ_r qiymati yuqori bo'lgan dielektrik olish maqsadga muvofiqdir. Sig'imi kam bo'lishi uchun, yuqori kuchlanishli va yuqori to'liqlik kabel izolyatsiya materialining ϵ_r qiymati kichik qilib olinadi.³⁹



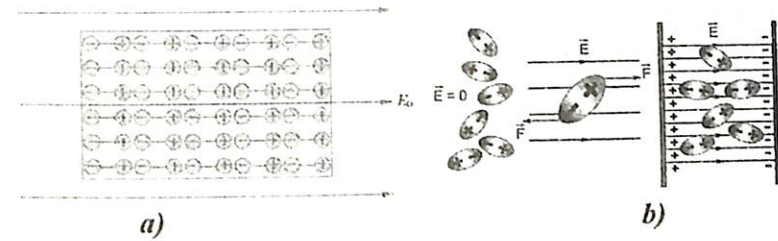
2.8-chizma. Kondensator va dielektrik singdiruvchanlik orasidagi bog'liqlik

Dielektrik singdiruvchanlikning eng kichik qiymati vakuum uchun tegishli bo'lib, unda $\epsilon_r = 1$ bo'ladi. Dielektriklar (gaz, suyuq, qattiq agregat holatidagi) ichida eng kichik dielektrik singdiruvchanlik (ϵ_r) gazlarda bo'lib, uning qiymati odatdagi sharoit (muhit harorati 20°C, havo bosimi 760 mm. sim. ust., havoning nisbiy namligi 65%) uchun ϵ_r qiymati birdan yuqoridir.

2.2. Qutbli va qutbsiz dielektriklar

Dielektriklar, asosan, qutbli va qutbsiz turlarga bo'linadi. Istalgan moddaning molekullari zarrachalardan (atom yoki guruhlari, ionlardan) iborat bo'lib, ularning har biri musbat yoki manfiy elektr zaryadiga egadir. Bu zaryadlar orasidagi o'zaro tortishish kuchi jismning mexanik mustahkamligini ifodalaydi. Turli xil moddalarning molekullaridagi zaryadlarning fazoviy joylashuvi har xil bo'lishi mumkin. Agar molekullarning barcha musbat yoki manfiy zaryadlarini bitta umumiy manfiy va bitta umumiy musbat zaryad bilan almashtirsak, mos ravishda musbat va manfiy zaryadlarning og'irlik markazlarida joylashgan mazkur zaryadlar fazoda bir-biriga mos tushishi yoki mos tushmasligi mumkin (2.9-chizma).

³⁹ Callister, William D., Materials science and engineering: an introduction, 7th ed p cm/ - Printed in the United States of America/ John Wiley & Sons, Inc. - 2007 41-bet



2.9-chizma. Qutbli va qutbsiz dielektrik molekullarining joylashishi

Fazoviy bir-biriga mos tushgan zaryadlar qutbsiz molekulaga ega bo'lgani sababli, bunday molekullardan tashkil topgan jismlar *qutbsiz jismlar* deyiladi. Ikkinchi holda molekula tashqi elektr maydoni ta'sir etmagan holatda ham o'z elektr momenti noldan farqli bo'lib, dipol hosil qilgani sababli, molekula qutbli hisoblanadi va ular asosida tashkil topgan jismlar *qutbli jismlar* deb ataladi.

Molekulaning elektr momenti quyidagicha aniqlanadi:

$$\mu = ql, \quad \text{Kl} \cdot \text{m} \quad (2.18)$$

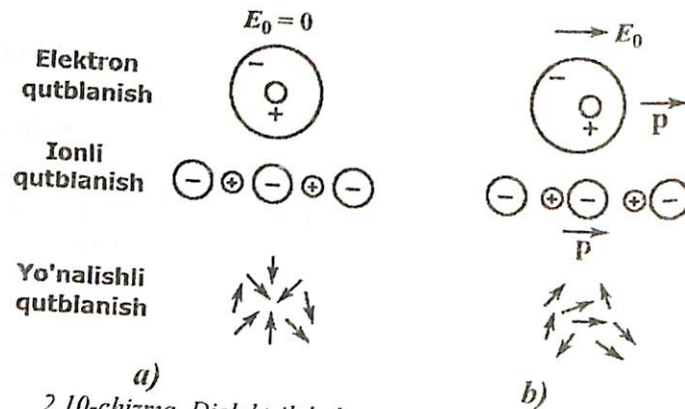
bunda q -molekulaning jami musbat (yoki unga son jihatdan teng bo'lgan jami manfiy) elektr zaryadi, Kl ; l - dipol yelkasi, m .⁴⁰

Qutbli molekulaning elektr momenti 10^{-30} Kl·m atrofida, qutbsiz molekulani esa $l=0$ bo'lgani sababli $\mu=0$ bo'ladi.

Jismning elektr xossasidan qat'iy nazar, uning qutbliligi molekulaning kimyoviy tuzilishi orqali aniqlanadi. Simmetriya markazi bo'lganda, simmetrik ravishda joylashgan molekullar qutbli bo'ladi. Bir atomli molekullar (He , Ne , Kr , Xe) va ikki atomli gomeoqutbli bog'lanishli (H_2 , Cl_2 va hokazo) molekullar qutbsizdir. Ion bog'lanishli molekullar qutbli bog'lanishlar qatoriga kiradi uglevodorodli moddalar esa qutbsizdir. Masalan, qutbsiz bog'lanishli moddalarga parafin, serezin, polipropilen, poliizobutilen, polistiroil, eskapon, neftli izolyatsiya moyi va hokazolar, qutblilariga esa polivinilflorid, selluloza va uning mahsulotlari fenolformaldegid va boshqalar kiradi.

⁴⁰ T.K. Basak. Electrical engineering materials. New Age International, Nil edition. USA, 2009. 47-bet

Dielektrik qutblanishning asosiy turlari. Dielektrikda kuzatiladigan qutblanish asosan ikki turga: elektr maydoni ta'sirida juda tez sodir bo'ladigan (elektron ion) va sekin o'sib hamda sekin pasayadigan (relaksatsiya) qutblanishlariga bo'linadi. Birinchi turdagi qutblanish juda tez o'tishi natijasida dielektrikda elektr energiyasi sarflanmaydi, ikkinchi turdasisida esa qutblanish asta-sekin sodir bo'lib, dielektrik qizishi natijasida energiya sarflanadi.⁴¹



2.10-chizma. Dielektrikda kuzatiladigan qutblanishlar

Kondensator sig'imi va kondensatorida yig'ilgan zaryad dielektrikda sodir bo'ladigan qutblanish jarayonlarini o'zida aks ettiradi (2.10-chizma). Elektron qutblanish (q_E, C_E) atom yoki ionlar elektron qobig'ining siljishi va ezilishi hisobiga sodir bo'lib, bu turdagi qutblanish katta tezlikda (10^{-15} sek.) kechadi va qiymat jihatidan yorug'likning sindirish ko'rsatkichi kvadratiga (n^2) tengdir. Bunda qutblanish barcha dielektrlarda kuzatilib, ularning atomlaridagi elektronlar musbat elektrod tomon siljiydi. Qutbli bo'lmagan suyuq holatdagi va qattiq dielektrlarda qutblanish sust kechib, ϵ_r qiymati 2÷2,5 atrofida bo'ladi. Elektron qutblanishda elektr siljish (D) maydon kuchlanganligi (E)ga mos ravishda o'zgaradi, shuning uchun ham ϵ_r kuchlanganlikka bog'liq bo'lmaydi. Jism qattiq holatdan suyuq holatga o'tganida zichligi kamayadi, natijada qutblanish ham

⁴¹ Callister, William D., Materials science and engineering: an introduction, 7th ed. p.cm/ - Printed in the United States of America/ John Wiley & Sons, Inc.- 2007. 45-bet

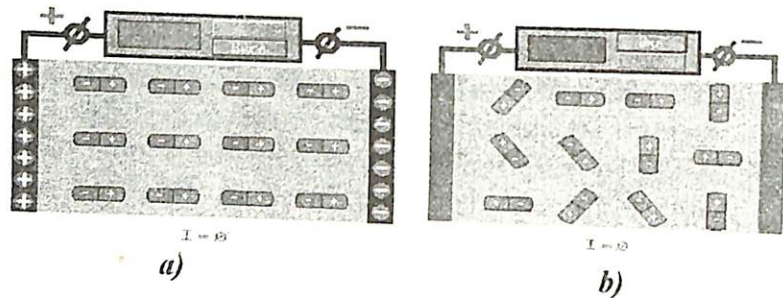
sekin susayadi. Elektron qutblanishda elektr energiyasi sarf bo'lmaydi. Bunday qutblanish neft moylarida (oktol), qattiq moddalar parafin, polistiroil, polietilen va boshqalarda kuzatiladi.

Ionli qutblanish (C_I, q_I) kristall panjarali qattiq jismlarda bo'sh bog'langan ionlar siljishi natijasida ro'y beradi. Ionli qutblanish elektron qutblanishga nisbatan kuchliroq kechadi va ϵ_r ning qiymati 5÷30 oralig'ida bo'ladi. Ion o'lcham jihatidan elektrondan katta bo'lib, qutblanish tezligi esa, aksincha, past bo'ladi ($\tau \approx 10^{-3}$ c). Bunda ϵ_r qiymati chastotaga bog'liq emas. Ion qutblanishida elektr siljish maydon kuchlanganligi E ga, ϵ_r qiymati esa mazkur kuchlanganlikka bog'liq bo'lmaydi. Harorat ko'tarilishi bilan kristall panjaradagi ionlar orasidagi masofa ortadi. Natijada oraliqdagi tortishish-kuchi pasayadi va ion qutblanishi kuchayadi, ya'ni ionli dielektrlarda masalan, slyuda, ba'zi turdagi sopollarda ϵ_r qiymati o'shib boradi.

Ion qutblanishida energiya isrofi kuzatilmaydi, chunki qutblanishga sarflanadigan energiya manbaga to'liq uzatiladi. Faqat yuqori chastotada ionlarning rezonansi hisobiga materiallarda elektr energiya isrofi kuzatiladi.

Dipol-relaksatsiya qutblanishi ($C_{D-R}, q_{D-R}, r_{D-R}$) betartib issiqlik harakatida bo'lgan zarrachalar (dipol molekullari) elektr maydoni ta'sirida o'z yo'nalishini o'zgartirishi hisobiga ro'y beradi. Agar ta'sirida o'z yo'nalishini o'zgartirishi hisobiga ro'y beradi. Agar molekullar, kuchlar dipollarning maydon uzra yo'nalish olishiga xalal bermasa, u holda dipol qutblanishi sodir bo'ladi. Qutbli dielektrlardagi dipol molekullarining musbat va manfiy zaryadlarining og'irlik markazlari bir-biriga mos kelmay, balki molekula chekkasiga siljigan holda elektr momenti hosil qiladi. Elektr maydonida uning manfiy chekka qismi musbat qoplamaga, Elektr maydonida uning manfiy chekka qismi musbat qoplamaga, musbat qismi esa manfiy qoplamaga tomon burilishga intiladi. Dipol mazkur burilishda ma'lum qarshilikka (r_{D-R}) uchraydi va uni yengish uchun energiya sarf etadi. Dipol qutblanish ancha sekin ($\tau = 10^{-6} \div 10^{-8}$ s) kechishi sababli radio to'lqinida ($10^6 \div 10^8$ Gs) maydon o'zgarishi qutblanish vaqtiga yaqinlashib qoladi; oqibatda yuqori chastotada dipol molekullar maydon yo'nalishining o'zgarishiga ulgurolmay qoladi va qutblanish susayib, ϵ_r qiymati pasayadi. Dipol qutblanish qutbli gazlar, suyuqliklar va ba'zi organik qattiq moddalarga xosdir. Kuchlanganlik uzilgandan so'ng dipolning issiqlik harakati ta'sirida

tartibli susayish vaqti (eksponensial o'zgaradigan $e=2,71$) *relaksatsiya vaqti* deb ataladi.⁴² Qutbli dielektrikda ϵ_r qiymatining haroratga qarab o'zgarishi, past haroratda jism qovushqoqligi yuqoriligi tufayli dipollar harakatsiz va $\epsilon_r = \epsilon_L$ ga teng bo'ladi; material qizdirilsa, u yumshab ichki ishqalanish susayishi natijasida dipol burilishi yengillashadi va ϵ_r qiymati ortadi; yuqori haroratda esa dipolning aniq yo'nalish olishiga zarralarning betartib issiqlik harakatining ortishi xalal beradi va o'z navbatida ϵ_r qiymati kamayadi (2.11-chizma).



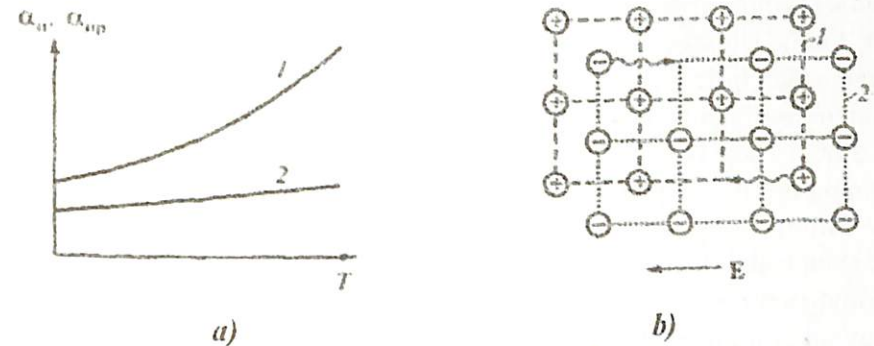
2.11-chizma. Relaksatsion qutblanish

Ion-relaksatsiya qutblanishi (C_{i-r} , q_{i-r} , r_{i-r}) ba'zi anorganik moddalarda kuzatiladi. Bunda moddaning o'zaro bo'sh bog'langan ionlari tashqi elektr maydon ta'sirida aniq yo'nalish oladi. Agar elektr maydon olinsa, qutblanish eksponensial qonun bo'yicha pasayadi.⁴³

Elektron-relaksatsiya qutblanish (C_{e-r} , q_{e-r} , r_{e-r}) sindirish ko'rsatkichi yuqori va katta ichki maydonga ega bo'lgan dielektriklar uchun xos bo'lib, qo'shimcha elektron yoki teshiklarni issiqlik energiyasi bilan ta'sirlantirish orqali yuzaga keladi. Bu turdagi qutblanish asosi metall oksidi bo'lgan ba'zi kimyoviy birikmalar (titan, niobiy, vismut) ga xosdir. Tarkibida titan bo'lgan elektron-relaksatsiya qutblanishli sopolda elektr maydon chastotasi ortishi bilan dielektrik singdiruvchanlik kamayadi (2.12-chizma).

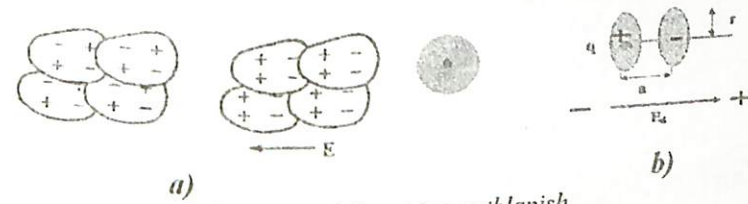
⁴² Bijay_Kumar Sharma., Electrical and Electronic Materials Science./ - OpenStaxCNX./ Indiya - 2014, 31-bet.

⁴³ T.K. Basak. Electrical engineering materials. New Age Intenational, Nil edition USA, 2009 49-bet



2.12-chizma. Ion-relaksatsion qutblanish

Migratsion qutblanish (C_M , q_M , r_M) tarkibi bir jinsli bo'lmagan qattiq jismlarda qutblanishning qo'shimcha mexanizmi sifatida ro'y beradi. U past chastotada yuzaga keladi va elektr energiyasi ko'p miqdorda sarflanishi bilan xarakterlanadi (2.13-chizma). Bunday qutblanishni keltirib chiqaradigan omillar texnik dielektriklardagi o'tkazuvchi va yarim o'tkazuvchi qismlar hamda o'tkazuvchanligi turlicha bo'lgan qatlamlardir.⁴⁴

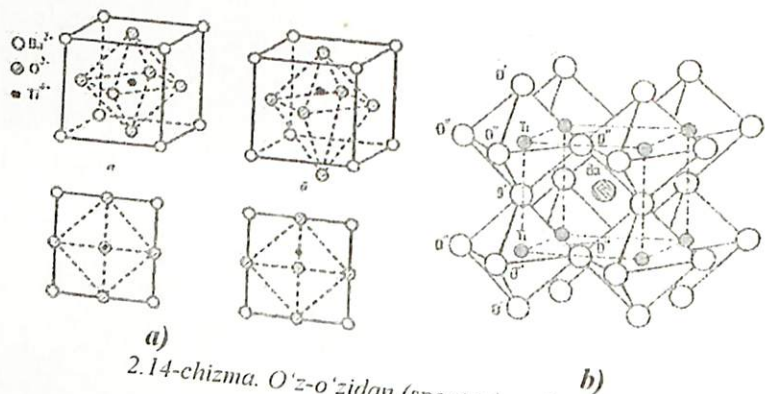


2.13-chizma. Migratsion qutblanish

O'z-o'zidan (spontan) qutblanish (C_o , q_o , r_o) segnetoelektriklarga xos bo'lib, birinchi bor u segnet tuzi ($KNaC_4H_4O_6 \cdot 4H_2O$) da kuzatiladi. Tashqi maydon bo'lmaganda segnetoelektrikning ma'lum qismida dipollar o'z-o'zidan bir-biriga nisbatan moslashib, aniq yo'nalish oladi. O'z-o'zidan qutblanuvchi moddalarning alohida sohalarida (domenlarida) elektr momenti yo'nalishi turlicha bo'ladi. Tashqi maydon ta'sirida domenlarning elektr momenti maydon tomon yo'naladi va shu sababli kuchli qutblanish sodir bo'ladi. Segnetoelektrikning dielektrik singdiruvchanligi juda ham yuqori (500-

⁴⁴ Callister, William D., Materials science and engineering: an introduction, 7th ed.p.cm/ - Printed in the United States of America/ John Wiley & Sons, Inc.- 2007 51-bet

20000) bo'lib, u maydon kuchlanganligi va haroratga uzviy ravishda bog'liqdir. Dielektrik gisterzis segnetoelektrikning xarakterli xususiyatlaridan biridir. Kyuri nuqtasi bilan bog'liq harorat qiymatlarida domenli qutblanish kuzatiladi va u elektr maydoni kuchlanganligida nohiziqli bog'lanishga ega bo'ladi. Tashqi maydon kuchlanganligining ma'lum qiymatidan boshlab to'yinish ro'y berib, qutblanish o'zgarmay qoladi, aksincha, maydon ta'siri pasaytirilganda va u ordinata o'qini kesib, nolga teng bo'lganda jism qutblanishi ma'lum qiymatgacha pasayadi. Shuning uchun ham o'z-o'zidan qutblanish jarayonida dielektrikning singdiruvchanligi elektr maydon kuchlanganligiga bog'liq bo'ladi (2.14-chizma).

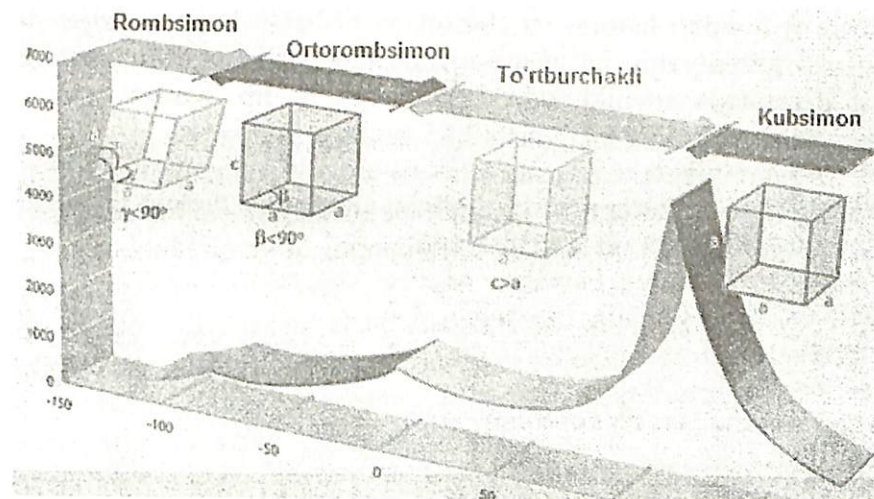


2.14-chizma. O'z-o'zidan (spontan) qutblanish

Dielektrik singdiruvchanlikning haroratga bog'liqligida kuzatiladigan yuqori qiymat Kyuri harorati yoki *Kyuri nuqtasi* deyiladi. Ana shu maqbul haroratda yuqori singdiruvchanlikka erishiladi, bunda jismda struktura o'zgarishi sodir bo'ladi. Bu nuqtadan yuqori haroratda material o'zining segnetoelektriklik xususiyatini, ya'ni ϵ_r qiymatining elektr yoki magnit maydoniga bo'lgan bog'liqligini domenlar to'plamining joyi o'zgarishi hisobiga segnetoelektrlarda elektr eskirishi kuzatiladi va ϵ_r qiymatining keskin o'zgarishi Kyuri haroratida sodir bo'ladi. Agar segnetoelektrik Kyuri nuqtasigacha qizitilib, so'ngra keskin sovitsa, uning dielektrik singdiruvchanligi o'zining asl qiymatiga qaytadi. Dielektrik singdiruvchanlikni tiklash,

segnetoelektrikka yuqori kuchlanishli elektr maydoni ta'sir ettirilib ham amalga oshiriladi.⁴⁵

Gazlarning molekulari orasidagi masofa nisbatan katta bo'lganligi sababli, ularning zichligi kichik bo'ladi. Shuning uchun barcha gazlarning dielektrik singdiruvchanligi qiymati birga yaqin bo'ladi. Gaz molekulasining radiusi (r_m) qancha katta bo'lsa, ϵ_r qiymati shuncha yuqori bo'ladi. Gazning hajm birligidagi molekular soni uning harorat va bosimiga bog'liq bo'ladi. Molekular sonining o'zgarishiga qarab, gazning ϵ_r qiymati ham o'zgaradi. Gazda ϵ_r qiymati havo namligiga ham bog'liq bo'ladi (2.1-rasm).



2.1-rasm. O'z-o'zidan (spontan) qutblanish

Suyuq holatdagi dielektriklar qutbli va qutbsiz molekullardan tashkil topadi. Qutbsiz dielektrikning ϵ_r uncha katta bo'lmaydi ($\epsilon_r \leq 2,0-2,5$) va u yorug'likning sinish ko'rsatkichi kvadratiga deyarli teng bo'ladi. Qutbsiz dielektrikda ϵ_r qiymatining harorati ortishi bilan kamayishi hajm birligidagi molekular sonining kamayishiga asoslanadi. Dipol molekulari suyuq dielektrik bir vaqtning o'zida elektron va dipol qutblanishiga ega bo'ladi. Qutbli suyuq dielektrlarda ϵ_r qiymati asosan 3,5-5 atrofida bo'ladi.

⁴⁵ T.K. Basak. Electrical engineering materials. New Age International, Nil edition. USA, 2009. 51-bet

Qattiq jismlarning dielektrik singdiruvchanligi dielektrik tuzilishiga bog'liq ravishda o'zgaradi. Ularda turli xildagi qutblanishlar bo'lishi mumkin. Parafin qattiq holatdan suyuq holatga o'tishida (t_p) uning zichligi pasayishi tufayli ϵ_r qiymati keskin kamayadi.

Qattiq dielektrlarning zarralari zich joylashgan bo'lib, ular ion kristallari tuzilishiga ega. Bu dielektrlarda ϵ_r qiymati keng oraliqda o'zgaradi. Zarralari uncha zich bo'lmagan elektrotexnik chinnida bir yo'la elektron, ion va ion-relaksatsiya qutblanishi kuzatiladi. Shishada esa ϵ_r qiymatining o'zgarish oraliqi ($\epsilon_r \approx 4 - 20$) kattadir.⁴⁶

Qattiq jismlarda ϵ_r qiymati harorat va maydon chastotasiga bog'liq bo'lib, uning qonuniyatlari qutbli suyuqlikniki kabidir. Masalan, muzda ϵ_r qiymati harorat va chastotaga nisbatan keskin o'zgaradi. Harorati nolga yaqin bo'lgan muzning dielektrik singdiruvchanligi past chastotada suvniki kabi 81ga yaqin bo'lib, harorat yanada pasaytirilsa, muzning ϵ_r qiymati 2,85 gacha tushib ketadi.

Ko'pincha dielektrlarda dielektrik singdiruvchanlik va kondensator sig'imining haroratga bog'liqligini aniqlashda dielektrik singdiruvchanlikning harorat koeffitsiyenti:

$$TK_{\epsilon_r} = \frac{1}{\epsilon_r} \frac{d\epsilon_r}{dT} \quad (2.19)$$

ga sig'imining harorat koeffitsiyenti:

$$TKC = \frac{1}{\epsilon C} \frac{dC}{dT} \quad (2.20)$$

dan foydalaniladi.

Bu ikki koeffitsiyent orasidagi bog'lanish quyidagi ko'rinishga ega:

$$TKC = TK_{\epsilon_r} + \alpha \quad (2.21)$$

bunda α - dielektrikning chiziqli harorati koeffitsiyenti.

⁴⁶ Callister, William D., Materials science and engineering: an introduction, 7th ed p.cm/ - Printed in the United States of America/ John Wiley & Sons, Inc. - 2007. 58-bet

Tashqi muhit harorati o'zgaradigan sharoitda ishlaydigan elektr va radio apparatlarni loyihalashda kondensator sig'imining haroratga bog'liq bo'lmashligini ta'minlash zarur. Sig'imning haroratga nisbatan barqarorligi quyidagi ikki usul orqali amalga oshiriladi. Birinchi usulda ikkita bir-biriga parallel yoki ketma-ket ulangan kondensatorlar zanjiri olinadi, bunda zanjirlardagi sig'implarning harorat koeffitsiyentlaridan birining ishorasi musbat, ikkinchisniki-manfiy bo'ladi. Sig'implari C_1 va C_2 , sig'imning harorat koeffitsiyentlari TKC_1 va TKC_2 bo'lgan bir-biriga parallel ulangan kondensatorlarning umumiy sig'imi quyidagicha aniqlanadi:

$$C^* = C_1 + C_2 \quad F. \quad (2.22)^{47}$$

2.3. Dielektrlarning elektr o'tkazuvchanligi

Jismda elektr zaryadlarining tartibli harakati elektr tokini hosil qiladi. Zaryadlarning bunday tartibli harakati elektr maydon kuchlaniganligi ta'sirida vujudga keladi. Dielektrikda elektr o'tkazuvchanlik uning tarkibidagi erkin zaryadlar hisobiga sodir bo'ladi. Hajm birligidagi n ta zaryad eltuvchisi bo'lgan va zaryad qiymati q ga teng bo'lgan dielektrikka tashqi elektr maydoni (E) ta'sir ettirilsa, shu elektr maydon ta'sirida zaryad kuch chiziqlari yo'nalishida ma'lum tezlik \mathcal{J} ni oladi. Jismning ko'ndalang yuzasidan vaqt birligida o'tadigan elektr miqdori, ya'ni tok zichligi:

$$J = nq\mathcal{J} \quad A/m^2 \quad (2.23)$$

yoki

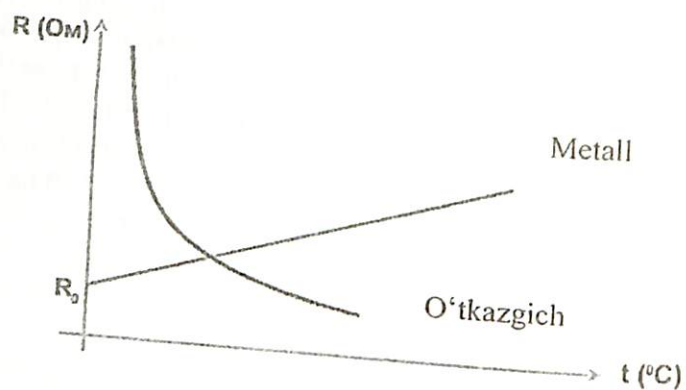
$$J = \frac{E}{\rho}$$

$\rho = I/\gamma$ ekanligini hisobga olsak:

$$J = E \gamma$$

Bu yerda: ρ -solishtirma elektr qarshiligi, $Om \cdot m$; γ - solishtirma elektr o'tkazuvchanlik, sm/m .

⁴⁷ Bijay_Kumar Sharma., Electrical and Electronic Materials Science / - OpenStaxCNX/ Indiya - 2014, 32-bet.



2.16-chizma. O'tkazgich va metall qarshiligining haroratdan o'zgarish grafigi

Jism elektr o'tkazuvchanligi elektronli, ionli (yoki elektrolitik) va millionli (yoki elektroforetik) ko'rinishlarga egadir (2.15-chizma). Dielektrlarda asosan ionli elektr o'tkazuvchanlik kuzatiladi. Odatda, dielektrik oz bo'lsa-da ma'lum miqdordagi elektr tokini o'zidan baribir o'tkazadi. Bu esa erkin zaryad eltuvchilar mavjudligi bilan tushuntiriladi.⁴⁸

Izolyatsiya materiali odatda juda katta solishtirma qarshilikka ega bo'ladi. Bu qiymat qancha yuqori bo'lsa, dielektrikdan shuncha kam miqdorda elektr toki o'tadi. Bunday xossaga ega dielektrlar yuqori sifatli hisoblanadi. Elektr maydoni ta'sirida gaz, suyuqlik va qattiq holatdagi dielektrlardan qandaydir miqdorda elektr toki o'tib, dielektrikda elektr energiya isrofi kuzatiladi. Bunday isroflarni aniqlashda dielektrlarning elektr o'tkazuvchanligini o'rganish katta amaliy ahamiyatga egadir. Elektr o'tkazuvchanlikni o'rganishda izolyatsiya materialidan yasalgan va metall elektrodlar bilan jihozlangan namunali kuchlanish beriladi. Namuna asosan yassi taxtacha shaklida tayyorlanib, elektrodlar uning bir yoki qarama-qarshi ikki yuzasiga o'rnatiladi. Dielektrikning hajmiy qarshiligini aniqlash uchun elektr toki namunaning hajmi bo'icha o'tkaziladi va elektrodlar qarama-qarshi yuzaga o'rnatiladi. Mazkur elektrodlar galvanometr orqali

⁴⁸ T.K. Basak. Electrical engineering materials. New Age International, Nil edition. USA, 2009. 52-bet

elektr manbaiga ulanadi. Dielektrikning yuza qarshiligini aniqlashda esa elektrodlar namunaning bir yuzasiga o'rnatilishi mumkin.

Dielektrikka o'zgarmas kuchlanish ulangandan so'ng ma'lum vaqt (bir minut) o'tgandan so'ng, tok o'zining qandaydir o'zgarmas qiymatiga erishadi va 55 A tok ichki tok (I_{ich}) deyiladi. Dielektrikning qarshiligi R berilgan kuchlanish (U) ga to'g'ri proporsional, dielektrikdan ya'ni dielektrikning umumiy qarshiligi bir-biriga parallel o'tayotgan ichki tokka esa teskari proporsional bo'ladi:

$$R = \frac{U}{I_{ich}}, \quad Om. \quad (2.24)$$

Dielektrikning elektr o'tkazuvchanligi, aksincha, qarshilikka teskari proporsionaldir:

$$\gamma = \frac{1}{R} = \frac{I_{ich}}{U} \quad (2.25)$$

Dielektrik sirti bo'ylab o'tadigan tokni sirt toki (I_s) deb atalib, bu tok miqdorining hajmiy tok I miqdorini, yigindisi esa dielektrikdan o'tadigan umumiy tok (I_u) ni tashkil etadi:

$$I_u = I_s + I \quad A, \quad (2.26)$$

bunda

$$I = U\gamma = \frac{U}{R}; \quad I_s = U\gamma_s = \frac{U}{R_s}.$$

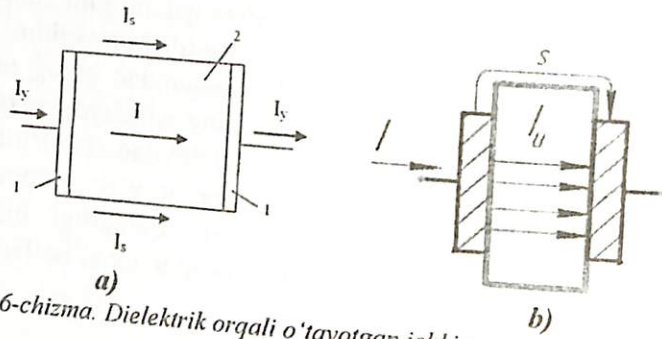
Dielektrikning umumiy elektr o'tkazuvchanligi quyidagicha aniqlanadi:

$$\gamma = \gamma + \gamma_s$$

yoki

$$\frac{1}{R_u} = \frac{1}{R} + \frac{1}{R_s}; \quad R_u = \frac{R \cdot R_s}{R + R_s},$$

ya'ni dielektrikning umumiy qarshiligi bir-biriga parallel ravishda ulangan hajmiy va yuza qarshiliklar yig'indisidan iborat bo'ladi (2.16-chizma).



2.16-chizma. Dielektrik orqali o'tayotgan ichki va yuza tok oqimlari

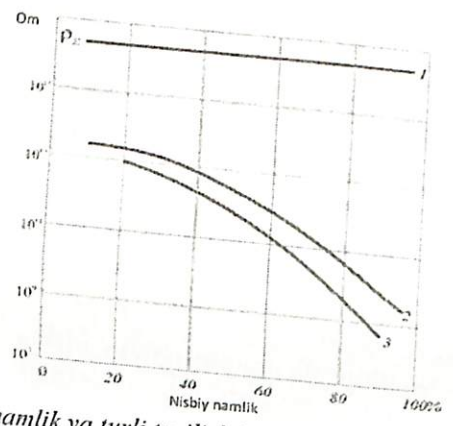
Ko'ndalang kesim yuzasi S va uzunligi h bo'lgan dielektrikning hajmiy qarshiligi R quyidagi ifodadan aniqlanadi:⁴⁹

$$R = \rho \frac{h}{S}, \text{ Om.} \quad (2.27)$$

Dielektrikning solishtirma yuza qarshiligi esa:

$$\rho = R \frac{S}{h}, \text{ Om} \cdot \text{m} \quad (2.28)$$

Xalqaro birliklar sistemasi (SI) ga asosan bu qarshilik $\text{Om} \cdot \text{m}$ yoki $\text{Om} \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ birliklarda olinadi: $1 \text{ Om} \cdot \text{m} = 100 \text{ Om} \cdot \text{sm} = 10^6 \text{ Om} \cdot \text{mm}^2/\text{m} = 10^6 \text{ mk Om} \cdot \text{m} = 10^8 \text{ mk Om} \cdot \text{sm}$.



2.17-chizma. Nisbiy namlik va turli tuzilishdagi material solishtirma sirt qarshiligi o'zgarish grafigi

⁴⁹ Callister, William D., Materials science and engineering: an introduction, 7th ed. p. cm/ - Printed in the United States of America/ John Wiley & Sons, Inc. - 2007. 71-bet.

Dielektrikning solishtirma hajmiy o'tkazuvchanligi uning solishtirma hajmiy qarshiligiga teskari proporsionaldir (2.17-chizma). Elektr o'tkazuvchanlik jismning holati (gaz, suyuq, qattiq) ga, unga ta'sir etuvchi kuchlanish turi va miqdoriga, muhit harorati, namligi va boshqa ta'sirlarga bog'liq bo'ladi.⁵⁰

O'zgaruvchan elektr maydoni ta'siridagi dielektrikdan o'tuvchi tok oqimi ichki va absorbsiya toklari yig'indisidan tashkil topadi. O'zgaruvchan kuchlanish ta'sirida bo'lgan dielektrikdan faqat ichki tok o'tib, absorbsiya toki faqat kuchlanishni ulash yoki uzish paytida kuzatiladi. Past sifatli suyuq va qattiq izolyatsiya materiallarida $\rho \approx 10^6 - 10^8 \text{ Om} \cdot \text{m}$ bo'lib, yuqori (oliy) sifatli materiallarda esa, bu qiymat $10^{14} - 10^{18} \text{ Om} \cdot \text{m}$ ga teng bo'ladi. Yaxshi sifatli dielektrik va elektr o'tkazgich material orasidagi solishtirma hajmiy qarshiliklar farqi $10^{22} - 10^{25} \text{ Om} \cdot \text{m}$ ga yetib boradi. Dielektrikning solishtirma yuza qarshiligi elektrodlar o'zaro teng va yuzaga parallel ravishda o'rnatilganda:

$$\rho_s = R_s \frac{d}{l}, \text{ Om} \quad (2.29)$$

bunda: R_s - dielektrikning yuza qarshiligi, Om ; d - elektrodning uzunligi, m ; l - mazkur elektrodlar orasidagi masofa, m .

Bu kattalik yordamida dielektrikning solishtirma yuza o'tkazuvchanligi ($\gamma = 1/\rho$) aniqlanadi. Elektr o'tkazuvchanlikning o'lov birligi sifatida simens (Sm) qabul qilingan. Qattiq dielektrikning to'liq elektr o'tkazuvchanligi uning yuza va hajmiy elektr o'tkazuvchanliklari yig'indisidan iboratdir. Kuchli va kuchsiz elektr maydonlarida joylashgan dielektriklarda zaryad eltuvchilar turli holda sodir bo'ladi. Dielektrikning qanday agregat holatdiligiga qarab, kuchsiz elektr maydoni ta'sirida ionli elektr o'tkazuvchanlikka egadir. Elektr o'tkazuvchanlikka dielektrik tarkibidagi qo'shimcha va begona zarrachalar ham sababchi bo'ladi. Bular dielektrikning elektr o'tkazuvchanligini oshiribgina qolmay, uning elektr mustahkamligining pasayishiga ham olib keladi. Kuchli elektr maydoni ta'sirida zaryad eltuvchilar neytral zarrachalar bilan to'qnashib, ularni

⁵⁰ T. K. Basak. Electrical engineering materials. New Age International, Nil edition. USA, 2009. 52-bet

ionlashtiradi va natijada, urilish ionlashishi sodir bo'ladi. Elektr maydoni o'zining kritik qiymatidan o'tganida, erkin zaryad eltuvchilar miqdori keskin ortadi va dielektrik o'z izolyatsiya xossasini yo'qotadi. Bunday holatda dielektrikda teshilishi hodisasi sodir bo'ladi. Qattiq va suyuq dielektriklar uzoq vaqt kuchlanish ta'sirida bo'lganda, ulardan o'tadigan tok miqdori kamayishi yoki ortishi mumkin. Birinchi holda dielektrikdagi elektr o'tkazuvchanlikni, asosan, turli xil qo'shimchalar keltirib chiqarib, vaqt o'tishi natijasida namunada elektr tozalanishi sodir bo'ladi va dielektrikdan o'tayotgan tok miqdori kamayadi. Aksincha, vaqtga nisbatan tokning ortishi esa, dielektrikdagi zaryadlar hisobiga ro'y beradi. Uzluksiz ta'sir etadigan kuchlanish dielektrikning eskirishiga olib keladi va bu jarayon uning teshilishi bilan yakunlanadi.

Kondensatorning doimiy zaryadsizlanish vaqti amaliy jihatdan keng foydalanadigan kattalik bo'lib, u quyidagi ifoda bilan aniqlanadi:

$$\tau_0 = R_{iz} \cdot C = \rho \cdot \epsilon_0 \cdot \epsilon_k$$

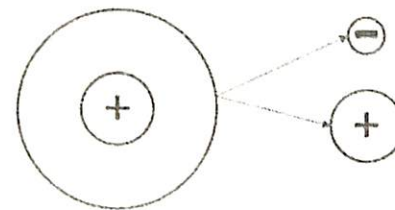
bunda: R_{iz} - kondensator izolyatsiyasining qarshiligi, Om; C - kondensatorning sig'imi, F.

2.4. Gazlarning elektr o'tkazuvchanligi

Gazlarda elektr toki erkin yoki ionlar hisobiga sodir bo'ladi. Kuchsiz elektr maydonidagi gaz neytral elektr zarrachalar - molekula yoki atomlardan tashkil topadi. Tashqi ta'sir-ionizator orqali sodir bo'ladigan gaz elektr o'tkazuvchanlik deyiladi. Ikkita yassi elektrod ionlashtirilgan gaz muhitiga kiritilib, ularga kuchlanish berilsa, ionlar harakatga kelib zanjirdan elektr toki o'tadi.

Normal sharoit ($t=20^{\circ}\text{C}$, $\varphi=65\%$, $\rho=760$ mm. sim.ust) da havoda to'yingan tok zichligi I juda kichik qiymatga, ya'ni kuchlanishning $0,6$ V/m qiymatida 10^{-15} A/m² ga to'g'ri keladi. Shuning uchun ham, havo yaxshi dielektrik hisoblanadi. Gazlarda mustaqil bo'lmagan elektr o'tkazuvchanlik tashqi ionizator, kosmik yoki radioaktiv nurlar bartaraf etilsagina to'xtaydi. Bunda zaryad eltuvchilar keskin

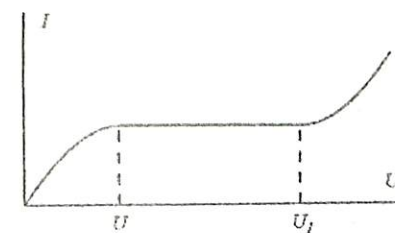
kamayishi sababli, gazdan o'tayotgan tok nolga intiladi (2.18-chizma).



2.18-chizma. Gazlarda elektr o'tkazuvchanlik

Yuqori qiymatli elektr maydonining erkin zaryad eltuvchilarga kuchli ta'sir etishi natijasida zaryadlarning harakat tezligi ortadi. Gaz molekulari bilan to'qnashuvi oqibatida mazkur zaryadlarning kinetik energiyasi molekularining ionlashish energiyasidan ortib ketadi. Tezkor elektronlarning neytral molekula bilan to'qnashuvi natijasida molekula musbat ion va elektrodga parchalanadi. Har bir to'qnashuvda ikkita elektron hosil bo'lib, ular o'z navbatida yana ikki molekulani parchalaydi va hokazo. Bu jarayon **urilish ionlashishi** deyiladi.

Fotoionlashish deb, molekularning uyg'ongan holatidan asl holatiga o'tishi tushuniladi. Bu jarayonda ma'lum miqdordagi energiya nurlanishga sarf bo'ladi. Nur molekulaga ta'sir etib, yangidan-yangi erkin zaryad eltuvchilarni keltirib chiqaradi. Urilish ionlashishi va fotoionlashish jarayonlari bir vaqtning o'zida sodir bo'ladi (2.19-chizma).



2.19-chizma. Gazlarda volt-amper xarakteristika

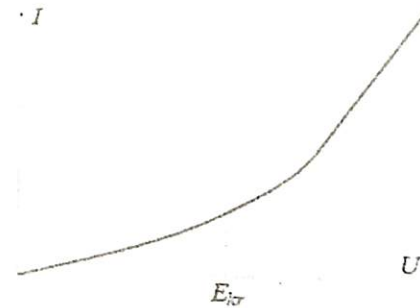
Agar ionlashtirilgan gaz o'zaro parallel joylashgan ikkita yassi elektrod oralig'ida bo'lib, bu elektrodlarga kuchlanish berilsa, mazkur kuchlanish ta'sirida ionlar maydon yo'nalishi tomon siljiydi va zanjirdan tok o'ta boshlaydi. Bunda ionlarning bir qismi elektrodlarda neytrallanadi, qolgan qismi esa rekombinatsiya hisobiga yo'qoladi. Kuchlanish oshirib borilsa, ionlar elektrodlarga tomon yo'naladi va rekombinatsiya qilishga ulgurmaydilar. Bunda, gaz oralig'idagi barcha ionlar kuchlanishining ma'lum qiymatida faqat elektrodlarda zaryadsizlanadi.⁵¹

To'yinish toki (U_i , U_i oralig'idagi o'zgarmas tok) normal sharoitdagi havo uchun elektrodlar oraligi 10 mm va maydon kuchlanganligi 0,60 V/m bo'lganda sodir bo'ladi. Bu tok qiymati havoda juda kam bo'lib, taxminan 10^{-15} A/m² ga teng bo'ladi. Shu sababli, urinish ionlashishi sodir bo'ladigan holatga qadar havo yaxshi dielektrik hisoblanadi. Urinish ionlashishi sodir bo'lganda gazlarda mustaqil elektr o'tkazuvchanlik hosil bo'ladi. Kuchlanishning U_i qiymatidan yuqori holatlarida va kuchlanish o'sishi bilan tok keskin o'sa boshlaydi. Havoda bu holat maydon kuchlanganligi $E_i \approx 10^5 - 10^6$ V/m ga teng bo'lgan paytda sodir bo'ladi.

2.5. Suyuq dielektrlarning elektr o'tkazuvchanligi

Suyuqlikning elektr o'tkazuvchanligi uning molekula tuzilishi va tarkibidagi qo'shimchlarga bog'liqdir. Qutbli suyuqlik qutbsiz suyuqlikdan o'zining kam elektr o'tkazuvchanligi bilan farqlanadi. Aksariyat suyuqliklarning molekullari ionlashmaganligi sababli, ularning elektr o'tkazuvchanligida qo'shimcha (nam, tuz, ishqor, kislota va hokazo)larning ta'siri katta bo'ladi. Suyuqlik tarkibida juda oz miqdorda bo'lgan bunday qo'shimchalar dielektrikning elektr o'tkazuvchanligini sezilarli darajada oshiradi. Suyuqlikda ionlarning yoki zaryadlangan kolloid zarralarning siljishi undan tok o'tishini ta'minlaydi (2.20-chizma).

⁵¹ T.K. Basak. Electrical engineering materials. New Age International, Nil edition USA, 2009 53-bet



2.20-chizma. Suyuq dielektrlarda volt-ampere xarakteristika

Qutbli suyuqliklar yuqori elektr o'tkazuvchanlikka ega bo'lib, ularning dielektrik singdiruvchanligi ortishi natijasida dielektrikning elektr o'tkazuvchanligi ham ortadi. O'ta qutbli suyuqliklar yuqori elektr o'tkazuvchanlikka egaligi sababli bunday suyuqliklar ionli elektr o'tkazuvchanlikka ega o'tkazgichlar deb qaraladi.

Suyuq dielektrik tarkibidagi qo'shimchalardan tozalansa, uning solishtirma qarshiligi birmuncha ortadi. Masalan, qutbsiz suyuq dielektrik orqali uzoq vaqt elektr toki o'tkazilsa, elektr ionlarning elektrodlarda yig'ilishi natijasida mazkur suyuqlik qo'shimchalardan tozalanadi va dielektrik qarshiligi ortadi. Natijada suyuq dielektrikda elektr tozalanishi sodir bo'ladi.⁵²

Suyuq dielektrlarning solishtirma o'tkazuvchanligi haroratga uzviy ravishda bog'langan bo'lib, haroratning ortib borishi bilan uning qovushqoqligi kamayadi. Oqibatda ionlarning siljuvchanligi ortib, suyuqlikning elektr o'tkazuvchanligi ko'payadi.

Suyuq dielektrikning solishtirma o'tkazuvchanligi aniqlanadi:

$$\gamma = A \exp\left(-\frac{a}{T}\right), \quad (2.30)$$

bunda: A, a- berilgan suyuqlikni ifodalaydigan o'zgarmas kattaliklar.

Suyuqlikning solishtirma o'tkazuvchanligi va qovushqoqligi orasidagi bog'lanish qovushqoq muhitda doimiy kuch ta'sirida siljuvchi shar harakatiga asoslangan Stoks qonunidan foydalanib, o'rganiladi.

⁵² Callister, William D., Materials science and engineering: an introduction, 7th ed p.cm/ - Printed in the United States of America/ John Wiley & Sons, Inc. - 2007. 81-bet.

Ushbu qonunga asosan, suyuq muhitda joylashgan sharning harakat tezligi:

$$g = \frac{F}{6\pi r \eta} \text{ m/s}, \quad (2.31)$$

bunda: F - kuch, N ; r - shar radiusi, m ; η -suyuqlikning dinamik qovushqoqligi.

Agar ion shar ko'rinishli, uning zaryadi q va harakatlantiruvchi kuchi $F = E q$ deb olsak, u holda suyuqlikning solishtirma elektr o'tkazuvchanligi Om qonuniga asosan quyidagicha aniqlanadi.

$$\gamma = \frac{n_0 q^2}{6\pi r \eta}, \quad (2.32)$$

bunda: n_0 – zaryad eltuvchilar miqdori.

Ushbu ifodaga asosan, suyuqlik qiziganda, uning qovushqoqligi kamayishi sababli, dielektrikning elektr o'tkazuvchanligi ortadi. Elektr o'tkazuvchanlik kolloid birikmalarda ham kuzatilib, ularda zaryad eltuvchi vazifasini elektronlar bajaradi. Elektr texnikada kolloid birikmalaridan emulsiya, suspenziya (suyuqlikdagi qattiq zarrachalar) va aerezollar (gaz tarkibidagi qattiq va suyuq zarrachalar) ishlatiladi. Elektr maydonida millionlar harakati elektroforez ko'rinishida bo'ladi va jarayon elektrolizdan yangi modda hosil qilmasligi bilan farqlanadi. Elektroforetik elektr o'tkazuvchanligi, tarkibida suv zarrasi bo'lgan yog'da, qatron (smola)li organik suyuqliklarda kuzatiladi.⁵³

Ba'zi suyuq dielektrlarda p qiymatining ϵ_r qiymatiga bog'liqligi 2.1-jadvalda keltirilgan.

Ba'zi suyuqliklarning 20° C dagi solishtirma hajmiy qarshiligi va dielektrik singdiruvchanligi

Suyuqlik	Tuzilish xususiyati	ρ ; Om·m	ϵ_r
Transformator moyi	Qutbsiz	10^{10} - 10^{13}	2,3

⁵³ T.K. Basak. Electrical engineering materials. New Age International, Nil edition. USA, 2009. 54-bet

Benzin			2,0
Kanakunjut	Qutbli	10^8 - 10^{10}	4,5
Atseton		10^4 - 10^5	22
Distillangan suv	O'ta qutbli	10^3 - 10^4	81

2.6. Qattiq dielektrlarning elektr o'tkazuvchanligi

Qattiq jismlarning elektr o'tkazuvchanligi ular tarkibidagi ionlar yoki boshqa zarralarning siljishi hisobiga sodir bo'ladi. Ba'zi qattiq jismlarda esa elektr o'tkazuvchanlikni erkin elektronlar keltirib chiqaradi. Kuchli elektron maydoni ta'sirida jismda elektronli elektr o'tkazuvchanlik kuzatiladi. Elektr o'tkazuvchanlik turi Faradey qonunini qo'llash orqali tajriba yo'li bilan aniqlanadi. Ion tuzilishli dielektrlarda elektr o'tkazuvchanlik, asosan, issiqlik harakati ta'sirida ozod bo'ladigan ionlar siljishi hisobiga ro'y beradi. Past haroratda kristall panjarada bo'sh bog'langan ionlarga, xususan, qo'shimchalarning ionlari siljiydi. Atom yoki molekula panjarali dielektrikning elektr o'tkazuvchanligi qo'shimchalari hisobiga ro'y beradi. Bu holda uning solishtirma elektr o'tkazuvchanligi juda kichik qiymatni tashkil etadi. Har bir muayyan hol uchun elektr o'tkazuvchanlik jarayoni zaryad eltuvchining aktivatsiya energiyasi qiymatiga asoslanib aniqlanadi.

Dielektrikdagi elektronlarning siljuvchanligi ionlarning siljuvchanligidan ancha yuqori bo'ladi. Ion strukturali dielektrikning elektr o'tkazuvchanligi quyidagi ifoda orqali aniqlanadi:

$$\gamma = A \exp(-b/T), \quad (2.33)^{54}$$

bunda: $b = (W_0 + W_c)/k$; W_0 -ionlarni ozod etish energiyasi; W_c – ionning siljishi energiyasi; b - koeffitsiyent (qattiq jismlarda $b=10000$ - 22000 K ga teng); T - harorat, $1,38 \cdot 10^{-23}$ J/K- Bolsman doimiysi.

Dissotsiatsiya va siljish energiyalari qancha katta qiymatga ega bo'lsa, solishtirma elektr o'tkazuvchanlik bilan harorat shuncha kuchli ravishda o'zgaradi.

⁵⁴ Bijay_Kumar Sharma. Electrical and Electronic Materials Science / - OpenStaxCNX, / Indiya – 2014, 35-bet.

Agar dielektrikdagi tok turli xil ionlar siljishidan kelib chiqsa, (2.34) ifoda quyidagicha ko'rinishga keladi:

$$\gamma = \sum_i A_i \exp\left(-\frac{W_i}{kT}\right) \quad (2.34)$$

Ushbu ifodada γ ni $1/p$ ga almashtirib, soddalashtirsak, solishtirma hajmiy qarshilikning haroratga bog'lanishini aniqlaymiz:

$$\rho = B \exp\left(\frac{b}{T}\right) \text{ yoki } p = p_0 \exp(-\alpha T) \quad (2.35)$$

(2.35) ifodaga asosan solishtirma qarshilikning harorat koeffitsiyenti quyidagi ko'rinishga ega:

$$TK\rho = \alpha\rho = -\frac{b}{T^2} \quad (2.36)$$

Ion panjarali kristall tuzilishga ega jismlarda elektr o'tkazuvchanlik ion valentligi bilan bog'liq. Bir valentli ionli kristallarning elektr o'tkazuvchanligi ko'p valentli ionli kristallarga nisbatan yuqori bo'ladi. Masalan, NaCl kristallarining elektr o'tkazuvchanligi MgO yoki Al₂O₃ kristallarining elektr o'tkazuvchanligiga qaraganda yuqori bo'ladi.

Kristallarda elektr o'tkazuvchanlik kristall o'qlari bo'yicha bir xil bo'lmaydi, atrof jismlarda esa elektr o'tkazuvchanlik turli yo'nalish bo'yicha bir xil bo'ladi. Yuqori molekulari organik polimerlarda solishtirma elektr o'tkazuvchanlik ularning polimerlanish va vulkanlanish darajasi bilan aniqlanadi. Organik qutbsiz atrof dielektrik (polistiroil va hokazo)ning solishtirma elektr o'tkazuvchanligi tarkibiga bog'liq bo'lgani sababli mazkur qiymatni texnologik jarayonda boshqarish mumkin bo'ladi. Masalan, kvarsli shisha juda kichik solishtirma elektr o'tkazuvchanlikka ega. Agar uning tarkibiga turli xil metall oksidlari kiritilsa, shishaning elektr o'tkazuvchanligi birmuncha o'zgaradi. Shisha tarkibiga Mendeleyev jadvalining birinchi guruhidagi ishqoriy metall oksidlari kiritilsa, uning solishtirma

o'tkazuvchanligi keskin o'sadi va bu o'sish qiymati metall ionning radiusiga bog'liq bo'ladi. Ion radiusi qancha kichik bo'lsa, solishtirma o'tkazuvchanlik qiymati shuncha yuqori bo'ladi.

Agar shishaga og'ir oksidlar (bariy, qo'rg'oshin oksidlari) kiritilsa, uning solishtirma o'tkazuvchanligi anchaga pasayadi. Quyida ba'zi shishalarning 200°C dagi solishtirma hajmiy qarshiligi keltirilgan:

Natriy peroksidi.....2·10⁶ Om·m

Kaliy peroksidi.....8·10⁹ Om·m

Qo'rg'oshinli shisha.....2·10¹⁰ Om·m

Tarkibida shisha bo'lgan elektr texnika chinnisiga bariy oksidi kiritilganda dielektrikka oz miqdorda nam kirishi natijasida uning solishtirma elektr o'tkazuvchanligi keskin ortadi. Agar nam muhitda saqlangan bunday dielektrik quritilsa, uning solishtirma qarshiligi ko'tariladi.

Qattiq jismning yuqorida kiritilgan elektr o'tkazuvchanligi elektr maydon kuchlanganligining kichik qiymatlariga nisbatan tegishlidir. Maydon kuchlanganligi qiymati oshirilsa, kristall tuzilishga ega jismlarda elektronli tok oqimi hosil bo'ladi va natijada Om qonuni buziladi. Maydon kuchlanganligi 10-100 MV/m dan yuqori kuchlanganligiga bog'liqligi Pulning formulasi orqali ifodalanadi:⁵⁵

$$\gamma_e = \gamma \exp \beta E, \quad (2.37)$$

bunda; E – maydon kuchlanganligi, MV/m; β (Om qonuni buzilmaydigan sohaga tegishli solishtirma elektr o'tkazuvchanlik, Sm; β - materialni ifodalaydigan koeffitsiyent.)

Maydon kuchlanganligining qiymati teshilish kuchlanganligiga yaqin bo'lganida solishtirma o'tkazuvchanlik Frenkel ifodasi orqali aniqlanadi:

$$\gamma = \gamma \exp(\beta, \sqrt{E}) \quad (2.38)$$

Elektr maydoni ta'sirida bo'lgan dielektriklar eskirish xususiyatiga ega bo'lib, bunda materiallarning dielektrik, mexanik va boshqa xossalari yomonlashadi. Sopolda bunday o'zgarish juda kam

⁵⁵ T.K. Basak. Electrical engineering materials. New Age International, Nil edition. USA, 2009. 58-bet

bo'lsa ham, lekin unda elektr kimyoviy eskirish kuzatiladi, bu jarayon sopolning kristall panjarasidan kislorod chiqib ketishi va elektr o'tkazuvchanlikda ionning ishtiroki bilan tushuntiriladi.

Qattiq dielektrlarda sirt (yuza) orqali elektr o'tkazuvchanlik. Dielektrik sirtiga chang yoki nam qatlam o'tishi natijasida sirt orqali elektr o'tkazuvchanlik sodir bo'lib, uning qiymati mazkur qatlamlar qalinligi bilan aniqlanadi. Suvning solishtirma elektr o'tkazuvchanligi yuqori bo'lganligi sababli, uning dielektrik yuzasidagi juda yupqa qatlami ham sirt orqali elektr o'tkazuvchanlikning sezilarli darajada ortishiga olib keladi.⁵⁶

Dielektrikning solishtirma yuza qarshiligini aniqlash uchun halqa ko'rinishdagi ikkita elektrodan foydalanish mumkin. Bunda dielektrikning yuza qarshiligi R va solishtirma yuza qarshiligi R_s orasidagi bog'lanish quyidagicha bo'ladi:

$$R_s = \frac{P_s}{2\pi} \ln \frac{r_2}{r_1} = \frac{P_s}{2\pi} \ln \frac{d_2}{d_1}, \quad (2.39)$$

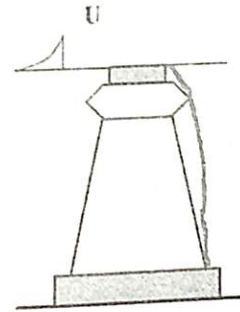
bu yerda; $r_1 d_1$ – birinchi ichki halqa radiusi va diametri, m; $r_2 d_2$ – ikkinchi tashqi halqa radiusi va diametri, m;
Agar $r_2 - r_1 \ll r_1$ bo'lsa, yuqoridagi ifoda quyidagi ko'rinishda yozilishi mumkin:

$$R_s = \frac{P_s(r_2 - r_1)}{\pi(r_1 + r_2)} = \frac{P_s(d_2 - d_1)}{\pi(d_1 + d_2)}. \quad (2.40)^{57}$$

Qutbli dielektrikning yuza qarshiligi atrof-muhitning namlik darajasi qancha yuqori bo'lsa, shuncha kam bo'ladi. Qutbli dielektrikda chang qatlami yaxshi o'tiradi va bu qatlamning to'yinib namlanishi R_s qiymatini keskin tushirib yuboradi. G'ovak jismda namlik butun yuza bo'yicha uning hajmiga singib, yuzada qo'shimcha suv pardasi hosil qilishi natijasida dielektrikning yuza qarshiligi pasayib ketadi. Dielektrikning yuza qarshiligini yuvish.

⁵⁶ Callister, William D., Materials science and engineering: an introduction, 7th ed.p.cm/ - Printed in the United States of America/ John Wiley & Sons, Inc. - 2007. 87-bet.
⁵⁷ Bijay_Kumar Sharma, Electrical and Electronic Materials Science./ - OpenStaxCNX./ Indiya - 2014. 39-bet.

issiqda toblash va boshqa turli usullar orqali ko'tariladi (2.21-chizma).



2.21-chizma. Qattiq dielektrlarda sirt elektr o'tkazuvchanligi

Dielektrik yuzasini tozalash usullaridan biri uni distillangan suvda qaynatishdan iboratdir. Dielektrikning yuzasini loklash bilan ham uning yuza qarshiligini oshirish mumkin. Agar jism yuzasi turli birikma va iflosliklardan halos qilinsa, u katta yuza qarshiligiga erishadi va bu qiymat (P_s) namlik muhitda ko'p o'zgarmaydi. Dielektrik tarkibida dissotsiatsiyalanadigan ionli qo'shimchalar bo'lsa, namlik ta'sirida uning solishtirma yuza qarshiligi keskin pasayadi.

Atrof-muhit havosi tarkibida ma'lum miqdorda suv bug'i bo'lad. Normal sharoitda havoning nisbiy namligi 65% ni tashkil etadi. Dielektrik sirtiga o'tirgan yoki unga singigan namlik izolyatsiya qarshiligini keskin (10^6 marttagacha) pasaytiradi, bu suvning past solishtirma qarshiligi ($P \approx 10^3 - 10^4$ Om·m) bilan tushuntiriladi. Suvga dielektrik singib borishi natijasida uning tarkibida erkin ionlar miqdori ko'payadi. Dielektriklar namlikka bo'lgan chidamliligi jihatidan quyidagi uch turga: nam singdiradi yoki namlanadigan; nam singdirmaydigan lekin yuzasi namlanadigan; namlanmaydigan va nam singdirmaydigan dielektrlarga bo'linadi. So'nggi turdagi materiallar kam uchraydi. Bularga misol tariqasida parafin, serezin, fluoroplast kabi qutbsiz dielektrlarni ko'rsatish mumkin.

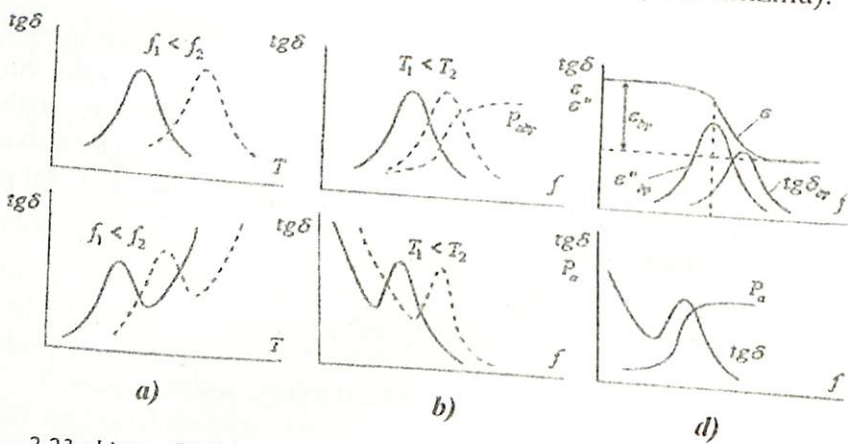
Metallarning o'ziga nam singdirish qobiliyati ularning tarkibidagi makro yoki mikro, yohud submikroskopik bo'shliqlarga bog'liq bo'ladi va u gigroskopiklik yoki suv singdirish bilan ifodalanadi.

turli usullarda hosil qilinadi. Bunday usullardan eng oddiyisi generator yordamida tok hosil qilishdir.⁶⁰

Elektromagnit qonuniga asosan, o'zgarmas magnit maydonida joylashtirilgan va o'zgarmas burchak tezlik (ω) bilan to'g'ri burchakli ramka aylantirilganda o'tkazgichda elektr yurituvchi kuch hosil bo'ladi:

$$e = Blg \sin(\omega t + \phi_c) = E_m \sin(\omega t + \phi_c) \quad (2.42)$$

bunda: B - magnit induksiyasi; l - o'tkazgichning uzunligi; g - o'tkazgichning chiziqli tezligi; ϕ_c - ramka va tekislik oralig'idagi burchak; E_m - elektr yurituvchi kuch amplitudasi (2.23-chizma).



2.23-chizma. Dielektriklarda relaksasion isroflarning o'ziga xos xususiyati

Zanjirda sinusoidal tok va kuchlanish vaqt birligiga nisbatan sinusoidal funksiyaga ega:

$$u = U_m \sin(\omega t + \phi_M); \quad i = I_m \sin(\omega t + \phi_i) \quad (2.43)$$

bunda: u -kuchlanish va i -tokning oniy qiymati; $\omega t + \phi$ sinusoidal funksiyaning fazoviy burchagi.

⁶⁰ Callister, William D., Materials science and engineering: an introduction, 7th ed p cm/ - Printed in the United States of America/ John Wiley & Sons, Inc - 2007. 104-bet.

Bir davr ichida R -qarshilikdan sinusoidal tok o'tganda ajraladigan issiqlikka teng quvvat ajratuvchi o'zgarmas qiymatli tok I_E sinusoidal tokning *effektiv qiymati* deb qabul qilinadi:

$$I_E^2 RT = \int_0^T i^2 RT \quad (2.44)$$

$$I_E = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T i^2 dt} = \frac{I_m}{\sqrt{2}} \approx 0.707,$$

chunki

$$\int_0^T \sin^2 \omega t dt = \int_0^T \frac{1 - \cos^2 \omega t}{2} dt = \frac{1}{2} \int_0^T dt - \int_0^T \frac{\cos 2\omega t}{4\omega} d2\omega t = 0.$$

Sinusoidal kuchlanishning effektiv qiymati:

$$U_E = \frac{U_m}{\sqrt{2}}$$

Sinusoidal tok kuchlanishining o'rtacha qiymati yarim davr ichidagi qiymatlarga asosan topilgan o'rtacha arifmetik qiymatdan iboratdir:

$$I_{av} = \frac{2}{T} \int_0^{\frac{T}{2}} I_m \sin \omega t dt = \frac{2I_m}{\pi} \approx 0.637 I_m \quad (2.45)$$

Bir xil chastotali sinusoidal kattaliklarning soat mili yo'nalishiga teskari vektorlar orqali ifodasi sinusoidal tokning vektor diagrammasi deyiladi. Sinusoidal kattaliklarning boshlang'ich fazasi $\phi = 0$ bo'lsa, ularning yuqori va effektiv qiymatini ifodalaydigan vektor absissasi o'qi bo'ylab yo'naladi. Vektor diagramma sinusoidal kattaliklarni qo'shish yoki ayirish amallarini ancha soddalashtiradi. O'zgarmas tok zanjiri elementlaridagi tok, kuchlanish va quvvat qiymatlari o'zgarmas bo'lsa, o'zgaruvchan tok zanjiridagi bu parametrlar vaqt davomida o'zgarib turadi. Aktiv qarshilik R_a , induktivlik (L) va sig'im (C) lar sinusoidal tok zanjirini ifodalaydigan fizik parametrlardir.⁶¹

Elektr energiyasini boshqa turdagi energiya (issiqlik, yorug'lik, mexanik)ga aylantiruvchi zanjir elementi *aktiv qarshilik* deyiladi.

⁶¹ T.K. Basak. Electrical engineering materials. New Age International, Nil edition. USA, 2009. 59-bet

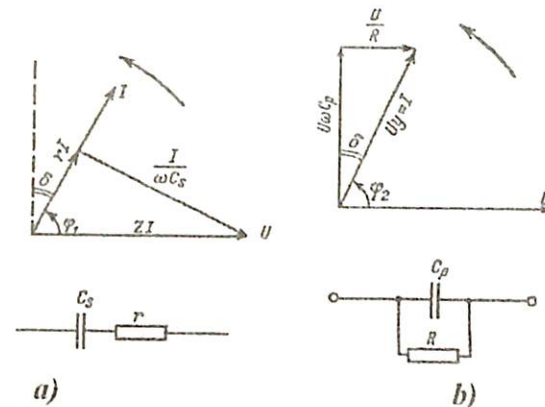
Agar zanjirdagi qarshilikdan o'zgaruvchan tok o'tsa, undagi elektr quvvati Joule-Lens qonuniga binoan qarshilik (R_o) ning qizishiga sarflanadi va qizishga sarflangan quvvat (P) ning o'rtacha qiymati *aktiv quvvat* deyiladi. Sig'imi C bo'lgan kondensator zanjiriga sinusoidal kuchlanish $u = U_i \sin \omega t$ berilsa, qoplamalar goh musbat, goh manfiy zaryadlanib turadi va undan $i = I_i \sin(\omega t - 90) = \omega C U_i \cos \omega t$ o'zgaruvchan tok o'tadi. Ifodaga asosan, sig'imli zanjirdagi tok fazasi kuchlanish fazasidan 90° ilgarilab ketadi. Sig'im yoki reaktiv qarshilik ($x_c = \frac{1}{\omega C}$) tok chastotasi va zanjir sig'imiga teskari proporsional bo'ladi.

Kondensator zaryadlanib, qoplamalardagi kuchlanish ortganida elektr maydonning quvvati $\frac{CU^2}{2}$ ga teng bo'ladi va zaryadsizlanish davrida tok manba tomon yo'naladi. Natijada elektr zanjiridagi quvvat foydali ishga sarflanmay, tok manbai bilan tebranib turadi. Mazkur tebranishga sarflangan quvvat *reaktiv quvvat* deyiladi. Sig'im qarshilikli zanjirdan o'tadigan tok sig'imi yoki *reaktiv tok* deyiladi.

Dielektrik isrof burchagi deb, sig'imli zanjirdagi kuchlanish va tokning fazoviy siljish burchagini 90° gacha to'ldiradigan burchakka aytiladi. Ideal dielektrikda tok vektori kuchlanish vektoridan rosa $\frac{\pi}{2} = 90^\circ$ ilgarilab, bu vektorlar orasidagi isrof burchagi nolga teng bo'ladi. Aksincha, dielektrikda energiya isrofi qancha katta bo'lsa, fazoviy siljish burchagi shuncha kichik va δ burchak yoki uning funksiyasi $tg \delta$ shuncha katta bo'ladi. Jismning agregat holati (gaz, suyuq va qattiq) ga qarab, undagi dielektrik isrofning tabiati turlicha bo'ladi. Dielektrikdagi isrof qutblanish tufayli sodir bo'lganda zaryad va kuchlanish orasidagi bog'lanish ellips ko'rinishiga ega bo'ladi. Aksincha, o'tkazuvchanlik tufayli sodir bo'lsa, bu bog'lanish chiziqli o'zgaradi.

Elektr maydon kuchlanganligining katta qiymatida yoki yuqori chastotada sodir bo'ladigan isroflar, dielektrikda sodir bo'ladigan ionlanish hisobiga ro'y beradi.⁶²

⁶² Callister, William D., Materials science and engineering: an introduction, 7th ed p.cm/ - Printed in the United States of America/ John Wiley & Sons, Inc. - 2007. 109-bet.



2.24-chizma. Dielektrik isrof burchagini aniqlash

Dipol qutblanishda sodir bo'ladigan quvvat isrofi dielektrikda o'zgaruvchan elektr maydoni ta'sirida dipol burilishi jarayonida ichki ishqalanish natijasida paydo bo'ladi. Ionlashish sharoitidagi isroflar havoda yoki tarkibida havo bo'shliqlari bo'lgan jismlarda, masalan, chinni, qog'oz hamda zich dielektriklar orasidagi bo'shliqlarda sodir bo'ladi. Qattiq dielektrik ichidagi havo bo'shlig'ini izolyatsiyasi havoli kondensator deb qarash va uni qattiq dielektrikli kondensator bilan ketma-ket ulangan deb faraz qilish mumkin. Bunday dielektriklardagi kuchlanish va sig'im orasidagi bog'lanish quyidagicha bo'ladi:

$$U = U_D + U_h; \quad \frac{U_D}{U_h} = \frac{C_h}{C_D}; \quad U = U_h \left(1 + \frac{C_h}{C_D}\right).$$

Dielektrik va havo bo'shlig'ichida kuchlanishlar (U_D , U_h) tegishli sig'imlar (C_D , C_h) orqali aniqlanadi. Dielektrikdagi kuchlanish (U) oshirib borilsa, U_h qiymati teshilish kuchlanishi (U_{th}) qiymatigacha ortib, havo molekulalarida avval ionlanish, so'ng'ra teshilish hodisasi ro'y beradi. Qattiq jismga nisbatan havoning elektr mustahkamligi past bo'lib, kuchlanishning ma'lum kritik qiymatidan e'tiboran havoda ionlanish boshlanadi. Ionlanish kuchlanishi (U_i) qattiq dielektrik uchun uncha xavf tug'dirmaydi. Kuchlanishning $U = U_i$ yoki $U = U_{th}$ qiymatlarida dielektrikning havo bo'shliqlarida ionlanish natijasida erkin ionlar soni orta boradi. Bu esa dielektrikda

elektr o'tkazuvchanlikning va elektr energiyasi isrofining ortishiga olib keladi. Dielektrikda elektr o'tkazuvchanlik, dipol qutblanish va ionlanish uning qizishiga olib keladi. Bunda dielektrikda elektr energiyasining ma'lum miqdori issiqlikka aylanadi. Segnetoelektriklarda energiya isrofi o'z-o'zidan (spontan) qutblanish hisobiga ro'y berib, uning qiymati Kyuri nuqtasidan past haroratda katta bo'ladi. Segnetoelektriklardagi energiya isrofi dielektriklardagidan ancha yuqori bo'ladi. Segnetoelektriklarda harorat o'zgarishi tufayli, o'z-o'zidan qutblanish Kyuri nuqtasigacha sodir bo'ladi. Segnetoelektriklardagi dielektrik isroflar Kyuri nuqtasigacha juda kam o'zgaradi. Undan yuqori nuqtalarda, ya'ni segnetoelektrikning o'z-o'zidan qutblanishi yo'qolgan holatida $\operatorname{tg} \delta$ qiymati keskin pasayadi. Agar dielektrikda elektr energiyasi isrof bo'lmaydi, deb faraz qilsak, sig'imli zanjirda tok vektori kuchlanish vektoridan $\delta = \frac{\pi}{2} = 90^\circ$ ilgarilab ketib, sig'im (kondensatorning) ning aktiv quvvati nolga teng bo'ladi:

$$P_a = UI \cos \varphi = UI \cos 90^\circ = 0$$

Ammo haqiqiy dielektrikli sig'imda bu burchak 90° ga teng bo'lmaydi ($\varphi \neq 90^\circ$), shu sababli $\cos \varphi \neq 0$ va aktiv quvvat ham nolga teng emas. Bu esa dielektrikda elektr energiyasining isrofi sodir bo'lishini ko'rsatadi. Dielektrik isrof burchagi (δ) tok va kuchlanish vektorlari orasidagi fazoviy burchak (φ) ni 90° gacha to'ldiriladi. Sig'imdagi elektr energiya isrofi issiqlik ajralib chiqishi bilan kechishi sababli sig'imli zanjirda aktiv qarshilik ham ishtirok etadi. Shu bois, sig'imning ekvivalent chizmasi sig'im va qarshilik bilan belgilanib, bunda qarshilik va sig'imning o'zaro ketma-ket va parallel ulangan hollari keltirilgan. Ular o'zgaruvchan kuchlanish zanjiriga ulangan va ma'lum elektr energiyasi isrofiga ega, degan faraz qilinadi.⁶³ Chizmadagi aktiv qarshilikdan ajralayotgan quvvatga teng, miqdori kondensator izolyatsiyasidan ajralayotgan quvvatga teng, deb olingan, tok esa kuchlanishdan ma'lum burchakka ilgarilab ketgan bo'lsin. Zanjirdagi kondensatorlardan birining dielektrigida

⁶³ T.K. Basak. Electrical engineering materials. New Age International, Nil edition. USA, 2009 58-bet

quvvat isrof bo'lmaydi, ya'ni bu kondensatorni ideal kondensator deb faraz qilinadi. Bunday ekvivalent chizma haqiqiy dielektrikdagi dielektrik isrof jarayonini qisman ifodalaydi va isrof burchagi (δ) ni aniqlash uchun xizmat qiladi. O'zgaruvchan tok zanjirdagi aktiv quvvat

$$P_a = UI \cos \varphi \quad (1.1)$$

Qarshilik va sig'imni o'zaro ketma-ket va parallel ulangan zanjir chizmalarida quvvat isrofi sig'imlar (C_s va C_p) va burchak δ yordamida ifodalanadi. Qarshilik va sig'imni ketma-ket ulangan zanjir qarshiligida quvvat isrof bo'ladi. Bu zanjir uchun kuchlanishning vektor diagrammasini quramiz. Tokning umumiy vektori sig'imdagi kuchlanish vektori (U_s) dan 90° ilgarilab ketadi, aktiv qarshilikdagi kuchlanish vektori (\bar{U}_r) esa tok vektori bilan ustma-ust (bir fazali bo'lgani uchun) tushadi. (\bar{U}_s, \bar{U}_r) larning geometrik yig'indisi umumiy kuchlanish vektori (\bar{U}) ni beradi. \bar{U} bilan tok vektori orasidagi burchak dielektrik isrof burchagi (δ) bo'ladi. Xuddi shunday usulda qarshilik va sig'imni o'zaro parallel holda ulangan zanjir chizmasi uchun tokning vektor diagrammasini quramiz. Bunda (\bar{U}) sig'imdagi tok vektori \bar{I} dan 90° dan ilgarilab ketadi. Qarshilikdagi tok vektori \bar{I}_r esa U bilan bir fazada bo'lib, ustma-ust tushadi. So'ngra umumiy tok vektori \bar{I}_s, \bar{I}_r larning geometrik yig'indisidan keltirib chiqariladi. Umumiy va sig'imni tok vektorlari orasidagi burchak esa δ burchagini ifodalaydi. Sig'im va qarshiliklar o'zaro ketma-ket ulangan hol uchun aktiv quvvat:

$$P_a = \frac{U U_r}{Z Z} = \frac{U^2 r_s}{X^2 + r_s^2} \frac{U^2 \omega C_s \operatorname{tg} \delta}{1 + \operatorname{tg}^2 \delta}; \quad (2.46)$$

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{U_a}{U_c} = \frac{I_r}{I} = \omega C_s r_s, \quad (2.47)$$

bu yerda z -to'liq qarshilik.⁶⁴

⁶⁴ Bijay_Kumar Sharma., Electrical and Electronic Materials Science. / - OpenStaxCNX. / Indiya - 2014, 41-bet.

Xuddi shuningdek, sig'ım va qarshilik o'zaro parallel ulangan zanjir uchun:

$$P_a = U \cdot I_a = U^2 \omega C_r \operatorname{tg} \delta, \quad (2.48)$$

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{1}{\omega C_r r_r}, \quad (2.49)$$

bunda: P -aktiv quvvat Vt ; U -zanjirdagi kuchlanish, V ; C -sig'ım, F . (2.27) va (2.29) hamda (2.28) va (2.30) ifodalarni tenglashtirish orqali sig'ım va qarshilik orasidagi munosabat aniqlanadi.

$$C_r = \frac{C_s}{1 + \operatorname{tg}^2 \delta}; \quad r_r = r_s \left(1 + \frac{1}{\operatorname{tg}^2 \delta} \right) \quad (2.50)$$

Agar $C_p = C_s = C$ bo'lsa, u holda izolyatsiyada isrof bo'ladigan quvvat ikkala (ketma-ket va parallel ulangan) zanjir uchun bir xil bo'ladi:

$$P_a = U^2 \omega C \operatorname{tg} \delta. \quad (2.51)$$

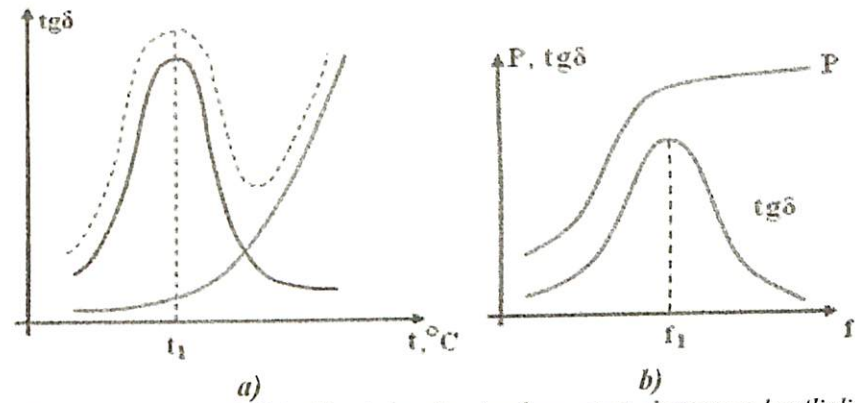
Demak, dielektrikdagi quvvat isrofini aniqlash uchun $\operatorname{tg} \delta$ qiymatidan tashqari izolyatsiya sig'imi, ta'sir etuvchi kuchlanish qiymati va uning chastotasi (ω) ni bilish kerak. Yuqori kuchlanish va katta chastotalarda izolyatsiyada energiya isrofi ko'p bo'ladi. Izolyatsiyasi o'ta qizib ketishining oldini olish maqsadida $\operatorname{tg} \delta$ qiymati kichik bo'lgan dielektrik tanlab olinadi. $\operatorname{tg} \delta$ ni aktiv (I_a) va (I_s) tok qiymatining nisbati orqali ham topish mumkin:

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{I_a}{I_s}. \quad (2.52)$$

2.8. Gazsimon, suyuq va qattiq dielektrlardagi isroflar

Gazlarda dielektrik isrof asosan elektr o'tkazuvchanlik hisobiga sodir bo'ladi. Gazlarning elektr o'tkazuvchanligi juda kichik bolganligi uchun ularda $\operatorname{tg} \delta$ qiymati ham kichik bo'ladi. Gazlarning solishtirma hajmiy qarshiligi taxminan 10^{16} Om·m, dielektrik singdiruvchanligi $\epsilon_r \approx 1$, $\operatorname{tg} \delta \approx 4 \cdot 10^{-8}$ ga teng. Elektr maydon kuchlanishi (U) gaz

molekulalarining ionlanish kuchlanishi (U) qiymatidan past bo'lganda dielektrik isrofi deyarli sodir bo'lmaydi va bu holda gazni ideal dielektrik deb qaraladi. Kuchlanish o'zining kritik qiymati (U_k) dan o'tganda gaz molekulalarida ionlanish boshlanadi va gazda dielektrik isrof ($\operatorname{tg} \delta \approx 10^{-5}$) orta boradi. Kuchlanishning U_i qiymatida gazda teshilish ro'y beradi. $\operatorname{tg} \delta = f(U)$ xarakteristikasi *gazning ionlashish egri chizig'i* deb ataladi (2.25-chizma).



2.25-chizma. Suyuq dielektrlarda isroflarning harorat va chastotaga bog'liqligi⁶⁵

Qattiq dielektrik bo'shliqlarida gazning ionlashish jarayoni ro'y berib, havoning ionlashishi oqibatida esa, azon va azot oksidi hosil bo'lib, dielektrikning yemirilishiga sabab bo'ladi.

Qutbsiz suyuqliklar (kondensator moylari) da dielektrik isrof elektr o'tkazuvchanlik tufayli sodir bo'ladi. Qutbli suyuqliklarda esa bu isrof elektr o'tkazuvchanlikdan tashqari, dipol-relaksatsiya qutblanishi hisobiga sodir bo'ladi. Bunday suyuqlikning solishtirma elektr o'tkazuvchanligi 10^{-10} — 10^{-11} sm/m bo'ladi. Suyuqliklardagi dielektrik isrof qiymati ularning qovushqoqligiga ham bog'liqdir. O'zgaruvchan kuchlanish ta'siridagi qutbli qovushqoq suyuqlikning dipolli molekulalari elektr maydon o'zgarishi tufayli qovushqoq muhitda buriladi va bunda elektr energiyasining bir qismi ishqalanishga sarflanib, issiqlik ajralib chiqadi. Suyuqlik nisbatan quyuq bo'lsa,

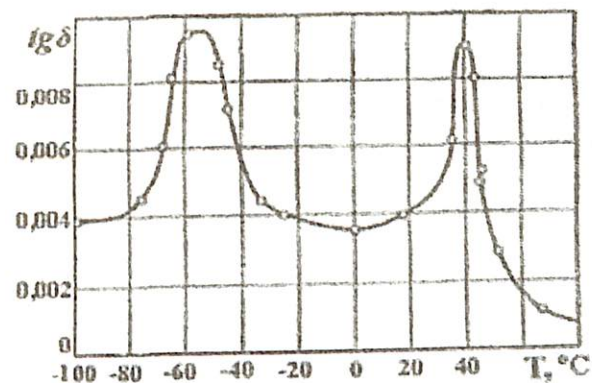
⁶⁵ T.K. Basak. Electrical engineering materials. New Age International, Nil edition. USA, 2009. 61-bet

molekulalar elektr maydon ta'sirida o'z holatini o'zgartirishga ulgurmaydi. Bu holda dielektrik isrof juda kam bo'ladi. Xuddi shunday holat suyuqlik juda suyuq bo'lganida ham kuzatiladi, bunda molekulalar maydon ta'sirida o'z o'rmini deyarli ishqalanishsiz o'zgartiradi. Suyuqlik o'rtacha qovushqoqlikka ega bo'lganida undagi dielektrik isrof ancha yuqori bo'ladi va uning ma'lum bir qiymatida maksimumga erishadi.

O'tkazuvchanlik hisobiga sodir bo'ladigan dielektrik isroflar tok kvadratiga to'g'ri proporsional bo'lgani uchun $tg\delta$ qiymati avvaliga sekin, so'ngra keskin ortadi. Dipol qutblanish hisobiga ro'y beradigan dielektrik isroflarda $tg\delta$ qiymati haroratga nisbatan yuqori nuqtadan o'tib, so'ngra pasayadi. Harorat past bo'lganida suyuqlikning qovushqoqlik darajasi yuqori, dipollar esa deyarli harakatsiz bo'lgani sababli, unda elektr isrofi deyarli kuzatilmaydi. Aksincha, yuqori haroratda suyuqlikning qovushqoqligi keskin kamayishi sababli, dipollar maydon uzra oson (ishqalanishsiz) buriladi, natijada energiya isrofi kam bo'ladi. Agar suyuq dielektrikdagi bir yo'la ikki turli sabab - o'tkazuvchanlik va qutblanish tufayli sodir bo'lsa, $tg\delta = f(t)$ xarakteristika ilgari ikki xarakteristika yig'indisidan iborat bo'ladi. Barcha hollarda ham harorat ortishi oqibatida jism o'tkazuvchanligi ortadi va natijada $tg\delta$ qiymati ko'payadi.

Dielektrik ta'sir etuvchi namlik $tg\delta$ qiymatning o'sishiga olib keladi. Agar suyuq dielektrikdagi isroflar faqat elektr o'tkazuvchanlik tufayli sodir bo'lsa, chastota ortishi bilan $tg\delta$ qiymati kamayadi. Bunda dielektrikda ichki o'tkazuvchanlikdan kelib chiqqan tokning aktiv qiymati chastotaga proporsional ravishda o'sadi. Shu sababli aktiv tok reaktiv tokka nisbatan $\left(\frac{I_a}{I_r} = tg\delta\right)$ chastota ortishi bilan kamayadi. Dielektrik isroflar dipol qutblanish sababli ro'y berganida chastota ortishi bilan $tg\delta$ o'zining yuqori qiymatiga erishadi. Past chastotalarda dipol burilish tezligi kichik bo'ladi, bunda ishqalanish sust o'tadi va dielektrikdagi isrof kamayadi. Yuqori chastotada esa dipol elektr maydonida burilishga ulgura olmaydi. Oraliq chastotalarda esa $tg\delta$ qiymati o'zining yuqori qiymatiga erishadi. Jismdagi dielektrik isrof o'tkazuvchanlik va qutblanish tufayli sodir bo'ladi. Past chastotalarda dipol relaksatsiya isrofi elektr o'tkazuvchanlikdagi

isrofga nisbatan kam bo'ladi (2.26-chizma). Masalan, qutbsiz transformator moyida $tg\delta = 0,001$; qutbli kanakunjut moyida esa $tg\delta = 0,02$ bo'ladi.



2.26-chizma. Kondensator qog'ozi uchun $tg\delta$ ning haroratga bog'liqligi

Qattiq dielektrlarning dielektr isrofi material tuzilishiga bog'liqdir. Shu sababli, ular yuqorida keltirilgan 4 turkumga bo'lib o'rganiladi. Molekulalar tuzilishga ega dielektrlardagi isroflar molekula shakliga uzviy bog'liqdir. Qutbsiz dielektrlar (serezin, polietilen, polistiro, politetraforetilen va hokazo)dagi dielektrik isroflar juda kamdir. Tuzilish jihatidan qutbli bo'lgan dielektrlar (sellyuloza, poliamid, poliuretan, bakelit va hokazo) dipol-relaksatsiya qutblanishga ega bo'lib, ulardagi dielektrik isroflar qiymati kattadir.⁶⁶ Ion strukturadagi qattiq jismdagi dielektrik isroflar ionlarning panjarada joylashish holati bilan bog'liq: ionlari zich joylashgan dielektrlardagi dielektrik isrof kam bo'ladi. Ionlari zich joylashmagan kristall strukturali jismlarda relaksatsiya qutblanishi kuzatilib, dielektr isrof qiymati katta bo'ladi. Bularga mullit, kondierit, sirkin va boshqa materiallarni misol tariqasida keltirish mumkin. Harorat ortishi bilan elektrotexnik chinnida ionlar ko'payadi va $tg\delta$ qiymati eksponensial qonun bo'yicha o'sib boradi. Ion strukturali amorf jism (organik shisha) larda dielektrik isroflar elektr o'tkazuvchanlik va qutblanish hisobiga ro'y beradi. Tarkibi bir

⁶⁶ Callister, William D., Materials science and engineering: an introduction, 7th ed. p.cm/ - Printed in the United States of America/ John Wiley & Sons, Inc. - 2007. 121-bet.

jisimli bo'lmagan shishaning solishtirma qarshiligi o'sishi natijasida $tg\delta$ qiymati pasayadi. Ularda harorat oshirib borilsa, $tg\delta$ qiymati ham keskin ortadi. Shisha tarkibida ishqor oksidlari ($Na_2O; K_2O$) bo'lsa, undagi dielektrik isroflar bir muncha ko'payadi.

Segnetoelektrlardagi dielektr isroflar oddiy dielektrlarga nisbatan yuqori bo'ladi. Bunga asosiy sabab uning o'z-o'zidan qutblanishidir. Segnetoelektrlardagi elektrik isroflar haroratga nisbatan kam o'zgaradi, qutblanish Kyuri nuqtasidagina, qutblanish susayishi natijasida, keskin pasayib ketadi.⁶⁷

Tuzilishi bir jinsli bo'lmagan qattiq jismlarga tarkibidagi komponentlar soni kamida ikkita bo'lgan *sopol* kiradi. Sopoldagi dielektrik isroflar uning tarkibidagi kristalli va shishasimon faza miqdorining o'zaro nisbatiga bog'liq bo'ladi, turli begona qo'shimchalar sopoldagi dielektrik isroflarni oshiradi.

Qattiq va suyuq holatdagi ba'zi dielektrlar (slyuda va ayrim turdagi chinnilar) uchun $tg\delta$ ning kichik qiymati 10^{-4} ga yaqin bo'ladi. Bunday materiallar yuqori chastota va yuqori kuchlanish ta'siri ostida bo'ladigan elektr va radio uskunalarida ishlatiladi.

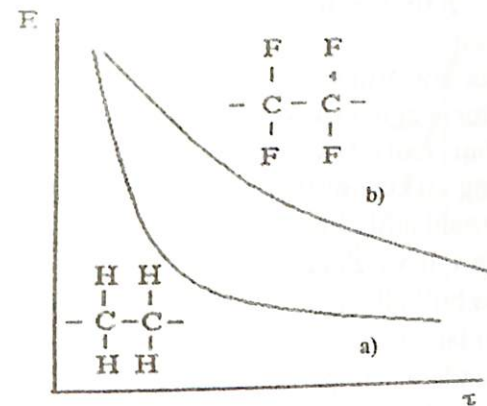
2.9. Dielektrlarning elektr teshilishi

Dielektrikka berilgan kuchlanish qiymati oshira borilganda tok oqimi yuksalib, elektr energiyasining isrofi ko'payadi. Elektr izolyatsiyasi cheklanmagan qiymatdagi o'ta yuqori elektr kuchlanishiga bardosh bera olmaydi. Kuchlanish qiymati ko'tarila borishi natijasida dielektrikda teshilish sodir bo'ladi. Bunda dielektrikda tok oqimi keskin ortadi. Teshilish paytida dielektrikda sodir bo'ladigan o'ta o'tkazuvchan kanal elektrodlarning qisqa tutashuviga olib keladi.

Teshilish sodir bo'lgan joyda chaqnash yoki elektr yoyi yuzaga kelib, dielektrikning teshilgan qismida erish, kuyish, yorilish va hokazolarni kuzatish mumkin. Boshqacha qilib aytganda, elektr maydonida joylashgan dielektrik o'z izolyatsion xususiyatini elektr maydoni kuchlanganligining ma'lum qiymatida yo'qotadi. Dielektrik hajmining aniq bir qismida keskin o'zgarish ro'y berishi oqibatida

⁶⁷ T.K. Basak. Electrical engineering materials. New Age International, Nil edition. USA, 2009. 54-bet

elektrodlar orasida dielektrik orqali katta tok o'tib, qisqa tutashuv hodisasi ro'y beradi (2.27-chizma).



2.27-chizma. Elektr teshilishning vaqtga bog'liqligi

Dielektrikning teshilish lahzasidagi kuchlanish teshilish kuchlanishi (U_t) deyiladi. Elektr maydonning shu lahzaga mos keluvchi qiymati esa dielektrikning elektr mustahkamligi deyiladi. Dielektrikning elektr mustahkamligi teshilish kuchlanishining dielektrikning teshilish joyidagi qalinligi (h) ga nisbati bilan aniqlanadi.

$$E_t = \frac{U_t}{h} \quad (2.53)$$

Dielektrikning elektr mustahkamligi SN ga asosan MV/m larda o'lchanadi.

$$1 \text{ MV/m} = 10^3 \text{ kV/mm} = 10^6 \text{ V/m}^{68}$$

Agar dielektrikda ρ , ϵ_r , $tg\delta$ qiymatlari qanoatli darajada bo'lmasa, materialni ishlatish bo'ladi, lekin E qiymati qanoatli darajada bo'lmasa, bunday dielektrlarni umuman ishlatib bo'lmaydi. Teshilish natijasida dielektrikdan katta tok o'tib, elektr texnika uskunasi ishdan chiqadi. Quvvatli generator, transformator va kabellarda izolyatsiya teshilish energetik tizim uchun jiddiy falokat hisoblanadi. Shuning uchun ham, teshilish nima sababdan kelib chiqishi, izolyatsiya kuchlanishning qanday qiymatini ushlay olishini bilish juda zarurdir.

⁶⁸ Bijay Kumar Sharma, Electrical and Electronic Materials Science. / - OpenStaxCNX, / Indiya - 2014, 46-bet.

2.10. Gazlarning elektr teshilishi

Elektr texnika konstruksiyalarining kattagina qismi – transformator, kondensator, uzgich (uzib-ulagich), elektr havo liniyalari va hokazolarda tashqi izolyatsiya vazifasini havo bajaradi. Normal sharoitda havoning elektr mustahkamligi suyuq va qattiq dielektriklarning elektr mustahkamligidan ancha kichikdir.

Gaz tarkibida ion va elektronlar issiqlik ta'sirida siniq chiziqli betartib harakatda bo'ladi. Agar gazga elektr maydoni ta'sir ettirilsa, elektron yoki ionlar aniq yo'nalish olib, qo'shimcha tezlik bilan harakatlanadi. Bunda gazning zaryadlangan zarrachalari qo'shimcha energiya oladi;

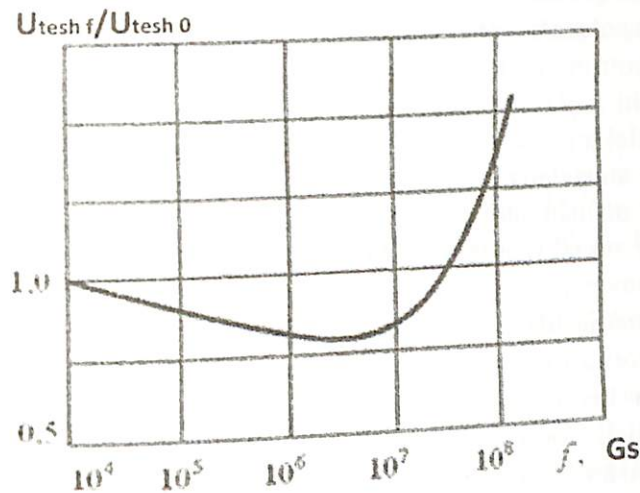
$$W = q U_{\lambda}$$

bu yerda: q - zaryad; U_{λ} - erkin harakat uzunligi (λ) dagi kuchlanish farqi.⁶⁹

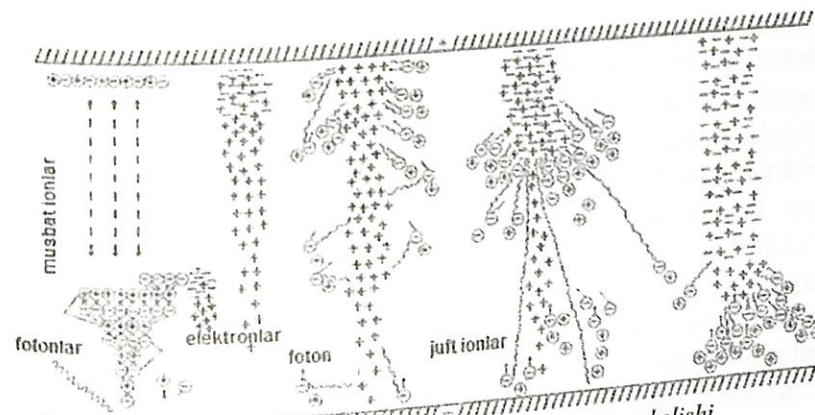
Elektron yadrodan uzoqroq qobiqqa o'tib, molekula ionlanadi, natijada u manfiy elektron va musbat ionlarga ajraladi. Ion va elektron o'z yo'lida uchragan gaz molekulalarini ionlantiradi. Ionlanish sodir bo'lishi uchun zarur sharoit $W \geq W_i$ bo'lib, tekis maydonda $W = Eq$ bo'ladi. Bunda λ - erkin o'tish uzunligi. Ionlanish energiyasi W_i va ionlanish kuchlanishi $U_i = \frac{W_i}{q}$ nisbat orqali bog'langan. Ko'pchilik gazlar uchun U_i qiymati 4-25 V oralig'ida o'zgarib, ionlanish energiyasi 4-25 eV ga to'g'ri keladi (2.28-chizma).

Har bir gaz uchun q va λ qiymatlari o'zgarib qolmaydi. Ma'lum masofani to'qnashsiz o'tgan elektronning tezligi $= 600 \sqrt{i}$ bo'ladi; elektron gaz molekulalarining katta tezligi ionlanishini ta'minlaydi. Gaz molekulalarining ionlanishi uchun elektronning harakat tezligi 1000 km/s dan yuqori bo'lishi lozim (2.29-chizma).

⁶⁹ Callister, William D., Materials science and engineering: an introduction, 7th ed. p. cm/ - Printed in the United States of America/ John Wiley & Sons, Inc. - 2007. 125-bet.



2.28-chizma. Gazlarning teshilishi



2.29-chizma. Gazlarda razryadlarning yuzaga kelishi

Elektronning siljishi ion siljuvchanligiga nisbatan ancha yuqori bo'ladi. Ionlanish paytida ajralib chiqqan elektron molekulalarining ionlanishini ta'minlaydi, ular zaryadlarga yoritiladi. Elektrodlar orasidagi gazda razryad bo'lganida musbat ionlar katod yuzasini bombardimon qilib elektrodan elektronlarni ozod etadi.⁷⁰

Ayrim hollarda elektr maydonida tezlanish olgan elektron molekulalarining ionlanishini ta'minlamay, ularni uyg'ongan holatga

⁷⁰ T.K. Basak, Electrical engineering materials. New Age International, Nil edition. USA, 2009. 62-bet

olib keladi, xolos. Bunday molekular ortiqcha energiyani nurlatish hisobiga, o'zidan foton ajratadi. Foton o'z navbatida boshqa molekulaga yutilib, uni ionlantiradi. Gazlarda sodir bo'ladigan ichki foton ionlanishi nurlanish orqali katta tezlikda o'z yo'li elektrod oraligida yuqori elektr o'tkazuvchan gaz kanali hosil qiladi. Chizmada elektron ko'chki shtrixlangan konus shaklida keltirilgan. Elektron molekulariga urilishi natijasida gazda ionlanish sodir bo'ladi. Natijada anod tomon siljiyotgan elektronlar soni keskin ortib, ular o'z yo'lida katod tomon yo'nalgan musbat ionlar sonini oshirib boradi. Elektron urilishi natijasida atomlardan to'lqinli nurlar - fotonlar ajratadi. Foton tezligi yorug'lik tezligiga teng bo'lganligi sababli, ko'chkidan ancha ilgari ketib, yo'lida duch kelgan zarrachalarning ionlanishini ta'minlaydi. Anod tomon siljiyotgan elektron birinchi sodir bo'lgan ko'chkini ancha ilgari, yangi ko'chki hosil qiladi.

Shunday qilib, birinchi kuchni AV uzunlikka o'sib yetguncha, strimer SD oraliqda yuqori o'tkazuvchanlikka ega yo'l hosil qiladi. Keyingi bosqichda manfiy strimerdagi alohida ko'chkilar bir-birini quvib, birlashib, umumiy ionlangan kanal hosil qiladi. Keyingi bosqichda strimerdagi alohida ko'chkilar bir-birini quvib, birlashib umumiy ionlangan kanal hosil qiladi.⁷¹

Katodan anodga tomon harakatlanayotgan strimerning o'sishi bilan bir vaqtda qarama-qarshi tomondan musbat zaryadlangan ko'chki oqimi hosil bo'la boshlaydi. Musbat zaryadli strimer gaz razryad plazmali yo'ldan tashkil topadi. Elektron ko'chkilar o'z yo'lida ko'p miqdorda yangidan paydo bo'lgan musbat ionlar qoldiradi va bu ionlarning katta quyuni anod yaqinida sodir bo'ladi.

Musbat zaryad bilan to'lgan va elektron bilan to'yingan elektrodlar orasidagi masofada katta o'tkazuvchanlikka ega gaz plazmasi hosil bo'ladi. Katodga musbat ionlar urilishi natijasida metall yuzasida dog' hosil bo'lib, u o'zidan elektronlar ajratadi. Keltirilgan jarayonlar asosida gazda teshilish sodir bo'ladi. U odatda katta tezlikda, ya'ni 1 sm oraliq $10^{-7} - 10^{-8}$ sekundda bosib o'tadi. Elektrodlar orasida berilgan kuchlanish qancha yuqori bo'lsa, gazda elektr teshilishi shuncha katta tezlikda sodir bo'ladi. Agar ta'sir

⁷¹ Callister, William D., Materials science and engineering: an introduction, 7th ed p.cm/ - Printed in the United States of America/ John Wiley & Sons, Inc. - 2007. 128-bet.

etuvchi kuchlanish vaqti kam bo'lsa, teshilish kuchlanishining qiymati o'sadi va bu o'sish impuls koeffitsienti bilan ifodalanadi:

$$\beta = \frac{U_t}{U_{t50}}$$

bunda; U_t - berilgan impulsdagi teshilish kuchlanishi, kV ; $U_{t50} - 50 Gs$ chastotali o'zgaruvchan yoki o'zgarmas kuchlanishdagi teshilish kuchlanishi, kV .

Bir jinsli bo'lmagan elektr maydonidagi impuls koeffitsiyenti $\beta \approx 1,5$.

Gazda sodir bo'ladigan teshilish ta'sir etayotgan elektr maydon turiga bog'liq. Bir jinsli elektr maydoni yassi yuzali, chekkalari yumaloq shaklli qo'ziqorinsimon elektrodlar, yoki oralaridagi masofa diametridan uncha katta bo'lmagan ikki shar orasida hosil qilinadi. Bunday maydonda teshilish kuchlanishining gaz harorati va bosimiga bog'liq ma'lum qiymatida to'satdan ro'y beradi. Kuchlanish manbai katta quvvatga ega bo'lsa, elektrodlar orasida uchqun razryadi emas, balki yoy razryadi sodir bo'ladi.

Gazning elektr mustahkamligi haroratga teskari, bosimga esa to'g'ri proporsionaldir. Gazning harorat va bosimi kam o'zgarganda teshilish kuchlanishi gazning zichligiga bog'liq bo'ladi:

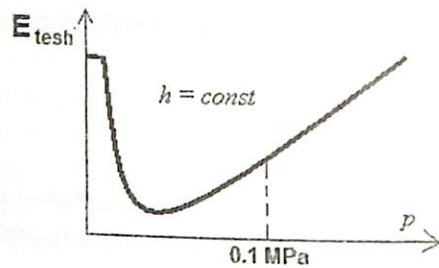
$$U_t = U_{t0} \cdot \delta,$$

Bunda; U_{t0} - normal sharoit ($t = 20^\circ C$; $p \approx 0,1 \text{ Mpa}$) dagi teshilish kuchlanishi; U_t - berilgan harorat va bosimdagi teshilish kuchlanishi.

Havoning nisbiy zichligi δ quyidagicha hisoblanadi:

$$\delta = 0,386 \frac{p}{t + 273}$$

bunda t - harorat, $^\circ C$; p - gaz bosimi, mm sim. ust . Bosim yuqori bo'lganda gaz zichligi ortib, molekular orasidagi masofa qisqaradi va elektronlarning erkin harakatlanish masofasi (λ) qisqaradi (2.30-chizma). Natijada teshilish kuchlanishning katta qiymatlarida sodir bo'ladi. Gaz bosimi kamaytirilsa, uning elektr



2.30-chizma. Gaz mustahkamligi va bosim orasidagi o'zgarish grafigi

mustahkamligi pasayadi va bosimning mal'um qiymatidan boshlab elektr mustahkamlik orta boradi. Bu gaz hajmidagi molekular sonining keskin kamayishi va elektronlar gaz molekulari bilan to'qnashuvining pasayib ketishi orqali isbotlanadi. Kuchli vakuumda elektr teshilish elektronlarning elektrod yuzasidan ajrab chiqish hodisasi (sovuq emissiya) bilan tushuntiriladi. Bunda elektr mustahkamlik ancha yuqori qiymatga erishadi. Bu esa yuqori chastotali kuchlanish uchun mo'ljallangan vakuum kondensatorlarini yasashda qo'l keladi. Yuqori bosimli gazlar yuqori kuchlanishli apparatlar uchun izolyatsiya sifatida shuningdek kabellar va yuqori kuchlanishli kondensatorlar tayyorlashda ishlatiladi.⁷²

Bir jinsli bo'lmagan elektr maydonida gazning teshilish jarayoni o'zgacha bo'lib, kuchlanganlik yuqori qiymatga ega nuqtada toj ko'rinishidagi razryad vujudga keladi. Maydon kuchlanishli yuksaltirilsa, toj razryad uchqun yoki yoy razryadga o'tadi. Agar igna – tekislik elektrodleri oralig'idagi gazning elektr mustahkamligini tekshirsak, ignaga musbat kuchlanish (impuls) berilganda oraliqda sodir bo'lganda teshilish kuchlanishining qiymati ignaga manfiy kuchlanish berilgan holdagina ancha past bo'ladi (igna deganda uchi konus shaklli elektrod nazarda tutilmoqda). Bu quyidagicha tushuntiriladi. Gazning ionlanishi igna yaqinida vujudga keladi, chunki bu yerda maydon kuchlanganligi o'zining yuqori qiymatiga ega bo'ladi. Igna atrofida musbat zaryadlangan ion (molekula) lar "buluti" hosil bo'ladi. Ignada musbat kuchlanish bo'lganida esa bunday hajmiy

zaryad igna uzunligining sun'iy o'sishiga va elektrodlar orasida razryadlanish masofasining qisqarishiga olib keladi.

Qattiq dielektrik yuzasi yaqinida havoda hosil bo'lganida razryad yuza qoplanish razryadi deb ataladi. Mazkur razryad odatda elektrodlar orasida faqat havo bo'lgan holdagiga qaraganda ancha past kuchlanishlarda ro'y beradi. Razryad kuchlanishining qiymati elektr maydon tuzilishi (elektrod va dielektrikning shakli)ga maydon chastotasi, dielektrik yuzasining holati va havo bosimiga bog'liqdir. Havo nisbiy namligining ortishi izolyatorning razryad kuchlanishini ancha pasaytiradi.

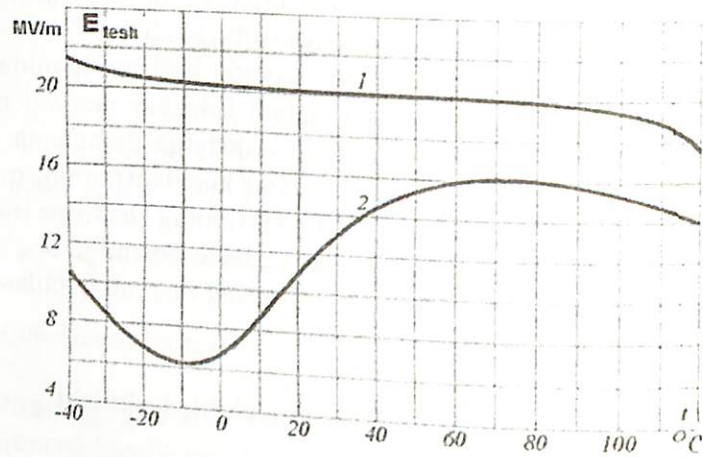
2.11. Suyuq dielektriklarning elektr teshilishi

Suyuq dielektriklarning elektr mustahkamligi normal sharoitda gazlarnikiga nisbatan ancha yuqori bo'ladi. Suyuqlikda λ qiymati gazlardagiga nisbatan ancha kichikdir. Shu sababli, toza suyuqlikda E_i katta qiymatga (50-70MV/m) erishadi.

Odatda suyuqlik tarkibida doimiy qo'shimchalar sifatida gaz, suv va qattiq jism zarralari ishtirok etadi. Bunday qo'shimchalar suyuqlikning elektr mustahkamligiga (teshilish qonuniyatlariga ham) salbiy ta'sir etib, E_i qiymatini keskin pasaytiradi. Elektr maydonida suyuqlikdagi begona zarralar maydon chiziqlari bo'ylab elektrodlar orasida zanjir ko'rinishidagi "bo'sh joylar" ni shakllantiradi. Agar suyuqlik tarkibida gaz pufakchalari bo'lsa, teshilish ana shu pufakchalardan boshlanib, suyuqlikda tugaydi. Suyuq dielektrik – neft mahsuloti bo'lgan transformator moyining tarkibidagi oz miqdordagi suv uning elektr mustahkamligini keskin pasaytiradi. Moydagi suv shar shakliga ega bo'ladi, kuchli maydon ta'sirida dipolli ushbu suv tomchilari qutblanish natijasida ellips shakliga o'tadi. Bunda elektrodlar orasida vujudga kelgan o'ta o'tkazuvchan kanal orqali teshilish ro'y beradi (2.31-chizma).

Toza moylarda E_i qiymati 80°C bo'lganda moyning yengil funksiyasi qaynab, unda ko'plab pufakchalar hosil bo'lishi natijasida suyuqlikning elektr mustahkamligi keskin pasayadi.

⁷² T. K. Basak. Electrical engineering materials. New Age International, Nil edition. USA, 2009. 63-bet



2.31-chizma. Suyuq dielektrlarda teshilish: 1-quritilgan transformator moyi; 2-suv zarrachalari mavjud bo'lgan transformator moyi

Agar tarkibida biroz suv bo'lgan moyning harorati oshirilsa, undagi suv impulsiya holatidan molekulyar eritma holatiga o'tishi natijasida E_r qiymati ko'tariladi.⁷³

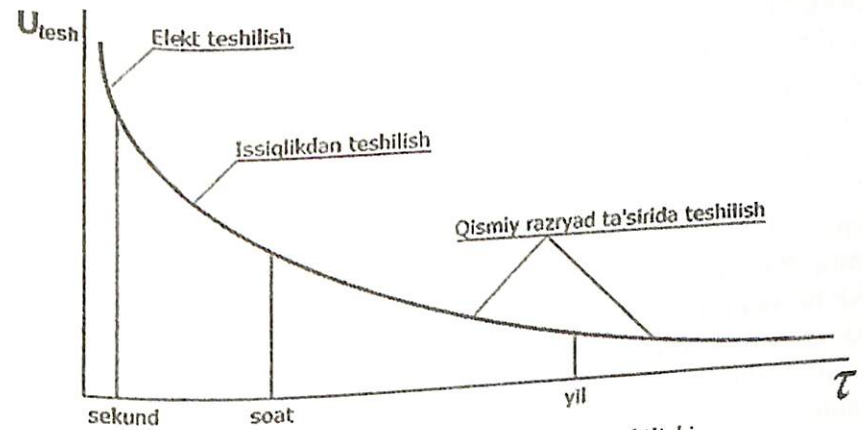
Past haroratlarda suyuqlikning elektr mustahkamligi ortishi uning quyuqlashishi va tarkibidagi suvning muzga aylanishi natijasida ϵ_r qiymatining kamayishi ($\epsilon_r=2,85$) bilan bog'liqdir. Moy tarkibidagi mexanik qo'shimchalar jumladan tola, kukun zarrasi va hokazolar ham suyuq dielektrikning elektr mustahkamligi pasayishiga olib keladi. Shuning uchun elektr texnikada ishlatiladigan suyuq dielektrlar mexanik tozalagich, bosqichli filtr, markazdan qochma moslama, vakuum quritgich va gabsizlantiradigan uskunalarda begona qo'shimchalardan tozalanadi. Suyuq dielektrik qo'shimchalardan tozalanganda uning E_r qiymati sezilar darajada ortadi. Masalan, tozalanmagan transformator moyida $E=4$ MV/m bo'lsa, tozalanganida $E_r=25-45$ MV/m. Elektr apparat (transformator, kabel, kondensator o'chirgich)lariga moy tozalangandan keyingina quyiladi.

⁷³ Callister, William D., Materials science and engineering: an introduction, 7th ed. p.cnt/ - Printed in the United States of America/ John Wiley & Sons, Inc. - 2007. 129-bet.

2.12. Qattiq dielektrlarning elektr teshilishi

Qattiq dielektrlarning teshilishi quyidagi turlarga bo'linadi: makroskopik jihatdan bir jinsli dielektrlarning elektr teshilishi: bir jinsli bo'lmagan dielektrlarning elektr teshilishi: issiqlik (elektr- issiqlik)dan teshilish: elektr-kimyoviy teshilish.

Makroskopik jihatdan bir jinsli dielektrlarning elektr teshilishi juda tez rivojlanib o'tishi (10^{-7} 10^{-8} s) bilan xarakterlanadi. Bunda qattiq jismdagi ba'zi elektronlar elektron ko'chki hosil qiladi. Bu teshilish o'z tabiati jihatidan sif elektron jarayonga kiradi. Elektronlar elektr maydonida olgan energiyasini o'z harakatlari davomida tarqatadi va kristall panjaraning qayishqoq tebranishini vujudga keltiradi. Muayyan kritik tezlikka erishgan elektronlar yangidan yangi elektronlarni uzib chiqarib, muvozanat holatini buzadi, ya'ni qattiq jismda elektronlarning urilishi tufayli ionlanish sodir bo'ladi (2.32-chizma).



2.32-chizma. Qattiq dielektrlarning teshilishi

Bir jinsli elektr maydonida joylashtirilgan bir jinsli dielektrik uchun elektr teshilishidagi maydon kuchlanganligi jismning elektr mustahkamligini aniqlaydigan kattalik bo'lib xizmat qiladi. Bunday holat ishqor-galoid birikmali monokristalllarda va ba'zi polimerlarda

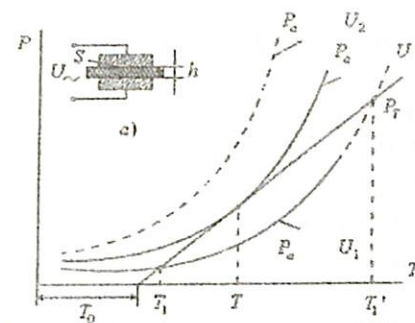
kuzatilib, E_t ning bir jinsli (1) va bir jinsli bo'lmagan (2) elektr maydonidagi qiymatlari turlicha bo'ladi.⁷⁴

Bir jinsli bo'lmagan dielektrlarning elektr teshilishi tarkibida gaz bo'shlig'i bo'lgan texnik dielektrlarda kuzatilib, bu jarayon xuddi bir jinsli dielektrlardagidek juda tez sodir bo'ladi. Bir jinsli maydonda joylashtirilgan dielektrlar (shisha, chinni)ning elektr mustahkamligi material qalinligiga bog'liq emas. Lekin, dielektrikning qalinligi orta borishi bilan uning tarkibida o'zgarish bo'lib, gaz bo'shliqlari soni ortishi natijasida jismning elektr mustahkamligi sezilarli darajada pasayadi. Agar elektrodning yuzasi kichraytirilsa, maydonning ta'sir yuzasi oqibatida undagi nuqsonlar soni ozayib, dielektrikning elektr mustahkamligi orta boradi. Haroratning ma'lum qiymatgacha E_t qiymati o'zgarmaydi, uning yanada ortishi natijasida E_t qiymatining pasayishi kuzatiladi. Bu, dielektrikda issiqlikdan teshilish jarayoni sodir bo'lishi bilan tushuntiriladi.

G'ovak dielektrlar (yog'och, qog'oz, g'ovak sopol) da E_t qiymati havoning elektr mustahkamligiga yaqin bo'ladi. Agar qattiq dielektrikdagi bo'shliqlar to'latilsa (masalan, suyuq dielektrikni shimdirish orqali), jismning elektr mustahkamligi keskin ortadi. Bu jarayon jism tarkibidagi havo va gaz bo'shliqlarining siqib chiqarilishi evaziga sodir bo'ladi.

Issiqlikdan teshilish. Dielektrikda dielektrik isroflar hisobiga ajraladigan issiqlik miqdori berilgan sharoit uchun tarqaladigan issiqlik miqdoridan yuqori bo'lganida issiqlikdan teshilish ro'y beradi. Bunda issiqlik muvozanati buziladi. Issiqlikdan teshilish elektr maydonida joylashgan materialning qizishi harorati uning erish yoki qyish nuqtasiga yetganda ro'y beradi. Bu turdagi elektr mustahkamlik materialnigina emas balki tayyor mahsulotning ham xarakteristikasini ifodalaydi.

Dielektrikning qizishi bilan bog'liq teshilish kuchlanishi kuchlanish chastotasiga, muhit haroratiga va materialning issiqlikka bo'lgan chidamliligiga bog'liqdir (2.33-chizma).



2.33-chizma. Turli kuchlanishlarda issiqlikdan teshilish

Issiqlik teshilishidagi teshilish kuchlanishini hisoblashning soddalashtirilgan uslubini ko'rib chiqamiz. Bir jinsli, dielektrik isrofga ega dielektrik ikki elektrod orasiga joylashtirilgan bo'lsin. Elektrodga o'zgaruvchan tok manbaidan kuchlanish beriladi va uning qiymatini teshilish sodir bo'lishiga qadar oshirish imkoni bor, deb faraz qilamiz. Issiqlikdan teshilish jarayoni yuqori haroratda, ya'ni ichki o'tkazuvchanlikdagi isrof katta bo'lganida kuzatiladi. Dielektrikda isrof bo'ladigan quvvatning haroratga bog'liqligi quyidagi ifoda orqali aniqlanadi:

$$P_a = \frac{U^2 f \epsilon_r S t g \delta e^{\alpha(t-t_0)}}{1,8 \cdot 10^{10} h}, \quad (2.54)$$

Bunda: U -berilgan kuchlanish, f -chastota, G_s ; ϵ_r - nisbiy dielektrik singdiruvchanlik, α - dielektrik isrof burchagi tangensining harorat koeffitsiyenti; t -dielektrikning isrof hisobiga qizish harorati, $^{\circ}C$; t_0 - elektrod harorati, $^{\circ}C$; S -elektrod yuzasi, m^2 ; h -dielektrikning qalinligi, m ; $t g \delta$ -atrof muhit haroratidagi dielektrik isrof.

Dielektrikda ajratiladigan issiqlik tashqi muhitga elektrodning metall qismi orqali tarqaladi, chunki metalning issiqlik o'tkazuvchanligi dielektriknikiga nisbatan ikki-uch barobar yuqoridir. Dielektrikdan ajralib chiqadigan quvvat Nyuton formulasi orqali quyidagicha ifodalanadi:

$$P_t = 2\sigma S(t-t_0)$$

⁷⁴ T.K. Basak. Electrical engineering materials. New Age Intenational, Nil edition USA. 2009. 64-bet

bunda: σ - elektrodlar dielektrik-metall sistemasining issiqlik uzatish koeffitsiyenti.

Dielektrik elektr maydoniga joylashtirilib unga U , kuchlanish ta'sir ettirilsa, material harorati t gacha ko'tarilib, barqaror tenglik, ya'ni materialning issiqlik ajratish quvvati shu issiqlikning tarqalish quvvatiga teng holat yuzaga keladi. Agar kuchlanish qiymatigacha oshirilsa, dielektrikdan issiqlik ajralib chiqishi va uning atrof-muhitga tarqalish tengligi buzilib, dielektrikning harorati o'sa boradi. Natijada jismda yemirilish, kuyish sodir bo'ladi.⁷⁵

Shunday qilib, barqarorlik holati chegarasidagi kuchlanish issiqlik teshilish kuchlanishi U , deb qabul qilinib, quyidagi ikki shart bilan aniqlanadi:

$$\begin{cases} P_a = P_r \\ \frac{\partial P_a}{\partial t} = \frac{\partial P_r}{\partial t} \end{cases} \quad (2.55)$$

Birinchi tenglik kuchlanish ta'siridagi barcha dielektriklar barqaror ishlashining hamma holati uchun mos kelsa, ikkinchisi faqat bir chegaraviy holat uchun bajariladi.

Yuqorida keltirilgan tenglik asosida quyidagini keltirib chiqaramiz:

$$U_r = k \sqrt{\frac{\sigma h}{f \epsilon_r \tan \delta_a}} \quad (2.56)$$

bunda: $1/\alpha = t - t^0$, $k = 1,15 \cdot 10^5$ - koeffitsiyent.

Ushbu formulaga asosan, dielektrik qancha qalin bo'lsa va uning issiqlik tarqatishi qancha yaxshi bo'lsa, kuchlanishi shuncha yuqori qiymatga ega bo'ladi. Qiymatlari katta bo'lganda esa qiymati kichik bo'ladi. Umuman olganda, issiqlikda teshilish ancha murakkab jarayon hisoblanadi. Elektrod yaqinida qarshilik pasayib, kuchlanish dielektrik qalinligi bo'yicha notekis taqsimlanadi va issiqlik uning o'rta qismida yuqoriroq bo'ladi. Natijada, teshilish kuchlanishining hisobigagina nisbatan kichikroq qiymatlarda ro'y biradi. Elektr issiqlik teshilishining dielektrikka kuchlanish berilgan vaqtga bog'liqligi ko'rsatilgan.

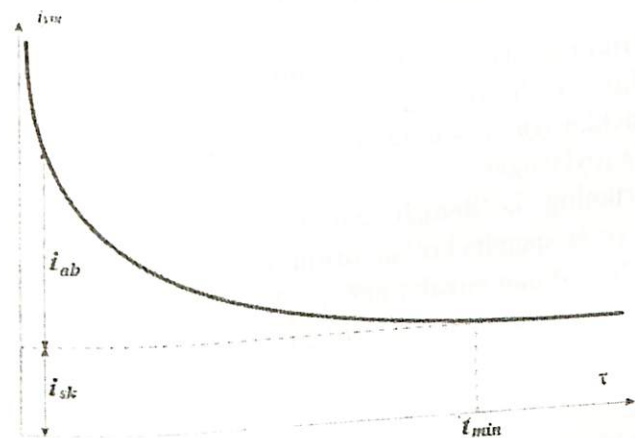
⁷⁵ T.K. Basak. Electrical engineering materials. New Age International, Nil edition. USA. 2009. 65-bet

Qattiq dielektriklarning elektr mustahkamligini hisoblab topish murakkab bo'lganligi sababli, uni tajriba yo'li orqali aniqlash ma'quldir.⁷⁶

Elektr kimyoviy teshilish. Teshilishning bu turi dielektrikda harorat va namlik nisbatan yuqori bo'lgan holda kuzatiladi. Bundan tashqari, elektr kimyoviy teshilish materiali bo'shliqlarida issiqlik hodisasi bilan bog'liq gaz ionlashish sodir bo'lganida ham ro'y beradi. Elektr kimyoviy teshilish ro'y berishi uchun uzoq vaqt talab qilinad, chunki u elektr o'tkazuvchanlik hodisasi bilan bog'liq. Bu turdagi elektr teshilishi ko'pgina organik materiallarda, chunonchi, chinnining ba'zi turlarida kuzatiladi, shuning uchun dielektrikda ishlatiladigan elektrod materialga ham bog'liq bo'ladi.

2.13. Dielektriklarning fizik, kimyoviy va mexanik xususiyatlari

Dielektrikning namlanishi. Elektr izolyatsiya materiallari oz yoki ko'p darajada gigroskopik xususiyatga, ya'ni atrof-muhitdan o'ziga namlik tortib olish xususiyatiga yoki nam singdirish, ya'ni o'zidan suv bug'larini o'tkazish xususiyatiga ega.



2.34-chizma. Dielektikdan oqib o'tuvchi tokning vaqtga bog'liqligi

⁷⁶ Callister, William D. Materials science and engineering: an introduction, 7th ed.p.cm/ - Printed in the United States of America/ John Wiley & Sons, Inc.- 2007. 131-bet.

Atmosfera havosida ma'lum miqdordagi suv bug'lari doimo bo'ladi. Havoning mutloq namligi uning hajm birligidagi suv bug'i massasi bilan ifodalanadi. Haroratning har bir qiymatiga to'yinishdagi mutloq namlikning aniq qiymati to'g'ri keladi. Absolyut namlikning havoni to'yintirish uchun zarur qiymati harorat oshishi bilan keskin ortadi, ya'ni suv bug'ining bosimi ham ortadi.

Havoning nisbiy namligi quyidagicha aniqlanadi.⁷⁷

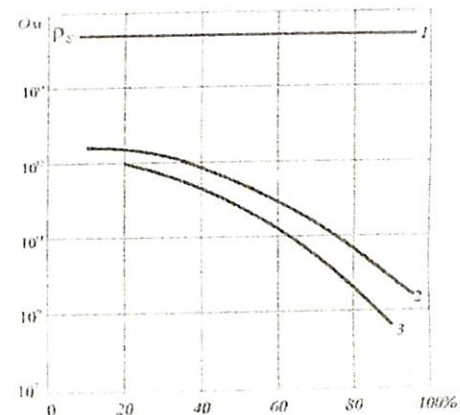
$$\varphi = \frac{m}{m_r} \cdot 100\% = \frac{P}{P_r} \cdot 100\%. \quad (2.57)$$

Normal atmosfera bosimida ($p=0,1$ Mpa) va haroratida ($t=20^{\circ}\text{C}$) $m_r=17,3$ g/m³, $\varphi = 65\%$ bo'lganida havoning namligi normal deb qabul qilinadi, bunday sharoitda suv bug'ining miqdori $m=17,3 \cdot 0,65=11,25$ g/m³ bo'ladi. Suv o'ta qutbli dielektrik bo'lib, uning solishtirma qarshiligini tashkil etadi.

Shu sababli, suv qattiq dielektrikning bo'shliqlariga kirish natijasida uning elektr xususiyatlarini keskin o'zgartirib yuboradi. Bunday holat, ayniqsa, issiq iqlim sharoitida ($\varphi =98-100\%$ va $t =+30+40^{\circ}\text{C}$) vujudga keladi. Nisbiy namlikning yuqori bo'lishi elektr apparati va mashinalarning ishiga salbiy ta'sir ko'rsatadi (2.35-chizma).

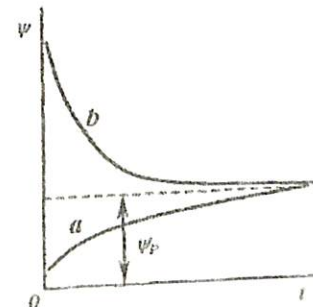
Dielektrikning suv (yoki boshqa biror suyuqlik) bilan qo'llanish xususiyati ho'llanish burchagi ν bilan ifodalanadi. Bu burchak suv tomchisi chekkasiga o'tkazilgan urinma va tekshirilayotgan tekis yuza orasida joylashgan.⁷⁸

Dielektrikning ho'llanish burchagi $\theta < 90^{\circ}$, $\theta > 90^{\circ}$ oraliqda bo'ladi. θ qiymati qancha bo'lsa, jismning ho'llanishi shuncha yuqori bo'ladi. Ho'llanadigan yuzalar uchun $\theta < 90^{\circ}$ shuncha yuqori bo'ladi. Ho'llanadigan yuzalar uchun $\theta < 90^{\circ}$ ho'llanmaydigan yuzalar uchun $\theta > 90^{\circ}$.



2.35-chizma. Nisbiy namlik va dielektrlarning solishtirma sirt qarshiligi orasidagi bog'liqlik: 1- qutbsiz; 2-qutbli; 3-qisman qutbli dielektrik

Materialning namligi. Muayyan namlik va haroratga ega bo'lgan muhitga elektr izolyatsion material namunasi kiritilsa, ma'lum vaqtdan so'ng jismning namligi muvozanat holatga ega bo'ladi. Agar nisbatan quruq dielektrik nam havoga kiritilsa, namlik jism hajmi bo'yicha uning ichiga singib boradi. Materialdagi namlik ma'lum vaqt davomida o'zining to'yingan qiymatiga erishadi yoki, aksincha, nisbatan quruq saqlangan havoda nam material vaqt o'tishi bilan o'zidagi namlikni yo'qota boradi (2.36-chizma).



2.36-chizma. Dielektrik namligining vaqtga bog'liqligi: a-materialni namlantirish; b-materialni quritish

⁷⁷ Bijay_Kumar Sharma., Electrical and Electronic Materials Science. / - OpenStaxCNX./ Indiya - 2014, 48-bet

⁷⁸ T.K. Basak, Electrical engineering materials. New Age International, Nil edition USA, 2009. 66-bet

Elektr izolyatsion materialdagi namlik uning elektr xossalari o'rganishda qo'l keladi, chunki Har xil materiallarning havoning nisbiy namligi o'zgaras bo'lgandagi namlik muvozanati turlicha bo'lishi mumkin. Gigroskopik materialning namligini to'g'ri aniqlash uni massa orqali qabul qilish yoki topshirish ishlarida katta ahamiyatga ega. To'qimachilik materiallari uchun *konditsion namlik* tushunchasi kiritiladi. Konditsion namlik deganda, material namligining normal sharoit havosidagi muvozanat holatdagi qiymati tushuniladi. Masalan, kabel qog'ozi uchun konditsion namlik 8% deb olinadi. Zich tuzilishga ega materiallar g'ovak yoki tolali materiallarga nisbatan namlikni o'ziga kam singdiradi.

Turli dielektrik materiallarda uchraydigan bo'shliqlarning taxminiy o'lchamlari (nm - nanometrlarda) keltirib o'tamiz:

Sopoldagi mikrobo'shliqlar.....	10^2-10^5
Sellyuloza tolasi ichidagi mikrobo'shliqlar.....	10^2
Tola atrofidagi bo'shliqlar.....	1-10
Turli material molekullari orasidagi bo'shliqlar.....	1-5
Molekullar ichidagi bo'shliqlar.....	1

Suv molekulasining diametri 0,27 nm bo'lgani sababli u ko'p materiallarning hatto molekullari ichidagi bo'shliqlarigacha singib borishi yuqoridagi misoldan ko'rinib turibdi.

Agar namlik tola yoki parda yuzasiga bir tekis o'tirsa, t holda materialning dielektriklik xususiyati keskin yomonlashadi. Namlik materialda hajm bo'yicha notekis va uzluksiz tarqalsa, dielektrikning elektr xususiyati juda kam o'zgaradi.

G'ovak, suvda eruvchan jismlar namlik ta'sirida qisman elektrolit hosil qiladi. Bu esa materialning solishtirma hajm qarshiligini pasaytirib yuboradi.

Dielektrikning nam singdiruvchanligi. Elektr izolyatsion materiallarning namlikni o'ziga singdirishi deganda suv bug'ining jism orqali sizib o'tishi tushuniladi.⁷⁹

Bu kattalik dielektrik muhofaza qatlamining asosiy xarakteristikasi hisoblanadi. Aksariyat materiallarda mayda havo bo'shliqlari bo'lgani sababli ular nam singdirish xususiyatiga ega. Ma'lum yuza

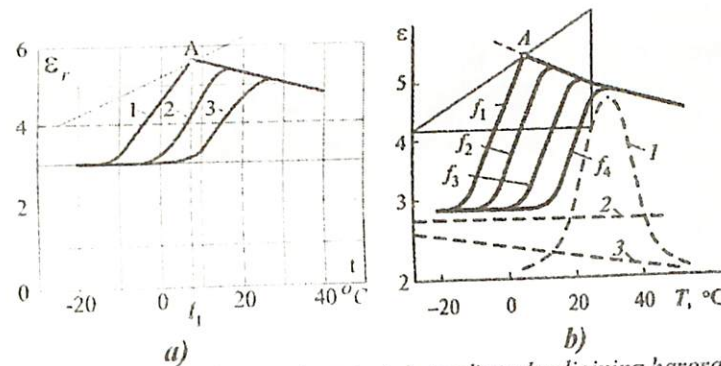
⁷⁹ Callister, William D., Materials science and engineering: an introduction, 7th ed p cm/ - Printed in the United States of America/ John Wiley & Sons, Inc.- 2007. 145-bet.

(S) va qalinlik (h) dagi yassi materialdan suv bug'i bosimining farqi p_1-p_2 ta'sirida vaqt birligi (τ) ichida o'tuvchi namlik miqdori quyidagicha aniqlanadi:

$$m = \frac{P(p_1 - p_2)S\tau}{h} \quad (2.58)$$

bunda: m -massa; P - jismning nam singdirish koeffitsiyenti.

Elektr apparatlari tropik iqlim sharoitida uzluksiz ishlatilsa, organik birikmalarda mog'or ko'rinishidagi yemirilish sodir bo'ladi. Bu hodisa dielektrik yuza qarshiligini va mexanik mustahkamligini kamaytirib, dielektrik isrofini ko'paytiradi va uning metall bilan birlashadigan qismida yemirilish sodir bo'ladi.



2.37-chizma. Turli chastotada material singdiruvchanligining haroratga bog'liqligi: 1- 50 Gs; 2-400 Gs; 3-1000 G.

Mog'or kanifol, tarkibida moy bo'lgan lok, sellyuloza va shimdirilgan materiallarda tez va yaxshi rivojlanadi. Bundan tashqari, materiallar saqlanish yoki ekspluatatsiya mobaynida termit va kemiruvchi jonivorlar tomonidan ham shikastlanishi yoki yemirilishi mumkin.⁸⁰

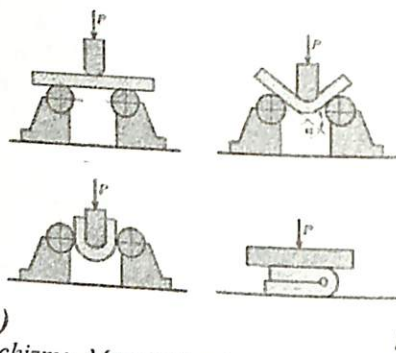
Tropik iqlim sharoitiga chidamlilikni tekshirish maqsadida elektr izolyatsiya materiallari va elektr texnika uskunalari yuzasiga mikroorganizmlar kiritilib, ular namligi yuqori (95-98%) va o'rtacha haroratli ($t=40-50^{\circ}\text{C}$) havoda uzoq muddat ushlab turiladi (2.37-chizma). Tekshiriladigan materiallarning elektr va mexanik xossalardagi

⁸⁰ T.K. Basak. Electrical engineering materials. New Age International, Nil edition. USA, 2009. 68-bet

o'zgarishlar bo'yicha mog'orning rivojlanish intensivligi aniqlanadi. Organik elektr izolyatsiya materiallarning tabiiy yemirilishiga bo'lgan qarshiligini oshirish maqsadida izolyatsiya tarkibiga turli xil fungitsid va zaharli moddalar kiritiladi yoki dielektrik yuzasiga ular qo'shilgan lok qoplamalar beriladi. Fungitsidlar tarkibi azot, xlor, simob kabi moddalar bo'lgan organik birikmalardan tashkil topadi.

2.14. Dielektrikning mexanik xossalari

Izolyatsiya materiallaridan ishlab chiqarilgan konstruksiyalar mexanik kuch ta'siri ostida bo'lishi sababli ularning mexanik mustahkamligi va deformatsiyasini o'rganish katta ahamiyatga ega (2.38-chizma).



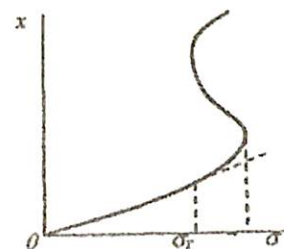
2.38-chizma. Materiallarning mexanik xossalari

Statik cho'zilish, siqilish va egilishning oddiy ko'rinishlari amaliy mexanikaning asosiy qonuniyatlariga bo'ysinadi va bundagi mustahkamlik chegaralarning qiymatlari (σ_{ch} , σ_c , σ_e , SI da Paskalda o'lchanadi ($1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2 = 10^{-5} \text{ kgs/sm}^2$). Cho'zilishdagi mustahkamlik yupqa varaq va tasma shaklidagi dielektrlarga xos bo'lib, bu materiallar o'tkazgich yuzasiga, masalan, kabel o'zagiga qoplanayotganda hisobga olinadi:

$$\sigma_{ch} = P_{ch} / F \quad \text{Pa,}$$

bunda: P_{ch} – dielektrikning uzilish lahzasidagi ta'sir kuchi, kg; F – dielektrikning ko'ndalang kesim yuzasi, m^2 . Uzish mashinasida

materialning yemirilishga bo'lgan mustahkamligi (P_{ch}) ning cho'zilishi $i = \frac{\Delta l}{l} \cdot 100\%$ ham aniqlanadi.



2.39-chizma. Cho'zilishdagi mustahkamlikning deformatsiyaga bog'liqligi

Nisbiy cho'zilishning kichik qiymatlari mo'rt va qattiq jismlar (chinni, shisha, getinaks) uchun tegishli bo'lib, qayishqoq materiallar (rezina, elastomer) da esa i ko'rsatkichi nisbatan katta qiymatlarga bo'ladi (2.39-chizma). Chunki qayishqoq materialning mexanik mustahkamligi kichik qiymatlarga ega. Ba'zi plastik materiallarda i qiymati qattiq va qayishqoq materiallarning xarakteristikalariga oraliqda bo'ladi. Materialning mexanik mustahkamligi maxsus tayyorlangan namunalarda yordamida aniqlanadi. Materialdan tayyorlangan namunalarning shakli ularga qo'yiladigan kuch yo'nalishini hisobga olgan holda ishlab chiqiladi. Masalan, dielektrikning cho'zilish (a), siqilish (b) va egilish (v) ga bo'lgan mustahkamligini aniqlash uchun tayyorlangan namunalarning shakllari keltirilgan. Materiallarning siqilishga bo'lgan vaqtincha qarshiligi σ_c yuqorida keltirilgan ifodaga o'xshash bo'lib, quyidagicha aniqlanadi:

$$\sigma_c = \frac{P_c}{F} \text{ Pa.}$$

Tajribaga asosan, metallarda $\sigma_{ch} = \sigma_s$ bo'lgani sababli ularda siqilishdagi kuchlanishni aniqlash shart emas. Dielektrlarda esa $\sigma_{ch} \neq \sigma_s$ bo'lgani sababli, mexanik mustahkamlik ikkala yo'nalishda alohida – alohida aniqlanadi. Tolali va qatlamli dielektrlarni sinash uchun namunalarda tayyorlashda ulardagi tola yo'nalishi e'tiborga

olinadi. Ko'pchilik dielektrlarning siqilishga bo'lgan mustahkamligi cho'zilishga bo'lgan mustahkamligidan ancha yuqoriligi ($\sigma_{ch} \ll \sigma_s$) sababli ularni, asosan, siqilish yo'nalishi bo'yicha ishlatish maqsadga muvofiqdir.

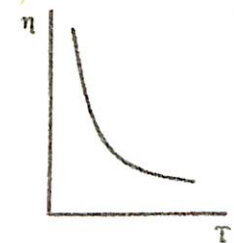
Jismning egilishdagi zo'riqishi eguvchi moment (M) ning qarshilik momenti (W) ga nisbati orqali aniqlanadi:

$$\sigma_c = \frac{M}{W}.$$

Aksariyat materiallarning mexanik mustahkamligi ularning kesim yuzasiga uzviy ravishda bog'liq bo'ladi. Dielektrikning mexanik xossasi haroratga ham bog'liq bo'lib, issiqlik ta'sirida uning mexanik mustahkamligi kamayadi. Gigroskopik materiallarda namlik ortib borgan sari ularning mexanik mustahkamligi pasayib boradi.

Mo'rtlik plastik deformatsiyasiz yemirilish turiga kirib, u material strukturasi va tekshirish sharoitiga bog'liq bo'ladi. Materialga ta'sir ettiriladigan kuchlanish tezligi oshirib borilib, uning harorati keskin kamaytirilsa, jismning mo'rtlikka bo'lgan mexanik mustahkamligi kamayadi. Ko'pgina materiallar katta statik yemirilish kuchlanishiga ega bo'lishi bilan bir qatorda, mo'rtligi sababli, ularning dinamik yemirilish kuchlanishi kichik bo'ladi. Materiallarning dinamik kuchlanishini aniqlaydigan usul – bu urilish egiluvchanligi yoki urilish qovushqoqligidir. Jismning urilish qovushqoqligi σ_q uni sindirishga sarf etiladigan quvvatning (A) shu jism kesim yuzasiga (F) bo'lgan nisbati ($\sigma_q = \frac{A}{F} \cdot J/m^2$) orqali aniqlanadi. Bu qiymat polietilenda 100 kJ/m^2 bo'lgan holda, sopol va mikaleksda bor-yo'g'i $2-5 \text{ kJ/m}^2$ ga tengdir.⁸¹

Suyuq dielektrlarga (moy, lok, kompaund) ning mexanik xossalari o'rganishda qovushqoqlik qo'l keladi. Qovushqoqlik deganda suyuqlik va gaz molekulalarining siljishdagi ichki ishqalanishi tufayli yuzaga keladigan ichki qarshilik tushuniladi. $U \eta$ bilan belgilanib, dinamik qovushqoqlik (ichki ishqalashish) deyiladi va $1 \text{ Pa} \cdot \text{s} = 10\text{P} = 1000 \text{ sP}$ (Pauz)da o'lchanadi (2.40-chizma).



2.40-chizma. Qovushqoqlikning haroratga bog'liqligi

$V = \frac{u}{\rho}$ kinematik qovushqoqlik deyiladi va stokslarda o'lchanadi.

2.15. Dielektrikning fizik xossalari

Dielektrikning zichligi γ ni bilish mahsulot tayyorlashda materialga bo'lgan ehtiyojni, uning hajm yoki massasini aniqlash uchun zarurdir. Zichlik jism massasi (m) ning uning hajmi V ga nisbati orqali aniqlanadi:

$$\gamma = \frac{m}{V} \text{ kg/m}^3. \quad (2.59)$$

Organik materiallarda $\gamma = (0,5-1,5) \cdot 10^3$, anorganikda esa bu qiymat biroz yuqoriroq: $\gamma = (2,5-4,0) \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$.

Materialning gigroskopikligi jismni (namunani) ma'lum vaqt suvda ushlab turish orqali aniqlanadi:

$$W = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \cdot 100\%. \quad (2.60)$$

bunda: m_1 – quruq namunaning massasi, r ; m_2 – namunaning suvda ma'lum vaqt ushlagandan keyingi massasi, r .

Bu kattalik dielektrikning namga chidamliligini baholashda yordam beradi. Ko'pgina dielektrlar ma'lum darajada gigroskopik bo'lganligi sababli, izolyatsiyani namdan himoya qiladi.⁸²

⁸¹ T.K. Basak. Electrical engineering materials. New Age International, Nil edition. USA, 2009. 67-bet

⁸² Bijay_Kumar Sharma., Electrical and Electronic Materials Science./ - OpenStaxCNX./ Indiya – 2014, 51-bet.

Izolyatsiyani namlikdan himoya qilish. Shimdirish usulida izolyatsiya bo'shliqlari gigroskopik bo'lmagan yoki kam gigroskopik qattiq yoki suyuq dielektrik bilan to'latiladi. Shimdirilgan materiallarga avvaliga nam singmay, ma'lum vaqt o'tgandan so'ng bu xossa yomonlasha boradi. Ba'zi shimdirilgan materiallar o'ziga nam olmaydi. Masalan, shimdirilgan marmarda ρ qiymati uzoq vaqt o'zgarmay turadi. Tolali shimdirilgan material (qog'oz, karton, mato sellyuloza) larda esa ρ qiymati asta-sekin pasaya boradi. Shimdiril-magandagi kabi shimdirilgan qalin qog'oz (karton) da ham namlik materialga asta-sekin singib boradi va ma'lum vaqtdan so'ng W qiymati ikkala qog'ozda deyarli bir xil qiymatga ega bo'ladi. Havo bo'shliqlari bo'lgan va shimdirilgan matolar qisqa muddatli namlikka bardoshli bo'lib, ularda E_r qiymati quruq shimdirilgan materillarga nisbatan yuqori bo'ladi.

Izolyatsiya xarakteristikasini o'zgartirmasdan saqlash va namlik ta'sirini kamaytirish maqsadida shimdirish usulidan tashqari, loklash usulidan ham foydalaniladi. Bunda, shimdirilgan jism qalinligi 0,1-0,2 mm li lok qatlami bilan qoplanadi. Lekin bu usul namlik 80% dan ortganda o'zini oqlamaydi.

Bundan tashqari, siqish usuli yordamida mahsulot yuzasi qalinligi 1-2 mm bo'lgan plastmassa qoplamasi bilan qoplanadi. Bunday qoplamaning mexanik xarakteristikalari lok qoplama mexanik mustahkamligidan ancha yuqori bo'ladi. So'nggi usul mahsulotning havo namligi 90% gacha bo'lgan hollarda ishonchli himoya qiladi.

Mahsulot yuzasini qoplash usullaridan biri ishlov beriladigan yuzaga tayyorlangan kompaund quyish usulidir. Bunda detalning tashqi qismiga mos qilib maxsus qolip yasaladi va unga suyuq holdagi plastmassa to'ldiriladi. Masalan, epoksid smolasidan tayyorlangan qoplamaning qalinligi 10-20 mm qilib olinadi. Mahsulot suyultirilgan kompaundga botirib olinadi. Bu usul dielektriklarni 95% gacha namlik ta'siridan himoya qiladi.

Barcha hollarda ham jismni namlikdan himoya qilishda organik materiallar qo'llaniladi. Bu materiallar gigroskopik xususiyatga ega bo'lgani uchun o'zidan namlikni o'tkazadi. Iсталgan organik dielektrik qandaydir miqdorda nam singdiruvchanlikka ega.

Ba'zi organik dielektriklar uchun nam singdirish koeffitsiyenti quyidagichadir:

Parafin	$5 \cdot 10^{-10}$ s
Polietilen	$3 \cdot 10^{-10}$ s
Epoksid smolasi	$5 \cdot 10^{-9}$ s
Neftli bitum	$1 \cdot 10^{-8}$ s

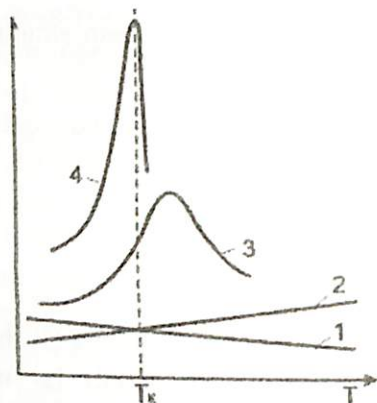
Dielektrikni namlikdan ishonchli himoya qilish maqsadida bosim ostida quyish usuli qo'llaniladi. Chunki bu usulda olinadigan qoplamaning qalinligi katta qiymatga ega bo'ladi va mahsulotni namlikdan yaxshi himoya qiladi. Agarda himoya qoplamasida darz yoki yemirilish sodir bo'lsa, namlik qoplama ichiga tezda kirib boradi.

Vakuumba zichlash usulida himoya qilinadigan mahsulot metall qobiqqa joylashtiriladi va qopqoq bilan kavsharlanadi. Metall qoplama dielektrikni namdan a'lo darajada himoya qiladi.

Qog'oz izolyatsiyali yuqori kuchlanishli kabellarni namdan muhofaza qiladigan himoya qoplamasi sifatida izolyatsiya yuzasiga uzluksiz qoplanadigan metall (qo'rg'oshin, alyuminiy, po'lat) qoplama ishlatiladi. Bu qoplamlar izolyatsiya yuzasiga maxsus presslarda qoplanadi. Elektr mashinalarning izolyatsiyasi namlik ta'siridan loklash, shimdirish va kompaund quyish usullari orqali himoya qilinadi. Uzluksiz ishlaydigan elektr mashinasi namlikka chidamli bo'ladi. Bu mashinaning muttasil ish mobaynida qizishi natijasida izolyatsiyasining namlanmasligi bilan tushuntiriladi. Uzoq muddat ishlamagan (omborda saqlangan) elektr dvigateli yoki generatorlarining izolyatsiya holati tekshirilib, zarur holatlarda ularning izolyatsiyasi quritilishi shart.⁸³

Dielektriklarning issiqlik xossalari. Dielektrikning issiq va sovuqqa chidamliligi, issiqlik o'tkazuvchanligi va issiqdan kengayishi uning issiqlik xossalari kiradi (2.41-chizma).

⁸³ T.K. Basak. Electrical engineering materials. New Age International, Nil edition. USA, 2009. 69-bet



2.41-chizma. Turli qutblanishlarda nisbiy dielektrik singdiruvchanlikning haroratga bog'liqligi: 1-elektronli; 2-ionli; 3-dipol-relaksatsionli; 4-o'z-o'zidan yuzaga keluvchi⁸⁴

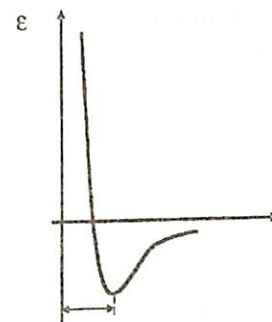
Anorganik dielektriklarning issiqqa chidamliligi ularning elektr xossalari ($tg\beta, \rho$) qiymatlarining o'zgarishiga qarab baholanadi. Organik dielektriklarning issiqqa chidamliligi ularning cho'zilishi va egilishi orqali yoki qizitilgan dielektrikka igna botirib ko'rish orqali aniqlanadi.

Izolyatsiya materialining harorat ta'siriga chidamliligi Martens usuli orqali ham aniqlanadi. Bu usulda jismning qisqa muddatli issiqlikka bardoshliligi uning mexanik xossalari o'zgarishiga qarab aniqlanadi. Dielektrikning issiqlikdan yumshash harorati qizdirilgan namunaga shar yoki doirani ma'lum kuch bilan ta'sir ettirib aniqlanadi.

Suyuqlikning chaqnash harorati uning haroratini ko'tara borib, cho'g' yaqinlashtirilganda suyuqlikning havodagi bug'i yonib ketishi bilan aniqlanadi.

Suyuqlikning alangalanish harorati tekshirilayotgan suyuqlikka alangani yaqinlashtirganda uning yonib ketishi bilan aniqlanadi. Suyuqlikning alangalanish harorati uning chaqnash haroratidan birmuncha yuqoridir. Bunday xarakteristikalar transformator moyi va erituvchi suyuqliklar sifatini aniqlashda keng qo'llaniladi (2.42-chizma).

⁸⁴ Callister, William D., Materials science and engineering: an introduction, 7th ed.p.cm/ - Printed in the United States of America/ John Wiley & Sons, Inc.- 2007. 151-bet.



2.42-chizma. Qattiq jismlarning issiqlik xossalari⁸⁵

Izolyatsiyaning joiz ish harorati jismning qisqa yoki uzoq muddatli qizishga chidamliligini tekshirish orqali aniqlanadi. Dielektrikning qizishi mobaynida unda kimyoviy o'zgarish sodir bo'ladi. Bu holat izolyatsiya materialining issiqlik ta'sirida eskirishi deyiladi. Bunday eskirish selluloza va loklangan jismning qattiqligi va mo'rtligi ortishi yoki jism yuzasida yoriqlar paydo bo'lishi bilan belgilanadi. Dielektrikning issiqlik ta'sirida eskirishi uning ilk bor tayyorlangan holatiga nisbatan o'zgarishiga qarab aniqlanadi. Jismning eskirish muddati (τ) harorat bilan quyidagicha bog'langan:

$$\ln \tau = A/T + B \quad (2.61)$$

bunda: A, B – berilgan materialning issiqlik ta'sirida eskirishiga taalluqli o'zgarimas koeffitsiyentlar.

Issiqlik ta'siridagi eskirish UB (ultrabinafsha) nurlari, elektr maydoni, mexanik kuchlanish va boshqa ta'sirlar ostida tezlashadi.

Elektr mashina va arrapatlarining quvvatini o'zgartirmagan holda dielektrikning issiqlikka chidamliligini oshirish orqali ularning hajmi va narxini birmuncha kamaytirish mumkin. Bu samolyotsozlik va raketsozlikda, elektr dvigateli, transformator va boshqa ixcham, qulay asbob-uskunalar tayyorlashda juda qo'l keladi.

GOST 8865-70 va Xalqaro elektr texnika komissiyasi ko'rsatmalariga asosan, normal sharoitda ishlaydigan elektr mashina

⁸⁵ Callister, William D., Materials science and engineering: an introduction, 7th ed.p.cm/ - Printed in the United States of America/ John Wiley & Sons, Inc.- 2007. 151-bet.

va apparatlari izolyatsiya materiallarining joiz ish haroratlari issiqqa chidamlilik bo'yicha bir necha sinfga bo'linadi:

2.2-jadval

Issiqqa chidamlilik sinfi	Y	A	E	B	F	H	C
Joiz ish haroratining eng yuqori qiymati	90	105	120	130	155	180	>180

Ochiq sharoitda ishlatiladigan izolyatsiya materialining sovuqqa chidamliligi ham katta ahamiyatga ega. Past haroratlarda, odatda, izolyatsiya materiallari o'z dielektriklik xususiyatlarini yaxshilaydi. Normal sharoitda elastik va egiluvchan bo'lgan materiallar past haroratlarda (-30--50°C) qattiq va mo'rt bo'lib qoladi. Bu esa kuchlanish ta'siri ostida bo'lgan materialning sinishi (yemirilishi) va uskunaning ishdan chiqishiga olib kelishi mumkin.

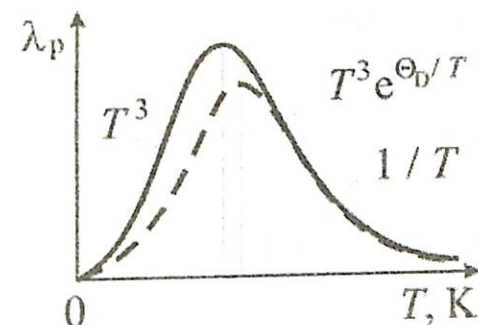
Jismning issiqlik o'tkazuvchanligi issiqlik tarqalishining bir turidir. Dielektrik izolyatsiyasidagi issiqlik uning qizigan qismidan sovuqroq qismiga yoki tashqi muhitga tarqaladi. Dielektrikning issiqlik o'tkazuvchanligi izolyatsiyaning issiqlikdan teshilishiga va harorat zarbiga nisbatan chidamliligiga ta'sir ko'rsatadi.

Jismning γ_u yuzasidan o'tuvchi issiqlik oqimining quvvati Fure tenglamasiga asosan quyidagicha bo'ladi:

$$\Delta P_u = \gamma_u \frac{dT}{dl} \Delta S \quad (2.62)$$

bunda: $\frac{dT}{dl}$ - harorat gradienti, °C/m ; γ_u - jismning issiqlik o'tkazish koeffitsienti, Vt/mK.⁸⁶

Dielektrlarda γ_u qiymati metall materiallariga nisbatan ancha pastdir (2.43-chizma). G'ovak va bo'shliqlari ko'p bo'lgan dielektrlarda issiqlik o'tkazish koeffitsienti eng kichik qiymatga ega bo'lib, ular shimdiriluvchi modda bilan to'latilgan holatda mazkur kattalik qiymati o'sadi (2.3-jadval). Kristall dielektrlarda γ_u qiymati amorf dielektrlardagiga nisbatan katta bo'ladi.



2.43-chizma. Dielektrlarning issiqlik o'tkazuvchanligi

Dielektrlarning issiqlikdan kengayishi boshqa materiallar kabi, chiziqli kengayishning harorat koeffitsiyenti orqali aniqlanadi:

$$TKI = \alpha_t = \frac{ld}{ldt} K^{-1} \quad (2.63)$$

Ba'zi dielektrlarning issiqlik o'tkazish koeffitsiyentlari

2.3-jadval

Material	γ_u B/(M·K)	Material	γ_u B/(M·K)
Havo (tirqishlardagi)	0,05	Chinni	1,6
Bitum	0,07	Steatit	2,2
Qog'oz	0,10	Titan qo'shoksidi	6,5
Loklangan mato	0,13	Kristalli kvarts	12,5
Tekstolit	0,35	Alyuminiy oksidi	30,0
Suv	0,58	Magniy oksidi	36,0
Kvarts	1,25	Berilliy oksidi	218,0

Organik dielektrlar anorganiklariga nisbatan (2.4-jadval) ancha yuqori α_t ga ega. Shuning uchun ham anorganik jismdan yasalgan

⁸⁶ T.K. Basak. Electrical engineering materials. New Age International, Nil edition. USA, 2009. 71-bet

qismlar harorat o'zgarishida o'zining kam o'zgaruvchan α qiymati bilan ajralib turadi.

Ba'zi dielektriklar chiziqli kengayishining harorat koeffitsiyentlari

2.4-jadval

Material	$\alpha_n \cdot 10^6, K^{-1}$	Material	$\alpha_n \cdot 10^6, K^{-1}$
Polivinilxlorid	235	Polivinilformaldegid	64,0
Polivinilxlorid plastikasi	160	Epoksid qatroni	55,0
Polietilen	165	Slyuda	37,0
Sellyuloza asetati	120	Silikatli shisha	9,2
Neylon	115	Sopol	7,0
Politetraforetilen	100	Steatit	6,6
Polistirol	68	Chinni	3,5
Polimetilmetakrilat	70	Eritilgan kvarts	0,55

2.16. Dielektrik materiallar

Izolyatsiya materiallari majmuidan iborat elektr texnika tuzilmasi *elektr izolyatsiyasi* deb ataladi. Elektr texnikaga oid biror-bir uskuna, asbob va tuzilmalarni izolyatsiya materiallarisiz tasavvur qilib bo'lmaydi. Eng oddiy hisoblangan elektr zanjirini ham elektr o'tkazgich va izolyatsiya materiallarisiz yig'ib bo'lmaydi. Elektr izolyatsiyasi tok oqimining kerakli yo'nalishi bo'yicha o'tishini ta'minlaydi.

Elektr izolyatsiya materiallari (dielektriklar) agregat holatiga ko'ra gaz, suyuq va qattiq turlarga bo'linadi. Ularning ichida qattiq holatdagi materiallar eng ko'p uchraydi. Kimyoviy tuzilishiga ko'ra izolyatsiya materiallari organik va anorganik turlarga bo'linadi.

Dielektriklarning fizik va kimyoviy xossalriga baho berishda ularni qutbli va qutbsiz turlarga ajratiladi. Qutbli dielektriklarda molekulaning doimiy elektr momenti noldan farqli, qutbsiz dielektriklarda esa nolga tengdir.

Odatda, dielektriklarning solishtirma elektr o'tkazuvchanligi o'tkazgich yoki yarim o'tkazgichlarning solishtirma elektr o'tkazuvchanligiga nisbatan juda ham kichik bo'lganligi sababli, ular elektr tokini o'tkazmaydi, deb hisoblanadi. Vaholanki, dielektr elektr maydoniga joylashtirilsa, yoki elektr maydoni ta'siri ostida bo'lsa, u o'zidan qandaydir kichik miqdorda elektr tokini o'tkazadi. Bu tok qiymati, asosan, elektrikning solishtirma qarshiligi va kuchlanish qiymatlariga bog'liq bo'ladi. Odatda, dielektriklarning solishtirma qarshiligi 10^7 Om·m dan yuqori bo'lib, yaxshi dielektriklarda bu qiymat 10^8 Om·m gacha yetadi.

Elektr izolyatsiya materiallari sim va kabel izolyatsiyasida, elektr mashina va apparatlarida, izolyator, shuningdek elektr texnikasiga oid boshqa asbob-uskunalar ishlab chiqarishda keng ko'lamda qo'llaniladi.

Dielektriklardan xalq xo'jaligida tobora ko'proq foydalanilmoqda. So'nggi paytlarda ular chastota kuchaytirgich xotira tuzilmasi, datchiklar ishlab chiqarishda qo'llanilmoqda.

2.17. Gazsimon dielektriklar

Gaz holatidagi dielektriklarning normal atmosfera bosimidagi elektr mustahkamligi suyuq va qattiq dielektriknikiga nisbatan ancha kichikdir. Bir xil sharoitda bo'lgan azot va havoning elektr mustahkamligi MV/m, elegaz ('elektr' va 'gaz' so'zlaridan olingan)niki 7,5 MV/m bo'lgan bu qiymat qattiq dielektriklarda 20-500 MV/m atrofida bo'ladi.

Gazlarning asosiy xususiyatlaridan biri razryad sodir bo'lgandan so'ng, ular o'zining elektr mustahkamligini qayta tiklay olishidir. Gaz bosimini oshirib, uning elektr mustahkamligini ancha ko'tarish mumkin. Aksariyat elektr apparatlari va uskunalarida, elektr uzatkichlari va podstansiyalarida asosiy izolyatsiya vazifasini havo bajaranadi. Gazlarning elektr mustahkamlikni qayta tiklash xususiyatidan havoli va elegazli uzgichlarda va boshqa yuqori kuchlanishli elektr apparatlarida foydalaniladi.⁸⁷

⁸⁷ T.K. Basak. Electrical engineering materials. New Age International, Nil edition. USA, 2009. 73-bet

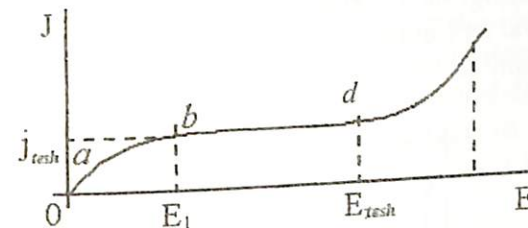
Ayrim gazlarning asosiy xossalari

2.5-jadval

Ko'rsatkich	Havo	Azot N_2	Ele- gaz SF_6	Vodo- rod H_2	Geliy He	Neon Ne	Argon Ar
Molekulyar massasi	28,961	28,013	146,05	2,016	4,003	30,183	3
Qaynash harorati, K	79,0	77,4	209,3	20,4	4,2	27,2	87,5
Zichligi, kg/m^3	1,29	1,25	6,39	0,09	0,18	0,9	1,78
Suyuqlik holatdagi zichligi, mg/m^3	0,92	0,804	1,91	0,071	0,125	1,204	1,4
Issiqlik o'tkazish koeffitsiyenti $mVt/(M \cdot K)$	24,0	24,0	-	166,0	142,0	45,5	16,3
Dinamik qovushqoqligi, kPa-s	10	18	15	9,5	19	30	21
Dielektrik singdiruvchanligi	1,00059	1,00058	1,00191	1,00027	1,0007	-	1,0005

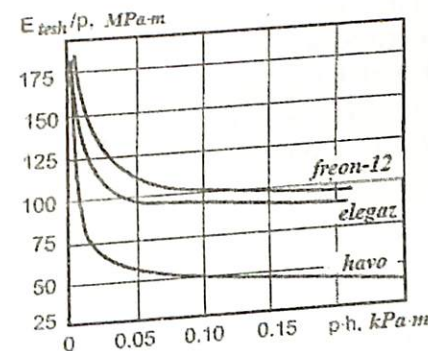
Elektr texnikada qo'llaniladigan gazlarning aksariyati qutbsiz bo'ladi. Keng tarqalgan ayrim gazlarning asosiy xossalari quyidagi jadvalda keltirilgan.

Gaz juda yengil va shu bilan birga juda yaxshi dielektrik xususiyatlarga egadir. Gaz uzluksiz yuqori kuchlanish ta'sirida bo'lganida ham eskirmaydi va o'z xossalari o'zgartirmaydi. Tabiatda uchraydigan va maxsus ishlab chiqarilgan gazlarning bir qismigina elektr texnikada qo'llaniladi. Tabiatda eng ko'p tarqalgan gaz holatdagi dielektrlarga havo yaqqol misol bo'la oladi. Barcha elektr uzatgich, uskuna va apparatlari asosan havo muhitida joylashadi. Bunda havo asosiy izolyatsiya vazifasini bajaradi. Azot gazining elektr mustahkamligi havoning elektr mustahkamligiga ega bo'ladi (2.44-chizma).



2.44-chizma. Gazsimon dielektrlarning Volt-amper xarakteristikasi

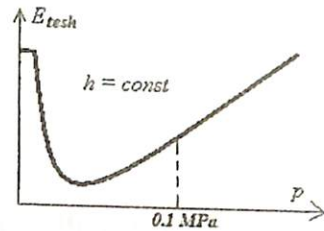
Azot gazi muhitida joylashgan materiallar ish mobaynida oksidlanmaydi. Shu sababli gazli kondensatorlarda havo o'rniga azot ishlatiladi (2.45-chizma).



2.45-chizma. " E/p " ni " $p \cdot h$ " ga bog'liqlik grafigi (h -elektrodlar orasidagi masofa, p -bosim)

Yuqori molekularli gazlar tarkibida galogen moddalar (flor, xlor) bo'lgan gazlarning elektr mustahkamligidan ancha ustundir. Masalan, elegaz (SF_6) ning elektr mustahkamligi havonikiga nisbatan 2,5 barobar yuqoridir. Elegaz zaharli bo'lmagan, kimyoviy barqaror gaz bo'lib, yuqori haroratda ($800^\circ C$) ham parchalanmaydi. Yuqori bosim ostida bo'lgan elegaz o'z elektr mustahkamligini keskin oshiradi. Shu sababli, elegaz elektr energiyasining uzatish liniyalari, kabel, uzgich va kondensatorlarda keng qo'llaniladi. Ba'zi uglevodorodli gaz molekularidagi vodorod atomi bilan almashtirilsa, mazkur gazning (CF_4 -teroftormetan, C_2F_8 -geksaftoretan, C_3F_8 -perftorpropan)

elektr mustahkamligi havonikiga nisbatan kamida 6 barobar ortadi. Ana shu xususiyat tarkibida fluor bo'lgan ba'zi suyuqlik bug'lari bilan to'yintirilgan muhitda



2.46-chizma. Gaz elektr mustahkamligining bosimga bog'liqligi

ham kuzatiladi (2.46-chizma). Gazning elektr mustahkamligi uning molekula tuzilishiga bog'liq bo'ladi. Gazlarning ionlanish potentsiali bir-biridan farq qiladi (2.6-jadval). Mazkur potentsial qiymati qancha kichik bo'lsa, gazning elektr mustahkamligi shuncha yuqori bo'ladi va, aksincha, gazning ionlanish potentsiali qancha yuqori bo'lsa, uning elektr mustahkamligi shuncha past bo'ladi.

2.6-jadval

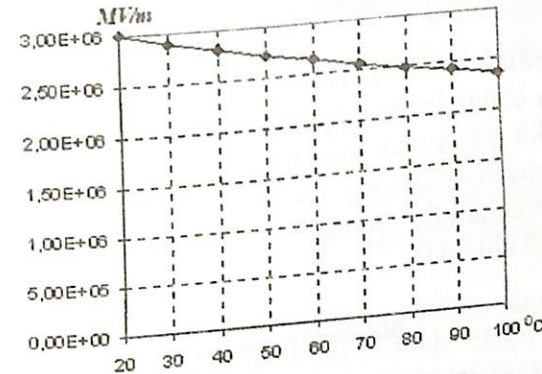
Gaz	H ₂	N ₂	O ₂	Cl ₂	CO ₂	H ₂ O	Xe	Kr	Ar	Ne	Ke
Ionlanish potentsiali	15,4	15,6	12,1	11,5	13,8	12,6	12,1	14	15,8	21,6	24,6

O'zgaras harorat va tekis elektr maydonidagi gazning teshilish kuchlanishi (U_t) shu gaz bosimi (p) va elektrodlararo masofaning funksiyasidir: $U_t = f(p, h)$. Bu xarakteristika U ko'rinishiga ega bo'lib, Pashen qonuniga bo'ysunadi. Agar gaz bosimi o'zgaras bo'lsa, uning elektr mustahkamligi elektrodlar orasidagi masofa qisqarishi bilan ortadi. Gaz bosimi ko'tarilsa, uning elektr mustahkamligi ham ortadi. Bu o'z navbatida, gaz muhitida ishlaydigan konstruktsiya va apparatlarning hajmini kichraytirish imkonini oshiradi.⁸⁸

Gazning teshilish kuchlanishi elektr maydoni, kuchlanish turi va haroratiga uzviy ravishda bog'liq bo'ladi. Ko'pgina gazlarning

⁸⁸ Bijay_Kumar Sharma., Electrical and Electronic Materials Science./ - OpenStaxCNX./ Indiya - 2014, 54-bet.

razryad kuchlanishi atmosfera bosimi sharoitida Pashen qonuniga bo'ysunadi. Ushbu qonuniyat notekis elektr maydonidagi gaz uchun ham o'rinni. Bunda teshilish kuchlanishi (U_t) gaz bosimi (p), elektrod radiuslari (ichki va tashqi)ga bog'liq ravishda o'zgaradi: $(U_t)=f(p,r,R/r)$. Inert gazlar va ularning aralashmalari hamda argon bilan simob bog'i aralashmalarida E_t ning qiymatlari kichik bo'ladi (2.47-chizma).



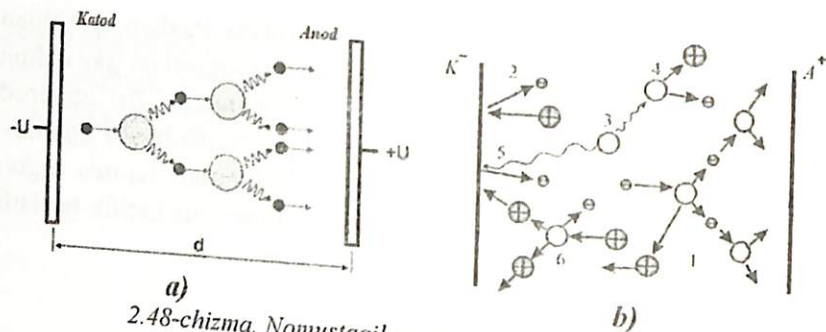
2.47-chizma. Gaz elektr mustahkamligining haroratga bog'liqligi

Yuqori elektr mustahkamlik elektr gazning molekulyar massasi qancha katta bo'lsa, E_t qiymati shuncha yuqori bo'ladi. Masalan, C₁₄P₂₄ birikmasining elektr mustahkamligi havoning elektr mustahkamligidan 10 marta yuqoridir.⁸⁹

Gaz razryad kuchlanishiga elektrod shakli, elektrodlararo masofa, elektrod yuzasining holati katta ta'sir ko'rsatadi. Shuning uchun ham ko'pgina tuzilmalarda elektrod yuzasi maxsus ishlov berib sayqallanadi va unga yoy razryadi ta'sir ettiriladi.

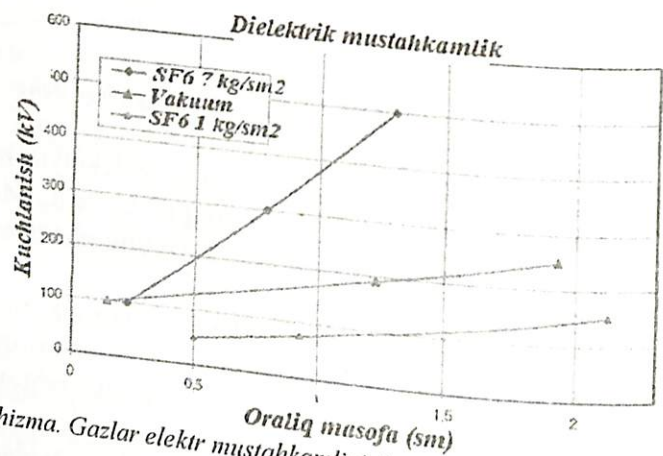
Yoy ta'sirida ishlov berish natijasida elektrod yuzasidagi juda mayda chiqiqlar yemirilib kuyadi, elektrod yuzasidagi notekisliklar (mayda chiqiq, chuqurcha va hokazo) unga izolyatsiyali parda qoplash orqali ham bartaraf etilishi mumkin. Bu usul elektr mustahkamlikni 20-30% ga oshiradi (2.48-chizma).

⁸⁹ T.K. Basak Electrical engineering materials. New Age International, Nil edition. USA, 2009. 76-bet



2.48-chizma. Nomustaqil va mustaqil gaz razryadi⁹⁰

Odatda, elektr uzatish liniyalari va podstansiyalarda havo muhitida joylashgan elektr izolyatsiya konstruksiyalari bir jinsli bo'lmagan notekis elektr maydonini hosil qiladi. Qurilma elektrodleri asosan igna-tekislik, igna-igna sistemasini vujudga keltirgani sababli, havoning elektr mustahkamligi xuddi shu turdagi elektrodler yordamida o'rganiladi (2.49-chizma).



2.49-chizma. Gazlar elektr mustahkamligining havo oralig'iga bog'liqligi⁹¹

Elektrodler oralig'idagi maydonni tekislash (elektrod shakli, o'lchami, soni, oralig'i va hokazolarni tanlab) havoning elektr mustahkamligini oshirishning asosiy omillaridandir. Shu sababli izolyatsiya

⁹⁰ Callister, William D., Materials science and engineering: an introduction, 7th ed. p.cm/ - Printed in the United States of America/ John Wiley & Sons, Inc. - 2007. 165-bet.
⁹¹ Callister, William D., Materials science and engineering: an introduction, 7th ed. p.cm/ - Printed in the United States of America/ John Wiley & Sons, Inc. - 2007. 162-bet.

konstruksiyasida elektr maydonini boshqarib, notekislikni kamaytirishga alohida ahamiyat beriladi. Izolyatsiya konstruksiyalarida elektr maydonini tekislash uchun maxsus ekran keng qo'llaniladi.

Vakuunni elektr mustahkamligi oddiy atmosfera havosining elektr mustahkamligiga nisbatan yuqori bo'ladi. Uning qiymati elektrod shakli, yuzasi va materialiga bo'g'liq bo'ladi. Vakuumda yuqori elektr mustahkamlikka erishish uchun razryad kameradagi barcha elementlar yaxshilab ishlov berib, tozalanishi va elektrodler razryad ta'sirida sayqallanishi kerak. Titan qotishmasidan yasalgan elektrodlerdan foydalanilganda vakuumda yuqori elektr mustahkamlikka erishiladi.

Energetik uskunalarda gaz elektr razryaddan so'ng o'z elektr mustahkamligini tez tiklash, yonmasligi, issiqlikni o'zidan yaxshi o'tkazishi, yoyni o'chirishi va boshqa muhim xossalarga ega bo'lishi zarur. Bu xossalar elegazda jamlangani uchun u aksariyat elektr texnika uskunalarida qo'llaniladi.

Qattiq izolyatsiyaga nisbatan gaz izolyatsiyasining elektr sig'imi va o'tkazuvchanlikka ega bo'lganligi sababli, elektr mashinalarida va o'tkazuvchanlikka ega bo'lganligi sababli, elektr mashinasining ishqalahaavo o'rniga ishlatiladi. Vodorod gazi elektr mashinasining ishqalahaavo nishiga sarflanadigan energiya miqdorini pasaytirishi bilan birga, uning chulg'amiga qoplangan organik izolyatsiya materialining eskirishini cheklaydi. Vodorod gazi ana shu xususiyatlaridan turbogenerator va sinxron kompensatorlarda foydalaniladi.

Ba'zi inert gazlar (neon, argon) hamda simob, yoki natriy bug'larining elektr mustahkamligi kichik bo'lganligi sababli, ular gaz razryad asboblarini to'latishda ishlatiladi. Suyuq holatga o'tgan gazlar (geliy, vodorod, azot) ning harorati juda past bo'ladi. Shu sababli, bundan gazlar maxsus kabellarda ishlatiladi. Suyuq holatdagi mazkur gazlarning dielektrik singdiruvchanligi kichik bo'lib, issiqlik sig'iminining kattaligi bilan ajralib turadi.

Elegaz qimmatbaho bo'lganligi sababli ko'pgina elektr texnika uskunalarida uning azot bilan aralashmasidan foydalaniladi. Azot va elegaz birikmasining elektr mustahkamligi azot gazining elektr mustahkamligidan birmuncha yuqori bo'ladi. Shu bois mazkur birikma muhitida bo'lgan metall o'tkazgichning sovitilish sifati nisbatan yaxshilanadi. Azot va elegaz birikmasi gaz bilan to'latiladigan yuqori kuchlanishli elektr uskunalarida qo'llaniladi.

Gazning issiqlik sig'imi va dielektrik singdiruvchanligining kichikligi gaz izolyatsiyasiga ega bo'lgan yuqori kuchlanishli kabellarning moy shimdirilgan qog'oz izolyatsiyali kabellarga nisbatan ustunligini ta'minlaydi. Bu esa yuqori kuchlanishli kabel uzatish liniyalarining quvvatini keskin oshirishga kehg yo'l ochib beradi.

So'nggi paytlarda elegaz bilan to'latilgan katta quvvatga ega transformatorlar ishlab chiqarilib, sinovdan o'tkazilmoqda. Elegaz va uning aralashmalari azotli kondensator ishlab chiqarishga ham tatbiq etilmoqda.

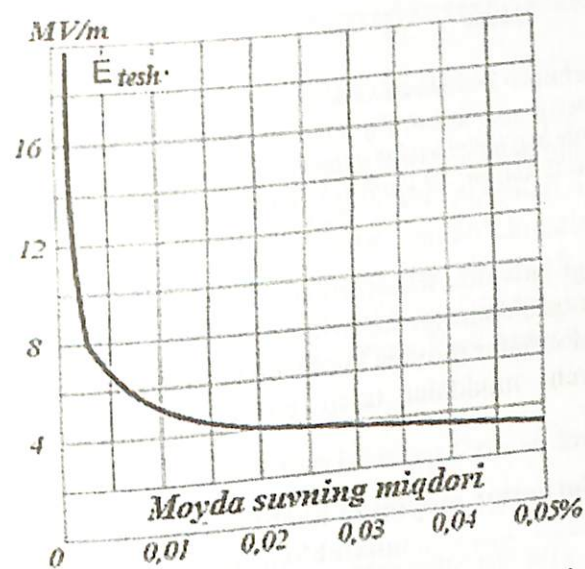
2.18. Suyuq dielektriklar

Elektr texnikaga oid konstruktsiya va uskunalarni ishlatish sharoitlaridan kelib chiqib, suyuq dielektriklarga yuqori elektr musahkamlik va solishtirma hajmiy qarshilik, kichik miqdorli dielektrik singdiruvchanlik, elektr va issiqlik maydonlariga bo'lgan bardoshlilik, ish mobaynida xossalarining barqarorligi, yong'inga bardoshlilik kabi talablar qo'yiladi. Neft mahsulotidan olinadigan transformator moyi elektr texnikada eng ko'p ishlatiladigan suyuq dielektriklardan hisoblanib, u quvvatli transformatorlarda, asosan, elektr izolyatsiyasi va sovitkich vazifasini bajaradi. Transformatorga transformator moyi quyilganda simlarga qoplangan izolyatsiya qoglamasidagi havo bo'shliqlari moy bilan to'ladi. Natijada transformatorning elektr izolyatsiyasi mustahkamligi ortib, elektr kuchlanishi ta'siridagi chulg'amlardan va po'lat o'zakdan ajralayotgan issiqlik tashqi muhitga moy orqali yaxshi tarqatiladi.⁹²

Bunda transformatorning quvvati birmuncha ortadi.

Neftdan olinadigan transformator moyi parafin, naftalin, aromatik uglevodorod kabi murakkab birikmalardan tashkil topgan bo'lib, uning tarkibida oltingugurt, kislorod va azot kabi qo'shimchalar ham bo'ladi. Moydagi zararli qo'shimchalar neftni qayta ishlash orqali bartaraf etiladi. Transformatorning moyini tozalash kislota yordamida, selektiv yoki adsorbsiya kabi usullar orqali amalga oshiriladi. Bu moyning rangi och sariq bo'lib, zichligi $861-895 \text{ kg/m}^3$, qotish harorati -45°C , chaqnash (alangalanish) harorati $135-140^\circ\text{C}$, nur

sindirish koeffitsiyenti 1,47-1,49, kinematik qovushqoqligi ($17,6 \div 26,6$) $10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ va sirt taranglik kuchi 40-45 kN/m. Transformator moyi yonuvchan suyuqlik bo'lgani sababli, uni ishlatish mobaynida texnika xavfsizligiga amal qilinishi shart. Bu suyuqlikning dielektrik singdiruvchanligi 2,2-2,3, dielektrik isrof burchagining tangensi 0,001-0,02 ga teng.

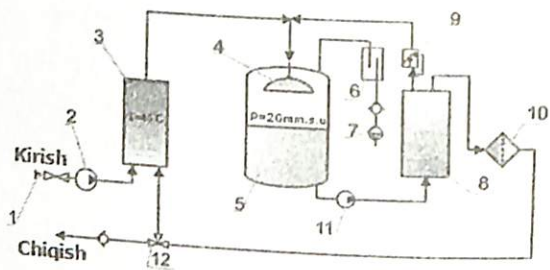


2.50-chizma. Elektr mustahkamlikning moy tarkibidagi suv miqdoriga bog'liqlik grafigi

Transformator moyi tarkibidagi juda kam (0,05%) miqdordagi suv ham uning elektr mustahkamligini keskin (5-10 barobar) tushirib yuboradi (2.50-chizma).

Bu asosan, suvning dielektrik singdiruvchanligi katta ($\epsilon \approx 81$) va solishtirma hajmiy qarshiligining kichikligi ($\rho \approx 10^3 \div 10^4 \text{ Om}\cdot\text{m}$) bilan tushuntiriladi. Moy tarkibidagi mexanik qo'shimchalar (tola, zar-racha va h.k.), ham suyuqlikning elektr mustahkamligini pasaytiradi. Transformator moyi mazkur qo'shimchalardan tozalanib, so'ngra quritilsa, u o'zining asl elektr mustahkamligini qayta tiklaydi.

⁹² T.K. Basak. Electrical engineering materials. New Age International, Nil edition. USA, 2009. 78-bet



2.51-chizma. Transformator moyini quritish va tozalash qurilmasi:
 1-kirish krani; 2-moy nasosi; 3-qizdirgich; 4-forsunka; 5-vakuumli bak; 6-moy tarkibidagi suv bug'larini ushlab qolgich; 7- vakuumli nasos; 8-absorbsiya filtri; 9-aylanma yo'lli klapan; 10-tozalovchi filtr; 11-chiqish nasosi; 12-rejinni qayta ulash krani.

Quyidagi jadvalda transformator moyining kuchlanishga nisbatan elektr mustahkamligi keltirilgan. Elektr uskunalarida ishlatilayotgan transformator moyiga kuchli elektr maydoni, issiqlik, kislorod va oksidlovchi moddalar ta'sir etishi natijasida uning eskirishi kuzatiladi.

Transformator moyining kuchlanishga nisbatan elektr mustahkamligi

2.7-jadval

Apparatdagi kuchlanish, kV	Moyning elektr mustahkamligi, kV/mm (h = 2,5 mm)	
	Quruq holatda	Ekspluatatsiya sharoitida
≤6	25	20
35	30	25
110,220	40	35
≥330	50	45

Bu jarayon yorug'lik, quvvatli nur va aktiv katalizatorlar ta'sirida tezlashadi. Eskirish jarayonida transformator moyining rangi to'qilashib, quyuvlashadi, $tg\delta$ qiymati kattalashadi. Filtrlash, regeneratsiya qilish va boshqa usullar orqali transformator moyi eskirishining oldi olinadi.

Neftdan tayyorlanadigan kondensator moyining tozalanish sifati transformator moyiga nisbatan birmuncha yuqori bo'ladi. Kondensator moyining zichligi $866-901 \text{ kg/m}^3$, qotish harorati -45°C , dielektrik xossalari: $\epsilon_r = 2,1 \div 2,3$; $tg\delta = 0,002$; $E_r = 20 \text{ MV/m}$. Qattiq dielektrik hisoblangan qog'ozga kondensator moyi shimdirilsa, u holda mazkur hisoblangan qog'ozga kondensator moyi shimdirilsa, u holda mazkur hisoblangan qog'ozning dielektrik xossalari yaxshilanadi. Natijada, uning asosida ishlab chiqarilgan kondensatorning hajmi va massasi, shuningdek narxi ham kamayadi. Kondensator moyi elektr texnikada kondensator ishlab chiqarishda foydalaniladi.

Kabel moyi bir necha navda ishlab chiqarilib, uning asosini neft mahsuloti tashkil etadi. Bunday moy shimdirilgan qog'oz o'zidan issiqlikni yaxshi tarqatadi va izolyatsiyaning elektr mustahkamligi ancha ko'tariladi. Kabel moyining ana shu xossalari undan katta quvvatga ega, yuqori kuchlanishli kabel ishlab chiqarishda foydalanish imkonini beradi. Kabel moylarining chaqnash harorati va qovushqoqligining nisbatan yuqoriligi uni boshqa moylardan ajratib turadi. 2.8-jadvalda ba'zi kabel moylarining fizik va kimyoviy xossalari keltirilgan.

Neft asosidagi ba'zi kabel moylarining fizik va kimyoviy xossalari

2.8-jadval

Ko'rsatkichlar	Moyning navlari			
	S-220	MN-4	KM-25	MB
Zichligi, kg/m^3	840	<900	>900	860
Kinematik qovushqoqligi, $10^{-6} \text{m}^2/\text{s}$	800	40	-	150
Alangalanish harorati, $^\circ\text{C}$	180	135	225	96
Qotish harorati, $^\circ\text{C}$	-30	-45	-10	-70
$Tg\delta(50\text{Gs}, t=100^\circ\text{C})$	0,002	0,008	0,005	0,005
E_r	2,25	2,2	2,15	-
P, $\text{Om}\cdot\text{m}$	10^{12}	19^{11}	$2\cdot 10^{10}$	-
E_r , MV/m	21	18	15	-

KM-25 navli kabel moyi shu kuchlanishi 1÷35 kV bolgan kabelning qog'oz izolyatsiyasini shimdirishda ishlatiladi. MN-4 navli kabel moyi esa yuqori bosimli, katta kuchlanish (110-500 kV) kabellarning maxsus kanallarini to'latishda qo'llaniladi. Quvur ichidan o'tkaziladigan, 110-500 kV kuchlanish yuqori bosimda ishlaydigan kabellarning quvuri yaxshilab tozalangan S-220 navli kabel moyi bilan to'ldiriladi.⁹³

Suyuq sintetik dielektriklar. Neft mahsulotidan ishlab chiqarilgan izolyatsiya moylari o'zining afzal tomonlari bilan birga ba'zi kamchiliklar (eskirish, chaqnash va alanganish xavfi, portlashdan ham holi emas. Ana shu sababli shuningdek, yuqori qiymatli dielektrik singdiruvchanlikka erishish maqsadida suyuq sintetik dielektriklar ishlab chiqarildi. Bunga misol qilib, keng miqyosda qo'llab kelinadigan xlordan uglevodorodlarni olish mumkin. Turli xil uglevodorodlar molekularidagi vodorod atomi o'rniga xlor atomini kiritish orqali xlordan uglevodorodlar, ya'ni xlordan difenil olinadi. Xlordan difenil tarkibidagi xlor miqdori 43 dan 67% gacha oshirilsa, quyuq yoki mumsimon modda hosil bo'ladi. Vodorod atomi o'rnidagi xlor atomlarining miqdori oshirilishi natijasida modda quyuqlashib, zichligi ortadi va uning qotish harorati pasayadi.

Ba'zi sintetik dielektriklarning fizik va kimyoviy xossalari 2.9-jadval

Ko'rsatkichlar	Trixlordifenil	Sovtol -10	Geksol
Zichligi, kg/m ³	1360	1510	1640
Kinematik qovushqoqligi, 10 ⁶ m ² /s	40-70	650	3,5-4,0
Qotish harorati, °C	-19	-6	-60
Issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsienti, Vt/m ³ . °C	0,0963	-	0,15
Tgδ (90 °C)	0,015	0,03	0,03
P, Om·m (90 °C)	3·10 ⁹	0,03	13·10 ¹⁰
ε _r	5,9	-	2,7-2,9
E _r , MV/m	20	22	18

⁹³ T.K. Basak Electrical engineering materials New Age International, Nil edition. USA. 2009. 81-bet

O'rta darajada xlordan pentaxlordifenil (*sovtol*) quyuq massa bo'lgani sababli, suyultirish maqsadida unga xlordan suyuq uglevodorod qo'shiladi. Kondensator moyi suyuq difenil bilan aralash-tirilib, hosil bo'lgan suyuqlik qog'ozli izolyatsiyaga shimdirilsa, kondensatorning reaktiv quvvati ortadi, hamda hajmi birmuncha kich-rayadi.

Sovtol-10 – tarkibi 90% pentaxlordifenil hamda 10% fixlorbenzoldan iborat bo'lib, undan yuqori kuchlanishli transformatorlarni to'latishda, shuningdek, qattiq izolyatsiyaga shimdiriluvchi sifatida foydalaniladi.⁹⁴

Geksol – kimyoviy jihatdan barqaror suyuqlik bo'lib, tarkibi 80% geksaxlorbutadien va 20% pentaxlordifenildan iborat. *U* harorat va cho'g' ta'sirida chaqnash yoki alanganish xususiyatiga ega emasligi bilan ajralib turadi va juda past haroratda ham qotmaydi. Geksol sifati yaxshi suyuq dielektrik hisoblanib, undan transformatorlarda izolyatsiya o'rnida foydalaniladi.

Ko'rib o'tilgan barcha difenillar zararli hisoblanganligi sababli, ular bilan ishlash mobaynida texnika xavfsizligi choralari ko'rilishi lozim.

Kremniy-organik (KO) suyuqliklar zaharli bo'lmay, ekologik jihatdan xavfsiz bo'lganligi sababli, ular elektr texnikada keng miqyosda qo'llanilmoqda. KO suyuqliklar gigroskopik emas hamda yuqori haroratga bardoshlidir.

Ba'zi kremniy – organik suyuqliklarning fizik va kimyoviy xossalari

2.10-jadval

Ko'satkichlar	PMS-0	PMS-10	PES-3	FM-5	161-123	161-45
Zichligi, kg/m ³	942	924	960	944	1080	1145
Qotish harorati, °C	-65	-60	-70	-110	-100	-90
Dinamik qovushqoqligi, 10 ⁻⁶ m ² /s	10	60	15	16	18	55

⁹⁴ Callister, William D., Materials science and engineering: an introduction, 7th ed. p.cm/ - Printed in the United States of America/ John Wiley & Sons, Inc. - 2007. 171-bet.

ϵ_r	2,6	2,6	2,4	2,8	5,4	5,8
$tg\delta$	0,0002	0,0002	0,0003	0,0002	0,02	0,0001
$\rho, \text{Om}\cdot\text{m}$	$2\cdot 10^{12}$	$2\cdot 10^{12}$	10^{11}	10^{11}	$5\cdot 10^{10}$	$4\cdot 10^{11}$
$E_r, \text{MV/m}$	14	18	18	14	-	-
Issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsienti, $\text{Vt/m}^3\text{ }^\circ\text{C}$	0,0138	0,154	0,0138	0,135	0,115	0,1

Bu suyuqliklarga poliopganosiloksan polietilsiloksan, polifenilsiloksan va boshqa suyuqliklar kiradi (2.10-jadval). Poliopganosiloksan (161-123, 161-45 impulsli transformator, maxsus kondensator, radio va elektron apparatlarida qo'llanilmoqda).

Xlor-ftor-uglerodli va ftor-uglerodli suyuqlik molekularida vodород atomi o'rnini xlor va ftor atomlari qisman yoki to'liq egallaydi. Ftor –organik suyuqliklarda $tg\delta$ qiymati juda kichik bo'lishi bilan birga, yuqori darajali haroratga chidamliligi sababli, uni 200°C va undan yuqori haroratda ishlatish mumkin. Bu suyuqlikning sirt taranglik kuchi va qovushqoqligi nisbatan kichikdir. Ftor-organik suyuqlik uchuvchan bo'lganligi sababli u bilan to'latilgan, elektr apparatini yaxshilab zichlash talab etiladi. Bu suyuq dielektrik yordamida chulg'amlar va magnit o'tkazgichlardan ajralib chiqqan issiqlik atrofga tez va yaxshi tarqatiladi.

Elektr texnika uskunalariga qo'yiladigan ftor-organik suyuqligi tok o'tayotgan sim va chulg'amdan ajralib chiqayotgan issiqlik ta'sirida bug'lanib, issiqlikni yutadi, so'ngra sovitkichda kondensatsiyalanib, yana asosiy sistemaga suyuq holda qaytadi. Natijada uskuna bo'shliqlarida katta bosim hosil bo'lib, apparatning gaz muhitidagi elektr mustahkamligi ortadi. Havo tarkibidagi ftor-organik suyuqlik bug'lari portlash xavfini tug'dirmaydi. Suyuq holatda bu dielektrik deyarli yonmaydi. Yuqori dielektrik singdiruvchanlikka ($\epsilon_r=35-39$) ega bunday qutbli sintetik suyuqliklarga misol qilib nitrobenzol ($\text{H}_5\text{C}_6\text{-NO}_2$), etilenglikol ($\text{HO-CH}_2\text{-CH}_2\text{-OH}$), sianoetilsaxaroza ($\text{C}_{39}\text{H}_{46}\text{N}_8\text{O}_{11}$) kabi suyuqliklarni keltirish mumkin. Elektr maydoni ta'sirida chidamli, o'zida elektr quvvatini juda kam isrof etadigan sintetik uglerodli qutbsiz suyuqliklarga poliizobutilen,

polibutilen va alkilbenzol misol bo'la oladi. Agar kondensatorning qog'oz izolyatsiyasi poliizobutilenga shimdirilsa, kondensatorning zaryadlanish vaqti keskin ortadi.⁹⁵

Oktol – suyuqligining zichligi $860-875 \text{ kg/m}^3$, alanganish harorati $138-165^\circ\text{C}$, dielektrik xossalari: $\epsilon_r=2,2-2,3$; $tg\delta=10^{-4}-10^{-3}$. Bu suyuqliklar asosida tayyorlangan qog'ozli kondensatorga nisbatan 1,8 – 2,3 barobar yuqoridir. Oktolning vazelin bilan aralashmasi qog'ozli kondensatorlarda qo'llanilganda kondensatorning xizmat muddati boshqa shimdirilgan suyuqlikli kondensatorlarga nisbatan 20 – 40 barobar yuqori bo'ladi.

2.19. Organik dielektriklar

Elektr texnika, radiotexnika, elektronika va xalq xo'jaligining boshqa sohalarida polimerlardan ko'p sonli turli xil mahsulotlar ishlab chiqariladi.

Yuqori molekulyar birikmalarning yuzta, mingta va undan ko'p atomlarning o'zaro kovalent bog'lanishidan vujudga kelgan molekulasi makromolekula deyiladi. Aksariyat tabiiy va sintetik polimerlarning makromolekulalari takrorlanadigan bir xil atomlar guruh – elementar halqalardan tashkil topadi. Bunday makromolekulaga ega birikmalar *polimerlar* deb ataladi. Polimerlarni sintez qilishda ishlatiladigan quyi molekulyar birikmalar *monomerlar* deyiladi.

Dielektriklar ichida yuqori molekulyar organik materiallar alohida ahamiyatga egadir. Tarkibida uglerod moddasi bo'lgan birikmalar *organik moddalar* deb ataladi. Uglerod molekularining tuzilishi turli-tumandir. Bu molekulyar ko'p sonli kimyoviy birikmalar hosil qiladi: molekula tuzilishi bo'yicha ular zanjirli, tarmoqlangan, doirasimon va boshqa shakllarda bo'lishi mumkin. Yuqori molekulyar materiallarga sellyuloza, shoyi, kauchuk va boshqalar kiradi.

Sun'iy ravishda olinadigan yuqori molekulyar materiallar ikki turkumga ajratilishi mumkin. Birinchisiga tabiiy yuqori molekulyar moddalarga kimyoviy ishlov berish yo'li bilan tayyorlanadigan sun'iy materiallarni keltirish mumkin. Masalan, sellyulozani qayta

⁹⁵ T.K. Basak. Electrical engineering materials. New Age International, Nil edition. USA, 2009. 88-bet

ϵ_r	2,6	2,6	2,4	2,8	5,4	5,8
$tg\delta$	0,0002	0,0002	0,0003	0,0002	0,02	0,0001
$\rho, \text{Om}\cdot\text{m}$	$2\cdot 10^{12}$	$2\cdot 10^{12}$	10^{11}	10^{11}	$5\cdot 10^{10}$	$4\cdot 10^{11}$
$E_r, \text{MV/m}$	14	18	18	14	-	-
Issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsienti, $\text{Vt/m}^3\text{ }^\circ\text{C}$	0,0138	0,154	0,0138	0,135	0,115	0,127

Bu suyuqliklarga poliopganosiloksan polietilsiloksan, polifenilsiloksan va boshqa suyuqliklar kiradi (2.10-jadval). Poliopganosiloksan (161-123, 161-45 impulsli transformator, maxsus kondensator, radio va elektron apparatlarida qo'llanilmoqda.

Xlor- fluor-uglerodli va fluor-uglerodli suyuqlik molekularida vodorod atomi o'rnini xlor va fluor atomlari qisman yoki to'liq egallaydi. Fluor-organik suyuqliklarda $tg\delta$ qiymati juda kichik bo'lishi bilan birga, yuqori darajali haroratga chidamliligi sababli, uni 200°C va undan yuqori haroratda ishlatish mumkin. Bu suyuqlikning sirt taranglik kuchi va qovushqoqligi nisbatan kichikdir. Fluor-organik suyuqlik uchuvchan bo'lganligi sababli u bilan to'latilgan, elektr apparatini yaxshilab zichlash talab etiladi. Bu suyuq dielektrik yordamida chulg'amlar va magnit o'tkazgichlardan ajralib chiqqan issiqlik atrofga tez va yaxshi tarqatiladi.

Elektr texnika uskunalari qo'yiladigan fluor-organik suyuqligi tok o'tayotgan sim va chulg'amdan ajralib chiqayotgan issiqlik ta'sirida bug'lanib, issiqlikni yutadi, so'ngra sovitkichda kondensatsiyalanib, yana asosiy sistemaga suyuq holda qaytadi. Natijada uskuna bo'shliqlarida katta bosim hosil bo'lib, apparatning gaz muhitidagi elektr mustahkamligi ortadi. Havo tarkibidagi fluor-organik suyuqlik bug'lari portlash xavfini tug'dirmaydi. Suyuq holatda bu dielektrik deyarli yonmaydi. Yuqori dielektrik singdiruvchanlikka ($\epsilon_r=35-39$) ega bunday qutbli sintetik suyuqliklarga misol qilib *nitrobenzol* ($\text{H}_5\text{C}_6\text{-NO}_2$), *etilenglikol* ($\text{HO-CH}_2\text{-CH}_2\text{-OH}$), *sianoetilsaxaroza* ($\text{C}_{38}\text{H}_{46}\text{N}_8\text{O}_{11}$) kabi suyuqliklarni keltirish mumkin. Elektr maydoni ta'sirida chidamli, o'zida elektr quvvatini juda kam isrof etadigan sintetik uglerodli qutbsiz suyuqliklarga *poliizobutilen*,

polibutilen va *alkilbenzol* misol bo'la oladi. Agar kondensatorning qog'oz izolyatsiyasi poliizobutilenga shimdirilsa, kondensatorning zaryadlanish vaqti keskin ortadi.⁹⁵

Oktol – suyuqligining zichligi $860-875 \text{ kg/m}^3$, alanganish harorati $138-165^\circ\text{C}$, dielektrik xossalari: $\epsilon_r=2,2-2,3$; $tg\delta=10^{-4}-10^{-3}$. Bu suyuqliklar asosida tayyorlangan qog'ozli kondensatorga nisbatan 1,8 – 2,3 barobar yuqoridir. Oktolning vazelin bilan aralashmasi qog'ozli kondensatorlarda qo'llanilganda kondensatorning xizmat muddati boshqa shimdirilgan suyuqlikli kondensatorlarga nisbatan 20 – 40 barobar yuqori bo'ladi.

2.19. Organik dielektriklar

Elektr texnika, radiotexnika, elektronika va xalq xo'jaligining boshqa sohalarida polimerlardan ko'p sonli turli xil mahsulotlar ishlab chiqariladi.

Yuqori molekulyar birikmalarning yuzta, mingta va undan ko'p atomlarning o'zaro kovalent bog'lanishidan vujudga kelgan molekulasi makromolekula deyiladi. Aksariyat tabiiy va sintetik polimerlarning makromolekulalari takrorlanadigan bir xil atomlar guruh – elementar halqalardan tashkil topadi. Bunday makromolekulaga ega birikmalar *polimerlar* deb ataladi. Polimerlarni sintez qilishda ishlatiladigan quyi molekulyar birikmalar *monomerlar* deyiladi.

Dielektriklar ichida yuqori molekulyar organik materiallar alohida ahamiyatga egadir. Tarkibida uglerod moddasi bo'lgan birikmalar *organik moddalar* deb ataladi. Uglerod molekularining tuzilishi turli-tumandir. Bu molekulyar ko'p sonli kimyoviy birikmalar hosil qiladi: molekula tuzilishi bo'yicha ular zanjirli, tarmoqlangan, doirasimon va boshqa shakllarda bo'lishi mumkin. Yuqori molekulyar materiallarga selluloza, shoyi, kauchuk va boshqalar kiradi.

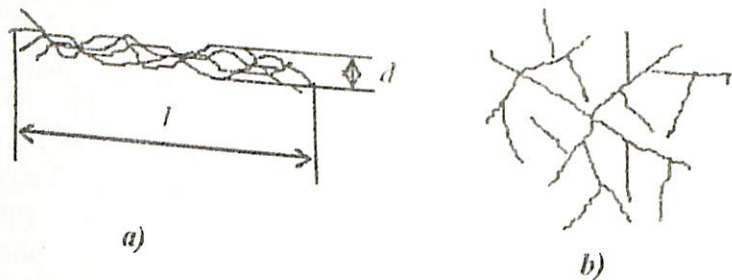
Sun'iy ravishda olinadigan yuqori molekulyar materiallar ikki turkumga ajratilishi mumkin. Birinchisiga tabiiy yuqori molekulyar moddalarga kimyoviy ishlov berish yo'li bilan tayyorlanadigan sun'iy materiallarni keltirish mumkin. Masalan, sellulozani qayta

⁹⁵ T.K. Basak. Electrical engineering materials. New Age International, Nil edition. USA, 2009. 88-bet

ishlash orqali sellyuloza efiri olinadi. Ikkinchi turkumga past molekulyar moddalardan tayyorlanadigan yuqori molekulyar sintetik materiallar kirib, ular elektr izolyatsiyasidan alohida ahamiyatga egadir.

Reaksiya natijasida monomerlardan polimerlar hosil bo'lishi polimerlash deyiladi. Polimerlash natijasida moddalarning molekulyar massasi, suyuqlanish va qaynash harorati ortadi; polimerlash jarayonida modda gaz yoki suyuq holatdan, quyuq yoki qattiq holatga o'tadi.⁹⁶

Polimerlar, asosan, chiziqli va fazoviy polimer guruhlariga bo'linadi. Chiziqli polimer molekularining tuzilishi zanjir va tola ko'rinishida bo'ladi. Tabiiy kauchuk, polietilen, siloksan kauchuklari chiziqli polimerlarga misol bo'ladi. Fazoviy (yoki tarmoqlangan) polimer molekular uchala koordinata o'qlari bo'yicha tekis joylashib, ixcham tuzilishga ega qaytariluvchi guruhlardan tashkil topadi. Chiziqli va fazoviy polimerlar xossalari jihatidan bir-biridan keskin farq qiladi. Chiziqli polimerlar egiluvchi qayishqoq bo'lib, harorat ta'sirida ularning ko'pchiligi avval yumshab, so'ngra eriydi. Fazoviy polimerlar esa eriydigan qattiq holatda bo'lib, ularga harorat ta'sir ettirilganda kimyoviy yemirilish sodir bo'ladi (2.52-chizma).



2.52-chizma. Chiziqli va fazoviy polimerlarning shartli tuzilishi

Polimerlarning termoplastik va termoreaktiv turlari bo'ladi. Termoplastik (plastik) polimerlar kuzatilganda yumshab, osongina deformatsiyalanadi; erituvchi ta'sirida esa ular oson eriydi, harorat ta'sirida elektr xossalarini deyarli o'zgartirmaydi. Termoreaktiv (reaktoplast) polimerlar qizitilganda qattiq (mexanik mustahkam) holatga o'tib, egiluvchanlik va eruvchanlik xususiyatlarini yo'qotadi. Harorat ta'sirida ushbu materiallar fazoviy polimerlarga o'xshash tuzilishga ega bo'ladi. So'nggi yillarda issiqlik ta'siriga chidamli termoplastik materiallar (poliimid, politetraforetilen) ishlab chiqarilgan bo'lib, ular yuqori haroratda ishlay olish xususiyatiga egadirlar.

2.20. Tabiiy qatron

Tabiiy qatron o'simlik va biogen birikmalaridan tashkil topgan organik moddadir. Tropik o'simliklarda tabiiy qatron ko'p bo'ladi. U past haroratda amorf holatda bo'lib, qizdirilganda avvaliga yumshab, plastik so'ngra esa suyuq holatga o'tadi. Elektr texnikada ishlatiladigan tabiiy qatron suvda erimaydi, ammo spirtida, efirda va o'zi bilan kimyoviy tabiati bir xil bo'lgan organik erituvchilarda yaxshi eriydi. Hosil bo'lgan eritma quritilganda yupqa parda hosil bo'ladi. Tabiiy qatron yopishqoq bo'lib, suyuq holatdan qattiq holatga o'tishida jism yuzasiga mustahkam yopishadi. Bu material kompaund, plastik massa, sun'iy yoki tabiiy tolasimon materiallarning tarkibiy qismi bo'lib xizmat qiladi.

Shellak – tropik daraxt qumursqalari (gummilak) mahsuli. Shellak tangasimon ko'rinishli, rangli (och sariqdan qo'ng'ir tusgacha), spirt, atseton va efirda yaxshi eriydi. U eritilgan holatda kanifol, kopol, glifta¹, bitum va novalak bilan yaxshi birikadi. Shellakning zichligi 1000 – 1040 kg/m³, chiziqli kengayish koeffitsiyenti $4,4 \cdot 10^{-4} - 9 \cdot 10^{-5}$ ga teng. Uning dielektrik xossalari quyidagicha: $\epsilon_r = 3,5$; $\text{tg}\delta = 0,01$; $\rho = 10^{13} - 10^{14} \text{Om}\cdot\text{m}$; $E_r = 20 - 30 \text{MV/m}$.

Polietilenning asosiy mexanik va fizik xossalari

2.11-jadval

Ko'rsatkichlar	Yuqori bosimli	Past bosimli	O'rtacha bosimli
Zichligi, kg/m ³	918-930	954-960	960-968
Mustahkamligi, MPA: cho'zilishda	10-17	18-45	18-40
Egilishda	17-20	18-45	25-40

⁹⁶ Bijay_Kumar Sharma., Electrical and Electronic Materials Science./ - OpenStaxCNX./ Indiya – 2014, 59-bet.

Siqilishda	14-17	30-36	20-37
Nisbiy cho'zilish,%	15-20	10-12	5-8
$\rho, \text{Om}\cdot\text{m}$	10^{15}	10^{15}	10^{15}
$\rho_s, \text{Om}\cdot\text{m}$	10^{15}	10^{15}	10^{15}
ϵ_r (IMGs)	2,2-2,3	2,2-2,4	2,3-2,4
$\text{tg}\delta$	$(2-3) \cdot 10^{-4}$	$(2-4) \cdot 10^{-4}$	$(2-4) \cdot 10^{-4}$
$E_t, \text{MV/m}$	45-55	45-55	45-55
Eriq harorati, °C	108-110	124-132	128-135
Suv yutishi (30 sutka), %	0,02	0,005	0,01
Ish harorati, °C	90	90	90

Shellakdan qoplovchi yoki yelimlovchi loklar tayyorlanib, ko'pincha, undan elektr asboblarning qismlarini loklashda foydalaniladi.

Kanifol – to'q sariq rangli mo'rt modda bo'lib, daraxt yelimidan ajratib olinadi. Kanifol spirt, benzin, benzol, skipidar, aseton, neft va o'simlik moylarida osongina eriydi, suvda esa mutlaqo erimaydi. Uning dielektrik xossalari quyidagicha: $\epsilon_r = 2,8$; $\text{tg}\delta = 0,003$; $\rho = 10^{13} - 10^{14} \text{Om}\cdot\text{m}$; $E_t = 10-15 \text{MV/m}$.

Elektr izolyatsiyasida kanifol lok va kompaund tayyorlashda, qatron tarkibida va yuqori kuchlanishli kabellar uchun neft moyiga qo'shimcha sifatida ishlatiladi.

Qahrabo – och sariq – qo'ng'ir tusli o'simlik mahsulidir. Qahraboning zichligi $1050 - 1096 \text{kg/m}^3$, yumshash harorati $175 - 200 \text{°C}$. Uning dielektrik xossalari: $\epsilon_r 2,8$; $\text{tg}\delta = 0,001$; $\rho = 19^{15} \text{Om}\cdot\text{m}$; $\rho = 19^{15} \text{Om}\cdot\text{m}$. Bu qatron skipidar, benzin va moylarda yaxshi eriydi. Qahrabo qimmat bo'lganligi sababli, undan faqat maxsus o'lchov asboblarda va katta qarshiliklar ishlab chiqarishda foydalaniladi.

2.21. Sellyuloza

Sellyuloza yuqori molekulyar chiziqli polimer bo'lib, yog'ochga ishlov berish orqali olinadi. Sellyuloza yuqori molekulyar massaga ega. Sellyuloza tarkibida qutbli gidroksid guruh bo'lganligi sababli,

u qutbli polimer hisoblanadi. Mazkur polimerning dielektrik xossalari quyidagicha: $\epsilon_r = 6,5-7,0$; $\text{tg}\delta = 0,005-0,01$.⁹⁷

Elektr texnikada izolyatsiya materiali sifatida ko'pgina selluloza materiallaridan foydalaniladi. Ulardan elektr mashinasi va transformatorlar uchun turli xil izolyatsiya materiallari yoki konstruktsiya detallari ishlab chiqariladi. Sellyuloza asosida olingan qog'oz esa yuqori kuchlanishli kabel, telefon kabeli, transformator va kondensatorlar izolyatsiyasida ishlatiladi.

Sellyuloza atsetati yaxshi tozalangan paxta sellulozasidan olinadi. Bu materialning metilxenloriddagi eritmasidan tola va plyonka olinadi. Ularga egiluvchanlik xususiyatini berish maqsadida eritmaga plastifikator (dibutilftalat) qo'shiladi.

Triatsetat plyonkasi, odatda, elektr mashinasining paz izolyatsiyasida qo'llaniladi.

Nitrosellyuloza loki past kuchlanishli simlarning izolyatsiyasida ishlatiladi. Etilsellyuloza noyob xossalarga ega bo'lganligi sababli, undan kabel sanoatida sim usti va tola yuzasiga qoplama berishda foydalaniladi.

2.22. To'qimachilik materiallari

To'qimachilik materiallari tarkibi tolalardan iborat xomashyoga maxsus ishlov berish orqali olinadi. Elektr izolyatsiyada tola sim va shnur yuzasiga o'rab yoki to'qib chiqiladi. Elektr mashina va apparatlarning asosiy izolyatsiyasini tashqi mexanik ta'sirdan himoya qilishda ham tasma va gazlama matolar ishlatiladi.

Tola diametri silindrsimon bo'lmagani sababli, uning qalinligini aniqlashda raqamlash usulidan foydalaniladi. Tola raqami tola uzunligining uning massasiga nisbati orqali aniqlanadi. Demak, tola raqami qancha katta bo'lsa, tola shuncha ingichka bo'ladi. Agar bir necha tolalar birlashtirilib to'qilsa, to'qima qalinligi kasr sonda (75/3) ko'rsatilib, uning suratida tola raqami, mahrajida esa tola soni ko'rsatiladi.

Tolasimon materiallar zichligi $920-2500 \text{kg/m}^3$ atrofida bo'lib, uning quyi chegarasi polietilenga, yuqori chegarasi esa asbest va

⁹⁷ T.K. Basak. Electrical engineering materials. New Age International, Nil edition. USA, 2009. 91-bet

shisha materiallariga xosdir. Elektr texnikada qo'llaniladigan gazlamalarga misol qilib shifon (qalinligi 0,15 mm), batist (0,12mm) va bo'z (0,40 mm) ni olish mumkin.

Elektr mashina izolyatsiyasida, kabellarda va elektr uskunalari ta'mirlashda, mitkal va batist tasmalar ishlatiladi. Bu tasmalarning eni 10 mm bo'lib, qalinligi kiper tasmada 0,45 mm, mitkal va batistda -0,12 mm qilib olinadi

Tabiiy shoyi tolasining tashqi qismi ipak yelimi seritsin bilan qoplangan bo'ladi. Izolyatsiyada ishlatiladigan ipak tolasini seritsin va boshqa material qo'shimchalaridan tozalanadi. Tabiiy shoyi tolasini juda ingichka bo'lib, sim yuzalariga qoplama sifatida ishlatiladi. Bu material yaxshi dielektrik xossaga va mustahkamlikka ega. Tabiiy ipak gazlamalariga lok shimdirish orqali mexanik va elektr mustahkamligi yuqori bo'lgan materiallar olinadi. Bunday shoyi to'qimalaridan shoyi-slyuda tasmalari ishlab chiqariladi. Izolyatsiyada ishlatiladigan shoyi gazlamalarning qalinligi 0,07-0,08 mm bo'lib, ulardan juda yupqa izolyatsiya qatlami tayyorlanadi. Shoyi ishlatib tayyorlangan izolyatsiya yuqaligi va nafisligi bilan ajralib turadi.

Sintetik tola va ulardan olingan turli materiallar elektrotexnikada triatsetat shoyisi, kapron, lavsan nomi bilan tanishdir.⁹⁸

Triatsetat shoyisi asosan triatsetat sellulozasi eritmasidan tayyorlanadigan tolalardan ishlab chiqariladi. U sim va kabellarning izolyatsiyasida ishlatiladi. Kapron gazlamasi kapron tolalaridan tayyorlanadi, olinadigan lavsan gazlamasi yoki tasmasi polietilen-terefalattan olinadigan lavsan tolalaridan tayyorlanadi. Bu gazlamalardan, o'z navbatida, mitkal va batist deb nomlangan tasmalar tayyorlanadi. Mazkur tasmalarning eni 15-30 mm, qalinligi 0,14-0,16mm bo'lib, ular qayishqoqligi va mexanik mustahkamligi bilan ilgariqilaridan farq qiladi.

2.23. O'simlik moylari

O'simlik moylari turli o'simlik urug'laridan olinadi. Elektr texnikada yorug'lik, issiqlik, kislorod va boshqa ta'sirlar ostida

⁹⁸ Callister, William D., Materials science and engineering: an introduction, 7th ed. p.cm/ - Printed in the United States of America/ John Wiley & Sons, Inc. - 2007. 188-bet.

qotadigan o'simlik moylari katta ahamiyatga egadir. Biror bir mato yoki qattiq jism yuzasiga yupqa surtilgan moyning qurishi natijasida qattiq yaltiroq va jismga yaxshi birikkan qoplama hosil bo'ladi.⁹⁹

Moylarni quritish tezligi haroratni oshirish, yorug'lik ta'sir ettirish yoki biror turdagi katalizator (sikkativ) qo'shish orqali amalga oshiriladi. Quriyidigan moylar kimyoviy tarkibi bo'yicha glitserin efiri va organik kislotalardan tashkil topadi. Eng keng tarqalgan quriyidigan moylarga zig'ir va tung moyi misol bo'ladi. Zig'ir moyining zichligi 930 kg/m³, qotish harorati -20 °C ga teng. Tung moyi zararli bo'lib, zichligi 940 kg/m³, qotish harorati -5 °C.

U o'zining tez qotishi va nam yutmaydigan ancha qalin qatlam hosil qilishi bilan ajralib turadi. Ushbu moylar elektr texnikada, asosan, lok, loklangan gazmollar tayyorlashda va yog'och materiallarni shimdirishda ishlatiladi.

Kanakunjut moyi ham o'simlik urug'idan olinib, uning zichligi 950-970 kg/m³, qotish harorati -10 ÷ -18 °C, dielektrik xossalari: $\epsilon_r = 4,0-4,5$; $\text{tg}\delta = 0,01-0,03$; $E_m = 15-20$ MV/m. Bu moy etil spirtida eriydi. Undan qog'ozli kondensatorlarni shimdirishda foydalaniladi.

2.24. Bitumlar

Bitum – murakkab uglevodorod birikmalaridan iborat bo'lgan, qora yoki to'q qo'ng'ir rangli termoplastik amorf gigroskopik bo'lmagan va o'ziga suv singdirmaydigan materialdir. U benzol va toluolda oson eriydi, spirt va suvda esa mutlaqo erimaydi. Tabiiy (qazib olinadigan) bitum *asfalt* deb ham ataladi.

Sun'iy bitum neftni qayta ishlash orqali olinadi. Neftdan olinadigan bitumlarga BN-III, BN-IV, BN-V navli bitumlar hamda qiyin eruvchan bitumlar misol bo'ladi. Mazkur bitumlarning yumshash harorati 50 ÷ 125 °C ni tashkil etadi.

Asfalt yaxshi elektr izolyatsiya xossasiga ega bo'lib, mo'rt va qattiqdir. Uning yumshash harorati 200 °C gacha yetadi.

Bitumlarning dielektrik xossalari quyidagicha: $\epsilon_r = 2,5-3,0$; $\text{tg}\delta = 0,01$; $\rho = 10^{13}-10^{14}$ Om·m; $E_m = 10-25$ MV/m. Bitumlar, asosan, lok va kompaundlar tayyorlashda ishlatiladi.

⁹⁹ T.K. Basak. Electrical engineering materials. New Age International, Nil edition. USA, 2009. 91-bet

2.25. Mumsimon dielektriklar

Mumsimon dielektriklar kristall tuzilishi jihatidan qatron va bitumlardan farq qilib, qattiq holatdan suyuq holatga o'tishda o'zining aniq haroratiga egadir. Bu materiallardan elektr izolyatsiyasida shimiluvchi va quyiluvchi moddalar sifatida foydalaniladi. Ulardan foydalanilganda kondensator va boshqa elektr asboblarning konstruksiyalarini soddalashtirish imkoni yaratiladi.

Mumsimon dielektriklar namga chidamli bo'lgani sababli, ular qo'llanilgan konstruksiyalarni zichlash (germetizatsiyalash) talab etilmaydi. Mazkur dielektriklarning asosiy kamchiligi qotishda ular hajmiy kirishishining nisbatan yuqoriligidir (15-20%).

Qutblilik darajasi bo'yicha mumsimon dielektriklar uch guruhga bo'linadi: 1) qutbsiz (parafin, serezin); 2) qisman qutbli (polietilen, poliizobutilen); 3) qutbli (olevaks).

Polietilen va poliizobutilen mumi yuqori kuchlanishli kabelning qog'oz izolyatsiyasini shimdirishda qo'llaniladi. Ular oq yoki kul rang, solishtirma hajmiy qarshiligi yuqori ($\rho = 10^{14}$ Om·m) dielektriklardir. Polietilen mumi shimiluvchi kabel moylari (MN-3, MN-5) tarkibida kanifol bilan birgalikda, poliizobutilen mumi esa MN-4 navli shimiluvchi moy tarkibida qo'llaniladi.

Parafin rangsiz, hidsiz, kristall strukturali mumsimon modda bo'lib, benzol, neft moylari, benzin va efirda yaxshi eriydi. Parafin parafinli neft distillyatini qayta ishlash orqali olinadi. Parafinning bir nechta turi bo'lib, ular bir-biridan erish harorati bilan farq qiladi. Parafinning erish harorati qancha yuqori bo'lsa, uning sifati shuncha yaxshi hisoblanadi. Parafinning zichligi $850-900 \text{ kg/m}^3$, erish harorati $50-62^\circ\text{C}$, dielektrik xossalari: $\epsilon_r = 2,1-2,2$; $\text{tg}\delta = 0,0003-0,0007$; $\rho = 10^{13}-10^{15}$ Om·m; $\rho_s = 10^{15}-10^{16}$ Om·m; $E_m = 20-30 \text{ MV/m}$. Sifatli tozalangan parafin navi B₁-B₄ o'rtacha tozalikdagisi T, C va tozalangan H_c, H_b harflari orqali belgilanadi. Parafin kondensator izolyatsiyasini shimdirishda, uning serezin bilan aralashmasi esa sim va kabel o'ramlarida ishlatiladi.¹⁰⁰

Serezin neft mahsulotlaridan olinib, dielektrik xususiyatlari jihatidan parafindan ustun turadi. Serezinning erish harorati $65-85^\circ\text{C}$,

¹⁰⁰ Bijay_Kumar Sharma., Electrical and Electronic Materials Science./ - OpenStaxCNX./ Indiya - 2014, 65-bet.

undan qayishqoq yupqa qoplama olish mumkin. Serezin kabel sanoatida rezina mahsulotlari tayyorlashda (rezinaning yorug'lik nuriga chidamliligini oshiradi) ishlatiladi.

Sintetik serezin och sariq rangli kristall strukturali modda bo'lib, qog'oz slyuda izolyatsiyali kondensatorlar tayyorlashda ishlatiladi.

Vazelin - qattiq va suyuq uglevodorodlar aralashmasidan tashkil topgan quyuc moddadir. Uning dielektrik xossalari quyidagicha: $\epsilon_r = 0,0002$; $\rho = 5 \cdot 10^{12}$ Om·m; $E_m = 20 \text{ MV/m}$. Vazelin kondensatorlarni to'latishda yoki ularning qog'ozli izolyatsiya tasmalarini shimdirishda ishlatiladi.

Olevaks - kanakunjut moyini gidrogeneratsiya qilish usuli orqali olinadigan yaxshi dielektrik xossali moddadir. Olevaksning dielektrik singdiruvchanligi yuqori bo'lganligi sababli, undan kondensatorlar sig'imini oshirishda foydalaniladi.

2.26. Lok va kompaundlar

Lok tabiiy va sintetik qatronlar, bitum, quriydigan moy, sellyuloza efiri va boshqa birikmalarning kolloid eritmasidir. Lokning qurish jarayonida uning tarkibidagi erituvchi moddalar uchib ketadi, natijada lok pardasi hosil bo'ladi. Alifatik (benzin, texnik spirt, kerosin) va aromatik (toluol, ksilol, solvent) uglevodorodlar organik erituvchilarning keng tarqalgan xillaridir.

Vazifasiga ko'ra elektr izolyatsiya loklari uch guruh (*shimiluvchi*, *qoplovchi* va *yelimlovchi*)ga bo'linadi.

Shimiluvchi loklar g'ovak va tolasimon izolyatsiya materiallari (qog'oz, yog'och, gazlama)ga shimilishi natijasida ular hajmidagi havo bo'shliqlarini siqib chiqaradi. Lok qurigandan so'ng izolyatsiya materialining mexanik va elektr mustahkamligi keskin ortib, uning gigroskopiklik xususiyati kamayadi; issiqlik o'tkazuvchanligi yaxshilanib, izolyatsiyaning issiqqa chidamliligi ortadi. Mazkur loklardan elektr mashina va apparat chulg'amlarini shimdirishda, lokli gazmollar va qatlamli plastiklar ishlab chiqarishda foydalaniladi.

Qoplovchi loklar qattiq izolyatsiya materiallari yuzasiga surtilishi natijasida silliq, yaltiroq, mexanik mustahkam, namga chidamli qoplama olinadi. Qoplama loki izolyatsiya qarshiligini keskin oshirib, yuzani zaryaddan yaxshi muhofaza qiladi. Ushbu lok yuzani

kimyoviy erituvchi va boshqa reagentlarga bardoshli qilishi bilan birga unga chang o'tirishini ham kamaytiradi.

Bunday loklar suyuq holatda sim yoki po'lat varaqlarga yupqa qilib surtiladi. Natijada, metall yuzasida kerakli xossaga ega elektr izolyatsiya qoplamasi hosil bo'ladi.

Yelimlovchi loklar ikki qattiq izolyatsiya materialini o'zaro yoki izolyatsiya materialini metall bilan biriktirish vazifasini o'taydi. Bu loklarga materiallarni yaxshilab yelimlash bilan birga yuqori darajali elektr izolyatsiya xossasini berish vazifasi ham yuklatiladi. Yelimlovchi loklar materiallarni biriktirish bilan birga ularga shimilishi ham shart. Bunday loklar xona haroratida qurish xususiyatiga egadir. Odatda, yuqori harorat va kerakli muhitda quritiladigan loklardan yaxshi va sifatli parda va hamda qoplamalar olinadi.

Qatronli loklar sintetik, sun'iy va tabiiy qatron eritmalaridan iboratdir. Ularga quyidagilarni misol qilib keltirish mumkin:

Bakelit loki bakelitning spirtidagi eritmasi bo'lib, termoreaktiv turdagi lok hisoblanadi. Bu lok shimiluvchi yoki biriktiruvchilik vazifasini o'taydi. Bakelit loki quritilganda jism yuzasida qayishqoq bo'lmagan qattiq parda qatlami hosil bo'ladi. Bu lok getinaks, tekstolit ishlab chiqarishda, elektr apparatlarining izolyatsiyasida shimiluvchi sifatiga keng qo'llaniladi.

Gliftal loki gliftal qatronining spirtlarning suyuq uglevodorodlar aralashmasidagi eritmasi bo'lib, termoreaktiv yelimlovchi lok hisoblanadi. Undan mikanit va mikalentalarni biriktirishda foydalaniladi.

Sellyuloza loki - sellyuloza efirining eritmasidir. Bu lok quriganida hosil bo'lgan parda qatlami termoplastikligi bilan ajralib turadi. Nitrolak qurishidan hosil bo'lgan pardalar yaltiroq, mexanik mustahkam bo'lib, havo, namlik va moy ta'siriga chidamlidir. Mazkur lok, asosan, sim yuzasidagi qog'oz-paxta o'ramini shimdirish uchun qo'llaniladi.¹⁰¹

Moyli lok asosini zig'ir va tung kabi quriydigan moylar tashkil etadi. Quritish jarayonini tezlatish maqsadida ushbu loklarga erituvchi modda qo'shiladi. Bunday erituvchilarga benzin, kerosin va boshqalar misol bo'la oladi. Tarkibida bitumi bo'lmagan moyli

lokning ranggi tiniq bo'lib, u mato va qog'oz izolyatsiyasini, shuningdek, elektr mashina va apparatlari chulgamlarini shimdirishda keng qo'llaniladi. Bu lok termoreaktiv bo'lganligi sababli, transformator chulg'amini shimdirishda juda qo'l keladi, hosil qilingan qoplama esa transformator moyida yaxshi ishlaydi. Issiqlik ta'sirida tez qotadigan moyli lok elektr mashina va apparatlarning magnit o'zaklaridagi po'lat varaqlarni sirlash uchun ishlatiladi. Bu po'lat varaqlar bir-biridan izolyatsiya qilinsa, o'zgaruvchan tokli magnit maydonida sodir bo'ladigan uyurma tok hisobiga vujudga keladigan dielektrik isroflar birmuncha kamayadi.

Qora bitumli lok tarkibiga bitumlar kiradi. Bu lok moyli lokka nisbatan arzon, yuqori elektr izolyatsiya va kam gigroskopik xossali parda hosil qiladi. Qora bitumli lok asosidagi izolyatsiya eskirishga chidamli bo'lsa ham, lekin erituvchi va moy ta'siriga chidamsizdir.

Organik erituvchiga bitum qo'shib hosil qilingan eritma, **sof bitum loki** deyiladi. U oddiy sharoitda quritiladi. Sof bitum loki, asosan, turli metall yuzalarini korroziyadan muhofaza qilishda qo'llaniladi.

Moy-bitumli lokning tarkibida bitumdan tashqari, quriydigan moy ham bo'ladi. Mazkur lokning xossalari sof bitumli loklarga nisbatan qayishqoqligi va chidamliligi bilan farq qiladi. Moy-bitumli loklarning erituvchilari qatoriga benzol, toluol va skipidarni kiritish mumkin. Bu loklar transformator chulg'amlarini shimdirishda ishlatiladi.

Moy-qatronli loklar tarkibida tabiiy va sintetik qatronlar bo'lib, qayishqoqligi, yelimlash xususiyati, kam gigroskopikligi va issiqqa chidamliligi bilan ajralib turadi. Bu moylar transformator chulg'amlarini qoplashda ishlatiladi, hosil bo'lgan qoplama chulg'amni moy kislotaga bug'laridan yaxshi himoya qiladi.

Loklar harf va raqamlar bilan belgilanadi. Harflar lokli asosning tarkibini, birinchi raqam lokning qaerda qo'llanilishini, keyingi raqamlar esa lokning muayyan turini bildiradi. Elektr izolyatsiyasida ishlatiladigan, shimiladigan loklarga fenolli (FL-98), poliuretanli (UR-9144), kremniy-organikli (KO-964) va moy-gliftalli (GF-95) loklarni misol tariqasida keltirish mumkin.

¹⁰¹ T.K. Basak. Electrical engineering materials. New Age International. Nil edition. USA, 2009. 98-bet

Ko'pgina loklarni tayyorlash jarayoni murakkab bo'ladi. Bunda, avvalo, lokli asos tayyorlab olinib, so'ngra u erituvchida eritiladi va mazkur eritmadan turli qo'shimchalar chiqarib yuboriladi.

Elektr izolyatsiya kompaundlari shimiluvchi va quyiluvchi turlarga bo'linadi, ular loklardan o'z tarkibida erituvchilarning yo'qligi bilan farq qiladi. Sintetik polimerlar (poliefirstirol, poliefirakrilat, metakrilat, poliuretan, epoksid, kremniy-organik moddalar) asosidagi kompaundlar keng qo'llanilmoqda. Ko'rsatilgan polimerlar ichida eng ko'p ishlatiladigani epoksid qatroni va uning modifikatsiyalari asosidagi kompaundlardir.

Shimiluvchi va quyiluvchi kompaundlarni to'g'ri qo'llash orqali yuqori kuchlanishli konstruksiyalarning hajmini anchagina ixchamlashtirish mumkin. Elektr texnikada kompaundlar elektr mashina, transformator va slyudali materiallarga shimdiriladi, radiosxema, asbob va uskunalar qismlariga quyiladi.

Tarkibidagi bog'lovchining turiga qarab, kompaundlar, asosan, uch guruhga: epoksid qatroni asosidagi, poliefir qatroni asosidagi, poliuretanlarga bo'linadi. Tarkibiga ko'ra kompaundlarning sovuq yoki issiq sharoitda qotadigan xillari bo'ladi. Kompaund tarkibiga to'ldiruvchi kiritilishi natijasida uning mexanik va elektrik xossalari o'zgaradi. Tolali yoki kukun ko'rinishidagi to'ldiruvchilar kompaundning mexanik xossalarini o'zgartirib, kompaund asosidagi jismning siqilishga bo'lgan mustahkamligini oshiradi. Bunda jismning issiqlik o'tkazish koeffitsiyenti ortib, chiziqli kengayish koeffitsiyenti kamayadi.

Kompaundga ba'zi to'ldiruvchilar (fosfat, surma) qo'shilishi natijasida uning yong'inga chidamliligi ortadi. Agar kompaundga grafit yoki temir kukuni aralashtirilsa, u holda elektr o'tkazuvchanlik yuzaga kelib, statik zaryad bartaraf etiladi.¹⁰²

Kompaundlar ishlatish joyida tayyorlanadi. So'nggi paytda bir yoki ikki komponentli kompaundlar ishlab chiqarish keng yo'lga qo'yildi. Ikki komponentli kompaundlarda komponentlarni bir-biriga aralashtirish orqali kerakli miqdordagi kompaund tayyorlab olinadi. Sanoat sharoitida kompaund tayyorlash uchun uzluksiz ishlaydigan aralashtirgichlardan foydalaniladi. Kompaundlardan jismlarni

¹⁰² Callister, William D., Materials science and engineering: an introduction, 7th ed.p.cm/ - Printed in the United States of America/ John Wiley & Sons, Inc. - 2007. 192-bet.

shimdirish, to'latish yoki zichlashda foydalaniladi. Shimdiriladigan jism vakuum yoki bosim ta'sirida kompaundga botirib olinadi. Shimdirish usuli esa suyuqlikni markazdan qochma kuch ta'sirida hamda tomchi holatida yuborish orqali amalga oshiriladi. Yuqori kuchlanishda ishlaydigan izolyatsiyaga kompaund vakuum ostida yuboriladi. Quyish ishlarida metall yoki ftoroplastdan tayyorlangan qoliplar ishlatiladi. Kompaundni quyishdan avval metall yuzasiga KO kauchugining 7%li eritmasi surtiladi. Kukun holatdagi kompaund konstruksiya yuzasiga elektrostatik maydon yoki uyurma tebranish usullari orqali qoplanadi. So'ngra yuqori harorat ta'sirida yuzadagi kompaund eritilib, bir tekis silliq qoplama hosil qilinadi.

Issiqlik ta'sirida qotadigan shimiluvchi kompaundlarga ED-16 navli qatron asosidagi D1, D3, D36, D112, EPK-16, EPSK, UP-5-105, UP-592 navli har xil qotiruvchi va plastifikatorli kompaundlar kiradi. Ba'zi epoksidli kompaundlarning dielektrik va mexanik xossalari quyidagicha: $r=10^{13}$ Om·m; cho'zilishdagi mustahkamligi 60-90 MPa; urilish qovushqoqligi 11-20 kJ/m².

Issiqlik ta'sirida qotadigan, quyiluvchi kompaundlarga ED-16 qatroni, qotiruvchisi sifatida – malein anhidridi, to'latuvchi sifatida kvars qumi yoki kalsiy ftoridi ishlatiladi. Kompaund komponentlari bir-biriga ma'lum ketma-ketlikda va aniq miqdorda qo'shib, aralashtiriladi. Tayyorlangan suyuq holatdagi kompaund qoliplarga quyiladi. Kompaund qotgandan so'ng yaxshi elektrik va mexanik xossalari ega bo'ladi. Bunday konstruksiyali izolyatsiya moy, namlik yoki suv ta'siriga chidamli bo'ladi. Ana shu xossalari tufayli kompaundlarni zichlovchi modda sifatida qo'llash mumkin. Ularga PEK-18, PEK-19, PEK-20, PEKL-19 navli kompaundlar misol bo'ladi. Bu kompaundlar po'lat yuzasiga yaxshi yopishadi, polivinilxlorid va kabel rezinasi bilan yaxshi birikadi.

KP-18, KP-34, KP-50 navli poliefir kompaundlaridan elektr uskunalarining chulg'amlarini shimdirishda foydalaniladi. KP-101 va KP-103 navli kompaundlardan esa murakkab elektr uskunalarining chulg'amlarini shimdirishda foydalaniladi.

MBK, KM-9 navli metakril kompaundlari namlik ta'siriga chidamli bo'lib, tashqi atmosfera sharoitida yorilmaydi. Bu kompaundlar boshqa materiallar bilan yaxshi birikib, toj yoki elektr razryad ta'siriga chidamli bo'lishi bilan birga organik erituvchilarda

erimaydi. KM-9 navli kompaund yaxshi zichlovchi kompaundlar qatoriga kiradi.

B-PE-9128 navli kompaund elektr mashina va apparatlari chulg'amini shimdirishda, B-ID-9127 navlisi esa maxsus assinxron dvigatel, transformator chulg'amlarini shimdirishda ishlatiladi. SPP-BI navli kompaund shisha tolalarini bog'lovchi sifatida ishlatiladi.

MFVG-1, MFVG-3 navli KO kompaundlari issiqlik ta'sirida va katalizator yordamida qotadi. Bu kompaund o'zining izolyatsion xossasi yuqoriligi va issiqlik ta'siriga chidamliligi ($250-260^{\circ}\text{C}$) bilan ajralib turadi. U qayishqoqlik xossasini -60°C gacha saqlaydi. Xamirsimon zichlovchi kompaundlarning KL turi uch: KLT-30, KLSE-305, KLF-120 navda ishlab chiqariladi. Ularning saqlanish muddati 6 oy bo'lib, moslama va uskunalarni zichlashtirishda ishlatiladi.

Lok va kompaund shimdirilgan g'ovaksimon izolyatsiya materialiy yaxshilab quritiladi, so'ngra unga yana lok shimdiriladi yoki qoplanadi, keyin esa ikkinchi bosqichli quritish amalga oshiriladi va lok tarkibidagi erituvchi moddalar chiqarib yuboriladi.¹⁰³

Termoreaktiv lok yoki kompaundlar issiqlik ta'sirida quritiladi. Loklash, odatda, loklanadigan qism quritkichda ma'lum muddat (masalan, elektr chulg'amini $100-110^{\circ}\text{C}$ da 5-10 soat) ushlab turilgandan so'ng olinib, biroz sovutiladi. ($60-70^{\circ}\text{C}$ gacha) va lokli idishga botiriladi. Qism idishda havo pufakchalari ajralib chiqishi tugaguncha ushlab turiladi. So'ngra olib, quritiladi. Namga chidamli mashina izolyatsiyasiga lok yoki kompaund bir necha marta beriladi. Detailarni lok yoki kompaund bilan qoplash suyuqlikni yuzaga quyish, tomizish, purkagichda sepish, mo'yqalamda surtish kabi usullarda amalga oshiriladi. Quritish jarayoni termostatda, avtoklavda, infraqizil nur, yoritish chiroqlari va boshqa usullar orqali amalga oshiriladi.

2.27. Polimer plyonkalar va suyuq kristallar

Elektr izolyatsiya plyonkalari yupqa va egiluvchan material bo'lib, ular har xil kenglikda va qalinlikda tayyorlanadi. Plyonkalarining elektr va mexanik xossalari yaxshi bo'lganligi sababli, ulardan

¹⁰³ Callister, William D., Materials science and engineering: an introduction, 7th ed p cm/ - Printed in the United States of America/ John Wiley & Sons, Inc. - 2007. 205-bet

kondensator, elektr mashina va apparat, kabellar ishlab chiqarishda foydalaniladi. Plyonkalar ekstruziya, quyish va puflab chiqarish usullari orqali tayyorlanadi. Egiluvchan plyonkalar yuqori molekulyar massali chiziqli polimerlardan tayyorlanib, egiluvchanlikka materialga plastifikator qo'shish yoki harorat ta'sirida polimer molekularini ma'lum yo'nalishga burish orqali erishiladi.

Elektr izolyatsiyasida triatsetat selluloza ko'p ishlatiladi. Uning asosida olingan plyonka xossalari quyidagicha: $\epsilon_r = 3,6$; $\text{tg}\delta = 0,007$; gigroskopikligi 2-3%; ish harorati $90-100^{\circ}\text{C}$, bu plyonkaning mexanik mustahkamligi kichik bo'lganligi sababli, u ko'pincha qalin qog'oz yuzasiga qoplangan holda ishlatiladi.

Sintetik qutbli plyonkalariga polietilen tereftalat plyonkalari: lavsan, melineks, xostafon va hokazolar misol bo'ladi. Bu plyonkalar $0,04-0,035$ mm qalinlikda tayyorlanib, ularning xossalari quyidagichadir: zichligi 1400 kg/m^3 ; cho'zilishdagi mustahkamligi $120-180 \text{ MPa}$; $\rho = 10^{14} \text{ Om}\cdot\text{m}$; $\epsilon_r = 3,3$; $\text{tg}\delta = 0,007$; ish harorati $-60 \div 150^{\circ}\text{C}$; uzilishdagi nisbiy cho'zilishi $50 \div 100\%$.

Polikarbonat makrofol plyonkasining xossalari: zichligi 3200 kg/m^3 ; cho'zilishdagi mustahkamligi $100-2000 \text{ MPa}$; $\rho = 10^{14}-10^{15} \text{ Om}\cdot\text{m}$; $\epsilon_r = 2,9$; $\text{tg}\delta = 0,006$; $E_T = 60-90 \text{ MV/m}$; uzilishdagi nisbiy cho'zilishi $100-300\%$.

Politetraftoretillen asosida olingan plyonkaning xossalari: zichligi 2100 kg/m^3 ; cho'zilishdagi mexanik mustahkamligi $10-15 \text{ MPa}$; $\epsilon_r = 2,0$; $\text{tg}\delta = 0,0003$; $\rho = 10^{14}-10^{15} \text{ Om}\cdot\text{m}$; $E_T = 45-100 \text{ MV/m}$ bo'lib, ish harorati ancha yuqori (260°C) dir.

Polietilen asosidagi plyonka ekstruziya asosida olinib, uning zichligi 920 kg/m^3 , cho'zilishdagi mexanik mustahkamligi $14-6 \text{ MPa}$, dielektrik xossalari $\epsilon_r = 2,2$; $\text{tg}\delta = 0,0003$; $\rho = 10^{14}-10^{15} \text{ Om}\cdot\text{m}$; $E_T = 300 \text{ MV/m}$, ish harorati $85-120^{\circ}\text{C}$.

Polistirol asosidagi plyonka (stirofleks)ning xossalari quyidagicha: cho'zilishdagi mexanik mustahkamligi $60-70 \text{ MPa}$; $\epsilon_r = 2-2,6$; $\text{tg}\delta = 0,0003-0,0004$; $\rho = 10^{14}-10^{16} \text{ Om}\cdot\text{m}$; $E_T = 110-190 \text{ MV/m}$; ish harorati $70-85^{\circ}\text{C}$.¹⁰⁴

¹⁰⁴ T.K. Basak. Electrical engineering materials. New Age International, Nil edition. USA, 2009. 112-bet

Polipropilen plyonkasining xossalari: zichligi 900 kg/m^3 , cho'zilishdagi mexanik mustahkamligi $100-200 \text{ MPa}$; $\epsilon_r=2,0$; $\text{tg}\delta=0,0002$; $\rho=10^{15}-10^{17} \text{ Om}\cdot\text{m}$; $E_T=300 \text{ MV/m}$ va yuqori ish harorati $90-100^\circ\text{C}$ ga tengdir.

Qutbsiz plyonkalarining izolyatsiya qarshiligi yuqori bo'lib, o'zidan elektr tokini juda kam miqdorda o'tkazadi. Shu sababli ulardan o'zgarimas sig'imli kondensatorlar ishlab chiqariladi. Qutbli plyonkalarda ϵ qiymati katta bo'lgani sababli, ulardan kichik hajmli kondensatorlar olish mumkin.

Stirofleks plyonkalari yuqori chastotali kabellarda ishlatiladi, polikarbonatli esa quvvatli (yuqori kuchlanishli) kabel ishlab chiqarishda qo'llaniladi. Plyonkalarining qalinligi kamaytirilsa, ularning elektr mustahkamligi ortadi.

Suyuq kristallar. Suyuq kristallar ma'lum darajadagi qovushqoqlik, optik, elektrik va magnit xossalariga ega bo'lgan organik birikmalardir. Bu suyuqliklarning harorat o'zgarishiga sezgirligi yuqori bo'lib, bunda ular o'z rangini o'zgartiradi. Elektronika sohasida suyuq kristallardan yuqori plyonka olish maqsadida foydalaniladi. Ushbu kristall birikmalardan $-20\div 250^\circ\text{C}$ oralig'ida ishlaydigan indikatorlar ishlab chiqariladi. Suyuq kristallar elektr va magnit maydoni kuchlanganligiga juda ham bog'liq bo'lib, bunda ular o'zining shaffofligini va boshqa optik xossalarini o'zgartiradi. Biror yuzaga surtilgan suyuq kristallda nurning qutblanish tekisligining burilishi, nurning ikki bor sinishi, nur yutilishidagi spektral o'zgarish va boshqa xususiyatlar suyuq kristallarni amalda keng qo'llash imkonini beradi.

Suyuq kristallarining anizotrop xossasi molekullarning tartiblanish darajasi (S) orqali aniqlanadi:

$$S=(1/2)(3\cos^2\Theta-1).$$

Bunda: Θ - alohida olingan molekula o'qi bilan bir yo'nalishdagi boshqa molekullarning yo'nalish o'qi orasidagi burchak.¹⁰⁵

¹⁰⁵ Bijay_Kumar Sharma., Electrical and Electronic Materials Science. / - OpenStaxCNX. / Indiya - 2014, 69-bet.

Suyuq kristallarda $0<S<1$ oralig'ida bo'lib, haroratga bog'liq ravishda o'zgaradi. Harorat ko'tarilganda tartiblanish darajasi nolga intiladi. Suyuq kristallar uchun qayishqoqlik va qovushqoqlik muhim rol o'ynaydi. Bunda qovushqoqlik qiymati oqim tezligi qiymatigagina emas, balki yondosh qatlamdagi molekulaning yo'nalish o'qiga ham bog'liqdir. Suyuq kristallarining solishtirma elektr o'tkazuvchanligi kichik qiymatni (10^{-11} Sm/m) tashkil etadi. Bir necha suyuq kristallarni o'zaro aralashtirib, kerakli dielektrik singdiruvchanlikka ega aralashma olinadi. Bu aralashma dielektrik anizotropiyasi ($\Delta\epsilon$) bilan ifodalanib, uning qiymati $-4\div 20$ oralig'ida bo'ladi.

Suyuq kristallarining elektr-optik xossalari elektr texnikada keng miqyosda qo'llaniladi. Ushbu kristallar asosida yaratilgan asbobda tasvir hamda axborotni qayta ishlash sifati boshqa xuddi shu kabi asbobga nisbatan ancha yuqoridir. Mazkur asboblarda sarflanadigan quvvat (10^{-9} Vt/m^2) va ish sharoitidagi kuchlanish qiymati ($2-50 \text{ V}$) kichik bo'ladi.

Suyuq kristallar ma'lumot, axborot beradigan asboblarda (elektron soat, kalkulyator, kompyuter va b.) da keng qo'llanilmoqda. Hozirgi paytda elektron trubkalar o'rniga matritsali ekran yaratish ustida qizg'in ish olib borilmoqda.

2.28. Yog'och va qog'ozlar

Bu materiallarning asosini o'simliklar tarkibidagi organik moddalar tashkil etadi. Elektr texnikada dastlabki elektr izolyatsiya materiallaridan foydalanilgan. Yog'ochning tola yo'nalishi bo'yicha elektr mustahkamligi uning ko'ndalang kesim yo'nalishiga nisbatan 3-4 barobar, qarshiliklari esa 10 barobar kichikdir. Quruq holatdagi yog'ochning zichligi $400-800 \text{ kg/m}^3$ oralig'ida bo'ladi. Yog'ochning zichligi qancha yuqori bo'lsa, uning mexanik mustahkamligi tola yo'nalishiga qarab turlicha bo'ladi. Uning tola yo'nalishi bo'yicha mexanik mustahkamligi shu tolagaga ko'ndalang yo'nalishdagiga nisbatan ancha yuqori bo'ladi. Yog'ochning asosiy kamchiliklari quyidagilardan iborat: yuqori darajada gigroskopiklik; issiqlik yoki alanga ta'siriga chidamsizlik; o'z xossalarini tashqi ta'sir natijasida keskin o'zgartirishi va hokazo.

Yog'ochning dielektrik va mexanik xossalari unga moy, qatron kabi shimiluvchi suyuqliklar shimdirish orqali yaxshilanadi. Quritib shimdirilgan yog'och o'zining elektr va mexanik mustahkamligini oshiradi. Uning izolyatsion xossalari shimdiriluvchi modda turi (parafin, alif, neft moyi, sintetik qatron)ga bevosita bog'liq bo'ladi.

¹⁰⁶ Yog'ochning gigroskopikligini kamaytirish uchun unga moy shimdirishning o'zigina yetarli bo'lmaydi. Shuning uchun moy shimdirilgandan so'ng material yuzasi qo'shimcha ravishda loklanadi. Transformatorlarda elementlarni biriktirish maqsadida oq qayin, qayin va butadan tayyorlangan yog'och materiallar ishlatiladi. Aloqa va elektr energiyasini uzatish liniyalarida yog'ochdan tayyorlangan tayanchlar ishlatiladi. Yog'ochlardan, shuningdek o'chirgich, uzgich, transformator va boshqa elektr apparatlarida, elektrtexnikada texnika xavfsizligini ta'minlovchi qurilmalarda foydalaniladi.

Tarkibi, asosan, sellyulozadan iborat, qisqa tolali varaqsimon yoki o'ramli materiallarga qog'oz va karton kiradi. Qog'oz ishlab chiqarish uchun yog'och sellyulozasidan foydalaniladi. Elektr izolyatsiyasida qo'llaniladigan qog'oz tayyorlashda sulfat va natron sellyulozasi ham ishlatiladi. Elektr izolyatsiya qog'oz va karton ishlab chiqarishda yog'ochga maxsus kimyoviy ishlov beriladi va undan lignin, mineral tuz va yelim kabi birikmalar chiqarib yuboriladi. Natijada sellyuloza tolalari sof holda ajratib olinadi. Mexanik ishlov berib maydalangan sellyulozaning suvdagi eritmasi aylanuvchan jo'valarga quyilib, yuqori haroratda quritiladi. Qog'oz o'ramga tortib o'ralayotganda tolalar, asosan, o'ram mustahkamligi uning uzunligi bo'yicha, eniga nisbatan birmuncha ortadi.¹⁰⁷

Kabel qog'ozlari K, KM, KV, KVMU navlarda ishlab chiqariladi, bunda K-kabel, M-ko'p qatlamli, V-yuqori kuchlanishli, U-kuchaytirilgan ma'nolarini ifodalaydi. K va KM navli qog'ozlar kuchlanishi 35 kV gacha bo'lgan kabellarda, KV va KVVU navlilari kuchlanishi 35 kV dan yuqori hamda KVM va KVMU navlilari kuchlanishi 100 kV dan yuqori bo'lgan kabellarda qo'llaniladi. Kabel qog'ozlarining qalinligi 70-170 mkm, zichligi 760-1000 kg/m³.

¹⁰⁶ Callister, William D., Materials science and engineering: an introduction, 7th ed. p. cm/ - Printed in the United States of America/ John Wiley & Sons, Inc. - 2007. 207-bet.
¹⁰⁷ T.K. Basak. Electrical engineering materials. New Age International, Nil edition. USA, 2009. 107-bet

Qog'ozning zichligini oshirish hisobiga uning qalinligini kamaytirish mumkin. Materialning dielektrik singdiruvchanligi qog'oz va unga shimdirilgan moy turiga bevosita bog'liq bo'ladi.

Telefon qog'ozlari KT va KTU navlarda ishlab chiqarilib, ularning qalinligi 50 mkm, zichligi ko'pi bilan 800 kg/m³ ni tashkil etadi. Telefon qog'ozlari sarg'ish, qizil, ko'k yoki yashil ranglarda bo'ladi.

Kondensator qog'ozlari asosan ikki xilda (oddiy kondensator qog'ozlari va silikon) ishlab chiqariladi. Silikon katta quvvatga ega kondensatorlarda qo'llaniladi. Kondensator qog'ozlarining zichligi 800-1250 kg/m³, qalinligi 4-30 mkm, o'ramining eni 12-490 mm atrofida bo'ladi. Bunday yupqa qog'oz ishlatish natijasida katta solishtirma sig'imli kondensatorlar yaratish imkoni tug'iladi.

Karton, asosan, qalinligi jihatidan (0,2-6 mm) odatdagi qog'ozlardan farq qiladi. Izolyatsiya kartonlari ikki turda (havo muhitida ishlashga mo'ljallangan g'ovaksimon va uncha zich bo'lmagan kartonlar) ishlab chiqariladi. G'ovaksimon karton o'ziga moyini yaxshi shimib oladi va bunda uning elektr mustahkamligi pasaymaydi. Kartonlar varaq holda (o'lchami 3x4 m gacha) yoki o'ramlarda (eni 1 m gacha) ishlab chiqariladi. Ulardan elektr mashina, transformator va boshqa elektr apparatlarining izolyatsiyasida foydalaniladi. Pishiq qog'oz yupqa qog'ozlardan tayyorlanib, iliq rux xloridi eritmasidan o'tkaziladi va kerakli qalinlikka erishilguncha po'lat jo'valarga o'ralaveradi. So'ngra pishiq qog'oz jo'valardan kesib olinib, yaxshilab suvda yuviladi va bosim ostida ishlov beriladi. Varaqsimon pishiq qog'oz (FE) qalinligi 0,6-12 mm, uzunligi 0,85-2,3 m va eni 0,55-1,4 m qilib tayyorlanadi hamda unga qora, qizil, kulrang va boshqa ranglar beriladi. Namlangan pishiq qog'ozga turli shakl berish mumkin. Pishiq qog'oz elektr mashina va apparatlarining konstruksiya materiallari sifatida ham qo'llaniladi.

2.29. Lokli matolar

Elektr izolyatsiya loki shimdirilgan, egiluvchan ip-gazlama yoki shoyi matolar lokli matolar deyiladi. To'qilgan mato, asosan, mexanik mustahkamlikni ta'minlash uchun, undagi lok pardasi esa materialning elektr mustahkamligini ta'minlaydi. Lokli matolar elektr mashinasi va asboblarning izolyatsiyasida, chulg'am, o'rama, qistirma va

hokazo ko'rinishdagi kabel mahsulotlarida keng qo'llaniladi. Loklangan shoyi loklangan ip-gazlama matoga nisbatan yupqa, nafis bo'lib, kichik hajmli elektr asboblari ishlab chiqarishga imkon yaratish bilan birga, yuqori elektr mustahkamlikni ham ta'minlaydi. Mazkur loklangan matolarning yuqori ish harorati 105°C ga tengdir. So'nggi paytlarda kapron va shisha tolalari asosidagi lokli matolar ham elektr izolyatsiyasida keng qo'llanilmoqda.

Ochiq rangli lokli matolarning ip-gazlama asosidagisining elektr mustahkamligi 35-50 MV/m, shoyi asosidagisining 55-90 MV/m. zichligi mos ravishda birinchisida 1100 kg/m^3 , ikkinchisida $900-1000\text{ kg/m}^3$ ga teng. Ochiq rangli loklangan matolar organik erituvchilar ta'siriga chidamli, lekin issiqlik ta'sirida eskirishi mumkin. Qora rangli loklangan matoning gigroskopikligi kichik bo'lib, organik erituvchilar ta'siriga chidamsizdir.

Loklangan matolar eni 700-1050 mm bo'lgan o'ramlar holida ishlab chiqarilib, ularning qalinligi: ip-gazlama matolarda 0,15-0,30 mm, shoyi matolarda 0,04-0,15 mm, kapronida 0,10-0,15 mm atrofida boladi.¹⁰⁸

Mahsulotning tannarxini pasaytirish maqsadida ip-gazlama va shoyi materiallar loklangan qog'oz bilan almashtiriladi. So'nggi paytlarda uskunalar izolyatsiyasida loklangan mato yoki loklangan qog'oz o'rniga sintetik plyonkalar ishlatilmoqda.

2.30. Elastomerlar

Kauchuk asosidagi materiallar va xossalari jihatidan unga yaqin bo'lgan moddalar elastomerlar deb ataladi. Texnikaning turli sohalarida va kundalik hayotda elastomerlardan keng foydalaniladi. Tabiiy kauchuk (TK) tropik iqlim sharoitida o'sadigan kauchuk daraxtining sharbati (lateks)dan, ajratib olinadi. Kauchuk $+50^{\circ}\text{C}$ da yumshaydi va yopishqoq bo'ladi, past haroratda esa mo'rt holatga o'tadi. Kauchukning benzindagi eritmasidan rezina yelimi olinadi. Kauchuk tarkibiga oltingugurt kiritib, vulkanizatsiya qilinsa, kauchukning harorat chidamliligi ortib, mexanik mustahkamligi ko'tariladi. Kauchuk tarkibidagi oltingugurtning miqdori 1-3% bo'lsa, yumshoq rezina

¹⁰⁸ Callister, William D., Materials science and engineering: an introduction, 7th ed. p. cm⁷ - Printed in the United States of America/ John Wiley & Sons, Inc. - 2007. 211-bet

(qayishqoq va cho'ziluvchan), oltingugurt miqdori 30-35% bo'lganida esa qattiq rezina ebonit) olinadi.

Rezina va ebonit tayyorlashda kauchuk va oltingugurtdan tashqari, rezinali aralashma tarkibiga to'latuvchilar (bo'r, talk), katalizator va boshqa qo'shimchalar ham kiritiladi.

Rezina elektr texnikada keng qo'llaniladi. Undan sim va kabellar yuzasini izolyatsiyalashda qoplovchi sifatida, shuningdek himoya qo'lqopi, kalishlar, gilamchalar tayyorlashda foydalaniladi.

Sof kauchuk qutbsiz dielektrik material bo'lib, uning dielektrik xossalari quyidagicha: $\epsilon_r=2,4$; $\text{tg}\delta=0,0002$; $\rho=10^{14}\text{ Om}\cdot\text{m}$. Elektr izolyatsiyasida ishlatiladigan rezinaning dielektrik xossalari rezinali aralashma va ishlab chiqarish texnologiyasiga bog'liq ravishda quyidagicha bo'ladi: $\epsilon_r=3-7$; $\text{tg}\delta=0,02-0,1$; $\rho=10^{13}\text{ Om}\cdot\text{m}$; $E_T=20-30\text{ MV/m}$.

Rezina yaxshi dielektrik bo'lgani bilan, issiqlik, yorug'lik va ultrabinafsha nurlari ta'sirida tez eskiradi. Rezina o'zidan elektr tokini o'tkazmaydi. Agar unung tarkibiga ko'mir kukuni kiritilsa, elektr tokini yaxshi o'tkazadi. Bunday rezinalar mashina, konstruksiya, uskunalarda paydo bo'ladigan zaryadni o'zi orqali yerga tez o'tkazib yuboradi.

Sintetik kauchuklar (SK) kabel sanoatida izolyatsiya va himoya qoplamasi sifatida keng qo'llanilmoqda. Ularni tayyorlashda spirt, neft va tabiiy gazdan foydalaniladi.

Butadienli kauchuk (SK) yaxshi elektr izolyatsiya va elastiklik xossalari ega bo'lib, butadien (divinil)ni polimerlash orqali olinadi. Uning dielektrik xossalari quyidagicha: $\epsilon_r=2,3$; $\text{tg}\delta=0,008$; $\rho=8,5\cdot 10^{11}\text{ Om}\cdot\text{m}$; $E_T=42\text{ MV/m}$. Butadienli kauchukning yuqori ish harorati $60\div 65^{\circ}\text{C}$.¹⁰⁹

Butadien-stirolli kauchuk (SKS) butadien va stirolni birgalikda polimerlash natijasida olinadi. U xossalari jihatidan TKga yaqin bo'lib, dielektrik ko'rsatkichlari quyidagicha: $\epsilon_r=2,3$; $\text{tg}\delta=0,003$; $\rho=1,1\cdot 10^{13}\text{ Om}\cdot\text{m}$; $E_T=46\text{ MV/m}$. Butadien-stirolli kauchukning zichligi 940 kg/m^3 , ish harorati $-35\div +65^{\circ}\text{C}$ undan kabel izolyatsiyasida qoplama sifatida foydalaniladi.

¹⁰⁹ T.K. Basak. Electrical engineering materials. New Age International, Nil edition. USA, 2009. 109-bet

Butilkauchuk izobutileni izopren bilan birgalikda polimerlash orqali ishlab chiqariladi. Uning zichligi 930 kg/m^3 , ish harorati $-40 \div +105^\circ\text{C}$, dielektrik xossalari: $\epsilon_r=2,4$; $\text{tg}\delta=0,004$; $\rho=2,1 \cdot 10^{13} \text{ Om}\cdot\text{m}$; $E_T=22 \text{ MV/m}$.

Kremniy organikli kauchuk tarkibida kremniy va organik radikalalar bo'lib, yuqori darajada egiluvchan va yaxshi dielektrik xossalari ega. U suvda, namlik sharoitida va past bosimda ishlashi bilan birga, moy va ishqor ta'siriga ham chidamlidir. KO kauchukning zichligi 2000 kg/m^3 , dielektrik xossalari: $\epsilon_r=2,9$; $\text{tg}\delta=0,008$; $\rho=1,2 \cdot 10^{12} \text{ Om}\cdot\text{m}$; $E_T=29,3 \text{ MV/m}$.

2.31. Bosma plata uchun bazis materiallar

Bazis materiallardan past kuchlanishli asboblarda va radiotexnika apparatlarida, hisoblash texnikasida, elektronika, telefoniya va boshqa sohalarida qo'llaniladigan bosma plata ishlab chiqarishda foydalaniladi.

Ilgarilari bosma plata uchun bazis materiallar sifatida zarlangan (folgalangan) materiallar qo'llanilib, ular (qatlamli plastmassa yoki sintetik pardadan tayyorlanib, varaqning bir yoki ikkala yuzasi qalinligi 35 mkm dan ortiq metall zarqog'oz bilan qoplanardi. Keyingi paytda metall qoplama qalinligi 5 mkm gacha kamaytirilib, material yuzasiga qoplama subtraktiv (metall qoplama selektiv ravishda yupqalashtiriladi) uslubning yarim additiv va additiv (mis qatlam galvanik usulda yotqiziladi) usullari qo'llanilmoqda.

Bazis materialning bir yoki ikki yuzasiga misni kimyoviy hamda galvanik usullarda yotqizib (zarlab), bosma plata ishlab chiqarish mumkin. Zar qoplash aralash usulida ham amalga oshiriladi.

Qoplash uchun izolyatsiya yuzasi tekis bo'lishi, metall o'tkazgich sifatida elektrolitik misli zarqog'oz qo'llanilishi va buni asos bilan (izolyatsiya varag'i) birlashtirishda turli xil yelim va adgezivlar qo'llanilishi mumkin. Odatda, birlashtiruvchi yelim yuzaga $40-50 \text{ mkm}$ qalinlikda maxsus mashina yordamida surtiladi.

Yuqori chastotali asboblarda uchun bazis materiallar getinaks asosida tayyorlanib, ularning yuzasiga elektrolitik mis qoplanadi. Bunday plata varag'i qalinligi $1-3 \text{ mm}$, o'lchami kamida $800 \times 900 \text{ mm}$ qilib tayyorlanadi.

Zarlangan shisha-tekstolit (shisha tola termoreaktiv bog'lagich bilan shimdiriladi) yuzasiga misli zarqog'oz qoplangan hollardagi varaq qalinligi $1,5 \text{ mm}$ gacha, o'lchami kamida $600 \times 700 \text{ mm}$ qilib olinadi. Zarlangan SFT-230 navli dielektrikning qalinligi $0,13-2,5 \text{ mm}$, o'lchami kamida $400 \times 600 \text{ mm}$, FDG navli zarlangan dielektrikning qalinligi esa $1,5-2 \text{ mm}$, o'lchami kamida $200 \times 250 \text{ mm}$, SONF navli shisha-tekstolit qalinligi $0,8-3 \text{ mm}$, o'lchami kamida $400 \times 600 \text{ mm}$, FDME navli shisha tekstolit qalinligi $0,1-0,15 \text{ mm}$, o'lchami esa kamida $400-600 \text{ mm}$ qilib olinadi.

Issiqqa bardoshli SGPA-5-1, STPA-5-2 navli shisha-tekstolitlar (qatlami shisha to'qimasi asosidagi) $0,1-2 \text{ mm}$ qalinlikda, o'lchami esa kamida $400 \times 600 \text{ mm}$ bo'ladi. Zarlangan LF-1 navli lavsan (polietilen tereftalat asosidagi) yuzasiga 35 mkm qalinlikdagi elektrolitik mis zarqog'oz yopishtiriladi. Zarlangan PF-1 navli bosma platasi poliimid asosida tayyorlanadi.

Ko'p qatlamli bosma platasiga SP-1, SP-2, SPT-3, STP-4, SPO, SPS navli shisha to'qima asosida tayyorlangan materiallar misol bo'la oladi. Ularning qatlamlarini bosim ostida yelimlab, o'zaro birlashtiriladi va misli zarqog'oz ularning yuzasiga yopishtiriladi.

Yuqori chastotali asboblarda FLAN navli arilaks bilan to'yintirilgan, zarlangan dielektriklar qo'llaniladi. Ushbu, dielektrik materiallarning qalinligi $1-2 \text{ mm}$, o'lchami $260 \times 340 \text{ mm}$, zarqog'oz qalinligi 35 mkm qilib olinadi. Shu chastotalarda ishlovchi asboblarda polikarbon bilan to'yintirilgan, zarlangan varaqsimon materiallar ham ishlatiladi. Ularning ko'rsatkichlari quyidagicha: $\epsilon_r=2,8$; $\text{tg}\delta=(1,5 \div 5) \cdot 10^{-3}$ (chastotasi 10^{10} Gs); $\rho \approx 10^{12} \text{ Om}\cdot\text{m}$; $\rho_s \approx 10^{11} \div 10^{12} \text{ Om}\cdot\text{m}$.

2.32. Anorganik dielektriklar

Anorganik dielektriklarga shisha, sitall, sopol, slyuda va slyudali materiallar kiradi. Bu materiallar issiqqa chidamlilik, eskirmaslik, turli xil nurlanishga bardoshlilik, kimyoviy chidamli, siqilishga bo'lgan mexanik mustahkamlik va metall bilan birikkanda zich birikma hosil qilish xususiyatlariga ega.

Anorganik materiallar oddiy usullarda ishlab chiqariladi. Bu materiallarning kamchiliklari sifatida ularni mo'rtligini, cho'zili-shidagi mustahkamligining pastligini va zichligi katta qiymat ($2500-8000 \text{ kg/m}^3$) ga ega anorganik materiallar o'zida turli xil metall (alyuminiy, titan, kalsiy, natriy va hokazo) oksidlarini jamlagan murakkab birikmani tashkil etadi. Ularning ion tuzilishli moddalar qatoriga kiradi. Normal haroratda anorganik materiallari elektr o'tkazuvchanligi ionli xarakterga ega bo'ladi. Bu asosan, ionli qo'shimchalarning mavjudligi bilan tushuntiriladi. Elektron o'tkazuvchanlik esa faqat yuqori kuchlanishda kuzatiladi. Anorganik dielektrik materiallar uchun $\text{tg}\delta \approx 10^{-4} \div 10^{-2}$ oralig'ida bo'ladi. Bu dielektriklarda qutblanishni elektron, ion, elektron-relaksatsiya va spontan ko'rinishlari kuzatiladi. Dielektrik singdiruvchanlik qiymati esa uchdan bir necha o'n minggaacha oraliqda bo'ladi.¹¹⁰

Anorganik dielektriklarda elektr issiqlik, kimyoviy ionizatsiya teshilishlari kuzatiladi. Mazkur dielektrik materiallarning elektr mustahkamligi katta oraliqda ($5-700 \text{ MV/m}$) o'zgaradi. Ularning issiqqa chidamliligi $400-1500^\circ\text{C}$ ni tashkil etadi. Ba'zi sopol materiallar signet va p'yezoelektrik xossalarga ega bo'ladi.

Anorganik materiallarning radiatsiya nurlanishiga bo'lgan chidamliligi organik materiallarga nisbatan ancha yuqoridir. Ana shu xususiyatlar anorganik materiallarni xalq xo'jaligining ko'p sohalarida qo'llash imkonini beradi.

2.33. Shisha

Shisha murakkab tuzilishli birikmalardan tashkil topgan bo'lib, uning tarkibiga turli metall oksidlari kiradi. Shisha tuzilishi jihatidan bir jinsli bo'lmagan amorf moddalar qatoriga kiradi. Boshqa anorganik materiallardan farqli o'laroq, shisha quyidagi xossalari bilan ajralib turadi: yupqa parda va tolalar olinishi; optik jihatdan tiniqligi; turli xil metallar bilan birikishi; yuzasining tekisligi; mo'rtligi; namga chidamliligi.¹¹¹

¹¹⁰ Callister, William D., Materials science and engineering: an introduction, 7th ed. p. cm/ - Printed in the United States of America/ John Wiley & Sons, Inc. - 2007. 218-bet.
¹¹¹ T.K. Basak. Electrical engineering materials. New Age International, Nil edition. USA, 2009. 118-bet

Shisha tarkibiga shisha hosil qiluvchi oksidlar (SiO_2 , B_2O_3 , P_2O_5) hamda uning erish haroratini pasaytiradigan ishqorli oksidlar (Li_2O , Na_2O , K_2O) ishqorli yer metallarining oksidlari (CaO , MgO , BaO va ZnO , Al_2O_3 , BeO) shuningdek, shisha tarkibini o'zgartiradigan boshqa qo'shimchalar kiradi. Shisha hosil qiluvchi oksidlar silikatli (SiO_2), alyuminsilikatli ($\text{Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$), borsilikatli ($\text{B}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$), titan-silikatli ($\text{SiO}_2\text{-TiO}_2$), sirkonatsilikatli va alyumin-borsilikatli ($\text{SiO}_2\text{-ZnO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-B}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$) turlarga bo'linadi.

Texnik shisha quyidagi xillarga bo'linadi:

1. Tarkibida og'ir metall oksidi bo'lmagan ishqorli shisha,
2. Tarkibida bir qancha og'ir metall, oksidlari bo'lgan ishqorli shisha;

3. Tarkibida ishqor bo'lmagan sof shisha (kvars)larga bo'linadi. Silikatli va borli sof shishalar tarkibida SiO_4 , B-O_3 elementlari bo'ladi. Tarkibiga oksidlar kiritilgan shisha g'ovaklashadi. Bir valentli metall ionlari shishaning dielektrik xossalarining, issiqqa va namlikka chidamliligini keskin kamaytiradi.

Shishaning yumshash haroratlarining oralig'i katta bo'lganligi sababli, undan mahsulot tayyorlash jarayoni oddiy bo'ladi. Suyuq shisha harorati $800-900^\circ\text{C}$ atrofida bo'lganda undan turli xil mahsulotlar tayyorlanadi. Shisha mahsulotlari puflash, siqish, cho'zish va bosim bilan ishlov berish usuli yordamida tayyorlanadi. Tayyor shisha mahsuloti tezlik bilan sovitsa, unda ichki mexanik kuchlanganlik yuzaga keladi. Shisha yemirilishining oldini olish maqsadida uni qayta qizdirib, ichki kuchlanganlik bartaraf etiladi.

Odatda shishaning bir qancha turiga pardozi berish mumkin bo'lib, ular kesilish xossasiga ham egadir. Shishadan aniq o'lchamli juda yupqa mahsulot ishlab chiqarish uchun uning tarkibiga mis, kumush, oltin, platina zarrachalari kiritiladi. Bunda shishaning yorug'likka nisbatan sezuvchanlik xossasi ham oshadi. So'ngra, fotokimyoviy usul yordamida shishadan aniq o'lchamli mahsulot tayyorlanadi.

Nur ta'sir ettirib yoki termik ishlov berib, shisha tarkibida tekis kristallanish amalga oshiriladi. Buning natijasida shishaga kerakli xossalarni berish mumkin.

Shishaning solishtirma hajmiy qarshiligi $10^9-10^{18} \text{ Om}\cdot\text{m}$ bo'lib, bunda ρ ning yuqori qiymati kvarsiga va quyi qiymati ishqorli

shishaga taalluqlidir. Tarkibida ikki yoki uch xil ishqorli oksidlari bo'lgan shishaga ishlov berish (neytralizatsiyalash) orqali unda elektr o'tkazuvchanlik holati yuzaga keltiriladi. Agar ishqorli shisha tarkibiga ikki valentli metall (Ba, Pb) oksidlari kiritilsa, strukturasi mustahkamlanishi hisobiga ρ qiymati ortadi; harorat ortishi natijasida ionlarning siljuvchanligi ortib, shishaning elektr o'tkazuvchanligi ko'tariladi. Odatda, shisha yuzasiga nam o'tirishi natijasida ρ_s qiymatidan anchagina (10 barobar) past bo'ladi. Shishada ρ_s qiymatni oshirish uchun, uning yuzasiga himoya qatlami (KO loki) yuritiladi yoki kimyoviy ta'sirga bardoshli shisha qo'llaniladi.

Sof shishalarda, asosan, elektron va ion qutblanish sodir bo'lishi sababli, unda ϵ_r qiymati kichik ($3,1 \div 3,2$) bo'ladi. Agar shishaga ishqorli og'ir metall oksidlari kiritilsa, unda ion-relaksatsiya qutblanishi kuzatilib, materialning qiymati 20gacha ortadi.

O'zgaruvchan elektr maydonida va past chastotalarda shishadagi dielektrik isroflar o'tkazuvchanlik hisobiga sodir bo'lsa, yuqori chastotalarda bu hodisa ion-relaksatsiya qutblanish hisobiga sodir bo'ladi. Tarkibida metall ionlari bo'lgan shishada $tg\alpha$ qiymati yuqori bo'ladi.

Sof shisha, ishqorsiz yoki tarkibida og'ir metall oksidlari bo'lgan ishqorli shishalar yaxshi dielektrik hisoblanadi. Shisha harorati oshirilganda, kuchsiz bog'langan ionlarning soni ko'payishi hisobiga dielektrikning elektr o'tkazuvchanligi ortadi. Ion-relaksatsiya qutblanishi natijasida shishada $tg\alpha$ qiymati yuksala boradi. Yuqori chastota va harorat oralig'larida shishada $tg\alpha$ qiymati o'zgarishsiz bo'ladi.

Yuqori kuchlanishlarda shishada elektr va issiqlikdan teshilish hodisasi sodir bo'ladi. Bir jinsli maydonda, yupqa ($50-100$ mkm) shishada elektr teshilishi $E_T=100-600$ MV/m, qalin shishada esa, issiqlik teshilishi $E_T=15-30$ MV/m sodir bo'ladi.

Shishaning solishtirma og'irligi $2000-8100$ kg/m³, cho'zilishdagi mexanik mustahkamligi $100-300$ MPa, shishaning yumshash harorati $400-1600^\circ\text{C}$ oralig'ida bo'ladi. Texnik shishaning dielektrik xossalari: $\epsilon_r=3,8 \div 16,2$; $tg\delta=0,002 \div 0,01$; $\rho=10^6-10^{15}$ Om·m; $E_T=500$ MV/m ga teng bo'ladi.

Shisha elektr texnikada keng qo'llaniladi. Undan, asosan, yuqori kuchlanishli izolyatorlar, turli izolyatsiya mahsulotlari, shuningdek,

egiluvchan, o'ta ingichka ($4-16$ mkm) uzun tolalar tayyorlanadi. Tola olish uchun shisha siniqlari maxsus teshik-filerlarda eritiladi, so'ngra uni oqizib, o'rab olinadi yoki kerakli uzunlikda kesiladi. Bir nechta shisha tolalarni o'zaro birlashtirib, shisha ipi olinadi. Ulardan tasma, turli matolar ishlab chiqariladi. Shisha tolalarining organik tolalardan ustunligi ularning yuqori haroratga bardoshlilik, yuqori mexanik mustahkamlik va dielektrik xossalarga egaligi va kam miqdorda nam singdiruvchanligidadir. Shisha tolasidan yasalgan qalamchalarning cho'zilishga bo'lgan mustahkamligi po'latning mustahkamligidan qolishmaydi.¹¹²

Kvarsli shisha kondensatorlarda, induksion g'altaklarda, vakuumli asboblarda va hokazolarda qo'llaniladi. Kam ishqorli va ishqorsiz shishalardan yuqori kuchlanishli va yuqori chastotali asboblarning kondensatorlarida, impulsli generatorlarda keng foydalaniladi.

Ayrim turdagi shishalar lampalar tayyorlashda ishlatiladi. Tola va to'qima tayyorlashda ishqorsiz shisha qo'llaniladi. Shisha tola va to'qimalardan mexanik mustahkamlikka ega shisha plastlari tayyorlanadi. Ular issiqqa chidamli kabel izolyatsiyalarida qo'llaniladi. Shisha to'qimalarining tarkibida havo bo'shliqlari bo'lgani sababli, ularning dielektrik xossalari shisha tolasinikiga nisbatan yuqoridir. Masalan, shisha tolasida $tg\delta=4,5 \cdot 10^{-3}$; $\epsilon_r=9,2$ bo'lsa, shisha to'qimada $tg\delta=1 \cdot 10^{-3}$; $\epsilon_r=1,8-2,0$ bo'ladi. Shisha to'qimalar issiqlik va γ nurlari radiatsiyasi ta'siridan himoya qiluvchi vosita sifatida ham qo'llaniladi. Plyonka shisha qalinlikda ishlab chiqariladi. Agar plyonkaning qalinligi kamaytirilsa, uning egiluvchanligi va E_T , qiymati ortadi. Bunday plyonkalarining elektr mustahkamligi $E_T=70-600$ MV/m ni tashkil etadi. Plyonka shisha elektr mashinasining izolyatsiyasida, kondensator, mustahkam shisha qatlamlari tayyorlashda qo'llaniladi.

Ko'piksimon shisha yengil, mexanik mustahkam, yaxshi dielektrik xossali, issiqqa chidamli material bo'lgani uchun u radio qurilmalari va issiqlik izolyatsiyalarida ishlatiladi.

¹¹² Callister, William D., Materials science and engineering: an introduction, 7th ed.p.cm/ - Printed in the United States of America/ John Wiley & Sons, Inc. - 2007. 219-bet.

2.34. Sopol materiallar

Sopol - toshsimon anorganik material bo'lib, anorganik plastmassa yoki uning kukuniga yuqori haroratda ishlov berish orqali olinadi. Sopol materiallarda, asosan, kristall, shishasimon va gaz fazalari bo'ladi.

Kristall faza sopolning asosiy xossalari (ϵ_r , $TK\epsilon$, $tg\delta$, E_T , ρ , σ va hokazolar) ni aniqlaydi. Bu faza, asosan, kislorodli birikma va ularning qattiq qotishmalari (SiO_2 , TiO_2 , ZrO_2 va hokazo) yoki kislorodsiz birikma (Nb, N, Si, NaI) lardan iboratdir.

Qo'llanilishi bo'yicha sopol quyidagi turlarga bo'linadi:

o'rnatiluvchi buyumlarda ishlatiladigan sopol; kondensatorlarda ishlatiladigan sopol; segnet sopoli; p'yezopollar.

O'rnatiluvchi buyumlarda qo'llaniladigan, ϵ_r ning kichik qiymatlariga ega materiallar: $BaO-Al_2O_3-SiO_2$; $MgO-Al_2O_3-SiO_2$; $CaO-Al_2O_3-SiO_2$; $ZrO-Al_2O_3-SiO_2$.

Kondensatorlarda qo'llaniladigan ϵ_r ning yuqori qiymatlariga ega sopol materiallar: ZrO_2-TiO_2 ; $CaZrO_3-CaTiO_3$; $MgTiO_4-CaTiO_3$; $CaSnO_3-CaZnO_3-CaTiO_3$.

P'yezoelektrik va segnetoelektriklar uchun qollaniladigan materiallar: $BaTiO_3-SrTiO_3-CaTiO_3$; $BaTiO_3-BaZrO_3$, $MaTiO_3-BaSnO_3$; $SrTiO_3-Bi_2O_3 \cdot 3TiO_2$.

Sopolning shishasimon fazasi - kristall fazalarni o'zaro bog'laydigan qatlamdir. U sopolning pishishiga imkon yaratishi bilan birga, materialning mexanik mustahkamligini ham oshiradi. Shishasimon fazaning miqdori materialning texnologik xususiyatlari (pishirish harorati, plastiklik) bilan aniqlanadi. Bu faza miqdoring oshirilishi materialning mexanik mustahkamligini ko'taradi. Shishasimon faza miqdoring kamayishi, materialning dielektrik, issiqlik va mexanik xossalarni yomonlashtiradi. Oddiy sopolalarda shishasimon faza 1-10%, elektr chinnisida esa 40-65% bo'ladi.¹¹³

Gazsimon faza turli sopolarda mavjud bo'lib, u sopol massani tayyorlashda, qoliplashda, pishirish paytida (uchuvchan moddaning chiqib ketishi natijasida) va sopol zichlanishida vujudga keladi.

113 Callister, William D., Materials science and engineering: an introduction, 7th ed. p.cm/ - Printed in the United States of America/ John Wiley & Sons, Inc. - 2007. 224-bet.

114 T.K. Basak. Electrical engineering materials. New Age International, Nil edition. USA, 2009. 119-bet

Ushbu faza ochiq (sirtida) va yopiq (ichki qismda) turlarga bo'linadi. Yopiq turdagi gazsimon faza sopolning elektrik va mexanik xossalarni pasaytiradi hamda yuqori elektr maydon kuchlanganligida bo'shliqlarda ionlashish sodir bo'lishi hisobiga dielektrik isroflarni oshiradi. Ochiq bo'shliqlar sopolning barcha xossalarni yomonlashtiradi. Tarkibidagi shishasimon faza miqdoriga qarab sopolni shishasimon (shisha miqdori 50% dan ortiq) va kristalli (kristall miqdori 50% dan ortiq) turlarga bo'lish mumkin. Shisha hosil qiladigan birikma sifatida dala shpati pigmentlarini ko'rsatish mumkin.

Kristalli sopol tarkibiga radio sopolning asosiy turlari (alyuminiy oksid, steatit, titanit, niobiy va hokazolar) kiradi. Ularning kristall hosil qiladigan birikmalariga talk, titan va sirkoniy qo'sh oksidlari, bariy va magniy oksidlari kiradi. Radio sopoliga plastik qo'shimcha sifatida tuproq qo'shiladi. U shishasimon faza hosil qilishi bilan birga mahsulot ishlab chiqarishni yengillashtiradi.

Sopol ishlab chiqarish jarayoni ishlatiladigan birikmalarning tarkibiga, shishasimon fazaning miqdori, materialga qo'yiladigan talablarga bog'liqdir. Tarkibida tuproq bo'lgan sopol plastik bo'ladi. Kristall va tarkibida tuproq bo'lmagan sopol esa noplastik bo'ladi. Plastik sopol ishlab chiqarish jarayoni xomashyoni tayyorlash (maydalash, o'lchash, birikmalarni aralashtirish, quritish), mahsulotni qoliplash va pishirishdan iborat.¹¹⁴

Plastik bo'lmagan sopol xossalarni barqarorlashtirish va cho'kishini kamaytirish maqsadida uni pishirish ikki bosqichda (dastlabki va oxirgi holatlarida) o'tkaziladi. Shu sababli, sopol ishlab chiqarish quyidagi ketma-ketlikda bajariladi:

1. xomashyoni tayyorlash jarayoni (o'lchash, maydalash, birikmalarni aralashtirish, ulardan briket tayyorlash).
2. briketlarni dastlabki pishirish.
3. briketlarni maydalash, unga plastifikator (parafin, yelim) qo'shish.
4. detallarni qoliplash.
5. So'nggi bosqichdagi pishirish.

Eng muhim bosqichlarga dastlabki va oxirgi bosqichdagi pishirish ishlari kiradi. Dastlabki pishirishda asosiy jarayonlar sodir bo'ladi va mahsulot hajmi o'zgaradi (kichrayadi). Bu esa, oxirgi bosqichdagi pishirishda mahsulotni aniq o'lcham va kerakli shaklda olish imkonini yaratadi. Ishlov berish jarayonida ma'lum kristall panjaralarda kimyoviy birikish sodir bo'ladi va bunda materialning hajmi kichrayadi. Mahsulot bo'sh va vaqtincha bog'langan zarrachalardan shakllanadi va ancha g'ovaklikka (30-50%) ega bo'ladi. Oxirgi bosqichdagi pishirishda sopolga yuqori haroratda ishlov berilib, u zichlashadi va mexanik mustahkamligi birmuncha ortadi.

Pishirish tezligi zarrachalar diametriga teskari proporsionaldir. Shu sababli, pishirishni tezlatish maqsadida sopol juda mayin (zarra diametri 1-3 mkm) qilib tayyorlanishi kerak. Sopolni pishirish murakkab jarayon bo'lib, bunda bo'shliqlar tortilishi bilan birgalikda pishirishni sekinlatadigan sabablar (bo'shliqda hosil bo'ladigan gazlar) ham kelib chiqadi.

Suyuq fazadagi pishirish tarkibiga tuproq qo'shilgan sopollarga taalluqlidir. Suyuq fazadagi pishirish ikki holatda, ya'ni qattiq va suyuq fazalarning o'zaro ta'sirisiz hamda mazkur fazalarning o'zaro ta'siri ostida kechadi. Birinchi holda yuqori haroratli ishlov jarayonida kristallarni biriktiruvchi suyuq fazada qovushqoq va plastik oqim hosil bo'ladi va sopol zichlashadi. Fazalar chegarasidagi sirt taranglik kuchi qancha yuqori bo'lsa, zichlashish shiddati shuncha tezlashadi. Bunda zarra o'lchamlari kichikroq va shishasimon faza qovushqoqligi pastroq bo'lishi katta ahamiyatga egadir.

Ikkinchi holda sopolni pishirish jarayoni qattiq fazaning nisbatan suyuqroq faza bilan o'zaro ta'sirlashishi natijasida yuzaga keladi. Bunda birinchi bosqichda suyuq faza hosil bo'ladi, tortirish kuchi ta'sirida zarralar o'zaro yaqinlashib, butun birikma zichlashadi. Harorat oshira borilsa, qattiq, fazaning mayda zarrachali qismida erish jarayoni sodir bo'ladi. Eritma to'yinishi natijasida unda kristallanish ro'y beradi. Cho'kuvchan kristallar kattaroq o'lchamga ega bo'ladi, ya'ni suyuq faza orqali o'ta kristallanish yoki

rekristallanish jarayoni sodir bo'ladi. Eritmaning tarkibi o'zida eruvchan qattiq faza bilan to'yina boradi.¹¹⁵

Har bir turdagi sopol material uchun ma'lum pishirish harorati xos bo'lib, bundan past haroratda sopolda ochiq bo'shliqlar hosil bo'ladi. Agar harorat optimal qiymatdan yuqori bo'lsa, rekristallanish jarayonida sopol mayda yoriqchalar va yirik bo'shliqlar yuzaga keladi. Bunday bo'shliqlar sopolning elektrik va mexanik xossalari salbiy ta'sir ko'rsatadi. Pishirish haroratining qiymati massa tayyorlashda xomashyoning maydalanish darajasiga ham bog'liqdir. Maydalash mayin bo'lganda mahsulotning mexanik mustahkamligini oshirish uchun pishirish pastroq haroratda o'tkazilishi kerak. Sopolni pishirishda harorat ma'lum tezlikda oshirib boriladi. So'ngra mahsulot pishirish haroratida ma'lum muddat ushlab turiladi, keyin esa bir maromda sovitiladi. Sovitish tezligi ham sopol xossalarga kuchli ta'sir etadi. Chunki keskin sovitishda kristall zarrachalar chegarasida va shishasimon qatlamlarda darzlar paydo bo'lish ehtimoli ortadi. To'plash tufayli sopolda siqilish deformatsiyasi sodir bo'lib, uning mexanik mustahkamligi 2-3 marta ortadi. Loysimon plastik massa uqalangan sopol talqonning namlash usuli bilan olinadi. Massa qolipga quyiladi, so'ngra uning tarkibidagi namlikning ma'lum qismini quritish orqali chiqarib yuboriladi va mahsulotga mexanik ishlov beriladi.

Kristall ko'rinishga ega, plastik bo'lmagan sopol massasining plastikligini oshirish uchun uning tarkibiga organik qo'shimmalar (yelim, parafin, stearin, qatron) kiritiladi va ular pishirish jarayonining o'zidayoq kuyib ketadi. Plastiklashtirilgan va qotirilgan mahsulotlar pishirishining oxirgi bosqichi unga mexanik ishlov (yo'nish) berilgandan so'ng amalga oshiriladi.

Ko'pgina sopol turlarining elektr o'tkazuvchanligi ionli xarakterga, tarkibida titan bo'lganlarining elektr o'tkazuvchanligi esa elektron xarakterga egadir. Sopolning solishtirma hajmiy qarshiligi ($10^{11} \div 10^{18}$ Om·m) haroratga, materialning namligi hamda uning tarkibidagi gaz bo'shliqlariga bog'liq bo'ladi. Ularning miqdori qancha katta bo'lsa, izolyator qarshiligi shuncha past bo'ladi.

¹¹⁵ Bijay_Kumar Sharma, Electrical and Electronic Materials Science / - OpenStaxCNX / Indiya - 2014, 69-bet.

Sopollarda ϵ_r qiymati keng miqyosda 3-4 dan bir necha o'n minggacha o'zgaradi. Ko'pgina sopollarda ϵ_r qiymati chastota ortishi bilan kamayadi. Kondensatorlar uchun ishlatiladigan sopollar chiziqli va chiziqli bo'lmagan (segnetoelektrik) qutblanishga ega.

O'zgaruvchan elektr maydonida sopoldagi energiya isrofi ichki tok o'tkazuvchanlik va qutblanish elektron-relaksatsiya, ion-relaksatsiya, spontan hisobiga sodir bo'ladi. Sopol materiallarining tgd qiymati 10^{-4} - 10^{-2} ni tashkil etadi. Sopolning elektr kuchlanishi ta'sirida teshilish issiqlik, kimyoviy va ionlashish turlariga bo'linadi. Sopolning elektr mustahkamligi 20-25 MV/m. sopolning zichligi (2300 - 4000 kg/m^3) uning mexanik mustahkamligiga, pishirish harorati va kristall faza turiga qarab kuchli ravishda o'zgaradi. Uning chiziqli kengayishi koeffitsienti $(4-7)10^{-6} \text{ grad}^{-1}$ oraliqda bo'ladi. O'rnatiluvchi buyumlarda ishlatiladigan sopol materialida $\epsilon_r=6\div 10$ bo'lib, mexanik mustahkamlik $\sigma_{siq}\approx 40$ - 200 MPa ni tashkil etadi. Undan, asosan, induktiv g'altak qobig'i, o'zgaruvchan sig'imli havo kondensatorining o'zagi, lampa platalari, bosma shema asosi, qarshiliklar va hokazolarni tayyorlashda foydalaniladi. Mazkur turdagi sopol zich va g'ovaksimon bo'ladi. Bu sopol yaxshi dielektrik va mexanik xossalarga ega bo'lishi kerak. O'rnatiluvchi buyumlarda ishlatiluvchi o'rnatiluvchi sopollar tarkibi jihatidan $\text{BaO-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$, $\text{MgO-Al}_2\text{O}_3\text{-Si}$ kabi tizimlardan iboratdir. Alyuminiy silikat sopoli $\text{BaO-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ tizimasining kristall asosi sifatida korund (Al_2O_3) va mullit $3\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 2\text{SiO}_2$ olinadi. Sopol tarkibida Al_2O_3 qancha ko'p bo'lsa uning mexanik mustahkamligi va issiqqa chidamliligi, dielektrik xossalari shuncha yuqori bo'ladi. Alyuminoksid mayda donador (2 - 3 mkm) strukturali plastik bo'lmagan abraziv materialdir. U lampalarning izolyatsiya qismida, bosma sxema asoslarida, aviasvecha va hokazolarda qo'llaniladi.

Ultrachinnining dielektrik, issiqlik va mexanik xossalari yuqoridir. Ultrachinni tarkibida Al_2O_3 (35 - 80%) miqdori qancha ko'p bo'lsa, u xossalari jihatidan alyuminoksid sopoliga yaqinlasha boradi. Ultrachinnining pishirilish harorati 1350 - 1400°C .

Radiochinni tarkibidagi materialning yuqori darajada plastik bo'lishini ta'minlaydi, Al_2O_3 va tuproq miqdori materialning yuqori

darajada plastik bo'lishini ta'minlaydi. Uning pishirilish harorati 1280 - 1320°C , radiochinnidan turli xil detallar tayyorlanadi.

Kordierit –dielektrik isrofi yuqori va chiziqli kengayish koeffitsiyenti kichik (1 - 2) 10^6 grad^{-1} hamda razryadi ta'siriga chidamli material bo'lib, undan issiqqa bardoshli mahsulotlar, razryad singdiruvchi asboblari va hokazolarni tayyorlashda foydalaniladi.

Kondensator sopoli uchun ϵ_r yuqori qiymatga ega bo'lishi kerakligi sababli, uning kristali asosida rutil, titanat, sirkonat, ishqorli metall stannatlari qo'llaniladi.

Yuqori chastotali kondensator sopoli vazifasiga ko'ra quyidagi turlarga bo'linadi: 1) o'zgaruvchan sig'imli kondensator sopoli ($\epsilon_r=150$ - 230 ; $\text{TK}\epsilon=(3300$ - $1400)\cdot 10^{-6} \text{ grad}^{-1}$; termokompensatorli kondensator sopoli ($\epsilon_r=35$ - 95 ; $\text{TK}\epsilon=(750\div 150)\cdot 10^{-6}$). 3) termostabil kondensator sopoli ($\epsilon_r=12$ - 48 ; $\text{TK}\epsilon=(-75\div -33)\cdot 10^{-6} \text{ grad}^{-1}$).¹¹⁶

Kondensatorning vazifasiga qarab uning konstruksiyasi turlicha bo'lishi mumkin. Ular gazsimon, dielektrikli (havoli, gaz to'latilgan, vakuumli), qattiq anorganik dielektr materialli (slyudali, shishali, sopolli, shisha emalli, shisha sopolli), qattiq organik dielektr materialli (qog'oz, lavsan, polistirol, polipropilen, (ftorplast-pardali va hokazo) va oksid izolyatsiyali (alyuminiy yoki tantal oksidli metalloksidli) turlarga bo'linadi.

Elektrodlar turiga ko'ra kondensatorlar metallashtirilgan dielektrik va varaqsimon elektrod turlariga bo'linadi.

Kondensator markalari harf va raqamlar bilan belgilanadi. Birinchi harf K-o'zgarimas sig'imli, KT-sozlanadigan; KP-o'zgaruvchan, KN-nochiziqli kondensatorlarni bildiradi. Keyingi ikki raqam dielektrik turini: 10-past kuchlanishli sopol; 15-yuqori kuchlanishli sopol; 21-shishasimon sopolni anglatadi. Undan keyingi harflar kondensatorning qo'llanilish sohasini ifodalaydi: P-o'zgaruvchan va o'zgarimas tok zanjirida; Ch-o'zgaruvchan tok zanjirida; I-impulsi sharoitida; U-o'zgaruvchan, o'zgarimas tok zanjirlarida va impulsi sharoitda.

¹¹⁶ T.K. Basak Electrical engineering materials. New Age International, Nil edition. USA, 2009. 121-bet

2.35. Sitallar

Sitallar kristall strukturali anorganik material bo'lib, maxsus tarkibli shishani kristallash orqali olinadi ("sitall" so'zi "silikat" va kristall so'zlarining qisqartmasidan iborat. Sitalning kristall fazasi tayyorlanish sharoitiga qarab 90-95% ni tashkil etadi. Bunda kristall o'lchamlari 1-2 mkm dan ortmaydi.

Kristall fazali sopoldan farqli o'laroq, sitall shisha qotishmalaridan hosil bo'ladi va mayda donador (kristall o'lchami 1 mkm, sopolnikida esa 20-25 mkm) tarkibga ega bo'lib, material hajmida havo bo'shliqlari bo'lmaydi. Sitaldan mahsulot ishlab chiqarish usullari xuddi shishaniki kabi bo'ladi. Sital olish uchun arzon bo'lgan tog' jinslari, shlak kabi xomashyolar talab etiladi. Quyidagi tarkibli sitallar eng ko'p tarqalgan:

- 1) litiy-alyumosilikatli ($\text{Li}_2\text{O}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$);
- 2) magniy-alyumosilikatli ($\text{MgO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$);
- 3) litiy-ruh-silikatli ($\text{Li}_2\text{O}-\text{ZnO}-\text{SiO}_2$);
- 4) litiy-magniy-silikatli ($\text{Li}_2\text{O}-\text{MgO}-\text{SiO}_2$) va boshqalar.¹¹⁷

Sital tayyorlash uchun, ko'pincha, ikki ko'rinishdagi katalizator-
ishqorlar va ishqoriy-yer metallarning sulfidlari, fluoridlari, yorug'likka sezgir metallardan (mis, kumush, platina, oltin) foydalaniladi. 800-900°C da katalizatorli shisha eritmasidan detallar tayyorlanadi va ma'lum haroratgacha keskin sovitiladi. So'ngra detallar yumshash harorati (500-540°C) gacha qizdiriladi. Bu jarayon shishaning kristallangan markazlarini diffuziya hisobiga kolloid o'lchamlarigacha yiriklashtiradi va shishaning asosiy qismida kristallanish boshlanadi. Qattiq kristall panjara hosil bo'lgandan so'ng issiqlikni asta-sekin oshirish orqali shishada to'liq kristallanish (800-1000°C da) amalga oshiriladi. Bunda detallarning deformatsiyalanishiga yo'l qo'yilmaydi. So'ngra ular xona harorati (20°C) gacha sovitiladi. Agar shisha tarkibida mis, kumush, oltin, platina elementlari katalizator sifatida qo'llanilsa, eritmani keskin sovutish mobaynida bu metallar bir tekis tarqalgan ion va atomlar holatida bo'ladi. Keltirilgan metall zarralari hajm bo'yicha tekis tarqalishini osonlashtirish maqsadida, ularga ishlatishdan avval UB yoki rentgen nurlarida ishlov beriladi.

¹¹⁷ Callister, William D., Materials science and engineering: an introduction, 7th ed.p.cm/ - Printed in the United States of America/ John Wiley & Sons, Inc. - 2007. 226-bet.

Suyuq shishadan detallar tayyorlanib, ularga issiqlik ta'sirida ishlov beriladi. Yuqorida keltirilgan usulda tayyorlangan sitallar *fotositallar* deyiladi.

Yuqori harorat va chastotalarda sitalning $tg\delta$ qiymati kichik bo'lib, undan elektr izolyatorlari tayyorlanadi. Dielektrik xossalari jihatidan sitallar yaxshi sopol materiallariga yaqin turadi. Sitalning elektr o'tkazuvchanligi material kristall asosining turiga bog'liq bo'ladi. Kristallanish darajasi yuqori bo'lgan sitallarning elektr o'tkazuvchanligi past bo'ladi. Bu, asosan, kristallanish mobaynida ionlar siljishining pasayishi bilan tushuntiriladi. 20-400°C oralig'ida sitalning solishtirma hajmiy qarshiligi shishaning hajmiy qarshiligidan 10^2-10^4 marotaba yuqori bo'ladi. Sital tarkibiga ikki valentli metall oksidlari (Ca, BaO va hokazo) kiritilsa, $tg\delta$ qiymati 2-2,5 marta ortadi, $tg\delta$ qiymati esa 2 marta kamayadi.

Sitalning dielektrik singdiruvchanligi 5-10 ga teng. Agar sital tarkibida segnetoelektrik faza (titanat, niobiy) mavjud bo'lsa, ϵ_r qiymati 2000 gacha ko'tariladi.

Sitalning $tg\delta$ qiymati chastota o'zgarishiga deyarli bog'liq emas. O'zgaruvchan elektr maydoni ta'sirida bo'lgan sitaldagi energiya isroflari elektr o'tkazuvchanlik va ion-relaksatsiya qutblanishi hisobiga sodir bo'ladi. Dielektrik isroflar materialning shishasimon fazasida sodir bo'lgani sababli, uning tarkibidagi ishqorli metall ionlarining miqdori kamaytirilishi kerak. Sitalda energiya isrofi shishaga nisbatan kamroq bo'ladi. Sital $tg\delta$ qiymatining chastotaga nisbatan o'zgarishi ion-relaksatsiya qutblanishi hisobiga sodir bo'ladi. Harorat ko'tarilishi bilan sitalning $tg\delta$ qiymati, elektr o'tkazuvchanlik ko'payishi hisobiga ortadi. Sital tuzilish jihatidan zich material bo'lib, uning tarkibida havo bo'shliqlari yo'q. Uning elektr mustahkamligi shisha va chinnilarning elektr mustahkamligidan yuqoridir.

Sitalning solishtirma og'irligi $2420-5700 \text{ kg/m}^3$ oralig'ida bo'ladi. Sitalning tarkibi mayda zarrachalardan iborat bo'lgani uchun u yuqori darajali gaz o'tkazmaslik va mexanik mustahkamlikka ega bo'ladi. Sital yuzasi tekis bo'lib, oson tozalanish xususiyatiga ega, uning yuzasini sirlash shart emas. Bu material metall bilan yaxshi birikadi. Yaxshi kristallangan, sitalning tashqi ko'rinishi tiniq

bo'lmaydi. Tiniq va yarim tiniq sitall kristallarining o'lchani kichik bo'ladi yoki kristallanish darajasi to'liq bo'lmaydi. Bu materialning kristallanish jarayonida hajmiy kichrayishi kichik (3% gacha) bo'lganligi sababli, undan aniq o'lchamga ega mahsulot olish mumkin.

Sitalning ishqalanishga chidamliligi yuqori bo'lganligi uchun undan tayyorlangan mahsulot yuzasi yemirilishga bardoshli bo'ladi. Mexanik mustahkamligi jihatidan sitall shishadan ustur turadi. Sitalning chiziqli kengayish koeffitsiyenti $-0,7 \cdot 10^{-6}$ dan $-30 \cdot 10^{-6}$ (grad)⁻¹ gacha oraliqda bo'ladi. Bu esa turli xil metall bilan sitalni yaxshi biriktirishga keng imkoniyat yaratadi.

Sitalarning metall bilan yaxshi birikishi, dielektrik xossalari va issiqqa chidamliligining yuqoriligi, ularning mikromodulli bosma shemalar asosida qo'llash imkonini beradi. Alangaga chidamliligi, yaxshi mexanik xossalari, yuqori darajali radioshafoqlik tufayli sitalni aylanadigan antenna o'tkazgichlarda ishlatish mumkin. Vakuumli elektron asboblarda sitaldan metall bilan zich biikuvchi material sifatida foydalaniladi. Sital yuqori harorat vakuum sharoitida ishlaydigan asbob qobiqlarida, reaktorlar va boshqaruv o'zaklarida ham ishlatiladi. ϵ_r qiymati yuqori bo'lgan sitalardan kichik hajmli kondensatorlar tayyorlanadi.

2.36. Slyuda va slyudali materiallar

Slyuda tabiiy va sintetik turlarga bo'linadi. Tabiiy slyudakristall strukturali, qatlamli tuzilishga ega mineraldir. Slyuda juda yaxshi dielektrik xossalarga, egiluvchanlikka va mexanik mustahkamlikka ega kimyoviy chidamli hamda issiqbardosh mineraldir. Kinyoviy tarkibi bo'yicha slyudaning turli xillari suvli alyuminiy sililati va ishqorli metall birikmalaridan iborat anizotrop materialdir. Slyuda kristallarida kislorod va kremniy hamda elementar qatlamlarnitashkil etuvchi alyuminiy va magniy ionlari o'zaro mustahkam bog'lan-yo'nalishida yuqori dielektrik xossalarga ega. U yupqa qatlamli, o'ta egiluvchan, yonmaydigan mineraldir. Texnikada tabiiy slyudaning ikki turi: muskovit va flogopitdan foydalaniladi.

Slyuda tabiatda juda kam yehraydigan qimmatbaho materialdir. Uning qtlam bo'yicha elektr izolyatsiya xossalari juda past, solishtirra hajmiy qarshiligi $10^6 \div 10^8$ Om·m qiymati muskovitda $11 \div 16$, flogopitda $23 \div 46$ atrofida bo'ladi. Slyudaning elektr o'tkazuvchanligiga namlik va harorat kuchli ta'sir etadi. Slyuda qayta o'tkazuvchanligiga namlik va harorat kuchli ta'sir etadi. Slyuda qayta ishlanib, undan mikanit, mikanitli tasma va mikafoliy ishlab chiqariladi. Ularni tayyorlash uchun qalinligi $5 \div 45$ mkm li slyuda ishlatilib, ularning yuzasi $4 \div 6$ sm² dan $50 \div 65$ sm² gacha o'zgartiriladi. Slyudaning erish harorati $1145 \div 1400^\circ\text{C}$ atrofida bo'lib, mazkur mineralning suvsizlanishi: muskovitda $200 \div 600^\circ\text{C}$, flogopitda esa $800 \div 900^\circ\text{C}$ da ro'y beradi.¹¹⁸

Slyudaning qutblanishi, asosan, ionli bo'ladi. Issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsiyenti muskovitda $0,44$ Vt/m·K, flogopitda $0,51$ Vt/m·K.

Mikanit-varaqsimon slyudali material bo'lib, u o'z navbatida argonik (gliftal) lok yoki anorganik bog'lovchi modda (eruvchan shisha) yordamida tayyorlanadi. Mikanit asosan kollektorli (elektr mashinakollektorlarida), quyma (elektr mashina kollektor konusida), egiluvchan (elektr mashina izolyatsiyasida) va qistirmali turlariga bo'linadi.

Nazorat uchun savollar

1. Tashqi elektr maydoni ta'sirida dielektriklarning qutblanishini tushuntirib bering?
2. Ikki nuqtaviy zaryadlar orasidagi mexanik ta'sir kuchi qanday yuz beradi.
3. Ikki metall qoplama orasiga dielektrik joylashtirilganda kondensator qoplamalari orasidagi erkin zaryadlar qanday aniqlanadi.
4. Qutbli va qutbsiz dielektriklar.
5. Dielektrik qutblanishning asosiy turlari.
6. Dielektriklarning elektr o'tkazuvchanligi.
7. Dielektrik orqali o'tayotgan ichki va yuza tok oqimlari.
8. Gazlarning elektr o'tkazuvchanligi.

¹¹⁸ T.K. Basak. Electrical engineering materials. New Age International, Nil edition. USA, 2009. 123-bet

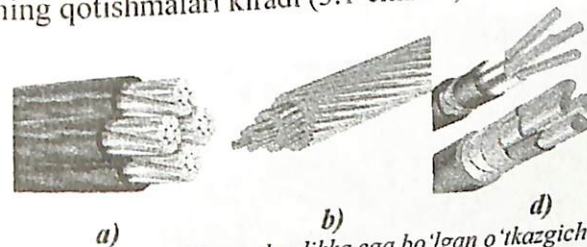
9. Suyuq dielektrlarda volt-amper xarakteristikasini tushuntirib bering.

10. Qattiq dielektrlarning elektr o'tkazuvchanligi.
11. Dielektrlarda energiya isrofi.
12. Dielektrlarning isrof burchagini aniqlash.
13. Gazsimon, suyuq va qattiq dielektrlardagi isroflar.
14. Gazlarda razryadlarning yuzaga kelishi.
15. Suyuq dielektrlarning teshilishi.
16. Qattiq dielektrlarning teshilishi.
17. Elektrkimyoviy teshilish.
18. Dielektrning namlanishi.
19. Dielektrning nam singdiruvchanligi.
20. Dielektrning mexanik xossalari.
21. Dielektrning fizik xossalari.
22. Izolyatsiyani namlikdan himoya qilish.
23. Dielektrlarning issiqlik xossalari.
24. Gazsimon dielektrlar va ularning qo'llanilish sohasi.
25. Suyuq holatdagi dielektrlar va ularning qo'llanilish sohasi.
26. Suyuq sintetik dielektrlar.
27. Organik dielektrlar.
28. Anorganik dielektrlar.

III bob. O'TKAZGICH MATERIALLAR

3.1. O'tkazgich materiallarning klassifikatsiyasi

Elektr toki o'tkazgichlari sifatida qattiq jismlar, suyuqliklar va ma'lum sharoitlarda esa gaz ham qo'llanilishi mumkin. Elektr texnikada qo'llaniladigan aksariyat qattiq o'tkazuvchi materiallarga metall va uning qotishmalari kiradi (3.1-chizma).



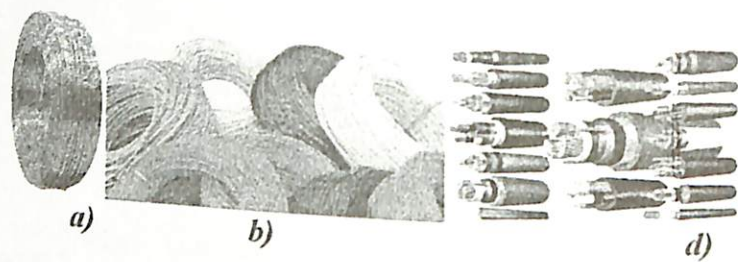
3.1-rasm. Yuqori elektr o'tkazuvchanlikka ega bo'lgan o'tkazgich materiallar

Yuqori elektr o'tkazuvchanlikka ega bo'lgan o'tkazgich materiallarga normal harorat sharoitida solishtirma qarshiligi $\rho \leq 0,05$ mkOm·m bo'lgan metallar kiradi. Normal haroratda solishtirma qarshiligi kamida 0,3 mkOm·m bo'lgan qotishmalar yuqori qarshilikka ega qotishmalar deyiladi.¹¹⁹ Yuqori o'tkazuvchanlikka ega metallar sim, tok o'tkazuvchi kabellarda, elektr mashinasi va transformatorlarning chulg'amlarida va boshqa asbob-uskunalarda ishlatiladi. Yuqori qarshilikka ega metall va qotishmalar rezistorlar, elektr isitkich asboblari, cho'g'lanma lampalarning tolalarini tayyorlashda foydalaniladi (3.2-rasm).

O'ta past (kriogen) haroratlarda solishtirma qarshiligi o'ta kichik bo'lgan materiallar – o'ta o'tkazgichlar va krio-o'tkazgichlar alohida ahamiyatga ega.

Suyuq o'tkazgichlarga erigan metallar hamda turli elektrolitlar kiradi. Bunga misol tariqasida suyuqlanish harorati - 39°C bo'lgan simobni keltirish mumkin (3.3-rasm).

¹¹⁹ T.K. Basak. Electrical engineering materials. New Age International, Nil edition. USA, 2009. 135-bet



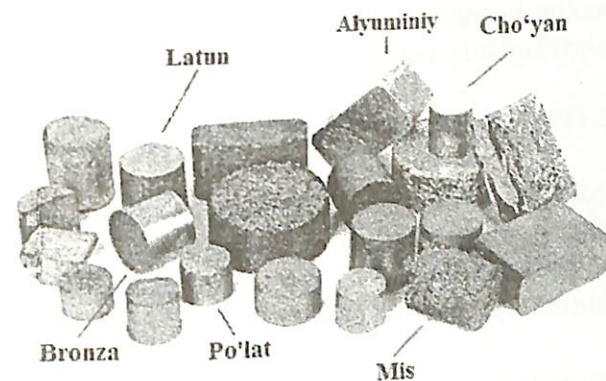
3.2-rasm. Yuqori elektr o'tkazuvchanlikka ega bo'lgan o'tkazgich materiallar



3.3-rasm. Suyuq o'tkazgichlar

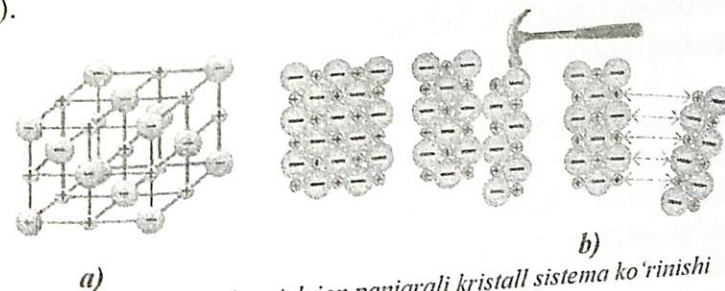
Qattiq va suyuq holatdagi metallardan elektr toki o'tish jarayoni elektr maydoni ta'sirida ozod elektronlarning tartibli haroratiga asoslanadi. Shu sababli, metallar elektronli elektr o'tkazgich yoki birinchi darajali elektr o'tkazgich yoki elektrolitlarga kislota, ishqor va tuzli eritmalar kiradi (3.4-chizma).

Mazkur moddalardan tok o'tishi, Faradey qonuniga asosan, elektr zaryadlari bilan birgalikda ionlarning siljishi bilan tushuntiriladi. Tok uzluksiz o'tishi jarayonida bunday elektrolit tarkibi asta-sekin o'zgaradi va elektrodalarda elektroliz mahsulotlari to'plana boradi. Erigan holatdagi ion kristallari ham ikkinchi darajali o'tkazgichlarga kiradi.



3.4-rasm. Qattiq o'tkazgich materiallar

Gaz yoki metall bug'i kuchsiz elektr maydonida o'zidan elektr tokini o'tkazmaydi. Agar elektr maydon kuchlanganligi o'zining urilish va fotoionlashish sodir qiladigan keskin qiymatidan o'tsa, gazlar elektronli va ionli elektr o'tkazuvchanlikka ega bo'ladi (3.5-chizma).



3.5-rasm. Qattiq o'tkazgich ion panjarali kristall sistema ko'rinishi

Qattiq o'tkazgich ion panjarali kristall sistema ko'rinishida bo'lib, ichki qismida ozod elektronlar joylashgan deb faraz qilinadi. Odatda, bu elektronlar issiqlik ta'sirida betartib, elektr maydoni ta'sirida esa aniq yo'nalish bo'yicha harakatlanadi. Elektronlar harakat davomida kristall panjara tugunlari bilan to'qnashishi natijasida ajralib chiqadigan energiya o'tkazgichning metall asosiga Joule-Lens qonuni keltirib chiqarilgan, ya'ni metallarda elektr o'tkazuvchanlik va elektr energiya isrofi tushuntirib berilgan. Bundan

tashqari, mazkur qonun metallarning elektr va issiqlik o'tkazuvchanliklari orasidagi bog'lanishni ham izohlaydi.¹²⁰

3.2. O'tkazgich materiallarning asosiy xossalari

Metallarning asosiy xossalari quyidagi jadvalda keltirilgan. O'tkazgich materiallarning xossalarini ifodalaydigan asosiy ko'rsatkichlar quyidagilardan iborat:

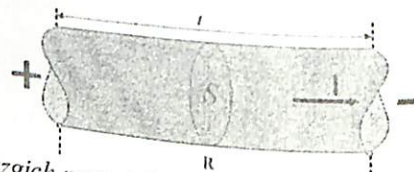
- 1) solishtirma qarshilik (ρ) yoki solishtirma o'tkazuvchanlik ($\gamma=1/\rho$);
 - 2) solishtirma qarshilikning harorat koeffitsiyenti ($TK\rho$) yoki $\alpha\rho$;
 - 3) issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsiyenti (γT);
 - 4) kontakt potentsiallar farqi va termoelektr yurituvchi kuch (TEYK);
 - 5) elektronlarning metaldan chiqish ishi;
 - 6) cho'zilishdagi mustahkamlik chegarasi (σ_r) va uzilish oldidagi nisbiy cho'zilish ($\Delta l/l$).
- O'tkazgichdagi tok zichligi va elektr maydon kuchlanganligi o'zaro quyidagicha bog'lanishga ega:

$$J=\gamma \cdot E$$

bunda: J - tok zichligi, A/m^2 ; γ - o'tkazgich materialining solishtirma elektr o'tkazuvchanligi, V/m .

Metallarda solishtirma o'tkazuvchanlik elektr maydoni kuchlanganligiga bog'liq bo'lmaydi. Solishtirma o'tkazuvchanlikka teskari kattalik solishtirma qarshilik ($\rho=1/\gamma$ deyilib, qarshiligi R uzunligi bir va o'zgarmas kesim yuzasi S bo'lgan o'tkazgich uchun u quyidagicha hisoblanadi (3.6-chizma):

$$\rho=R \cdot S/l \text{ Om} \cdot \text{m}.$$



3.6-rasm. O'tkazgich materiallarning solishtirma qarshiligini aniqlash

¹²⁰ Callister, William D., Materials science and engineering: an introduction, 7th ed. p.cm/ - Printed in the United States of America/ John Wiley & Sons, Inc. - 2007. 285-bet.

Metallarning klassik qonuniyatiga asosan metall o'tkazgichlarning solishtirma o'tkazuvchanligi quyidagichadir:¹²¹

$$\gamma=e_2 n_0 \lambda / 2 m v_{tr}$$

bunda: e - elektronning zaryadi; n_0 - metallning hajm birligidagi ozod elektronlar soni; λ - elektron erkin bosib o'tgan yo'lining o'rtacha uzunligi; v_{tr} - metaldagi ozod elektron issiqlik harakatining o'rtacha tezligi.

Metallarning asosiy xossalari

3.1-jadval¹²²

Metallarning nomi	Zichligi, $\times 10^3$, kg/m^3	Eriş harorati, $^{\circ}C$	Solishtirma issiqlik sig'imi, $J/kg \cdot K$	Chiziqli kengayishi $TK, \times 10^{-6} K^{-1}$	Solishtirma qarshilik, $m \cdot \text{Om} \cdot m$	Elektronlarning chiqishi eV	Qayishqoqlik moduli, GPa
Simob	13,60	-38,9	138	61,0	0,958	4,5	-
Seziy	1,87	26,5	234	95,5	0,210	1,9	1,8
Talliy	5,91	29,7	381	18,0	0,560	-	-
Kaliy	0,87	63,7	753	80,0	0,09	2,2	-
Natriy	0,97	97,6	1260	70,0	0,046	2,3	10
Indiy	7,28	156,0	243	25,0	0,090	-	4,9
Litiy	0,53	186,0	3620	-	0,120	4,4	54,0
Qalay	7,31	232,0	226	23,0	0,076	4,0	62,3
Kadmiy	8,65	321,0	230	30,0	0,210	-	15,7
Qo'rg'oshin	11,4	32,0	130	29,0	0,059	-	92,2
Rux	7,14	420,0	90	31,0	0,045	3,6	44,3
Magniy	1,74	651,0	1040	26,0	0,028	4,3	70,8
Alyuminiy	2,7	657,0	922	24,0	0,028	4,3	70,8

¹²¹ T.K. Basak. Electrical engineering materials. New Age International, Nil edition. USA, 2009. 139-bet
¹²² Callister, William D., Materials science and engineering: an introduction, 7th ed. p.cm/ - Printed in the United States of America/ John Wiley & Sons, Inc. - 2007. 312-bet.

Bariy	3,5	710,0	268	17,0	0,500	-	12,6
Kumush	10,5	961,0	234	19,0	0,016	4,4	80
Oltin	19,3	1063	126	14,0	0,024	4,8	77,5
Mis	8,94	1083,0	385	16,0	0,017	4,3	129
Berilliy	1,85	1284,0	200	13,0	0,04	3,9	287
Nikel	8,9	1455,0	444	13,0	0,073	5,0	196
Kobalt	8,71	492,0	435	12,0	0,062	-	200
Temir	7,87	1535,0	452	11,0	0,098	4,5	211
Palladiy	12,1	1554,0	243	12,0	0,110	-	121
Titan	4,5	1724,0	577	8,1	9,480	-	104
Xrom	7,1	1850,0	-	6,5	0,210	-	245
Platina	21,4	1770,0	134	9,0	0,105	-	170
Toriy	11,5	1850,0	113	11,2	0,186	3,3	79,2
Sirkoniy	6,5	1860,0	276	5,1	0,410	3,7	68,4
Iridiy	22,5	2350,0	-	-	-	-	528
Niobiy	8,57	2410,0	272	7,2	0,140	4,1	100
Molibden	10,2	2620,0	264	5,0	0,057	4,2	294
Tantal	16,7	2850,0	142	6,5	0,35	4,1	177
Reniy	20,5	3180,0	138	4,7	0,210	4,8	405
Volfram	19,3	3380,0	218	4,4	0,055	4,5	407

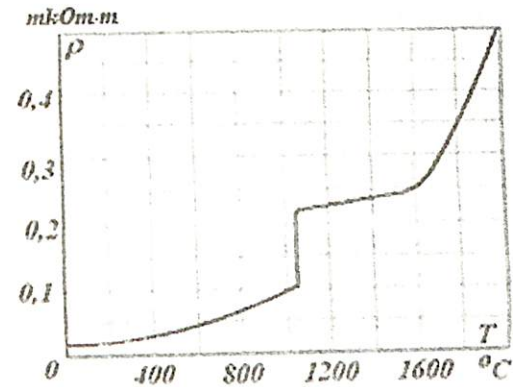
Turli xil metallar uchun elektronlarning betartib issiqlik harakat tezligi v , taxminan bir xildir. Shu sababli, solishtirma o'tkazuvchanlik qiymati elektronlar erkin bosib o'tgan yo'lining o'rtacha tezligi va o'tkazgich materialining tuzilishiga bog'liq bo'ladi.

Nisbatan to'g'ri kristall panjarali sof metallarning solishtirma qarshiligi eng kichik qiymatga ega. Agar metall tarkibiga qo'shimcha kiritilsa, uning kristall panjarasi deformatsiyalanib, ρ qiymatining o'sishiga olib keladi.

Harorat ko'tarilishi natijasida metall o'tkazgichdagi zaryad eltuvchilar soni (ozod elektronlar konsentratsiyasi) o'zgarmay qoladi. Lekin kristall panjara tugunlari tebranishining kuchayishi tufayli elektr maydoni ta'siri natijasida harakatlanayotgan ozod elektronlar tobora ko'proq to'siqlarga duch keladi, ya'ni λ kamayadi (3.1-chizma). Bunda elektronlarning siljuvchanligi pasayadi, natijada metallning solishtirma o'tkazuvchanligi kamayadi va solishtirma

qarshiligi ortadi. Binobarin, metall solishtirma qarshiligining harorat koeffitsiyenti:

$$TK_{\rho} = \alpha_{\rho} = (1/\rho)(d\rho/dT).$$



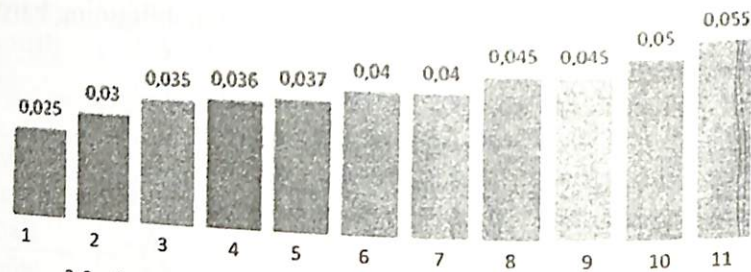
3.1-chizma. Metall o'tkazgich solishtirma qarshiligi va harorat o'zgarish grafigi

Agar harorat kichik oraliqda o'zgarsa, ρ qiymatining haroratga bog'liqligi quyidagicha bo'ladi:

$$\rho_2 = \rho_1 [1 + \alpha_{\rho}(T_2 - T_1)],$$

bunda: ρ_1, ρ_2 - o'tkazgichning T_1, T_2 haroratdagi solishtirma qarshiliklarining qiymatlari ($T_2 > T_1$); α_{ρ} - solishtirma qarshilikning o'rtacha harorat koeffitsiyenti.

Metallar (masalan, mis) qattiq holatdan suyuq holga o'tganida ularning solishtirma qarshiliklari ortadi. Metall qotishmalari tarkibiga qo'shimcha kiritilishi oqibatida ularning tarkibi buziladi va solishtirma qarshiligi ortadi. Ikki metallni birgalikda eritib, so'ng sovitsa, ular kristallanadi va bir metall atomlari ikkinchisining kristalli panjarasiga kiradi. Egri chiziqning yuqori qiymati qotishma birikmalarining ma'lum nisbatiga to'g'ri keladi. Bu holatda α_{ρ} koeffitsiyenti ham ma'lum qonuniyat bo'yicha o'zgaradi. α_{ρ} koeffitsiyenti sof metallarda nisbatan yuqori bo'ladi (3.2-chizma).



3.2-chizma. Turli xil metallarning issiqlik o'tkazuvchanligi

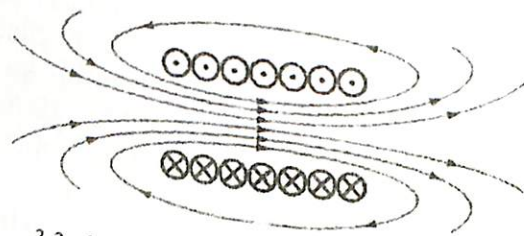
Odatda metallarning issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsiyenti dielektrik issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsiyentiga nisbatan yuqori bo'ladi. Bu metallarda ozod elektronlar mavjudligi bilan isbotlanadi. Harorat oshirilganda metaldagi elektronlarning siljuvchanligi va ularning solishtirma o'tkazuvchanligi kamayadi, natijada metall issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsiyentining uning solishtirma o'tkazuvchanligiga nisbatan (γ_w/γ) shubhasiz, ortadi. Bu matematik tarzda Videman-Frans-Lorens qonuni bilan ifodalanadi.¹²³

$$\gamma_w/\gamma = L_0 T,$$

bunda: T - termodinamik harorat, K ; L_0 - Lorens soni.

$$L_0 = \pi^2 k^2 / 3 l^2.$$

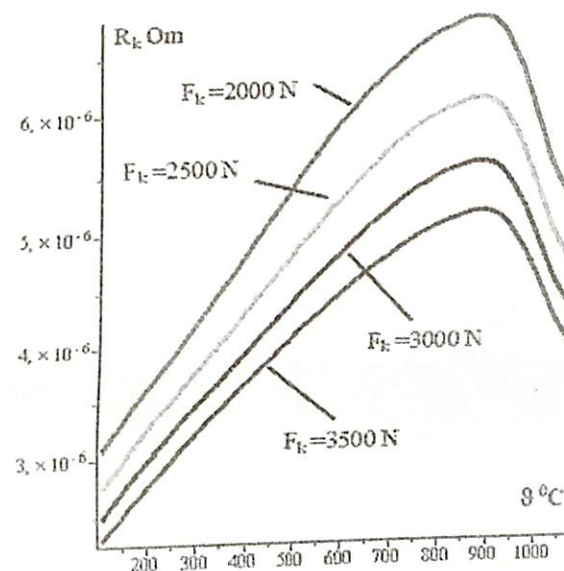
Agarda $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$ J.K, $l = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Kl qiymatlarni yuqoridagi formulaga qo'ysak, $l_0 = 2,45 \cdot 10^{-8}$ V²/K² ekanligi kelib chiqadi (3.3-chizma).



3.3-chizma. Videman-Frans-Lorens qonuni

¹²³ Callister, William D., Materials science and engineering: an introduction, 7th ed. p. cm/ - Printed in the United States of America/ John Wiley & Sons, Inc. - 2007. 341-bet.

Videman-Frans-Lorens qonuni aksariyat metallar (marganes va berilliydan tashqari) uchun taalluqlidir. Normal haroratda alyuminiy uchun $l_0 = 2,45 \cdot 10^{-8}$ - kumush uchun $2,35 \cdot 10^{-8}$, ruh uchun $2,45 \cdot 10^{-8}$, qo'rg'oshin va qalay uchun $2,5 \cdot 10^{-8}$, platina uchun $26 \cdot 10^{-8}$, temir uchun $2,9 \cdot 10^{-8}$, V²/K² ga teng (3.4-chizma).



3.4-chizma. Kontakt yuza harorati va kontakt qarshilik orasidagi o'zgarish grafigi

Ikki turli xil metall o'tkazgichlar bir-biriga tekkizilganda, ular orasida kontakt potentsiallar farqi sodir bo'ladi. Buni turli xil metallar uchun elektronlarning chiqish ishi qiymatlari va ulardagi elektron konsentratsiyalarining har xil bo'lishi bilan tushuntirish mumkin. A va V metallar orasidagi kontakt potentsiallar farqi.¹²⁴

$$U_{AV} = U_V - U_A + kT/l (\ln(n_{0A}/n_{0V})),$$

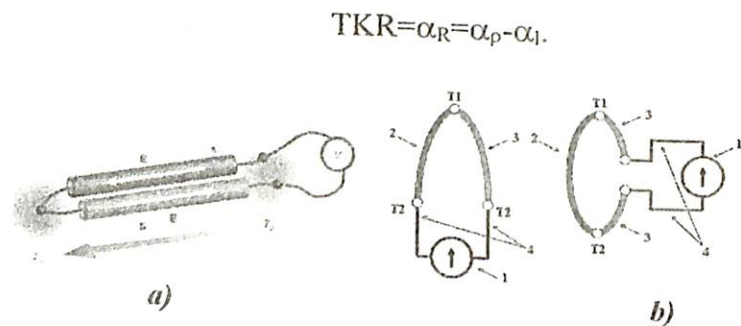
Bunda: U_A , U_V - bir-biriga tutashgan metallarning potentsiallari; n_{0A} , n_{0V} - A va V metallardagi elektronlar konsentratsiyasi; k - Bolsman

¹²⁴ Bijay_Kumar Sharma, Electrical and Electronic Materials Science./ - OpenStaxCNX./ Indiya - 2014, 86-bet.

doimiysi; l - elektron zaryadining mutloq qiymati. Turli ikki xil metall yoki qotishma simlaridan tashkil topgan va bir-biriga uch qismidan payvandlash natijasida olingan sim *termopara* deyiladi va u, asosan, muhit haroratini o'lchashda ishlatiladi.

Termopara tayyorlashda TEYU katta va barqaror simlar qo'llaniladi.¹²⁵

O'tkazgichlarning chiziqli kengayish koeffitsiyenti bir-biriga biriktiriladigan turli materiallar, vakuumli uskunalarda ulanadigan qismlarni zichlashda kerak bo'ladi. O'tkazgichlarning elektr qarshiligining harorat koeffitsiyentini hisoblashda ham mazkur koeffitsiyentdan foydalaniladi:

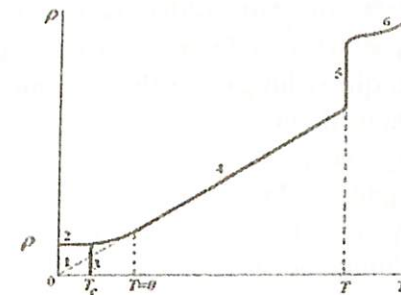


3.7-rasm. Termopara

Normal haroratda oson eruvchan metallarda α_ρ qiymati nisbatan yuqori bo'ladi (3.7-rasm).

3.3. O'tkazuvchanlik xususiyati yuqori bo'lgan materiallar

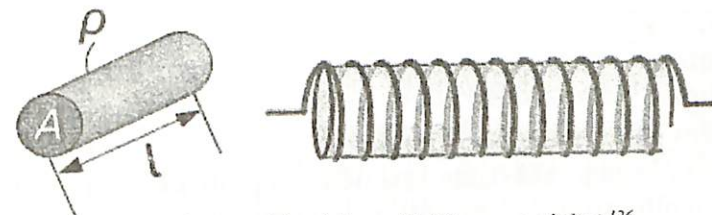
Elektr o'tkazuvchanligi yuqori bo'lgan materiallarning solishtirma qarshiligi nisbatan kichik bo'ladi. O'tkazgichdan tok o'tayotganda bunday materiallarda energiya isrofi ham ancha kam bo'ladi. Ana shunday xususiyatlar tarkibida qo'shimchalar bo'lmagan sof metallarga xosdir (3.5-chizma).



3.5-chizma. Metall solishtirma qarshiligini haroratga bog'liqligi

Kumush solishtirma qarshiligi eng kichik ($\rho=0,016$ mkOm·m) metallidir. Kumushning oksidlanishga chidamliligi yuqoridir. Kumushning narxi yuqori bo'lganligi sababli, undan faqat noiloj hollardagina foydalaniladi.

Elektr texnikada qo'llaniladigan asosiy o'tkazgich materiallaridan biri *mis* hisoblanadi. U tabiatda keng tarqalgan material bo'lib, mexanik mustahkamlikka va yaxshi o'tkazuvchanlikka egadir. Misning ρ qiymati kumushnikiga nisbatan biroz yuqoridir. Elektr texnikada asosan "Elektrolitik" misdan foydalaniladi.



3.8-rasm. Metalning solishtirma qarshiligi¹²⁶

Bunday mis elektroliz usuli bilan yaxshilab tozalanish natijasida uning tarkibidagi qo'shimchalar miqdori 0,05-0,07% dan ortmaydi. Xalqaro standartga muvofiq tozalangan misning normal sharoitdagi solishtirma o'tkazuvchanligi 58mkSm/m, ya'ni $\rho=0,017241$ mkOm·m bo'lishi kerak.

¹²⁶ Joyta.ru

Sanoat sharoitida mis sim ishlab chiqarish jarayonida qattiq mis(QM) uchun $\rho \approx 0,0178$ mkOm·m, yumshog'i (YuM) uchun $\rho \approx 0,0175$ mkOm·m qilib olingan. Ushbu simning mexanik xossalari quyidagi jadvalda keltirilgan.¹²⁷

Agar metalning σ qiymati katta va $\Delta l/l$ qiymati kichik bo'lsa, zarur mexanik mustahkamlikni ta'minlash uchun materialning kesim yuzasini kichikroq olsa ham bo'ladi. Tozalangan mis simlarni tayyorlashda metalning mexanik xossalari hisobga olinadi. Qattiq misning egiluvchanlik chegarasi 300 MPa ga to'g'ri keladi, bu esa mazkur metaldan elektr o'tkazuvchi prujina tayyorlash imkonini bermaydi. O'tkazgich materiallarning mexanik xossalarini yaxshilash maqsadida mis qotishmalari (jez va bronza) dan foydalaniladi.

O'tkazuvchanlik xususiyati yuqori bo'lgan materiallar

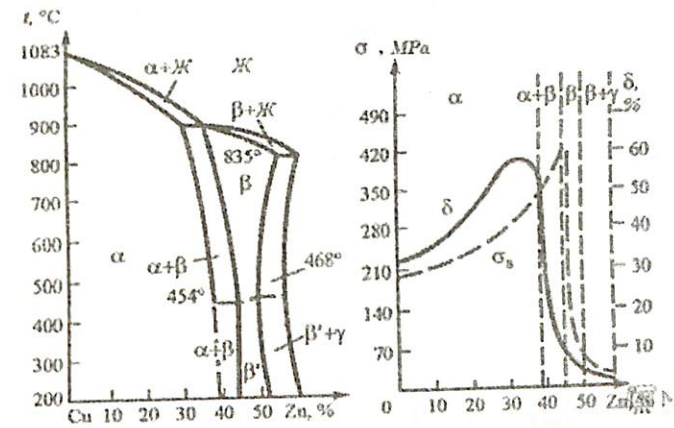
3.2-jadval

Ko'rsatkich	Mis		Alyuminiy	
	QM	YuM	QA	YuA
1	2	3	4	5
Cho'zilishdagi mustahkamligi, MPa	250-500	200-280	160/170	80
Nisbiy uzayishi, %	0,5-2,5	18-35	0,5-20	10-25
Solishtirma qarshiligi mkOm·m	0,0179-0,0182	0,01754	0,0283	0,0280
Statik qayishqoqlik moduli, GPa	122-132	177	72	66

Jez – mis bilan ruxning birikishidan hosil bo'lgan qotishma. Bunday material shtampovkalash ancha qulaydir (3.9-chizma). Jezning ba'zi maxsus turlariga qirqish usuli bilan ishlov beriladi. Jezning turiga qarab undagi ruh miqdori 10÷40% atrofida bo'ladi.

¹²⁷ Callister, William D., Materials science and engineering: an introduction, 7th ed p.cm/ - Printed in the United States of America/ John Wiley & Sons, Inc. - 2007. 352-bet.

Jezning solishtirma qarshiligi sof misnikidan yuqori bo'lib, bu qiymat $0,04 \div 0,35$ mkOm·m ni tashkil etadi.¹²⁸



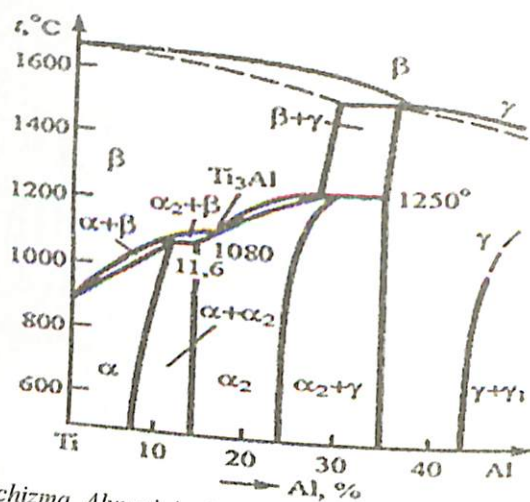
3.9-chizma. Jezning harorat va bosimga bog'liqligi

Bronza asosan mis bilan qalay birikmasidan tashkil topgan qotishma bo'lib, o'tkazuvchi prujina tayyorlash maqsadida uning maxsus fosforli (0,05÷0,1% P, 3-7% Sn, 2,5% Al, 2% Zn) va boshqa turlari qo'llaniladi. Bronzaning mexanik mustahkamligi $\sigma_r = 800 \div 1200$ MPa ga yaqin bo'lib, bu qiymat qattiq misning qiymatidan ikki barobar yuqoridir. Berilliyli bronza (2,25% Be) nisbatan egiluvchan bo'lib, uning σ_r qiymati 1350 MPa gacha ko'tariladi. Bronzaning aksariyat turlarida $\rho = 0,03 \div 0,22$ mkOm·m bo'ladi. Kadmiyli bronzaning (0,9÷1,0% Cd) solishtirma qarshiligi $0,019 \div 0,21$ mkOm·m, cho'zilishdagi mustahkamligi $650 \div 700$ MPa bo'lib, uning yedirilishga chidamliligi nisbatan yuqoridir. Mazkur turdagi bronza elektr tortgich simlari va ko'tarma kranlar uchun mo'ljallangan simlarni tayyorlashda ishlatiladi.

Alyuminiy o'zining elektr o'tkazuvchanlik xususiyati jihatidan misdan keyingi o'rinda turadigan o'tkazuvchi materialdir. Qattiq alyuminiyning mexanik mustahkamligi yumshoq alyuminiyga 2 barobar ortiq, solishtirma qarshiligi esa 60% dan yuqoridir. Mis bilan

¹²⁸ Bijay_Kumar Sharma., Electrical and Electronic Materials Science / - OpenStax/CNX/ Indiya - 2014, 93-bet.

bir xil o'tkazuvchanlikka ega bo'lishi uchun alyuminiy simining ko'ndalang kesim yuzasini 60% oshirish talab qilinadi. Bu esa alyuminiy ishlatilgan elektr mashina va jihozlarning hajmi va tannarxi nisbatan katta bo'lishiga olib keladi (3.10-chizma).



3.10-chizma. Alyuminiyning harorat va bosimga bog'liqligi

Havo orqali elektr uzatgichlarda alyumin-po'lat simlari keng miqyosda qo'llaniladi. Bunday simning o'zagi bir-biriga o'ralgan po'lat simlardan iborat bo'lib, uning ustidan esa alyuminiy simlari o'raladi. Mazkur simlarda mexanik kuchlanish po'lat, elektr kuchlanishi esa alyuminiy materiallari zimmasiga tushadi. Qog'ozli va pardali kondensator tayyorlashda izolyatsiya qatlamlari orasida 5-10 mkm qalinlikka ega yupqa alyuminiy zarvaraqlari ishlatiladi. Sof alyuminiydan (tarkibidagi alyuminiy (99,95÷99,99%) tayyorlangan zarvaq elektrolitik kondensatorlarda ishlatilib, izolyatsiya materiali sifatida esa mazkur zarvaraqlar sirtiga alyuminiy oksidi yuritiladi. Bunday izolyatsiya qatlamining qalinligi o'zining juda ham kichik qiymati bilan ajralib turadi.¹²⁹

Alyuminiy tarkibiga ba'zi boshqa elementlar kiritilishi orqali nisbatan yuqori mexanik mustahkamlikka ega va o'tkazuvchanligi deyarli o'zgarmagan ($\rho \approx 0,03-0,032$ mkOm·m) metall olish mumkin.

¹²⁹ T.K. Basak. Electrical engineering materials. New Age International, Nil edition. USA. 2009. 158-bet

Bunga misol qilib aldrey ($0,5 \div 0,7\%$ Mg, $0,5 \div 0,6\%$ Si, $0,3\%$ Fe, qolgani Al) materialini keltirish mumkin.

Temir o'tkazuvchi material sifatida narxi arzonligi va yuqori mexanik mustahkamligi bilan ajralib turadi.

Xatto sof temirning ham solishtirma qarshiligi mis va alyuminiyga nisbatan ancha yuqori ($\rho = 0,1$ mkOm·m) bo'lib, mazkur qarshilik o'zgaruvchan tok ta'sirida yanada ortadi. Temir (po'lat) simlarning asosiy kamchiligi korroziyaga bo'lgan chidamsizligidir. Shu sababli, bunday simlar sirti himoya qoplamasi (rux pardasi) bilan qoplanadi. Sof temirning mexanik mustahkamligi nisbatan past bo'lganligi uchun, aloqa va elektr uzatgichlarda (qishloq sharoitida) tarkibida $0,1-0,35\%$ uglerod, cho'zilishdagi mustahkamligi $700 \div 750$ MPa bo'lgan yumshoq po'lat ishlatiladi. Bunday po'lat, asosan, kichik quvvatli havo elektr uzatgichlarning simlari sifatida ishlatiladi. Po'latdan o'tkazuvchi material sifatida tramvay va elektrlashtirilgan temir yo'l (metro)da rels ko'rinishida foydalaniladi.

O'tkazuvchan bimetall (qo'shmetall) – sirtiga bir tekis qilib mis qoplangan po'lat simdir. Bunday sim tarkibidagi mis miqdori $44-45\%$ bo'lib, simning solishtirma qarshiligi $0,03 \div 0,04$ mkOm ga teng. Bimetall simlarning tashqi diametri $1 \div 4$ mm, σ , ning o'rtacha qiymati (simning butun kesimi bo'yicha) $550 \div 700$ MPa, $i = \Delta l / l \approx 21\%$ bo'ladi. Bir kilometr uzunlikdagi bunday simning diametriga nisbatan qarshiligi (normal sharoitda va o'zgarmas tokda) 60 Om/km ni ($d = 1$ mm bo'lganda) va 4 Om/km ($d = 4$ mm bo'lganda) ni tashkil etadi. Bunday simlar elektr va aloqa liniyalarida ishlatiladi.

3.4. Nometall o'tkazgichlar

Qattiq nometall o'tkazgichlar orasida uglerod asosidagi materiallar muhim ahamiyatga egadir. Uglerodning allotropik o'zgargan shakllari bo'lib, bunda olmosdagi uglerod atomlari tetraedr ko'rinishida bir-biridan aniq masofada ($2,5 \text{ \AA}$) joylashadi, grafitdan ular bir tekislikda yotib, tomonlari $2,5 \text{ \AA}$ li olti burchak hosil qiladi; mazkur tekisliklar orasidagi masofa ($3,4 \text{ \AA}$) atomlar orasidagi masofadan kattadir. Shu sababli, grafit atomlari orasidagi bog'lanish nisbatan bo'shlig'i natijasida, elektronlarning bir qismi ozod

bo'lishiga imkon yaratiladi. Grafitning solishtirma qarshiligi 10 mkOm-m, ya'ni nixromnikidan 10 marta yuqoridir.¹³⁰

Kavsharlar uchun mo'ljallangan flyuslar

3.3-jadval

Belgilanishi	Tarkibi	Qo'llanilishi
F370A	33-37% xlorli kaliy, 40-41% xlorli litiy, 27-29% bor-ftor- vodorodli qalay	Alyuminiy va uning qotishmalarini biriktirishda
F800St	100% tetraborli natriy	Zanglamaydigan po'lat, jez va uning qotishmalarini biriktirishda
FX	28% xlorli kaliy, 35% xlorli natriy, 30% ftorli alyuminiy	Berilliyli bronzani biriktirishda
FSH	28% xlorli ruh, 7% xlorli alyuminiy, 5% glitserin, 60% etil spirti	Mis va uning qotishmalari, kovar va ruh qoplamali metallarni biriktirishda

Uglerod amorf holatda bo'lishi yoki mayda kristallardan tashkil topishi mumkin. Yupqa qatlamli uglerodda $\rho = 50-55$ mkOm-m, $\alpha_r = (200-500) \cdot 10^{-6}$ grad⁻¹ bo'ladi. Uning yupqa qatlamidan foydalanib (vakuumda 900-1000°C da parchalab), sopol o'zak sirtida qiyamati 30-50 kOm bo'lgan kichik hajmli qarshiliklar olinadi. O'zakning uglerodlangan sirti qayroq tosh yordamida spiralsimon qilib o'yiladi va kerakli kenglik (uzunlik)da ma'lum qarshilikka ega qatlam olinadi (3.4-jadval). O'zakning uchlariga kontaktli qalpoqchalar kiygiziladi va ular yuzasi yupqa lok qatlami bilan qoplanadi.

¹³⁰ Bijay Kumar Sharma, Electrical and Electronic Materials Science. / - OpenStaxCNX. / Indiya - 2014, 105-bet.

Silit uglerod, sof kremniy va kremniy karbidi aralashmasidan olinib, undan ish harorati 1500°C ga mo'ljallangan, ρ qiymati 0,001-0,01 Om-m li o'zaklar tayyorlanadi.¹³¹

Uglerodli materialdan elektr mashinalarning cho'tkasi, proyektor uchun elektrodlar, galvanik element anodlari kabi detallar yasaladi. Ko'mir kukuni mikrofonlarda tovush bosimiga qarab o'zgaradigan qarshiliklar tayyorlashda ishlatiladi. Elektrod o'zaklar olish uchun mahsulot maydalangan bog'lovchi xomashyo (qatron, suyuq shisha) bilan aralastirilib, bosim ostida ishlov beriladi. So'ngra u pishirish jarayonini o'taydi. Pishirish jarayoni oddiy elektr mashina cho'tkalarini tayyorlashda 800°C da, grafitlangan cho'tkalarni tayyorlashda esa 2200°C da amalga oshiriladi.

Ko'mir elektrodning parametrlari

3.4-jadval

Elektrod turi	Zichligi, $\times 10^3$ kg/m ³	Solishtirma qarshiligi, mkOm-m	Massaga nisbatan kukuni %	Cho'zilishdagi mustahkamlik, σ_r MPa	Siqilishdagi mustahkamlik, MPa
Ko'mirli	1,5	50	5-12	700-1100	2300-4100
Grafitlangan	2,0	15	0,03-0,2	600-700	200-500

Cho'tkalar elektr mashinasining aylanuvchan va qo'zg'almas qismlari orasida elektr kontakt hosil qilib beradi. Ular ko'mir-grafitli (KG), grafitli (G), elektr grafitlangan (EG), mis-grafitli (MG) turlarga bo'linadi.

Chiziqli bo'lmagan va simsiz rezistorlarda o'tkazgich materiali sifatida tabiiy grafit qorakuyasi, pirolitik uglerod hamda yuqori qarshilikka ega metall qotishmalari qo'llaniladi. (3.5-jadval).

¹³¹ Callister, William D., Materials science and engineering: an introduction, 7th ed.p.cm/ - Printed in the United States of America/ John Wiley & Sons, Inc. - 2007. 405-bet.

Qurum mayda dispersli uglerod bo'lib, unga lok qo'shilganda solishtirma qarshiligi kichik mahsulot hosil bo'ladi. Undan yuqori kuchlanishli elektr mashinalarida elektr maydonini tekislashda foydalaniladi.

Grafit va pirolitik uglerod parametrlari

3.5-jadval

Material	Zichligi, $\times 10^3$ kg/m ³	Solish- tirma qarshili- gi, mk Om·m	Solishtirma qarshiliklar- ning harorat koeffitsiyenti, $10^4, K^{-1}$	Chiziqli kengayish harorat koeffitsiyen- ti, $10^6, K^{-1}$
Polikristalli graft	2,26	8	-10	7,5
Monokris- talli grafit: bazi tekis- liklari yo'- nalishida	2,24	0,4	-9	6,6
Bazi tekis- liklariga ko'ndalang yo'nalishda	2,24	100	-400	2,6
Pirolitik uglerod	2,10	10-50	-2	6,5-7,0

Nazorat uchun savollar

1. Rangli metallardan asosan nima maqsadlarda foydalaniladi?
2. Alyuminiy samolyotsozlikda nima maqsadda qo'llaniladi?
3. Sharoviy tegirmoni nima uchun ishlatiladi?
4. Alyuminiy oksiddan alyuminiy qanday ajratib olinadi?
5. Vanna tubiga qanday alyuminiy yig'iladi?
6. 1 gruppaga qanday alyuminiy kiradi?
7. Korroziyaga chidamli bo'lgan pardaning vazifasi nimadan iborat?
8. Elektrolitni qizish temperaturasi qancha?
9. Titanni briket tarzidan nechta bosqichga ajratiladi?
10. Xomaki mis tarkibida qanday moddalar bor?

IV bob. YARIM O'TKAZGICH MATERIALLAR

4.1. Yarim o'tkazgichlar haqida umumiy ma'lumotlar

Normal haroratdagi solishtirma qarshiligi o'tkazgichlarnikidan katta, biroq dielektriklarnikidan kichik bo'lgan materiallar yarim o'tkazgichlar deb ataladi. Bu turkumga elektron elektr o'tkazuvchanlikka ega va solishtirma qarshiligi $10^{-6}-10^{+8}$ Om·m bo'lgan materiallar kiradi. Yarim o'tkazgichlardagi elektronlar soni boshqa materiallarga nisbatan ancha kam bo'ladi. Yarim o'tkazgichlarning elektr o'tkazuvchanligi tashqi energetik ta'sirga va mazkur jism tarkibidagi qo'shimchalarga ko'p jihatdan bog'liqdir. Yarim o'tkazgichning elektr o'tkazuvchanligi boshqarish harorati, nur, elektr va magnit maydoni, mexanik kuchlanishga asoslangandir.

Yarim o'tkazgichlarda elektr o'tkazuvchanlikning ikki: elektron (n) va elektron-teshik (p) turi mavjud bo'lib, ular jismda $p-n$ o'tishini vujudga keltiradi. Bunday jismlarga katta va kichik quvvatga ega turli xildagi elektr to'g'rilagich, kuchaytirgich va generatorlar misol bo'la oladi. Ulardan boshqariladigan, turli xil murakkab moslamalarda keng miqyosda foydalaniladi. Amalda qo'llanilayotgan yarim o'tkazgichlar, asosan, oddiy (ularning tarkibi bitta kimyoviy element atomlaridan tashkil topgan) va murakkab (ularning tarkibi ikki yoki undan ortiq kimyoviy elementlarning atomlaridan tashkil topgan) xillarga bo'linadi.¹³²

Yarim o'tkazgichli o'zgartkichlar turli ko'rinishdagi energiya (issiqlik, yorug'lik)ni elektr energiyasiga aylantirib beradi. Yarim o'tkazgichli o'zgartkichlarga misol tariqasida quyosh batareyasi va termoelektrik generatorlarni keltirish mumkin. Past o'zgarmas kuchlanishdagi rekombinatsiyali chaqnash (elektron-teshikli o'tishga asoslangan) nur uzatish manbau va hisoblash mashinalarining axborot chiqarish qurilmalarida ishlatiladi.

Yarim o'tkazgichlardan isitkich asboblarda, radioaktivli nur indikatorlarida va magnit maydon kuchlanganligini o'lchashda

¹³² T.K. Basak. Electrical engineering materials. New Age International, Nil edition, USA, 2009. 161-bet

foydalaniladi. Hozirgi davrda shishasimon va suyuq yarim o'tkazgichlar o'rganilmoqda. Oddiy yarim o'tkazgichlarning (4.1-jadval) texnikada keng qo'llaniladiganlariga kremniy, germaniy va selen kiradi. Murakkab yarim o'tkazgichlar Mendelejev davriy jadvalidagi turli guruh elementlari birikmasidan, masalan, $A^{IV} B^{IV}$ formulali (SiC), $A^{III} B^V$ (JnSb, CaAs, CaP), $A^{II} B^{VI}$ (CdS, ZnSe) elementlar birikmasidan, shuningdek, ba'zi oksidlar (Cu_2O) dan iborat. Yarim o'tkazgichli kompozitsiyalarga (tirit, silit), sopol bilan birikkan kremniy karbid (SiC) va grafitli yarim o'tkazgichlar misol bo'la oladi.

Yarim o'tkazgich ishlatilgan asbob-uskunalar xizmat muddatining yuqoriligi, hajmi va og'irligining nisbatan kichikligi, oddiy va ishonchli ishlashi, iqtisodiy samaradorligi va boshqa sifatleri bilan ajralib turadi.¹³³

Oddiy elektron yarim o'tkazgichlar

4.1-jadval

Element	Mendelejev jadvalidagi guruhi	Ta'qiq zonasi-ni kengligi, eV	Element	Mendelejev jadvalidagi guruhi	Ta'qiq zonasi-ni kengligi, eV
Bor	III	1,10	Oltin-gurt	VI	1,50
Kremniy	IV	1,2	Selen	VI	1,70
Germaniy	IV	0,7	Tellur	VI	0,36
Fosfor	V	1,50	Yod	VII	1,25
Mishyak	V	1,20			

¹³³ Callister, William D., Materials science and engineering: an introduction, 7th ed.p.cm/ - Printed in the United States of America/ John Wiley & Sons, Inc. - 2007. 463-bet.

4.2. Yarim o'tkazgichning o'tkazuvchanligi

Jism o'z agregat holatini o'zgartirganda atomlarning energetik holatlari tashqi ta'sir orqali bir-biriga nisbatan siljiydi va ko'p miqdordagi energetik zonalar vujudga keladi. Dielektrik, yarim o'tkazgich va o'tkazgichlarning energetik diagrammalari bir-biridan keskin farq qiladi. Bu farq ulardagi ta'qiq zonalarining o'lchami bilan belgilanadi. Har bir jismning atomi o'zining aniq spektr chizig'iga ega. Turli atomlar o'zining aniq energetik holatiga ega bo'lib, ular bir energetik holatdan ikkinchisiga o'tganda kvant chiqaradi yoki yutadi. Agar atom katta energetik holatdan kichikrog'iga o'tsa, u o'zidan energiya ajratib chiqaradi va nurlanish sodir bo'ladi, aksincha bo'lganida esa, atom energiyani yutadi.

Shunday qilib, atom tashqi energetik ta'sir orqali o'z holatini o'zgartiradi.

Yarim o'tkazgichlarning ta'qiq zonalarini o'tkazgich va dielektriklarning ta'qiq zonalarini oralag'ida joylashib, mazkur zona ancha kichik va yengib o'tish uchun ma'lum darajali energetik ta'sir yetarlidir. Agar tashqi ta'sir etayotgan maydon energiyasi ta'qiq zonadagi elektronlarning energiyasi darajasiga yetsa, yarim o'tkazgichlarda elektr o'tkazuvchanlik sodir bo'ladi.

To'latilgan (valent) zonadan elektron ketishi bilan uning o'rnida teshik hosil bo'ladi va bu teshik ekvivalent musbat zaryad sifatida maydon yo'nalishi bo'yicha siljiydi. Bu siljish elektronlarning maydonga teskari harakati natijasida ro'y berib, teshiklar siljiyotgan elektronlar bilan to'latiladi. Harorat ortishi bilan yarim o'tkazgichda ozod elektronlar soni ko'paya boradi, harorat mutloq nolga yaqinlashganda esa ularning soni nolgacha kamayadi. Agar yarim o'tkazgichda ozod elektron umuman bo'lmasa ($T=0K$), elektr potentsiali ta'sir etgani bilan undan tok o'tmaydi.

Elektronlarning ozod holatga o'tishi uchun sarf qilinadigan energiyani faqat issiqlik harakati orqali emas, balki nur, elektronlar oqimi, yadro zarralari, elektr va magnit maydonlari, mexanik ta'sir orqali ham yuzaga keltirish mumkin. O'tkazuvchanlik zonasi qoidasiga asosan, har bir atomning aniq energetik sathi bo'lib, unda elektronlar joylashadi. Sath gorizontali chiziq ko'rinishida ifodalanadi. Bunda energiya qancha katta bo'lsa, chiziq shuncha balandroq

joylashadi, va aksincha. Elektronlar qora nuqtalar bilan belgilanib, ular quyi energetik sathda joylashadi. Elektron yuqori sathga o'tishi uchun atomga qo'shimcha miqdorda energiya (kvant nuri, issiqlik va hokazo) ta'sir ettirilishi kerak.

O'zaro birikib, qattiq, jism hosil qilgan ko'pgina atomlar bir-biriga ta'sir etishi natijasida ularning elektron sathi biroz siljiydi va oqibatda jismning energetik sath zonalari hosil bo'ladi. Elektronlar bilan to'latilgan zona ozod zona bilan birlashib (yoki kesishib), elektronlarning ozod zonaga to'xtovsiz o'tishini va jismda yuqori elektr o'tkazuvchanlikni ta'minlaydi.

Dielektriklarda elektronlar bilan to'latilgan zona va ozod zonalarda orasida katta energetik to'siq bo'lib, mazkur to'siq elektronlarning ozod (o'tkazuvchan) zonaga o'tishiga halaqit beradi. Faqat katta elektr maydoni ($E=E_T$) ta'siridagina elektronlarning bir qismi ozod zonaga o'tishi natijasida dielektrikda o'tkazuvchanlik sodir bo'lishi mumkin. Yarim o'tkazgichlarda energetik to'siq kichik bo'lib, uni yengish uchun uncha katta bo'lmagan energiya talab etiladi. Ozod elektronlar miqdori va yarim o'tkazgichning o'tkazuvchanligi unga ta'sir ettirilgan energiya miqdoriga bog'liq bo'ladi. Mazkur energiya elektronlarning to'siqni yengib, ozod zonaga o'tishiga yordam beradi.

Qo'llanayotgan aksariyat yarim o'tkazgichlar ta'qiq zonasining kengligi (0,8-4,0)- 10^{-19} J, yoki 0,5-2,5 eV ga teng. Ular valent zonalarning sathlari elektronlar bilan to'latilgan bo'lib, ma'lum harorat (T) ta'sirida o'tkazuvchan zonaga bir necha elektron o'tadi va zonada o'shancha teshik hosil bo'ladi. Natijada, har bir g'alayonlantirishda yarim o'tkazgichda bir vaqtning o'zida qarama-qarshi ishorali ikkita zaryad hosil bo'ladi. Bu holda zaryad eltuvchilarning umumiy soni o'tkazuvchan zonadagi elektronlar sonidan ikki marta ko'p bo'ladi:

$$n_{oi} = p_{oi};$$

$$n_{oi} + p_{oi} = 2n_{oi}.$$

Solishtirma o'tkazuvchanlik quyidagicha bo'ladi:

$$\gamma = en_{oi}u_n + ep_{oi}u_p$$

bunda: u_n, u_p – mos ravishda elektron va teshikning siljituvchanligi. G'alayonlantirish va rekombinatsiya jarayonlari natijasida jismda (istalgan haroratda) g'alayonlantirilgan eltuvchilar (elektronlar yoki teshiklarning muvozanatlashgan miqdori qaror topadi:

$$n_{oi} = 2N_o \exp\left(-\frac{W}{2kT}\right);$$

$$p_{oi} = 2N_o \exp\left(-\frac{W}{2kT}\right),$$

bunda: W- yarim o'tkazgich ta'qiq zonasi; N_B – ozod (o'tkazuvchan) zonadagi yarim o'tkazgichning hajm birligidagi energetik zonadagi yarim o'tkazgichning hajm birligidagi energetik sathlar soni; N_B – valent zonasidagi, xuddi shuningdek sathlar soni; 2 raqami N oldidagi har bir sathda ikkita elektron bo'lishini ko'rsatadi. Elektronlarning siljituvchanligi (u_p) teshiklarning siljivchanligi (u_n) dan ancha katta bo'ladi, shuningdek, ularning effektiv massalari ham bir-biridan farq qiladi. Shu bois yarim o'tkazgichlarning elektr o'tkazuvchanligi elektron xarakterga moyil bo'ladi.¹³⁴

4.3. Yarim o'tkazgich tarkibidagi qo'shimchalar

Yarim o'tkazgich kristallarida qo'shimchalarning juda kam (10) miqdori ham uning elektr o'tkazuvchanligiga katta ta'sir ko'rsatadi. Qo'shimcha ta'qiq zonada yangi energetik sath ozod zonaga yaqin joylashgan bo'lsa, bu sathdan elektron ozod zonaga osonlikcha o'tib (kichik energiya ta'sirida), kristallda elektron o'tkazuvchanlikni sodir etadi. Bunday yarim o'tkazgich n-turli bo'lib, tarkibiga kiritilgan qo'shimcha "donor" deyiladi.

Agar qo'shimchaning energetik sathi zonadan pastroq zonaga o'tishi natijasida "teshik" yoki "kovak" qoldiradi. Elektron bir sathdan ikkinchi sathga ko'chishida uning o'rnida qolgan teshik ham siljiydi. Teshikning siljish yo'nalishi maydon vektori (E) yo'nalishiga yoki musbat zaryad yo'nalishiga mos tushadi. Bu turdagi yarim o'tkazgichlar teshikli (P-turli) yarim o'tkazgichlar deyilib, ularning qo'shimchalari "atseptor"lar deyiladi.

¹³⁴ T.K. Basak. Electrical engineering materials. New Age International, Nil edition. USA, 2009. 161-bet

Elektr o'tkazuvchanlik tajribada osongina aniqlanib, bunda turli yarim o'tkazgichning bir tomoni qizdirilsa, u yerda ozod elektronlar soni keskin ko'payib, bu qism manfiy zaryadga ega bo'ladi. Agar p-turli o'tkazgichning ham bir tomoni qizdirilsa, u yerda teshiklar keskin ko'payib, kristallning bu qismi musbat zaryadga ega bo'lib qoladi.

Yarim o'tkazgichlarda "p-n" o'tishini yuzaga keltirib, bu qismlarga mos ravishda musbat va manfiy potentsiallar berilsa, "n" qismidan elektronlar, "p" qismidan aks yo'nalishda teshiklar siljib, zanjirda tok oqimi hosil bo'ladi. Aksincha, potentsiallar teskari yo'nalishda berilsa, katta qarshilikka ega qatlam vujudga kelib, tok o'tishi keskin cheklanadi.

Yarim o'tkazgichlarning "n" turdagi asosiy zaryad eltuvchilari elektronlar, "p" turkisida esa teshiklar hisoblanadi. "p-n" o'tishda yarim o'tkazgich (germaniy, kremniy va hokazo) yuzasidan qo'shimcha (indiy, fosfor)larni eritish orqali hosil qilinadi. Bunda monokristall yupqa taxtacha shaklida kesib tekislanadi, saqlaniladi, tozalanadi va grafitli kassetaga o'rnatilib, pechda ma'lum vaqt issiqlik ta'sir ettiriladi. Bu usul elektronli yarim o'tkazgichda esa donor qo'shimchasini eritishga asoslangan.¹³⁵

"p-n" o'tishi elektr-kimyoviy, kristall olish (o'stirish mobaynida) va boshqa usullarda ham hosil qilinadi.

Agar yarim o'tkazgich kristalida p-n-p yoki (n-p-n) o'tishlar hosil qilinib, bu qismlar (emitter-1, kollektor-2, elektrod-3)ga simlar ulansa, tok kuchaytiruvchi asbob-tranzistor vujudga keladi.

"p-n" o'tishli diodlarning belgilanishidagi birinchi harf: G-germaniy, K-kremniy, A-galliy, I-indiy; ikkinchi harf: D-to'g'irlagich, impuls, magnit va termiod, Ts-to'g'irilagich ustuni (bloki), V-varikan, I-tunnelli, A-yuqori chastotali, S-stabilatron, G-shovqin generatori, L-nurlatuvchi asbob, N-diodli tiristor, U-triodli tiristor; uchinchi harf asbob parametrik, qo'llanilishi, ish prinsipi; to'rtinchisi - asbob tayyorlanish turini; beshinchisi-asbob tasniflanishini bildiradi.

Tranzistorlarning belgilanishidagi birinchi harf: G-germaniy, K-kremniy, G-galliy va hokazo; ikkinchisi: T-qo'sh qutbli transistor;

uchinchisi: sarflanadigan energiya va chastotani, to'rtinchisi: asbob tartibi va guruhini bildiradi.

Tiristorda p-n qatlamlari ketma-ket qaytarilib, chekka qismlarida chiquv simlariga ega. O'rta qismida qo'shimcha chiquv simlariga ega tiristor *trinistor* deyiladi. Tashqi nur yordamida boshqariladigan tiristor-*fototiristor*, ichki nurli signalda boshqariladigan *optotiristor* deyiladi. Optoelektronli yarim o'tkazgichlarga nur tarqatuvchi diod (Al navli), infraqizil nurlatuvchi diod (IQ diod) misol bo'la oladi.

4.4. Yarim o'tkazgichlarning xususiyatlari

Barcha qattiq jismlar o'zlarining solishtirma o'tkazuvchanliklariga ko'ra metallar, dielektriklar (izolyatorlar) va yarim o'tkazgichlarga bo'linadi. Metallarning solishtirma o'tkazuvchanligi 10^2 dan 10^4 sm gacha bo'lgan oraliqda o'zgaradi, dielektriklar uchun bu oraliq 10^{12} dan 10^{22} gacha bo'lsa, yarim o'tkazgichlarda 10^{-1} dan 10^{-1} sm gacha qiymatlarni tashkil etadi. Yarim o'tkazgichlarning eng xarakterli jihatlardan biri ularning solishtirma o'tkazuvchanliklarining temperatura ko'tarilishiga bog'liq holda ortishida namoyon bo'ladi. Ammo bu xususiyat temperatura o'zgarishining har qanday oralig'ida ham yuzaga kelavermaydi yoki har qanday yarim o'tkazgichda ham kuzatilavermaydi.

Yarim o'tkazgichlarning xususiyati ularning o'tkazuvchanligini tashqi ta'sirlar (temperatura, yoritilganlik, radioaktiv nurlanish) ostida, shuningdek uncha katta bo'lmagan miqdorda aralashma atom kiritish (legirlash) natijasida o'zgartirish imkonining mavjudligidadir. Ularning bu xususiyatlaridan qattiq jism elektronikasida yarim o'tkazgichlardan amalda foydalanish asosini tashkil etadi.

Kimyoviy tarkibiga ko'ra yarim o'tkazgichlar faqat bitta kimyoviy element atomidan iborat elementar, ikki va undan ko'proq kimyoviy elementlar atomlaridan iborat bo'lgan kompozitsion, yoki murakkab holda bo'ladi. Ulardan birinchisiga davriy sistemaning IV guruh elementlari germaniy va kremniy, ikkinchi guruhiga III va V, hamda II va VI guruhlar elementlarining mos holda $A^m B^n$ va $A^n B^m$ ko'rinishdagi shartli belgilar bilan ifodalanuvchi aralashmalari kiradi.

¹³⁵ Callister, William D., Materials science and engineering: an introduction, 7th ed. p. cm/ - Printed in the United States of America/ John Wiley & Sons, Inc. - 2007. 501-bet.

4.5. Yarim o'tkazgichli diodlar

Zamonaviy texnika sohalarida qo'llaniluvchi elektrcn qurilmalar asosan yarim o'tkazgichli diodlar va bir nechta o'tishli asboblardan tashkil topgan. Bunga yarim o'tkazgichli asboblarning o'lchamlari va vazni kichikligi, foydali ish koeffitsiyentining yuqorililigi, uzoq muddat xizmat qilishi va yuqori chidamliligi kabi afzalliklarga egaligi asos bo'lgan.

Yarim o'tkazgichli diod bu bitta elektr o'tish (r-n o'tish) li va yarim o'tkazgichga jipslashtirilgan metaldan chiqarilgan ikki chiqishga ega asbobdir.

Elektr o'tish asosan ikki turdagi elektr o'tkazuvchanlikka ega aralashma (r- yoki n- tipdagi) orasida hosil bo'ladi. Bu soxalardan biri (kichik qarshilikli) emitter, boshqasi (yuqori qarshilikli) baza deyiladi.

Bazan elektr o'tkazuvchanlik r- yoki n- tipdagi yarim o'tkazgich bilan metall orasida hosil qilinadi va bunday o'tish metall yarim o'tkazgich tutashuvi deyiladi.

Diodlar turli belgilarga ko'ra sinflanadi: yarim o'tkazgich materialiga ko'ra kremniyli, germaniyli, gallyiy arsenidli, selenli; ishlash asosini belgilab beruvchi jarayonlar tabiatiga ko'ra tunelli, fotodiodlar, yorug'lik diodlari va h.k.; qo'llanilish maqsadlariga ko'ra to'g'rilovchi, impulsi, stabilitronlar, varikaplar va h.k.; elektr o'tishni tayyorlash texnologiyasiga ko'ra eritish, diffuziya va h.k.; elektr o'tish tipiga ko'ra nuqtali va yassi. Ular ichida eng asosiysi elektr o'tish turiga va qo'llanilish maqsadlariga ko'ra sinflanishidir.

Hozirgi vaqtda keng qo'llanilayotgan diodlar selen, germaniy, kremniydan yasalgan bo'lib, gallyiy arsenididan va fosfididan diodlar tayyorlash kelajagi porloq ekanligi tasdiqlangan.¹³⁶

Selenli diod dumaloq disklar (shaybalar) yoki to'g'ri burchakli plastinkalar ko'rinishida yasalgan to'g'rilagich plastinkalardan yig'iladi. Bu plastinkalarni ketma-ket yoki parallel ulab, talab qilingan quvvatli to'g'rilagich elementi hosil qilinadi.

Germaniyli diodning asosi bo'lib germaniy monokristalidan kesilgan, qalinligi taxminan 0,3 mm li plastinka xizmat qiladi, u

¹³⁶ T.K. Basak. Electrical engineering materials. New Age International, Nil edition. USA, 2009. 172-bet

elektronli elektr o'tkazuvchanlikka ega, ya'ni unda beshinchi grupp elementlaridan biri (odatda surma yoki mishyak) aralashgan. Plastinka yuzasi diod tokiga bog'liq, u qancha katta bo'lsa, plastinka shuncha katta bo'ladi. Shu plastinkaga uchinchi grupp elementi indiy bo'lakchasi qo'yiladi va u vakuum pechida germaniy bilan critiladi. Bunday termik ishlov vaqtida termodiffuziya natijasida indiy atomlari germaniy plastinkasiga o'tadi va keyinchalik akseptor bo'lib, germaniyda teshikli elektr o'tkazuvchanlikka ega bo'lgan qatlam vujudga keltiradi. Indiy bo'lakchasiga yuqoridan metall tok o'tkazuvchi payvandlanadi, u plastinkani yuqoridagi elektrod bilan tutashtiradi. Pastki elektrod germaniy bilan kontakt hosil qilishi kerak, ya'ni ventilli o'tish hosil qilmasligi kerak. To'g'rilagich germetik korpusga tashqi ta'sirlardan himoyalash uchun joylashtiriladi.¹³⁷

Germaniyli ventillarning kamchiliklari quyidagilardan iborat: birinchidan, ular temperatura o'zgarishiga sezgir 55–60°C dan yuqori temperaturada ularda elektr parametrlarining qaytmas o'zgarishi sodir bo'ladi; ikkinchidan, ichki qarshiliklarining farqi tufayli ketma-ket ulashda bu ventillar kuchlanishni teng taqsimlamaydi va ventillarning xususiy kuchlanishlarini tenglashtirish uchun rezistorlar orqali shuntlashga to'g'ri keladi, bu esa fik ni va qurilmaning to'g'rilash koeffitsiyentini kamaytiradi.

Kremniyli diodning asosiy qismi elektronli elektr o'tkazuvchanlikka ega bo'lgan yupqa kremniy plastinkasidir. Bu plastinka alyuminiy bo'lagi bilan uchinchi grupp elementi bilan qotishtiriladi: alyuminiy atomlarini kremniy ichiga o'tishi, unda teshikli elektr o'tkazuvchanlikka ega bo'lgan qatlam vujudga keltiradi, plastinkada esa r – n o'tish hosil bo'ladi.

Agar selenli va germaniyli diodlar solishtirilsa, u holda germaniyli yuqori f.i.k. ga, kichik o'lchamga ega, lekin selenli diodlar arzon bo'lgani uchun sanoatda selenli ventillar ishlab chiqarilishi davom etmoqda. Ular nisbatan kichik quvvat kerak bo'lganda, foydali ish koeffitsiyentlari esa ikkinchi darajali ahamiyatga ega bo'lganda o'rnatiladi. Selenli ventilning massasi (armaturasi bilan birga) 1 Vt to'g'rilangan quvvatga o'rtacha 15-18 g ni tashkil qiladi.

¹³⁷ Bijay_Kumar Sharma., Electrical and Electronic Materials Science./ - OpenStaxCNX./ Indiya – 2014, 116-bet.

Bitta selenli element 12—36 V ga uzoq muddat chidaydi. Shunga e'tibor berish kerakki, ventilning teshilish kuchlanishi (selenli uchun 50—80 V) bilan davomli ruxsat etilgan kuchlanishni farq qilish kerak.

Ko'p hollarda selenli ventilning maxsus kamchiligi shaklini hisobga olishga to'g'ri keladi. Agar bunday ventil uzoq vaqt ishlatilmagan bo'lsa, unda u kuchlanishga ulanishi bilan normal to'g'rilamaydi, balki ma'lum vaqtdan keyin ishlaydi. Elektr o'lchash qurilmalari va avtomatika uchun ventilning bunday ishlashi to'g'ri kelmaydi.

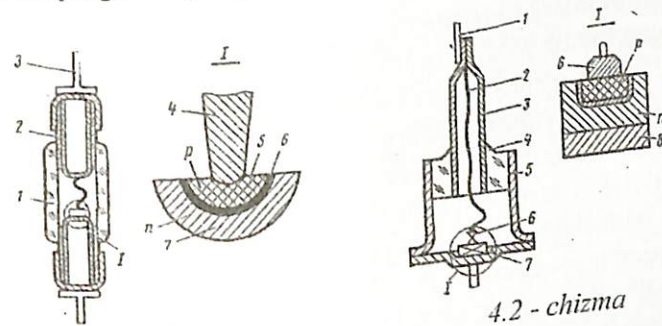
Kremniyli ventillar germaniylikka nisbatan ancha katta to'g'ri qarshilikka esa, lekin ularning teskari qarshiliklari ham katta. Bundan tashqari, kremniyli diodlarning afzalligi shundaki, ular ish temperaturasining 180—200°C gacha oshishiga yo'l qo'yadi va demak, juda katta tok zichligiga ham yo'l qo'yadi. Natijada bir xil quvvatda kremniyli ventillarning o'lchamlari ancha kichik. Lekin yarim o'tkazgichli asboblardan uchun kerakli juda sof kremniyni olish va uni shu holatda saqlash juda katta qiyinchiliklar bilan bog'liq. Shu tufayli hatto kremniy yer sharida kisloroddan keyin eng ko'p tarqalgan element bo'lishiga qaramay kremniyli yarim o'tkazgichli asboblardan qimmat turadi.

Texnika rivojlanishining umumiy yo'nalishi hamma boshqa turdagi ventillarni (masalan, elektr kuch qurilmalarida ionli simobli ventillarni kremniyli tiristorlar bilan almashtirish) kremniyli ventillar bilan almashtirish juda katta texnik iqtisodiy foyda beradi.

Nuqtali diodlar bir necha milliamper tokka mo'ljallangan. Ular elektron o'tishli yupqa yarim o'tkazgich plastinkadan yasaladi (4.1 - chizma). Nuqtali elektr o'tish yarim o'tkazgich plastinka 7 va uchi o'tkirlashgan alyumin yoki indiy bilan qoplangan metall prujina sim 4 larning jipslashgan joyida 6 hosil bo'ladi. Odatda nuqtali diodlar n - tipdagi germaniydan, metall prujina (diametri 0,05-0,1 mm) yupqa simdan tayyorlanadi va n - tipli germaniy uchun u akseptor (masalan, berilliy) hisoblanadi. Ba'zan yanada yaxshiroq r-n o'tish hosil bo'lishi uchun prujina uchi indiy bilan qoplanadi. Agar diod orqali qisqa impulsli tok (bir necha amper) o'tkazilsa metall uchidagi qoplama erib yarim o'tkazgich plastinka ichiga o'tadi va boshqa

tipdagi o'tish qatlamini hosil qiladi. Ana shu qatlam bilan plastinka orasida yarim sferik shaklda r-n o'tish 6 hosil bo'ladi.

Nuqtali diodlar korpusi germetik holda yasalgan sopol yoki shisha ballon 2 dan iborat va u yorug'lik tushmasligi uchun yorug'lik qaytaruvchi qora rangga bo'yalgan. O'tishlar chiqishlari 3 nay 2 orqali tashqariga chiqarilgan.



4.1 - chizma

4.2 - chizma

Yassi diodlar bir necha ampergacha bo'lgan toklarga mo'ljallangan (4.2 - chizma). Yassi diodlar yassi elektr o'tishga ega bo'lib, uning chiziqli o'lchamlari (yuzasi) r-n o'tish kengligidan birmuncha katta. bu yuza kvadrat millimetrning yuzdan bir ulushidan (mikroyassi diodlar) bir necha o'nlab kvadrat santimetr (kuchli diodlar) gacha bo'ladi.¹³⁸

Yassi diodlarni kristall ushlab turgich 8 ga birlashtirilgan yarim o'tkazgich plastinka (r-n o'tish) 7 ko'rinishida yasaladi. bu plastinkaga erishish yoki diffuziya usuli bilan indiy yoki (germaniy uchun) yoki alyumin (kremniy uchun) atomlari kiritiladi. Yuqori kontakt 6 nisbatan katta tok o'tkazish va o'zidan issiqlik tarqatish qobiliyatiga ega. Bular hammasi zichlashtirilgan korpus 5 ga joylash-tirilgan va undan tashqi va ichki chiqish 1,2 lar silindr 4 ichidagi nay 3 orqali tashqariga chiqarilgan. Yassi diodlarni tayyorlashda maxsus texnologiyalardan foydalangan holda kichik yuza o'tishli mikroyassi va diffuziyali mezadiodlar olish mumkin.

Yarim o'tkazgichli diodlarni qo'llanilishi va vazifalariga ko'ra quyidagi asosiy guruhlariga ajratish mumkin.

¹³⁸ Callister, William D., Materials science and engineering: an introduction, 7th ed. p.cm/ - Printed in the United States of America/ John Wiley & Sons, Inc. - 2007. 509-bet.

To'g'rilovchi diodlar o'zgaruvchan tokni to'g'rilash uchun qo'llaniladi. Bunday diodlarda elektron kovak o'tishning nochi-zig'iyiligidan foydalaniladi. To'g'rilovchi diodlarning bir nechta turi mavjud:¹³⁹

past chastotali to'g'rilovchi diodlar, o'zgaruvchan tok chastotasi 50 kGs dan oshmagan holda qo'llaniladi. Ko'p hollarda ishchi chastota sanoat chastotasi, ya'ni 50 kGs dan iborat. Past chastotali to'g'rilovchi diodlarga kremniyli va germaniyli yassi diodlar kiradi. To'g'rilangan tok qiymatiga ko'ra diodlar kichik quvvati (to'g'ri toki 0,3 A dan kam), o'rtacha quvvatli (0,3 dan 10 A gacha) va katta quvvatli (10 A dan yuqori) turlarga bo'linadi;

yuqori chastotali to'g'rilovchi diodlar, modulyatsiyalangan signallarni detektorlash uchun qo'llaniladi va 150 MGs gacha bo'lgan chastotada ishlashga mo'ljallangan. Ular germaniy yoki kremniy materiallaridan tayyorlanadi. To'siq sig'imini kamaytirish uchun ular nuqtaviy diodlar ko'rinishida tutashish yuzasi taxminan $10^{-19} - 10^{-10} \text{ m}^2$ bo'lgan holda yasaliadi;

o'ta yuqori chastotali to'g'rilovchi diodlar, radioreleli aloqa liniyalarining santimetrli radio to'lqinlari diapazonida, radiolokatsiya qurilmalarida qo'llaniladi. Konstruksiyalari nuqtali tipda germaniy yoki kremniydan tayyorlanadi.

Impulsi diodlar mikro va nanosekundli diapazondagi impuls-larni hosil qilish va kuchaytirish sxemalarida qo'llaniladi. Ular ger-manij va kremniy materiallaridan yasaliadi. Nuqtali va yassi diodlar sifatida ishlatiladi.

Nazorat uchun savollar

1. Yarim o'tkazgich materiallarning asosiy xususiyatlari nimalardan iborat?
2. Qanday moddalar murakkab yarim o'tkazgichlar hisoblanadi?
3. Qanday yarim o'tkazgichlar aralashmasiz (xususiy) va qandaylari aralashmali yarim o'tkazgichlar deb ataladi?
4. Metallar, dielektriklar va yarim o'tkazgichlarning zonalar diagramma farqlari nimada?

¹³⁹ T.K. Basak. Electrical engineering materials. New Age International, Nil edition. USA, 2009. 178-bet

5. Xususiy yarim o'tkazgichda elektron-kovak juftlari qanday hosil bo'ladi?

6. Donor va akseptor aralashmali atomlarning o'zaro farqlari nimada?

7. Yarim o'tkazgichli diod deb nimaga aytiladi?

8. Yarim o'tkazgichli diodning qaysi sohasi baza deb ataladi?

9. Diod orqali o'tuvchi tok zichligi haqida diodning bazasidagi asosiy bo'lmagan zaryad tashuvchilar taqsimlanishi bo'yicha fikr bildiradi. Nima uchun?

10. Qalin va yupqa bazali diodlar volt-amper xarakteristikalari nimasi bilan ajralib turadi?

11. Diod volt-amper xarakteristikasining to'g'ri bo'lagi temperatura ortishiga bog'liq holda qanday o'zgaradi va unga sabab nima?

12. Diodning diffuziya sig'imi nima?

13. r-p o'tishda zaryad tashuvchilarning hosil bo'lish jarayoni qanday hollarda diod volt-amper xarakteristikasiga qanday ta'sir etadi

14. r-p o'tishda zaryad tashuvchilarning rekombinatsiya jarayoni diod volt-amper xarakteristikasiga qanday ta'sir etadi?



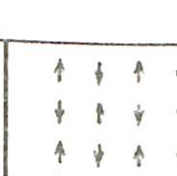

15. Diod teshilishlari haqida nima bilasiz?

16. Turli yarim o'tkazgichli diodlarda to'g'rilovchi elektr o'tishning qaysi fizik hodisalari qo'llaniladi?

V bob. MAGNIT MATERIALLAR

5.1. Magnit materiallar haqida umumiy ma'lumotlar

Magnit materiallar yordamida magnit oqimi keskin kuchaytiriladi. Magnit oqimidan past kuchlanishli toklar yuqori kuchlanishli toklarga, yoki elektr energiyasini mexanik energiyaga aylantirishda va elektr energiyasini shunga o'xshash tarzda generatsiyalashda foydalaniladi (5.1-chizma).

			
Paramagnetik	Ferromagnetik	Antiferromagnetik	Ferrimagnetik

5.1-rasm. Turli magnit tabiatli moddalarning 0°K da qo'shni atom magnit momentlari

Tashqi magnit maydoni ta'sirida magnitlanish xossasiga ega materiallar *magnit materiallari* deb ataladi. Asosiy magnit materiallarga nikel, kobalt va toza temir asosidagi turli qotishmalar misol bo'ladi (5.1-chizma). Texnika ahamiyatga ega magnit materiallarga ferromagnit materiallar va ferromagnit kimyoviy birikmalar (ferritlar) kiradi.¹⁴⁰

Materiallarning magnit xossalari elektr zaryadlarining ichki harakatida bo'lib, bunda zaryadlar elementar aylanma tok ko'rinishida ifodalanadi. Bunday aylanma toklar elektronlarning o'z o'qi atrofida aylanishi (elektron spinlar) hamda ularning atom ichida orbita bo'ylab aylanishidan hosil bo'ladi. Ferromagnit hodisasi ba'zi materiallarning ichki mikroskopik qismida kristall strukturalar tashkil qilishi bilan bog'liq bo'lib, bunday strukturalar magnit domenlari

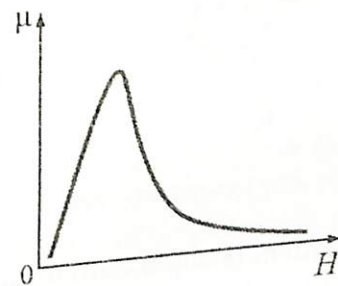
¹⁴⁰ Callister, William D., Materials science and engineering: an introduction, 7th ed. p.cm/ - Printed in the United States of America/ John Wiley & Sons, Inc. - 2007. 408-bet.

deyiladi. Bunda elektron spinlar o'zaro parallel ravishda bir tomonga yo'nalgan bo'ladi.



5.1-chizma. Ferritlar

Jismning ferromagnitlik holatda bo'lishini ifodalovchi xususiyati tashqi magnit maydoni ta'sirida uning o'z-o'zidan (spontan) magnitlashishidan iboratdir. Ferromagnit magnit momentlarining ba'zi domenlari ichidagi spinlar turli yo'nalishga ega bo'lishi mumkin (5.2-chizma). Tashqi muhitda bo'lgan bunday materiallarning umumiy magnit oqimi nolga teng bo'ladi.¹⁴¹



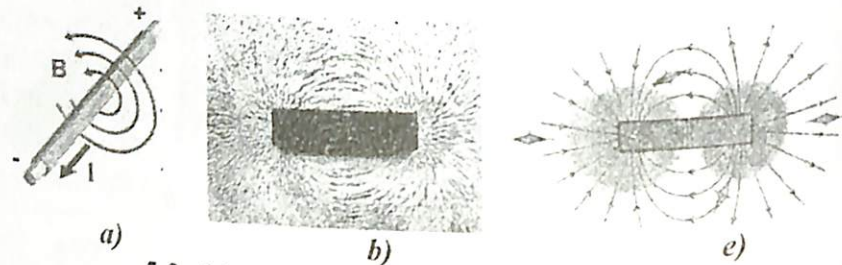
5.2-chizma. Nisbiy magnit singdiruvchanlikni H ga bog'liqligi

Ba'zi materiallar (qatlam chegaralari orasidagi qalinlik bir necha o'n-yuz atom masofasiga teng bo'lganda) da domenlarning o'lchami taxminam $0,001-10 \text{ mm}^3$ oralig'ida bo'ladi. O'ta toza materiallarda

¹⁴¹ T.K. Basak. Electrical engineering materials. New Age International, Nil edition. USA, 2009. 182-bet

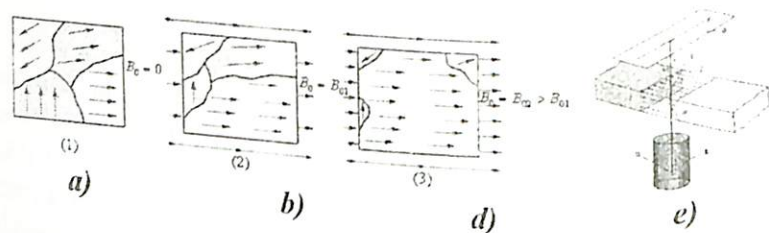
esa domenlarning o'lchami yuqorida keltirilgan qiymatdan ham kattaroq bo'ladi.

Ferromagnit moddalarning monokristallari magnit anizotropiyasi bilan xarakterlanadi. Magnit anizotropiyasi turli o'qlar yo'nalishida magnitlanishning turli qiymatlari bilan ifodalanadi (5.3-chizma).



5.3-chizma. Moddalarning magnit xossalari

Polikristall magnetiklarda anizotropiya keskin ifodalangan hollarda ferromagnitik magnit teksturaga ega bo'ladi (5.4-chizma). Kerakli magnit tekstura olish orqali materialda ma'lum yo'nalishda yuqori magnit xarakteristikaga erishishi mumkin.

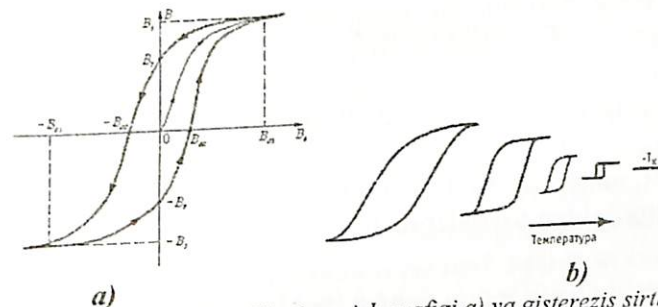


5.4-chizma. Ferromagnit materiallarning magnitlanishi

Tashqi magnit maydoni ta'sirida ferromagnit materialning magnitlanish jarayoni quyidagicha kechadi: 1) magnit momenti maydon yo'nalishi bilan kichik burchak hosil qilgan domenlar kattalashadi va boshqa domenlar o'lchami kichrayadi; 2) magnit momentlari maydon yo'nalishi uzra buriladi va bir xil yo'nalishga ega bo'ladi. Magnit to'yinishi domenning kattalashishi to'xtaganda va o'z-o'zidan magnitlangan barcha monokristall qismlarning magnit momenti maydon uzra yo'nalganida sodir bo'ladi.

Ferromagnit monokristallari magnitlanayotganda ularning chiziqli o'lchamlari o'zgaradi. Bu hodisa *magnit-striksiya* deyiladi. Temir monokristalining magnit-struksiyasi kristalning har xil yo'nalishlarida turlicha bo'ladi.

Ferromagnit materialining magnitlanish jarayoni gisterezis egri chizig'i B (H) bilan ifodalanadi va u barcha ferromagnitlarda bir-biriga o'xshash bo'ladi (5.5-chizma).



5.5-chizma. Magnit material B(H) o'zgarish grafigi a) va gisterezis sirtmog'ining haroratga bo'g'liqligi b)¹⁴²

Materiallarning nisbiy magnit singdiruvchanligi magnit induksiya (B) ning magnit maydoni kuchlanganligiga nisbati bilan aniqlanadi:

$$\mu_r = \frac{B}{\mu_0 H}$$

Magnit materiallarning magnit singdiruvchanligi birdan yuqori $\mu_0 \gg 1$ ($\mu_r = \mu_0 \cdot \mu$, $\mu_0 = 1,2566 \cdot 10^{-6}$ Gn/m) bo'ladi.

Ferromagnit materiallarning magnit qiymatlarda μ_r o'zining yuqori bog'liq bo'lib, Kyuri nuqtasiga yaqin qiymatlarda μ_r o'zining yuqori qiymatiga erishadi. Kyuri nuqtasidan yuqori haroratlarda spontan magnitlanish sohasida issiqlik harakati buzilib, materialning magnit xossasi yo'qoladi. Chulg'amda magnit o'zak bo'lmaganda magnit induksiya qiymati undan o'tayotgan tok hisobiga sodir bo'ladi. Agar chulg'amga magnit o'zak kiritsak, elektr toki hisobiga sodir bo'ladigan magnit maydoni o'zakni yanada magnitlab, qo'shimcha

¹⁴² Callister, William D., Materials science and engineering: an introduction, 7th ed. p.cm/ - Printed in the United States of America/ John Wiley & Sons, Inc. - 2007. 410-bet.

kuch chiziqlari hosil bo'lishi natijasida magnit induksiyasining yoki magnit oqimining keskin oshishiga olib keladi. O'zak kesim yuzasidan hosil bo'ladigan qo'shimcha kuch chiziqlari qayta magnitlanish deyiladi va i bilan belgilanadi.¹⁴³

Bu qiymat magnit maydon kuchlanganligi (H) va magnit material sifati (x) ga yoki jismning magnit qabul qilish koeffitsiyenti $j=xH$ ga bog'liq. Chulg'amga magnit o'zak kiritilgandan so'ng magnit induksiyasining ko'paygan qiymati quyidagicha bo'ladi:

$$B = \mu_0(H + J) = \mu_0(H + xH) = \mu_0H(1 + x) = \mu H,$$

bunda: $\mu = \mu_0(1+x)$ – magnit materialining magnit singdiruvchanligi.

Magnit material sifati aniqlashda nisbiy magnit singdiruvchanlik kattaligidan foydalaniladi:

$$\mu = \mu / \mu_0 = 1 + x$$

Magnit singdiruvchanlik chulg'amga magnit o'zak kiritilganda magnit oqimining ko'payishini bildiradi. Bu yuksalish bir necha o'n ming martagacha ortadi.

Uzunligi L , kesim yuzasi S bo'lgan o'zakning magnit qarshiligi quyidagicha aniqlanadi:

$$R_\mu = L / \mu S = L / \mu \mu_0 S.$$

Shunday qilib, g'altakka o'zak kiritilishi natijasida magnit qarshiligi μ ga bog'liq ravishda kamayadi.

Magnit singdiruvchanligi bo'yicha barcha qattiq jismlar sust (diamagnit $\mu < 1$, paramagnit $\mu < 1$) va kuchli magnit materiallarga (ferromagnit $\mu \gg 1$) bo'linadi. Magnit materiallari sifatida kuchli magnit materiallar qabul qilinib, ular magnit maydon kuchlanganligiga kuchli ravishda bog'liq bo'ladi. Magnit induksiyasi B va magnit maydon kuchlanganligi H o'rtasidagi bog'liqlik $[B=f(H)]$

¹⁴³ Bijay_Kumar Sharma., Electrical and Electronic Materials Science. / - OpenStaxCNX. / Indiya - 2014, 182-bet.

magnit materialining *magnitlanish egri chizig'i* deb ataladi. Bunda magnit material $H=H_T$ qiymatda to'yinadi.

Magnit singdiruvchanlikning haroratga qarab o'zgarishi magnit singdiruvchanlikning harorat koeffitsiyenti bilan aniqlanadi:

$$TK\mu_r = \alpha\mu_r = (1/\mu_r)(d\mu_r/dt).$$

Agar ferromagnit tashqi magnit maydoni ta'sirida asta-sekin magnitlansa va ma'lum qiymatdan so'ng maydon kuchlanganligi pasaytira borilsa, induksiya ham kamaya boradi. Lekin bu kamayishi asosiy chiziq bo'ylab emas, balki ma'lum kechikish bilan (gisterzis hodisasi tufayli) ro'y beradi. Maydon kuchlanganligi teskari yo'nalishda oshirilganda material magnitsizlanishi, o'ta magnitlanishi mumkin va magnit maydon yo'nalishi yana o'zgartirilsa, induksiya yana asl holatiga qaytadi, ya'ni gisterzis halqasi paydo bo'ladi.¹⁴⁴

Magnit material bo'lmaganda o'ramlari soni n ta bo'lgan sim chulg'amidan tok o'tkazish orqali magnit oqimi hosil qilish mumkin. Agar o'ramdagi simning kesim yuzasi S , chulg'am uzunligi L bo'lsa, magnit oqimi F quyidagicha aniqlanadi:

$$F = \mu_0 n i S / L$$

yoki boshqacha ko'rinishda:

$$F = F / R_\mu V b,$$

bunda: F – magnit yurituvchi kuch, A; $R_\mu = L / \mu_0 S$ – magnit qarshilik, Gm^{-1} .

Magnit oqimining zichligi yoki magnit induksiyasi:

$$B = F / S = \mu_0 H V b / m^2.$$

Magnit material uchun chizilgan $B=f(H)$ xarakteristikadan foydalanib, magnit singdiruvchanlik μ_r ning magnit maydon kuchlanganligi (H) ga bo'lgan bog'liqliki aniqlanadi.

¹⁴⁴ T.K. Basak. Electrical engineering materials. New Age International, Nil edition. USA, 2009. 185-bet

Agar magnit maydon kuchlanganligi va magnit induksiyalari nolga teng bo'lsa, ularning nisbati mavhum bo'lib qoladi. Tajribadan aniqlanishicha, kuchsiz magnit maydonida μ_r qiymati ma'lum boshlang'ich singdiruvchanlik μ_{rb} ga intiladi. Magnit maydonining ma'lum qiymatida magnit singdiruvchanlik (μ_{rmax}) o'zining yuqori qiymatiga erishadi. Maydon kuchlanganligi yanada oshirilsa, magnit materialining qiymati pasaya boradi.

Demak, magnit materialida magnit singdiruvchanlik o'zining aniq bir qiymatiga ega bo'lmay, balki magnit maydon kuchlanganligiga juda ham bog'liq ekan. Shu sababli, magnit materialining μ_r qiymati keltirilganda magnit maydon kuchlanganligi (H) ham ko'rsatilishi shart.

Magnit maydon kuchlanganligi o'zining H_m qiymatidan kamaytirilsa, (induksiya B_m gacha), gisterezis hodisasi kuzatiladi, ya'ni magnit induksiyasining kechikishi maydon kuchlanganligining o'zgarishiga bog'liq bo'ladi. Maydon kuchlanganligi nolga teng bo'lganida magnit induksiyasi qandaydir qoldiqqa ega bo'lib, u induksiya qoldig'i (B_r) deyiladi. Induksiya qoldig'iga magnit maydon kuchlanganligining teskari yo'nalishida, uning $H_c=0$ qiymatida erishiladi, bunda H_c koersitiv kuch deb ataladi.¹⁴⁵

Agar xarakteristikada maydon kuchlanganligi $-H_{max}$ qiymatidan $+H_{max}$ qiymatigacha qaytarilsa, magnit maydonining gisterezis halqasi kelib chiqadi. Gisterezis hodisasida atomlarining o'z o'qi atrofida aylanishi natijasida materialda ichki ishqalanish sodir bo'ladi. Bu hodisa, gisterizisda sodir bo'luvchi energiya isrofi deb ataladi. Ferromagnitliklarning o'zgaruvchan magnit maydonida qayta magnitlanishi issiqlik energiyasi isrof bo'ladi. Magnit materiali massasida induksiyalangan quyuq tok dielektrik isroflarni keltirib chiqaradi. Quyuq tokda sodir bo'ladigan isroflar ferromagnetikning elektr qarshiligiga bog'liq magnit materialidagi umumiy energiya isrofi quyidagicha aniqlanadi:

$$P_m = P_h + P_i.$$

Kuchsiz toklar sohasida quyidagi qiymatdan foydalaniladi:

¹⁴⁵ Bijay_Kumar Sharma, Electrical and Electronic Materials Science / - OpenStaxCNX, / Indiya - 2014, 186-bet.

$$Q = \omega L / r.$$

bunda: ω - burchak chastota, Gs; L - chulg'am induktivligi, Gn; r - o'zakdagi ekvivalent qarshilik, Om.

Magnit materialidagi energiya isrofining qiymati $B=f(H)$ xarakteristikasidagi gisterezis halqa yuzasi bilan aniqlanadi. Magnit materialidagi energiya isrofi chastota ortishi bilan keskin ko'payadi. Bu esa yuqori chastotaga mo'ljallangan magnit materiallari ishlab chiqarishda katta qiyinchiliklar tug'diradi. P_m ni kamaytirish maqsadida qiymati yuqori bo'lgan magnit materiallar qo'llaniladi. Magnit materialining asosiy xarakteristikasini ifodalovchi μ_r qiymati maydon kuchlanganligiga bog'liq bo'lib, material qizishi natijasida bu qiymat keskin kamayadi. Kyuri nuqtasida material o'zining ferromagnitlik xossasini yo'qotadi $\mu_r \rightarrow 0$. Bundan tashqari, chastota ortishi natijasida materialda sodir bo'ladigan quyun toki hisobiga magnitsizlanish ro'y beradi.¹⁴⁶

Ferromagnit turkumdagi asosiy materiallarning magnit xususiyatlari 5.1-jadvalda keltirilgan.

5.1-jadval

Metall	μ_{max}	$\mu_0 j_{max}$, Bb/m ²	H_c , A/m	$B_r, B_0/m^2$	Kyuri nuqtasi, °C
Temir	10000-15000	2,163	0,0015-0,004	1,1	787
Nikel	1120	0,64	0,012	0,33	358
Kobalt	174	1,77	0,10	0,34	1115

5.2. Yumshoq magnit materiallar

Magnit materiallar yumshoq va qattiq turlarga bo'linadi. Yumshoq magnit materiallardan magnitli o'tkazgichlar tayyorlanadi. Bu materiallarning magnit singdiruvchanligining boshlang'ich qiymati

¹⁴⁶ Callister, William D., Materials science and engineering: an introduction, 7th ed.p.cm/ - Printed in the United States of America/ John Wiley & Sons, Inc. - 2007. 413-bet.

katta bo'lishi kerak. Yumshoq magnit materiallarida solishtirma qarshilik nisbatan katta qiymatga, koersitiv kuch ($H_c < 0,1$ A/m) esa kichik qiymatga ega bo'lishi kerak. Bu materiallarga sof temir, temirning kremniy, nikel va kobalt bilan qotishmalarini misol tariqasida keltirish mumkin.

Texnik sof temir. (qo'shimchalari 0,1%) oddiy pechlarda olinadi. Uning ayrim magnit xossalari 5.2-jadvalda keltirilgan. Bu temir o'zgaruvchan tok zanjirida ishlatiladigan elektr magniti yoki rele uchun o'zaklar tayyorlashda ishlatiladi. Ular varaq yoki silindr shaklda yupqa (0,2-4mm) qilib tayyorlanadi.

Turlicha ishlov berilgan temirning tarkibi va magnit xossalari 5.2-jadval

Material	Qo'shimchalar-ning miqdori, %		Magnit xossalari		
			Magnit sing-diruvchanlik		Koersitiv kuch, H_c , A/m
	uglerod	kislorod	μ_{rb}	μ_{ryu}	
Texnik sof temir	0,020	0,060	250	7000	64,0
Elektrolitik temir	0,020	0,010	600	15000	28,0
Karbonil temir	0,005	0,005	3300	21000	9,4
Vakuumba eritilgan elektrolitik temir	0,010	-	-	61000	7,2
Vodorodda ishlov berilgan temir	0,005	0,003	6000	200000	3,2
Vodorodda yaxshilab ishlov berilgan temir	-	-	20000	340000	2,4

Texnik sof temir (qo'shimchalari 0,02%) ning asosiy fizik xossalari quyidagicha:

Zichligi.....7880kg/m³
Erish harorati.....1539°C

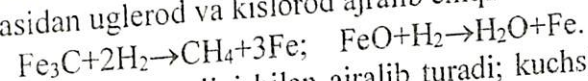
Solishtirma issiqlik sig'imi.....0,46KJ/kg·K
Issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsiyenti.....71,5 Vt/m·K
Chiziqli kengayish koeffitsiyenti11,6·10⁻⁶K⁻¹
Solishtirma qarshiligi.....0,1 mkOm·m
Qayishqoqlik moduli.....210 MPa
Kyuri nuqtasidagi harorat.....770°C

O'zgarimas tokda ishlaydigan elektr mashinasida qo'llaniladigan temir tarkibida C, Si, Mn kabi qo'shimchalarning miqdori 1,2-1,5% gacha, kam legirlangan po'lat tarkibida esa C, Ni, Cr larning miqdori 2,5-5% gacha bo'ladi. Bu materiallarda mexanik mustahkamlik o'sishi bilan bir qatorda, magnitlanish xususiyati birmuncha yomonlashadi.¹⁴⁷

Elektrolitik temir texnik sof temirni elektroliz qilish usuli orqali olinadi. Bunday temirning tarkibidagi qo'shimchalarning umumiy miqdori 0,05% dan oshmaydi. Elektrolitik temirga ishlov berib, zarralarining o'lchami 50-100mkm bo'lgan kukun olinadi. Bu kukunni bosim ostida ishlash orqali undan o'zaklar tayyorlanadi. Ular chastotasi 100-1000Gs atrofida bo'lgan asoblarda qo'llaniladi.

Karbonil temir pentakarbonil [Fe₂(CO)₅ suyuqligi] ni 200-250°C haroratda kimyoviy parchalash orqali olinadi. Karbonil temir mayda kukun ko'rinishida bo'lib, undan yuqori chastotali magnit o'zaklar tayyorlanadi. Kichik shar shakldagi zarrachalar o'zakda sodir bo'ladigan quyun toki miqdorini keskin kamaytiradi.

Vodorodda 1480°C da 30-40 minut davomida kuydirilgan sof temir birikmasidan uglerod va kislorod ajralib chiqadi:



Mazkur temir o'ta tozaligi bilan ajralib turadi; kuchsiz magnit maydonida bu materialning μ_r qiymati yuqori bo'ladi. Temir monokristali o'ta yuqori magnitlanish xossasiga ega.

Kremniyli elektr texnik po'lat temir va kremniy qotishmasidan iboratdir. Undan tayyorlangan listlar *elektr texnik po'lat listlar* deyiladi. Bu po'lat asosiy magnit materiallaridan biri bo'lib, sanoat chastotasida ishlaydigan elektr mashina va apparatlarida keng qo'llaniladi. Temir tarkibiga kremniy kiritishdan asosiy maqsad materialning solishtirma qarshiligini oshirish va undagi quyun toki miqdorini

¹⁴⁷ T.K. Basak. Electrical engineering materials. New Age International, Nil edition. USA, 2009. 196-bet

cheklashdan iboratdir. Kremniy elementi temirning magnit xossalari deyarli o'zgartirmagan holda P qiymatini sezilarli darajada oshiradi.

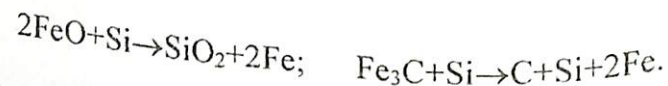
Elektr texnik po'latlarning tarkibidagi kremniy miqdoriga nisbatan zichligi va solishtirma qarshiligi

5.3-jadval

Po'latning kremniy bilan legirlanish darajasi	Markasidagi ikkinchi raqam	Zichligi, $\times 10^3$ kg/m ³	Solishtirma elektrik qarshiligi mkOm·m
Legirlanmagan	0	7,85	0,14
Kam legirlangan	1	7,82	0,17
O'rtachadan kam legirlangan	2	7,80	0,25
O'rtacha legirlangan	3	7,75	0,40
Yuqori darajada legirlangan	4	7,65	0,50
O'ta yuqori darajada legirlangan	5	7,55	0,60

Elektr texnik po'latning fizik xossalari:

Zichligi.....7800kg/m³
 Tarkibidagi kremniy miqdori.....0,4-2,8%
 Solishtirma qarshiligi.....(0,14-0,50)·10⁶ Om·m
 Issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsiyenti.....0,46-0,25Vt/(m·K)
 Kremniy temir tarkibidagi uglerod va kislorod birikmalarini yemiradi:



Tarkibidagi kremniy miqdorining ortishiga qarab temir xossalari o'zgarishi:

Si, %	γ , kg/m ³	μ_b	$(\mu_{bj})_{\max}$, Bb/m ²	H_c , A/m	ρ , mkOm·m
0	7800	150	2,15	0,0160	0,10
2	7750	200	2,06	0,0046	0,40
4	7550	400	1,97	0,0040	0,62

Yupqa listli elektr texnika po'lati quyidagicha tasniflanadi:

Struktura holati va prokatlash turi bo'yicha (markadagi birinchi raqam): 1- qizdirib shakl berilgan, izotropli; 2- sovuqlayin shakl berilgan, izotropli; 3- sovuqlayin shakl berilgan, anizotropli;

Tarkibidagi kremniy miqdori bo'yicha (markadagi ikkinchi raqam): 0- kremniy miqdori 0,4% gacha (legirlanmagan);

- 1- 0,4% < Si ≤ 0,8%;
- 2- 0,8% < Si ≤ 1,8%;
- 3- 1,8% < Si ≤ 2,8%;
- 4- 2,8% < Si ≤ 3,8%;
- 5- 3,8% < Si ≤ 4,8%

Asosiy xarakteristikasi bo'yicha (markadagi uchinchi raqam) :
 0- magnit induksiyasi 1,7 Tl va chastotasi 50 Gs bo'lgandagi solishtirma isroflar $P_{17/50}$; 1- $P_{1,5/50}$; 2- $P_{1/400}$; 6- maydon kuchlanligi 0,4 A/m bo'lgan kuchsiz magnit maydonidagi magnit induksiyasi ($B_{0,4}$); 7- maydon kuchlanligi 10 A/m bo'lgan o'rtacha magnit maydonidagi magnit induksiyasi (B_{10}).¹⁴⁸

Po'lat o'ram, varaq va tasma ko'rinishida ishlab chiqariladi. Ular izolyatsiya qoplamli bo'lib ham chiqariladi. Po'latlar apparat, transformator, elektr mashinasi va asboblarning magnit zanjirilarida qo'llaniladi. Teksturlangan po'latlar transformatorlar o'zagi uchun ishlatiladi. Bunday po'latdan foydalanish quvvatli transformatorlar hajmi va tashqi o'lchamini 20-25% kamaytirish imkonini beradi, radio transformatori hajmini esa 40% gacha kichraytiradi. Elektr texnik po'latlarning tarkibidagi kremniy miqdoriga nisbatan zichligi va solishtirma qarshiligi 20-jadvalda keltirilgan.

Permalloy temir-nikel qotishmasi bo'lib, uning boshlang'ich magnit singdiruvchanligi nisbatan yuqoridir. Tarkibida nikel miqdori

¹⁴⁸ Callister, William D., Materials science and engineering: an introduction, 7th ed. p.cm/ - Printed in the United States of America/ John Wiley & Sons, Inc. - 2007. 418-bet.

70-83% bo'lgan permalloylar *yuqori nikelli*, 40-50% bo'lgan permalloylar esa *past nikelli permalloylar* deyiladi.

Tarkibida 2% molibden bo'lgan permalloyning p qiymati katta bo'lib, u yaxshi magnitlanish xususiyatiga egadir. Permalloydan qalinligi 0,1-0,5 mm li varaqlar tayyorlanadi. Kukun ko'rinishidagi permalloyga bosim ostida ishlov berib, o'zaklar tayyorlanadi. Bunday o'zaklar 100 kGs chastota bilan ishlaydigan uskunalarda qo'llaniladi.

Alsifer – temirning kremniy va alyuminiy (9,5% Si, 5,6% Al, 84,9% Fe) bilan birgalikdagi qotishmasidir. Bu qotishma qattiq va mo'rt bo'lib, undan murakkab shaklli quyimatlar olinadi. Alsiferning asosiy xossalari: $\mu_{r6}=35500$, $\mu_{r7}=120000$, $H_c=1,8$ A/m, $\rho=0,8$ mk·Om. Alsiferdan magnitli ekran, asboblarning ustki qismi va boshqa mahsulotlar quyish usuli bilan tayyorlanadi.¹⁴⁹

Qo'llanilishi magnit xossalarining u yoki bu xususiyatlariga asoslangan materiallarni alohida turkumga kiritish mumkin. Bunday materiallarga quyidagilar misol bo'ladi: 1) maydon kuchlanganligi o'zgarganda magnit singdiruvchanligi juda kam o'zgaradigan qotishmalar; 2) magnit singdiruvchanligi haroratga kuchli ravishda bog'liq bo'lgan qotishmalar; 3) to'yintirish induksiyasi o'ta yuqori bo'lgan qotishmalar.

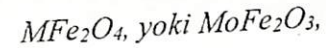
Birinchi turdagi qotishmalarning nomi perminvar bo'lib, uning tarkibida 29,4% Fe, 45% Ni; 25% Co va 0,6% Mn bor. Mazkur qotishma 1000°C da yumshatiladi, keyin 400-500°C da ushlab turiladi va asta-sekin sovitiladi. Perminvarning boshlang'ich magnit singdiruvchanligi 300ga teng. Perminvar harorat ta'siriga va mexanik kuchlanishlarga sezgir materialdir.

Ikkinchi turga Ni-Cu, Fe-Ni yoki Fe-Ni-Cr asosidagi termomagnit qotishmalar kiradi.

Uchinchi turga temir-kobalt qotishmalari kiradi. Tarkibida 50-70% Co bo'lgan mazkur qotishmalar *permendyurlar* deb ataladi. Permendyurlarning narxi qimmatroq bo'lganligi tufayli ulardan faqat maxsus apparatlarda, xususan, dinamik reproduktorlar, ossilloqraflar, telefon membranalarida foydalaniladi.

Ferritlar. Tarkibida, temirdan tashqari, ikki va undan ko'p valentli metall (Ni, Co, Mn, Zn, Cu, Cd, Pb, Mg) oksidlari ham bo'lgan birikmalar *ferritlar* deyiladi. Ular qisman elektronli elektr o'tkazuvchanlik xossasiga ham egadir. Ferritning kristall panjarasi kub shaklida bo'ladi. Odatda, yaxlit ferrit tayyorlash uchun ferrit kukuniga polivinil spirti plastifikatori qo'shiladi va bu massa yuqori bosimda qoliplanadi. Uning solishtirma qarshiligi sof temirning solishtirma qarshiligiga nisbatan 10^5 - 10^6 barobar yuqoridir. Shu sababli, ferritda qyun toki hisobiga sodir bo'ladigan isroflar keskin kamayadi va materialni yuqori chastotalarda ham ishlatsa bo'ladi. Ferritning magnit singdiruvchanligi sof temirnikiga nisbatan 10^2 - 10^3 barobar yuqori bo'lganligi uchun undan tayyorlanadigan o'zaklar hajmini keskin kichraytirish mumkin. Ferritdagi (μ_{rjm}) qiymatlar ferromagnit (yoki oddiy metall) dagiga nisbatan juda kichik bo'lgani uchun, u past chastotali asboblarda ham qo'llaniladi.

Ferrit tarkibi oddiygina qilib quyidagicha ifodalanadi:



bunda: M- ikki valentli biror metall.

Ferritlar tarkibidagi qo'shimchalarga mis, rux, nikel-rux, marga-nes-rux misol bo'ladi. Ular elektr texnikada keng miqyosda qo'llanilmoqda. Ferritlarda Kyuri nuqtasidagi harorat ancha past, ya'ni 100-150°C atrofida bo'ladi. Uning solishtirma og'irligi 3700-4800 kg/m³ atrofida bo'lib, asosiy xossalari 5.4-jadvalda keltirilgan.

5.4-jadval

Navi	μ_{rb}	μ_{max}	$H_r, A/m$	B_r, Tl	I_n, MGs	$T_k, ^\circ C$	$\rho, Om \cdot m$
2000HM	15000	35000	0,24	0,11	0,1	110	0,001
6000HM	4800-8000	10000	8	0,11	0,5	130	0,1
1000HM	800-1200	1800	28	0,11	5	200	0,2
1000HM	800-1200	3000	24	0,10	3	110	10
600HM	500-800	1500	40	0,12	5	110	100
2000HM1	1700-2500	3500	25	0,12	1,5	200	50
700HM1	550-850	1800	25	0,05	8	200	140

¹⁴⁹ T.K. Basak. Electrical engineering materials. New Age International, Nil edition USA, 2009. 201-bet

5.4-jadvalning davomi

100VCh	80-120	210	300	0,15	80	400	10 ⁵
20VCh2	16-24	45	1000	0,1	300	450	10 ⁶
300NN	280-350	600	80	0,13	20	120	10 ⁶
9VCh	9-13	30	500	0,06	600	500	10 ⁷
200VCh	180-220	360	70	0,11	-	360	10 ³
50VCh3	45-65	200	100	0,14	-	480	10 ⁴

Ferritning gisterezis halqasi to'g'ri burchakka yaqin bo'lishi uni maxsus apparatlarda qo'llash imkonini yaratadi. Ferrit, asosan, aloqa, radiotexnika, hisoblash texnikasi, avtomatika asbob-uskunalarida keng miqyosda qo'llaniladi.

Gisterezis halqasi to'g'ri burchakli ferritlar hisoblash texnikasining xotira qurilmalari uchun asosiy material bo'lib xizmat qiladi. Bunday materiallarning xossalarini izohlash uchun qo'shimcha maxsus parametrlar kiritiladi.

Bunday parametrlardan biri gisterezis halqasining to'g'ri burchakli koeffitsiyentidir:

$$K_n = B_r / B_{max}$$

bunda k_n qiymati iloji boricha birga yaqin bo'lishi kerak. O'zaklar tezda qayta magnitlanishi uchun ularning qayta ulanish koeffitsiyenti S_q kichik qiymatga ega bo'lishi kerak.

Ferrit o'zaklarining xossalari 5.5-jadvalda keltirilgan.

Konstruksion cho'yan va po'latlar asbobsozlik, apparatsozlik va elektr mashinasozligida keng qo'llaniladigan materiallardir. Magnit xossalariga ko'ra ular magnitli (kulrang cho'yan, uglerodli va legirlangan po'lat) va magnitsiz turlarga bo'linadi.

Kulrang cho'yan tarkibida 3,2-3,5% uglerod, kremniy, marganes, fosfor va oltingugurt bo'ladi. Bu materialning egilishdagi mustahkamligi 200-450 MPa. Undan elektr mashinalarning korpusi, asosi va shu kabi detallar tayyorlanadi.

Ferrit o'zaklarining xossalari

5.5-jadval

Material	H_c A/m	Br, Tl	k_n	S_q , mkKl/m	
Turli navdagi ferritlar	10-1200	0,15-0,25	0,9	25-55	110-630
Permalloyli o'zaklar (tasmaning qalinligi 2-10 mkm)	8-50	0,6-1,5	0,85-0,9	25-100	300-630

Odatda, quymalar olishda tarkibida 0,08-0,2% uglerodi bo'lgan, uglerodli po'latdan foydalaniladi. Bunda quymalar 85-900°C haroratda sekin-asta yumshatiladi. Maxsus elektr mashinalarida, shuningdek, konstruksiyasi yengillashtirilgan mashinalarda nikel, vanadiy, xrom va molibden bilan legirlangan po'latlar ishlatiladi. Bu po'latlarning egilishdagi mexanik mustahkamligi 500-950 MPa oralig'ida bo'ladi.

5.3. Qattiq magnit materiallar

Qattiq magnit materiallar tarkibi, holati va olinish usullariga ko'ra quyidagicha tasniflanadi: 1) legirlangan martensit po'latlari; 2) quyma qattiq magnit qotishmalari; 3) kukunlardan tayyorlangan magnit; 4) qattiq magnitli ferritlar; 5) egiluvchan qotishmalar va magnit tasmalari. Qutblar orasida havo bo'shlig'i mavjud bo'lganida energiyaning bir qismi magnit material hajmidan tashqaridagi maydon bilan bog'liq bo'ladi. Mazkur energiyaning qiymati bo'shliqning uzunligiga bog'liq. Magnit qutblarining magnitsizlanishi hisobiga oraliqdagi induksiya B_d qoldiq induksiya B_r ga nisbatan kichikroq bo'ladi.¹⁵⁰

Havo oralig'idagi solishtirma magnit energiyasi:

¹⁵⁰ Bijay_Kumar Sharma., Electrical and Electronic Materials Science./ - OpenStaxCNX./ Indiya - 2014, 193-bet.

$$W_d = B_d H_d / 2,$$

bunda: $H_d - B_d$ induksiyaga mos keladigan maydon kuchlanganligi.

Tutashtirilgan magnitda $B_d = B_r$, $H_d = 0$ bo'lgani sababli, mazkur energiya nolga tenglashadi. Agar qutblar oralig'i juda katta bo'lsa, $B_d = 0$, $H_d = H_c$ bo'lganligi sababli bunda ham energiya nolga intiladi.

Qandaydir B'_d , H'_d qiymatlarda energiya o'zining eng yuqori qiymatiga erishadi:

$$W_{max} = B'_d \cdot H'_d.$$

Bu ifoda bilan magnitdan eng yaxshi foydalanish imkoniyati aniqlanib, u o'zgarmas magnitlar tayyorlashda ishlatiladigan materiallarning sifatini aniqlaydigan muhim xarakteristika hisoblanadi.

Po'lat tarkibiga volfram yoki xrom kabi metallar kiritilsa, martensit tuzilishli material hosil bo'ladi. Bunda po'latning doimiy magnit eskirish jarayoni susayadi. Volframli po'lat tarkibida 0,6% C, 5-6% W, xromli po'lat tarkibida esa 1% C, 1%-3% Cr bo'lib, ularning xossalari uglerodli po'latnikiga nisbatan ancha yaxshilangan. Mazkur materiallarning magnit xossalari: $H_c = 0,45-0,5$ kA/m, $B_r = 0,9-1,1$ Bb/m², $W_g = 0,9-12$ kJ/m³.¹⁵¹

Elektr texnikada magnit materiali sifatida ilk bor qo'llanilgan qotishma *alni* deb atalgan. Uning tarkibi 11-16% Al, 24-30% Ni, 54-65% Fe elementlaridan iborat. Alning H_c qiymati uglerodli po'latnikiga nisbatan 10 barobar yuqori. Juda qattiq material bo'lganligi sababli, alniga mexanik ishlov berib bo'lmaydi. Alnidagi magnit quyish usuli bilan olinib, kerakli tuzilish sovitish jarayonida hosil qilinadi. Uning magnit xossalari quyidagicha: $H_c = 4-4,5$ kA/m, $B_r = 0,55-0,65$ Vb/m², $W_g = 5$ kJ/m³.

Alniko qotishmasi alniga o'xshash bo'lib, uning tarkibida 5-10% CO va 6% Cu qo'shimchalar bor. Alnikoning magnit xossalari: $H_c = 4,0-4,5$ kA/m, $B_r = 0,7-0,8$ Bb/m², $W_g = 6,0-7,0$ kJ/m³.

Magniko qotishmasi alnikodan tarkibidagi kobalt miqdorining nisbatan ko'pligi bilan (10% Al, 17% Ni, 24% CO, 6% Cu, 43% Fe) farqlanadi. Magnikoning magnitlik xossalari: $H_c = 4,0-4,5$ kA/m, $B_r = 1,2-1,3$ Bb/m², $W_g = 16-20$ kJ/m³.

¹⁵¹ Callister, William D., Materials science and engineering: an introduction, 7th ed. p.cm/ - Printed in the United States of America/ John Wiley & Sons, Inc. - 2007. 428-bet.

Qotishma magnit xossalarning yaxshilanishi, uning tarkibi bilangina emas, balki maxsus ishlov berish - quymani kuchli maydon ta'sirida sovitish jarayoni bilan ham aniqlanadi.

Alni, alnico va magniko qotishmalarining kamchiligi ulardan aniq o'lchamli kichik mahsulotlar tayyorlashning mushkulligidir.

Platinali qotishmalar temir yoki kobalt tarkibiga 77-78% platina qo'shish orqali olinadi. Bu materialda H_c qiymati keskin oshib, induksiya qiymati esa pasayadi. Uning magnit xossalari (temirli qotishmada): $H_c = 12,5$ kA/m; $B_r = 0,58$ Bb/m²; $W_g = 12$ kJ/m³; kobaltlisida esa $H_c = 21$ kA/m, $B_r = 0,45$ Bb/m², $W_g = 15 \cdot 10^3$ kJ/m³ platinali qotishmalarining qoldiq induksiyasi kichik qiymatga ega. Narxi balandligi sababli, bu materiallar maxsus apparatlarda juda kichik hajmli magnitlar tayyorlashda qo'llaniladi.

Nazorat uchun savollar

1. Magnit materiallar deb qanday materiallarga aytiladi?
2. Magnit materiallarga misollar keltiring.
3. Qattiq magnit materiallar.
4. Yumshoq magnit materiallar.
5. Ferromagnit materiallar.
6. Ferritlarning qo'llanilishi.
7. Nisbiy magnit singdiruvchanlik.
8. Gisterezis sirtmog'ining hosil bo'lishi.
9. Koersitiv kuch qanday hosil bo'ladi?

GLOSSARIY

Alyuminiy – **Алюминий** – **Aluminum** – O'zining elektr o'tkazuvchanlik xususiyati jihatidan misdan keyingi o'rinda turadigan o'tkazuvchi materialdir.

Alyuminoksid – **Оксид алюминия** – **Aluminum oxide** – Mayda donador (2-3 mkm) strukturali plastik bo'lmagan abraziv materialdir.

Anorganik dielektriklar – **Неорганические диэлектрики** – **Inorganic dielectrics** – Issiqqa chidamlilik, eskirmaslik, turli xil nurlanishga bardoshlilik, kimyoviy chidamli, siqilishga bo'lgan mexanik mustahkamlik va metall bilan birikkanda zich birikma hosil qilish xususiyatlariga ega bo'lgan materiallar.

Asbest – **Асбест** – **Asbest, ferroelectrics** – Yuqori temperaturaga chidamli bo'lib 1250° C dan yuqori temperaturadagina suyuqlanadi.

Bitumlar – **Битум** – **Bitumen** – Bitum murakkab uglevodorod birikmalaridan iborat bo'lgan qora yoki to'q qo'ng'ir rangli termoplastik amorf modda.

Dielektrik elektr o'tkazuvchanligi – **Диэлектрическая электропроводность** – **Dielectric electrical conductivity** – Dielektriklarda elektr o'tkazuvchanlik uning tarkibida erkin zaryadlar hisobiga sodir bo'ladi.

Dielektrik materiallar – **Диэлектрические материалы** – **Dielectric materials** – Bu materiallar issiqlikka chidamlilik, eskirmasligi turli xil nurlanishga bardoshlilik kimyoviy chidamli birikkanda zich birikma hosil qilish xususiyatlariga ega.

Dielektrik qutblanish – **Полярность диэлектрика** – **The polarity of the dielectric** – Dielektrikda elektr maydoni ta'sirida zaryadlangan zarrachalarning fazoviy joylashuvining o'zgartirish holati tushuniladi.

Dielektrik singdiruvchanlik – **Диэлектрическая абсорбция** – **Dielectric absorption** – Kondensatorning sig'imini dielektrik qiymatini aniqlaydigan ifoda dielektrik singdiruvchanlikdir.

Dielektriklarning elektr teshilishi – **Перфорация диэлектрика** – **Dielectrics perforation** – Elektr maydoni ta'sirida bo'lgan dielektrik maydon kuchlanganligining ma'lum qiymatlaridan boshlab

elektr izolyatsiya xususiyatini yo'qotadi, ya'ni dielektriklarda teshilish sodir bo'ladi.

Dielektrikning elektr mustahkamligi – **Электрическая прочность диэлектриков** – **Electricity dielectric strength** – Teshilish kuchlanishining dielektrik teshilish joydagi qalinligi (*h*)ga nisbati.

Dielektrikning namligi – **Жидкие диэлектрики** – **Dielectric humidity** – Agar quruq dielektrik nam havoga kiritilsa namlik jism hajmi bo'yicha uning ichiga singib boradi.

Elastomer turlari – **Эластомерные материалы** – **Elastomeric materials** – Kauchuk asosidagi materiallar va xossalari jihatidan unga yaqin bo'lgan moddalar elastomerlar deb ataladi.

Elektr maydon kuchlanganligi – **Напряженность электрического поля** – **The electric field strength** – Zaryadlangan jism yoki zarrachalarning elektr maydonidagi ta'sir kuchi.

Elektr o'tkazgich material – **Электротехнические проводники** – **Electrical conductor material** – Qattiq jismlar suyuqliklar va ma'lum sharoitda gaz ham qo'llanishi mumkin.

Ferritlar – **Феррит** – **Ferritic** – Tarkibida temirdan tashqari 2 om dan kub valentli metall oksidlari ham bo'lgan birikmalar.

Fotoelementlar va batareyalar – **Фотоэлементы и батареи** – **Photo elements and batteries** – Fotoelementlar yorug'lik orqali ishlaydigan elementlar sarasiga kiradigan yarim o'tkazgichlardir.

G'ovak dielektriklar – **Пористый диэлектрик** – **Porous dielectric** – Yog'och, qog'oz, g'ovak sopol materiallari.

Gazda ionlanish – **Ионизация газа** – **Gas ionization** – Elektron molekulariga urilish natijasi.

Gazsimon dielektriklar – **Газообразные диэлектрики** – **Gaseous dielectrics** – Gazlarning asosiy xususiyatlaridan biri razryad sodir bo'lgandan so'ng ular o'zining elektr mustahkamligini tiklay olishidir.

Havoning mutloq namligi – **Абсолютная влажность воздуха** – **Absolute humidity of the air** – Uning hajm birligidagi suv bug'i massasidir.

Kanifol – **Канифол** – **Konifol** – To'q sariq rangli mo'rt modda bo'lib, daraxt yelimidan ajratib olinadi.

Kimyoviy birikmalar – Химические соединения – **Chemical compounds** – Birikmalari komponentlarni vakuum yoki inert gaz muhitida o'zaro ta'sir ettirish yo'li orqali olinadi.

Ko'piksimon shisha – Пенистое стекло – **Foamy glass** – Yengil, mexanik mustahkam, yaxshi dielektrik xossali, issiqqa chidamli material.

Kogerent to'lg'inlar – Когерентные волны – **Coherent waves** – Yorug'lik to'lg'inlarining chastotasi f , fazasi φ , targ'alish yo'nalishi o'zgarish yoki ma'lum qonunda bir xil o'zgarsa kogerent to'lg'inlar deyiladi.

Kompaundlar – Компаунд – **Compounds** – Shimiluvchi va quyiluvchi turlarga bo'linadi ular loklardan o'z tarkibida erituvchilarni yo'qligi bilan farq qiladi.

Korpuskalyar nurlanish – Корпускалярное излучение – **Korpuskalyar radiation** – Tezkor yoki sust harakatli neytronlar, yadro bo'lakchalari, α – zarrachalari va β – nurlari, to'lg'inli nurlanishga esa γ – nurlari va rentgen nurlari

Lok – Лак – **Varnish** – Tabiiy va sintetik katron bitum quruydigan moy sellyuloza efiri va boshqa birikmalarning kolloid eritmasi.

Loklash – Лакировка – **Varnished** – Izolyatsiya xarakteristikasini o'zgartirishdan saqlash va namlik ta'sirini kamaytirish.

Magnit materiallar – Магнитные материалы – **Magnetic materials** – Tashqi magnit maydon ta'sirida magnitlanish xossasiga ega materiallar magnit materiallar deb ataladi.

Magnit yumshoq materiallardan – Магнитомягкие материалы – **Soft magnetic materials** – Magnitli o'tkazgichlar tayyorlanadi bu materiallarning magnit singdiruvchanligining boshlang'ich qiymati katta bo'lishi kerak.

Makromolekula – Макромолекула – **Macromolecula** – Yuqori molekulyar birikmalarning yuzta, mingta va undan ko'p atomlarning o'zaro kovalent bog'lanishidan vujudga kelgan molekulasi.

Nometal o'tkazgichlar – Неметаллические провода – **Metal wires** – Qattiq metalmas o'tkazgichlar orasida uglerod asosidagi materiallar muhim ahamiyatga egadir.

Mexanik issiqlik va kimyoviy xossalar – Механические и термические химические свойства – **Mechanical thermal and chemical properties** – Dielektrikning issiqqa chidamliligi uni eng muhim xossalaridan biri, anorganik dielektriklarning issiqlikka chidamliligi ularning elektr xossalari qiymatlari o'zgarishiga qarab belgilanadi.

Mis – Медь – **Copper** – Tabiatda keng tarqalgan material bo'lib mexanik mustahkamlikka va yaxshi o'tkazuvchanlikka ega materialdir.

Monomerlar – Мономеры – **Monomers** – Polimerlarni sintez qilishda ishlatiladigan quyi molekulyar birikmalar

Olevaks – Олевакс – **Olevaks** – Kanakunjut moyini gidrogenlash usuli orqali olinadigan yaxshi dielektrik xossali moddadir.

Organik dielektriklar – Органические диэлектрики – **Organic dielectrics** – Uglevodorodli birikmalardan iborat bo'lgan elementlar organik dielektriklar deyiladi.

Organik moddalar – Органические вещества – **The organic substance** – Tarkibida uglerod moddasi bo'lgan birikmalar.

Polimer plyonkalar – Полимерные пленки – **Polymeric folies** – Plyonkalarining elektr va mexanik xossalari yaxshi bo'lganligi sababli ulardan kondensator, elektr mashina va apparat, kabellar ishlab chiqarishda foydalanadi.

Polimerlash – Полимеры – **Polymers** – Reaksiya natijasida monomerlardan polimerlar hosil bo'lishi.

P'yezoelektriklar – Пьезоэлектрики – **Piezoelectrics** – Mexanik kuchlanish ta'sirida dielektr sirtida hosil bo'ladigan elektr statik zaryad va uning ichida vujudga keladigan elektr qutblanishga p'yezoelektrik hodisasi deyiladi.

Qahrabo – Янтарь – **Amber** – Och sariq – qo'ng'ir tusli o'simlik mahsulidir.

Qovushqoqlik – Вязкость – **Viscosity** – Suyuqlik va gaz molekularining siljishdagi ichki ishqalanishi tufayli yuzaga keladigan ichki qarshilik.

Qutblanish – Полярность – **The polarity** – Dielektrikda elektr maydoni ta'sirida zaryadlangan zarrachalarning fazoviy joylashuvini o'zgartirish holati.

Radiatsiya intensivligi - Интенсивность излучения - The intensity of radiation - Dielektrikka nurlanish ta'sir ettirilganda uning elektr o'tkazuvchanligi ma'lum stasionar holatgacha ortishi

Radiatsiyaga chidamliligi - Радиационная стойкость - Radiation resistance - Dielektrik va mexanik xususiyatlarni saralay olishi.

Sellyuloza - Целлюлоза - Cellulos - Yuqori molekulali chiziqli polimer bo'lib, yog'ochga ishlov berish orqali olinadi.

Shellak - Шеллак - Shellac - Tropik daraxt qumursqalari (gummilak) mahsuli.

Shisha - Стекло - Glass - Murakkab tuzilishli birikmalardan tashkil topgan bo'lib, uning tarkibiga turli metall oksidlari kiradi.

Sitallar - Керамика - Ceramics - Tuzilish jihatidan zich material bo'lib uning tarkibida havo bo'shliqlari yo'q.

Slyuda va slyudali materiallar - Слюда и слюдяные материалы - Mica and mica materials - Tabiatda juda kam o'chraydigan qimmatbaho materialdir. Slyudani elektr o'tkazuvchanligiga namlik va temperatura kuchli ta'sir etadi.

Sopolning shishasimon fazasi - Керамическая стекловидная фаза - Ceramic vitreous phase - Kristall fazalarni o'zaro bog'laydigan qatlamdir.

Sublimatik bug'lanish - Испарение, сублимация - Evaporation, sublimation - Erib suyuq'lik holatiga o'tmasdan qattig' holatdan to'g'ri bug' holatiga o'tib ketishi.

Suyuq dielektriklar - Жидких диэлектриков - Liquid dielectrics - Yuqori elektr mustahkamlik va solishtirma hajmiy qarshilik kichik miqdorli dielektrik singdiruvchanlik elektr issiqlik maydonlariga bo'lgan bardoshlik, ish mobaynida xossalarning barqarorligi yong'inga bardoshlik ajralib turadi.

Suyuq kristallar - Жидкие кристаллы - Liquid crystals - Suyuq kristallar ma'lum darajadagi qovushqoqlik, optik, elektrik va magnit xossalarga ega bo'lgan organik birikmalardir.

Tenzometrik qotishmalar - Тензометрические сплавы - Tensometric alloys - Bunday qotishmalar mexanik kuchlanish ta'sirida bo'lgan konstruksiyalardagi deformatsiyani o'zgartirgichlar tarkibida qo'llaniladi. Undan yasalgan tenzometrik element deformatsiyalanish natijasida o'z qarshiligini o'zgartiradi.

Transformator temiri - Трансформаторная сталь - Transformer steel - Elektrolitik temir texnik sof temirni elektroliz qilish usuli orqali olinadi Bunday temirning tarkibidagi qo'shimchalar miqdori 0,05 % dan oshmaydi.

Vazelin - Вазелин - Vaseline - Qattiq va suyuq uglevodorodlar aralashmasidan tashkil topgan quyuq moddadir.

Yarim o'tkazgich elektr o'tkazuvchanligi - Электропроводность полупроводников - Semiconductor electrical conductivity - Agar tashqi ta'sir etayotgan maydon energiyasi taqiq zonadagi elektronlarning energiya darajasiga yetsa yarim o'tkazgichlarda elektr o'tkazuvchanlik sodir bo'ladi.

Yarim o'tkazgich materiallar - Полупроводниковые материалы - Semiconductor materials - Qisman o'tkazuvchanlikka ega o'tkazgichlar yarim o'tkazgichlar deyiladi.

Yog'och va qog'oz turlari - Материалы из древесины и бумаги - Materials of wood and paper - Elektr texnikada daslabki elektr izolyatsiya materiallaridan biri sifatida tabiatda keng tarqalgan yog'ochdan foydalanilgan.

Yorug'lik - Свет - Light - O'zaro perpendikulyar yo'nalishda tebranadigan elektr va magnit maydonlari kuchlanganliklarining ma'lum bir yo'nalishda tarqalishi.

O'simlik moylari - Растительные масла - Vegetable oils - Quritish tezligi haroratni oshirish yorug'lik ta'sir ettirish yoki biron turdagi katalizator qo'shish orqali amalga oshiriladi.

O'tkazuvchanlik - Проводимость - Conductivity - Solishtirma qarshiligi nisbatan kichik bo'ladi. O'tkazgichdan tok o'tayotgan da bunday materiallarda energiya isrofi ham kam bo'ladi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. T.K. Basak. Electrical engineering materials. New Age International, Nil edition. –USA, 2009.
2. Callister, William D., Materials science and engineering: an introduction, 7th ed.p.cm/ - Printed in the United States of America/ John Wiley & Sons, Inc.- 2007. 975 p.
3. Bijay_Kumar Sharma., Electrical and Electronic Materials Science./ - OpenStaxCNX,/ Indiya – 2014, 229 p.
4. Axmedov A.SH. Elektrotexnika materiallari. O'quv qo'llanma. –Toshkent, 2006, 112 b.
5. Серебряков А.С. Электротехническое материаловедение. Электроизоляционные материалы. Учебное пособие. –М.: Маршрут, 2005.
6. В.Н. Бородулин и др. Электротехническое материаловедение. Методическое пособие. Под ред. А.С. Воробьева. - М.: Изд. МЭИ, 2001.
7. Joyta.ru
8. <http://tek.prom.ua>

MUNDARIJA

Kirish.....	3
I bob. ELEKTR TEXNIKA MATERIALLARINING KLASSIFIKASIYASI	
1.1. Moddalarning tuzilishi.....	5
1.2. Ichki atom bog'lanishlari.....	7
1.3. Elektr texnika materiallarining rivojlanish tendensiyasi.....	9
1.4. Qattiq jismlar fizikasining asosiy tushunchalari.....	13
1.5. Amorf va kristall jismlar haqida ma'lumot.....	14
1.6. Qattiq jismlarni texnikada tutgan o'rni.....	16
1.7. Metallar haqida umumiy ma'lumot.....	18
1.8. Metallarni kristall tuzilishi va uning xossalari.....	20
1.9. Kristall panjaradagi chetki moddalar diffuziyasi.....	23
1.10. Kristall panjaradagi nuqsonlar va ularni bartaraf etish usullari.....	24
1.11. Rangli metallar ishlab chiqarish.....	27
II bob. DIELEKTRIKLAR	
2.1. Elektr maydonidagi dielektrik.....	37
2.2. Qutbli va qutbsiz dielektriklar.....	44
2.3. Dielektrlarning elektr o'tkazuvchanligi.....	53
2.4. Gazlarning elektr o'tkazuvchanligi.....	58
2.5. Suyuq dielektrlarning elektr o'tkazuvchanligi.....	60
2.6. Qattiq dielektrlarning elektr o'tkazuvchanligi.....	63
2.7. Dielektrlarda energiya isrofi haqida umumiy tushuncha.....	69
2.8. Gazsimon, suyuq va qattiq dielektrlardagi isroflar...	76
2.9. Dielektrlarning elektr teshilishi.....	80
2.10. Gazlarning elektr teshilishi.....	82
2.11. Suyuq dielektrlarning elektr teshilishi.....	87
2.12. Qattiq dielektrlarning elektr teshilishi.....	89

2.13. Dielektrlarning fizik, kimyoviy va mexanik xususiyatlari.....	93
2.14. Dielektrikning mexanik xossalari.....	98
2.15. Dielektrikning fizik xossalari.....	101
2.16. Dielektrik materiallar.....	108
2.17. Gassimon dielektrlar.....	109
2.18. Suyuq dielektrlar.....	116
2.19. Organik dielektrlar.....	123
2.20. Tabiiy qatron.....	125
2.21. Sellyuloza.....	126
2.22. To'qimachilik materiallari.....	127
2.23. O'simlik moylari.....	128
2.24. Bitumlar.....	129
2.25. Mumsimon dielektrlar.....	130
2.26. Lok va kompaundlar.....	131
2.27. Polimer plyonkalar va suyuq kristallar.....	136
2.28. Yog'och va qog'ozlar.....	139
2.29. Lokli matolar.....	141
2.30. Elastomerlar.....	142
2.31. Bosma plata uchun bazis materiallar.....	144
2.32. Anorganik dielektrlar.....	145
2.33. Shisha.....	146
2.34. Sopol materiallar.....	150
2.35. Sitallar.....	156
2.36. Slyuda va slyudali materiallar.....	158

III bob. O'TKAZGICH MATERIALLAR

3.1. O'tkazgich materiallarining klassifikatsiyasi.....	161
3.2. O'tkazgich materiallarning asosiy xossalari.....	164
3.3. O'tkazuvchanlik xususiyati yuqori bo'lgan materiallar.....	170
3.4. Nometall o'tkazgichlar.....	175

IV bob. YARIM O'TKAZGICH MATERIALLAR

4.1. Yarim o'tkazgichlar haqida umumiy ma'lumotlar.....	179
4.2. Yarim o'tkazgichlarning o'tkazuvchanligi.....	181

4.3. Yarim o'tkazgich tarkibidagi qo'shimchalar.....	183
4.4. Yarim o'tkazgichlarning xususiyatlari.....	185
4.5. Yarim o'tkazgichli diodlar.....	186

V bob. MAGNIT MATERIALLAR

5.1. Magnit materiallar haqida umumiy ma'lumotlar.....	192
5.2. Yumshoq magnit materiallar.....	199
5.3. Qattiq magnit materiallar.....	207
Glossariy.....	210
Foydalanilgan adabiyotlar.....	216

A.X.SULLIYEV, I.M.BEDRISKIY, O.T.BOLTAYEV

ELEKTROTEXNIKA MATERIALLARI

Toshkent – «Fan va texnologiya» – 2017

Muharrir:	F.Ismoilova
Tex. muharrir:	F.Tishaboyev
Musavvir:	D.Azizov
Musahhih:	N.Hasanova
Kompyuterda sahifalovchi:	N.Rahmatullayeva

E-mail: tipografiyacent@mail.ru Tel: 245-57-63, 245-61-61.
Nashr.lits. AIN[№]149, 14.08.09. Bosishga ruxsat etildi: 29.11.2017.
Bichimi 60x84 ¹/₁₆. «Timez Uz» garniturasini. Ofset bosma usulida bosildi.
Shartli bosma tabog'i 13,5. Nashriyot bosma tabog'i 13,75.
Tiraji 200. Buyurtma №215.

«Fan va texnologiyalar Markazining bosmaxonasi» da chop etildi.
100066, Toshkent sh., Olmazor ko'chasi, 171-uy.

FAN VA
TEKNOLOGIYALAR

ISBN 978-9943-11-649-8



9 789943 116498