

II POOLJUHTSEADISED

4. POOLJUHTIDE OMADUSI

Semiconductor theory

4.1. Üldist

Pooljuhtseadised on käesoleva sajandi teise poole tehnilise revolutsiooni peasüüdlasteks. Nendeta ei oleks personaalarvuteid, mobiiltelefone ega palju muud sellist, mis tunduvad meile nii igapäevaseks. Võime julgesti öelda, et ilma pooljuhtseadisteta ei oleks praegust infoühiskonda. Soovides tehnikainimesena astuda tehnika arenguga ühte jalga, tuleb esmajärjekorras korrektselt omandada pooljuhtseadiste tööpõhimõtted.

Samal ajal tuleb mees pidada, et pooljuhttehnika on selle poole sajandi jooksul ise läbi teinud juba mitu arenguetappi. On olnud germaaniumi ajastu, kus enamik pooljuhtseadiseid valmistati germaaniumist, järgnes räniajastu, mis jätkub senini ja mille raames algas massiline integraallülituste tootmine ja kasutamine jne. See areng jätkub ja on väga raske ette arvata, milliseid üllatusi pakuvad meile järgnevad aastakümned. Ka kõige kaasaegsemate pooljuhtseadiste korral tuleb ikkagi arvestada nende kahe puudusega: omaduste sõltuvusega temperatuurist ja kiiret riknemis-võimalust ülekoormusel. Nende omaduste olemasolu ei tohi kunagi unustada.

4.2. Elektri juhtivus pooljuhtides

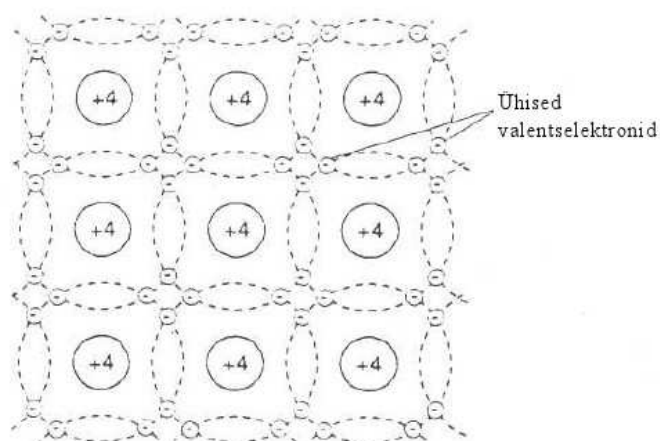
Pooljuhtideks nimetatakse suurt hulka aineid, mille elektri juhtivus on elektri juhtide ja isolatsioonite vahel. Elektri juhtide mahueritavus on vahemikus $10^{-4} \dots 10^{-6} \Omega \cdot \text{cm}$. Isolatsioonitel $10^{10} \dots 10^{18} \Omega \cdot \text{cm}$ ja pooljuhtidele jääb küllaltki suur vahemik $10 \dots 10^{10} \Omega \cdot \text{cm}$.

Kõigi pooljuhtide ühiseks oluliseks omaduseks on takistuse vähenemine temperatuuri tõusmisel. Tuntumad pooljuhtmaterjalid on germaanium, räni, seleen, galliumarseniid jt. Tänapäeval kasutatakse kõige enam räni.

Räni (Si) on mittemetall, mida leidub looduses kvartsis ja ka paljudes ühendites. Maakoostes leidub seda 27.6%. Räni sulamistemperatuur on 1415 °C.

Kõik põhilised pooljuhtmaterjalid kuuluvad Mendelejevi tabeli 4. rühma ja neil on elektronstruktuuri väliskihis 4 elektroni, mis on pooljuhtidele tüüpiline.

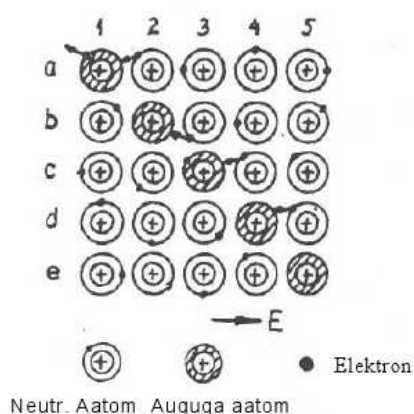
Enamikule tahketele kehadele, sealhulgas ka kasutatavatele pooljuhtmaterjalidele, on iseloomulik kristalliline ehitus. Kristallilise ehituse puhul paiknevad kõik aine aatomid ruumis kindlatel kohtadel ja on omavahel seotud. Pooljuhtide kristall-struktuuris on aatomid seotud kovalentsete ehk kaheelktroniliste sidemetega. On iseloomulik, et kovalentsetest sidemetest osavõtvad valentsielektronid kuuluvad korraga nagu kahele aatomile. Seetõttu võib kujutleda, et aatomi välisorbiidil on kaheksaelektroniline stabiilne struktuur. Kirjeldatud kovalentsete sidemetega struktuuri kujutatakse skemaatiliselt joonise 4.1. kohaselt. Taolise struktuuri juures on kõik elektronid tugevalt seotud tuumaga ja vabu elektrone, mis oleks voolu tekitajaks ehk nn. laengukandjateks ei esine.



JOONIS 4.1.

Sellist ideaalset struktuuri omavad keemiliselt puhtad pooljuhid absoluutse nulltemperatuuri juures (-273°C). Säärases olukorras on kõik pooljuhid isolaatorid. Väliste tegurite mõjul võivad aga väliskihi elektronid saada juurde energiat ja lahkuda oma kohalt struktuuris, kuna selleks vajalik energia, nn. energeetiline keelutsoon on küllaltki väike (ränil $1,1\text{ eV}$, germaaniumil $0,73\text{ eV}$). Põhiliseks väliseks teguriks, mis soodustab juhtivuselektronide tekkimist on temperatuur. Nii on näiteks toatemperatuuril 1 cm^3 ränis $10 \dots 10$ vaba elektroni, samal ajal vases aga 10 . Struktuurist lahkunud elektroni kohale jääb vaba koht. Seetõttu omandab aatom positiivse laengu, mille väärtus võrdub elektroni laenguga. Taolist vaba kohta nimetatakse auguks ja me võime teda vaadelda positiivse ühiklaenguna. Kuna auk omab positiivset laengut, võib ta tõmmata oma kohale struktuuris mõne kõrvalaatori elektroni. Selle protsessi kordumisel auk nagu liiguks, kusjuures see liikumine on elektroni liikumisega vastassuunaline.

Rakendades pooljuhile elektrivälja, hakkavad vabanenud elektronid liikuma elektrivälja suunale vastu ja tekkinud augud elektrivälja suunas, nii nagu käitaks positiivne ühiklaeng. Kirjeldatud nähtust aitab selgitada joonisel 4.2 toodud skeem. Joonisel tähtedega tähistatud ridades on aine struktuur erinevatel ajahetkedel. Võime jälgida, kuidas toimub augu liikumine esimesest aatomist viiendani.



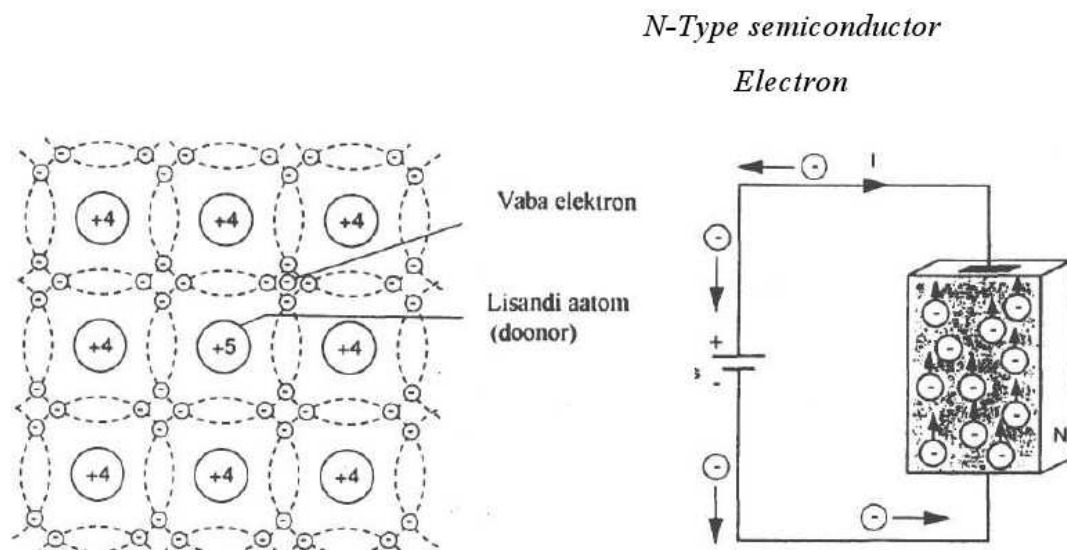
JOONIS 4.2.

Nagu joonisel toodud skeemil selgub, esineb üheaegselt nii elektronide kui aukude liikumine. Kui keemiliselt puhtas aines tekib üheaegselt sama arv elektrone ja auke, nagu praegu kirjeldasime. siis on meil tegemist materjali omajuhtivusega. Kuna

laengukandjaid on siin kaheksa, eristatakse ka kaheksa juhtivust. Elektronide liikumisest tingitud juhtivust nimetatakse elektronjuhtivuseks ehk n-juhtivuseks (sõnast "negative"), aukude liikumisest tingitud juhtivust aga aukjuhtivuseks ehk p-juhtivuseks (sõnast "positive").

Peale omajuhtivuse on sobivate lisandite lisamisega materjalile võimalik kunstlikult tekitada täiendavat lisandjuhtivust. Lisanditest tingitud juhtivus on alati üheliigiline, s.t. kas elektron- või auk juhtivus. Lisand juhtivuse tekitamiseks lisatakse pooljuhtmaterjalile kas kolme- või viievalentseid lisandeid, mis peavad ise olema võimalikult puhtad lisandeist ja nende lisatav hulk peab olema selline, et säiliks aine tüüpiline kristallstruktuur.

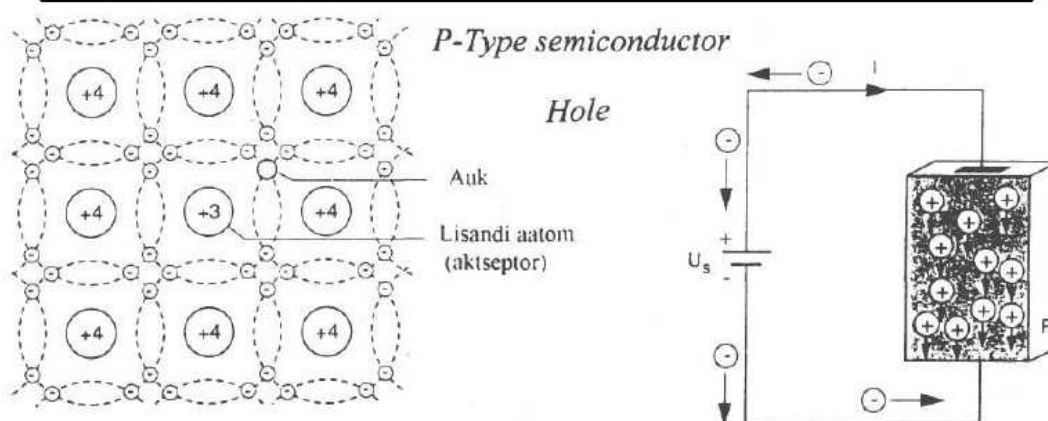
Vaatleme esmalt olukorda, kus põhiainele on lisatud viievalentset lisandit, milleks võib olla antimon (Sb), arseen (As) või fosfor (P). Viievalentse lisandi aatom võtab aine struktuuris endale koha analoogiliselt põhiaine aatomile, kuid tema ühele elektronile ei leidu struktuuris kindlat kohta (vt. joonis 4.3). Esialgu see elektron püsib aatomi mõjupiirkonnas, kuid väga väikesegi lisaenergia saamisel ta lahku oma aatomi juurest ja muutub juhtivuselektroniks.



JOONIS 4.3.

Vaadeldud juhul tekkis aines lisandi mõjul n-juhtivus. Aine juhtivus on nüüd suurem ja vool tekib aines elektronide liikumisena. Lisanditena kasutatavaid n-juhtivust tekitavaid aineid nimetatakse doonoriteks. Pooljuhti, kus lisanditega on tekitatud n-juhtivus, nimetatakse n-pooljuhiks.

Vastupidine pilt tekib siis, kui lisanditena kasutada kolmevalentseid aineid, nagu boori (B), galliumi (Ga) või indiumi (In). Sel juhul jääb struktuuris üks elektron puudu. See koht võib aga täituda kõrvalaatomi elektroniga ja tekibki struktuuri auk (vt. joonis 4.4). Seega tekitab kolmevalentne lisand aukjuhtivuse. Vool sellises p-pooljuhis tekib aukude liikumisena. Aukjuhtivust tekitavaid lisandeid nimetatakse aktseptoriteks.



JOONIS 4.4.

On muidugi ilmne, et lisandjuhtivuse augud ja elektronid käituvad analoogiliselt omajuhtivuse laengukandjatega.

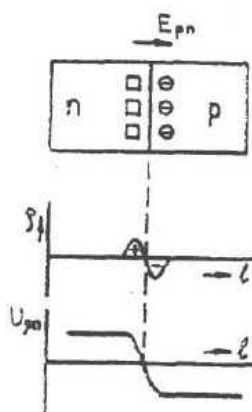
Üheaegselt lisandjuhtivusega esineb aines alati ka omajuhtivus, mistõttu materjalis leidub nii elektrone kui auke. Vastavalt kasutatud lisanditele on aga üks või teine ülekaalus, n-pooljuhis on ülekaalus elektronid ja nad on seal enamus-laengukandjateks ning seal leiduvad augud on vähemuslaengukandjateks; p-pooljuhis on aga vastupidi, enamuslaengukandjateks on seal augud ja vähemuslaengukandjateks elektronid. Kuna pooljuhtseadiste töös on vähemuslaengukandjad enamasti ebasoovitavaid nähtusi esilekutsuvaks põhjuseks, siis püütakse pooljuhtmaterjalide omajuhtivust võimalikult vähendada.

Kirjeldatust nähtub, et pooljuhtide elektrijuhtivus on oluliselt seotud nende ainete kristallstruktuuriga. Ideaalse kristallstruktuuri saamiseks peavad ained olema aga väga puhtad. Nii näiteks lubatakse enamiku seadiste lähtematerjaliks oleva omajuhtivusega pooljuhile (nn. i-pooljuht) lisandeid vaid üks aatom tuhande miljoni põhiaatomi kohta ($1/10^6$). Samuti on piiratud ainesse viidavate lisandite hulk, et säiliks põhiaine struktuur. Lisandite lubatav kontsentratsioon on üks aatom kümne miljoni põhiaatomi kohta ($1/10^7$). Seega võime öelda, et pooljuhtseadiste valmistamise keerukas tehnoloogia algab eriti puhaste ainete saamisest.

4.3. p-n-siire ja tema alaldav toime

The p-n Junction

Kui ühes pooljuhtkristallis tekitada kaks erineva juhtivusega osa, üks elektronjuhtivusega ja teine aukjuhtivusega, siis nende erinevate juhtivustega osade üleminekupiirkonda nimetatakse p-n-siirdeks. p-n-siirdes tekkivad nähtused ja tema omadused on enamiku pooljuhtseadiste töö aluseks. Praktiliselt saadakse selline olukord pooljuhtkristalli erinevate lisandite sisseviimise teel. Sellises kristallis on n-osas külluses elektrone ja p-osas külluses auke. Difusiooni toimel hakkab taolises olukorras toimuma laengukandjate vahetus. Seda olukorda võime vaadelda järgmiselt. Nimelt on n-osas hulk elektrone, millel puuduvad struktuuris kohad. Need kohad on aga vabad kõrvalolevas p-osas. Sellises olukorras hakkavad elektronid soojusliku difusioonse liikumise tulemusena liikuma p-osas olevatele vabadele kohtadele. Laengute liikumise tulemusena saab p-osa laenguid juurde ja omandab negatiivse laengu, n-osa aga kaotab samapalju elektrone ja omandab seega positiivse laengu. Need laengud vahetuvad ainult piirkihis, sest difusiooni teel liikudes ei jõua laengukandjad kaugele ja seda liikumist hakkab takistama ka tekkiv elektriväli. Joonisel 4.5. on selgitatud seda nähtust ruumilaengu tiheduse ja potentsiaalide erinevuse graafiku abil. Tekkivat potentsiaalide vahet nimetatakse potentsiaalbarjääriks.

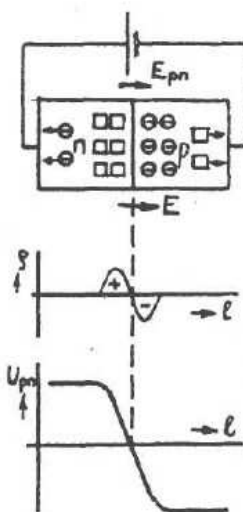


JOONIS 4.5.

Kui aga on olemas erinimelised laengud ja potentsiaalide vahe, siis esineb ka elektriväli E_{pn} , mis on suunatud n-osast p-ossa. Tekkinud elektriväli on aga suunatud laengukandjate liikumisele vastu ja laengukandjate liikumine ühest osast teise toimub seni, kuni nende endi poolt tekitatud elektriväli selle katkestab.

Tuleb aga märkida, et tekkinud elektriväli soodustab vähemuslaengukandjate liikumist. On võimalik elektronide liikumine p-osast n-ossa ja aukude liikumine n-osast p-ossa. Vähemuslaengukandjate liikumise tõttu võib potentsiaali barjäär väheneda, kuid niipea, kui see esineb, kompenseeritakse see täiendavate enamuslaengukandjate ühest osast teise liikumise teel. Olukorda võime vaadelda ka sellisena, nagu tekiks erinevate osade vahel isoleeriv tõkkekiht, sest piirikihis on ruumilaengu tihedus null, s.t. puuduvad voolu tekkimiseks vajalikud laengukandjad.

Kui ühendada p-n-siire pingeallikaga selliselt, et pingeallika plussklemm oleks ühendatud n-osaga ja miinusklemm p-osaga, siis on vooluallika poolt tekitatud elektriväli samasuunaline p-n-siirde elektriväljaga (vt. joonis 4.6). Elektriväljade liitumise tõttu suureneb summaarne potentsiaalibarjäär veelgi. Samal ajal leiab aset ka enamuslaengukandjate liikumine (pingeallika elektrivälja mõjul) pingeallika klemmide poole ja ruumilaengu tihedus suureneb veelgi. Kuna elektriväli on nüüd siirdes eelnevaga võrreldes veelgi tugevam, siis ei saa enamuslaengukandjad siirt üldse läbida.

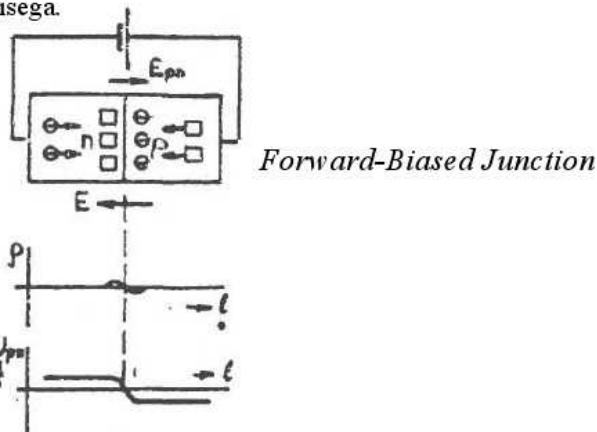
Reverse-Biased
Junction

JOONIS 4.6.

Seda olukorda võib kujutada ka nii, nagu muutuks tõkkekiht paksemaks. Selliselt pingestatud siirde olukorda nimetatakse vastupingerežiimiks. p-n-siiret läbib vastupinge olukorras ainult väga nõrk vool, mida nimetatakse vastuvooluks. Vastuvoolu põhjustajaks on vähemuslaengukandjad. Tingituna vähemuslaengukandjate piiratud kontsentratsioonist ei sõltu vastuvool siirdele rakendatud vastupingest.

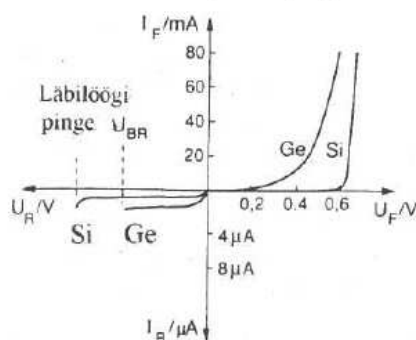
Täpsemalt asja uurides selgub, et vastuvool koosneb mitmest komponendist, millest osa sõltub ka rakendatud pingest. Seetõttu võime ka praktiliselt märgata vastuvoolu mõningat sõltuvust vastupingest. Vastuvool sõltub samuti ka materjalist. Ränil on see märksa väiksem kui germaaniumil.

Kui ühendada p-n-siire vastupidise polaarsusega pingeallikaga, siis on ka esinevad nähtused vastupidised (vt. joonis 4.7). Sel juhul on välise pingeallika poolt tekitatud elektriväli suunatud vastu p-n-siirde elektriväljale ja siirdes mõjuv elektriväli hakkab vähenema, muutub nulliks ja siis muudab koguni suunda. Samal ajal liiguvad enamuslaengukandjad siirde suunas, kuni laengud siirdes kaovad koos potentsiaali-barjääri kadumisega.

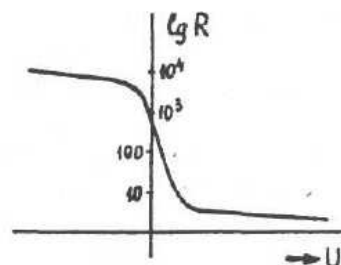


JOON.4.7.

Sellises olukorras hakkavad enamuslaengukandjad soodustatult läbima siiret ja kogu vooluringi läbib tugev vool. Selliselt pingestatud siirde olukorda nimetatakse ava- ehk pärisuunarežiimiks ja esinevat voolu ava- ehk pärivooluks. Seega näeme, et p-n-siirdel on ventiili omadus juhtida voolu ühes suunas, p-n-siire ongi sellest omadusest tulenevalt pooljuhtdiodide põhiosaks. Eri materjalidel on potentsiaalibarjäär erinev ja sellest tulenevalt algab ka pärivool erinevatel pingete väärtustel. Joonisel 4.8 on toodud räni ja germaaniumi p-n-siirete pinge-voolu tunnusjooned, p-n-siiret võime vaadelda ka kui muutva takistusega elementi, mille takistus oleneb rakendatud pingest (joonis 4.9). Päripingel on takistus väike, vastupinge korral aga suur.



JOONIS 4.8.

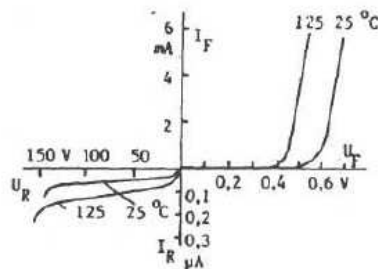


JOONIS 4.9.

Temperature Effects

4.4. p-n siirde omaduste sõltuvus temperatuurist

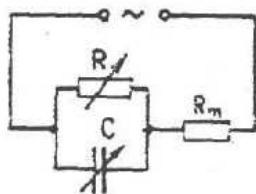
Nagu eespool märgitud, on lisanditeta pooljuht absoluutsel nulltemperatuuril dielektrik. Lisanditega pooljuht on aga ka sellises olukorras küllaldase juhtivusega. Seetõttu võiks p-n-siire töötada väga madalatel temperatuuridel. Tehnoloogilistel ja konstruktiivsetel põhjustel loetakse enamiku pooljuhtseadiste alamiseks töö-temperatuuripiiriks $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$. Temperatuuri tõusuga omandavad elektronid suurema energia ja omajuhtivus suureneb. Lisandjuhtivus sõltub samuti teataval määral temperatuurist, mingi temperatuuri juures on lisandid ära andnud kõik oma laengukandjad ja edasise temperatuuri tõusuga lisandjuhtivus enam ei suurene. Samal ajal aga suureneb pidevalt omajuhtivuse laengukandjate arv, kuni omajuhtivus saab lisandjuhtivusest suuremaks. Säärases olukorras kaob potentsiaalibarjäär ja kaob p-n-siire koos ventiiliomadustega. Toodud põhjustel on pooljuhtseadiste töötemperatuur piiratud. Lubatav töötemperatuur sõltub materjalist ja on rüni puhul $120\ldots 200\text{ }^{\circ}\text{C}$ (germaaniumil $70\ldots 90\text{ }^{\circ}\text{C}$). Kirjeldatud nähtus avaldub p-n-siiret läbiva voolu suurenemises temperatuuri tõusmisel. Seejuures on vastuvoolu suurenemine tugevam, kuna kõik vastuvoolu põhjustavad laengukandjad on pärit omajuhtivusest, pärivoolu suurenemine aga väiksem kuna vaid osa pärivoolu põhjustavatest laengukandjatest on pärit omajuhtivusest. p-n-siirde tunnusjoon erinevatel temperatuuridel on toodud joonisel 4.10. Vastuvoolu sõltuvus temperatuurist on eksponentne. Vastuvoolu suurenemise hindamiseks võime kasutada järgmist reeglit: vastuvool suureneb kahekordseks temperatuuri tõustes $8\ldots 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ võrra.



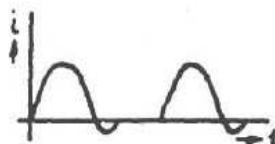
JOONIS 4.10.

4.5. p-n siirde omaduste sõltuvus sagedusest

p-n-siirde talitus sõltub ka rakendatud pingest sagedusest. Sageduse mõju saab selgitada joon.4.11. toodud aseskeemiga. Toodud skeemil kujutab R_m pooljuhtmaterjali takistust, R p-n-siirde takistust ja mahtuvus C siirde mahtuvust. Mahtuvus C koosneb omakorda kahest osast: a) laengumahtuvusest, mis on tingitud erinevates pooljuhtides paiknevatest laengutest ja b) difusioonimahtuvusest, mis tekib töö käigus difundeeruvate laengukandjate vahel. Lihtsustatult võime neid vaadelda ühise mahtuvusena. Kuna sõltuvalt rakendatud pingest muutub tõkkekihi paksus, siis muutub koos sellega ka diodi mahtuvus. Rakendatava pingest sageduse suurenemisel hakkab avalduma mahtuvuse shunteeriv mõju, mis avaldub vastusuuna režiimis, kus siirde takistus väheneb mahtuvusjuhtivuse suurenemise tõttu.



JOONIS 4.11.



JOONIS 4.12.

Teiseks sagedust piiravaks teguriks on p-n-siirde inerts. Kui siirdele mõjub päripinge, siis tõkkekiht puudub. Kui aga rakenduv pinge muudab polaarsust, siis tekib tõkkekiht. Tõkkekihi tekkimine ei toimu aga momentaalselt, vaid alles mõne hetke möödumisel. Kui tõkkekiht ei ole veel kujunenud, siis läbib siiret vool ka negatiivse poolperioodi algul (joonis 4.12). Kirjeldatud nähtus ilmneb kõrgetel sagedustel vastuvoolu suurenemisena. Aega, mis kulub tõkkekihi taastamiseks pinge polaarsuse muutumisel, nimetatakse taastumiskestuseks ja selleks loetakse ajavahemikku, mille jooksul vastutakistus saavutab 90% oma väärtusest pärast ümberlülitumist päripingelt vastupingele.

4.6. p-n-siirde läbilöök

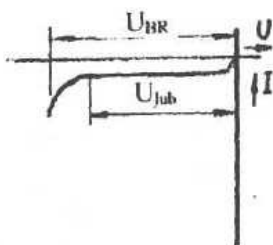
Breakdown

p-n-siirde pärisuunarežiim on piiratud suurima lubatava päriooluga. Lubatav päriool sõltub siirde mõõtmetest ja kasutatud materjalist. Vastusuuna režiim on aga piiratud suurima lubatava vastupingega. Selle pinge ületamisel võib tekkida p-n-siirde läbilöök ja tema omaduste kadumine. Suurim lubatav vastupinge on määratud siirde vastusuuna ping-voolu tunnusjoonega (joonis 4.13).

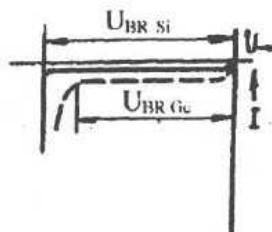
p-n-siirde läbilöök võib toimuda kahel põhjusel:

- 1) pörkeionisatsiooni mõjul;
- 2) elektronide ja tuumade sidemete puruksrebimise tõttu tugeva elektrivälja toimet.

Pörkeionisatsioon võib tekkida vastuvoolu tekitavate laengukandjate kiirendamisel. Kui need laengukandjad omandavad elektrivälja toimet küllaldase kiiruse, siis võivad nad hakata ioniseerima aine aatomeid, millega kaasneb laengukandjate arvu suurenemine laviinitaolise protsessina.



JOONIS 4.13.



JOONIS 4.14.

Elektronide ja tuuma sidemete purustamine leiab aset elektrivälja küllalt suurel tugevusel (germaaniumil 10^5 V/cm, ränil 10^6 V/cm), kuid kuna p-n-siire on väga õhuke, siis esineb see nähtus reaalsete pingete juures enamasti üheaegselt pörkeionisatsiooniga.

Germaaniumis tekib läbilöögi algul siirdes ka soojust, mis omakorda põhjustab täiendavate laengukandjate tekkimist ja vastuvoolu suurenemist. Ränis aga soojuse toimel täiendavaid laengukandjaid ei teki, sest ränis on elektronide ja aatomite vahelised seosed tunduvalt tugevamad.

Kuna ränis soojuslikud nähtused läbilööki ei mõjuta, avaldub räni puhul siirde läbilöök järevalt ja alati teatud kindla pinge juures (joonis 4.14), mistõttu on ka räni puhul lubatavad vastupinged suuremad. Kuna temperatuuri tõustes suureneb vastuvool, siis suureneb ka pörkeionisatsiooni võimalus ja selle tulemusena temperatuuri tõusuga läbilöögipinge väheneb. Kuna läbilöögi puhul esinevad voolud võivad olla küllaltki suured, siis kaasneb läbilöögiga ka enamasti siirde hävimine.

4.7. Metalli-pooljuhi kontakt

Pooljuhtseadiste valmistamisel on sageli tegemist pooljuhi ja metalli kontaktiga, milline võib käituda mitmeti sõltuvalt sellest, milline on metalli ja pooljuhi väljumistööde suhe.

Metalli ja pooljuhi kontakti seisukohalt on võimalik neli huvipakkuvat varianti::

- 1) ühendatud on metall ja n-pooljuht, kus metalli väljumistöö on väiksem;
- 2) ühendatud on metall ja p-pooljuht, kus pooljuhi väljumistöö on väiksem;
- 3) ühendatud on metall ja n-pooljuht, kus pooljuhi väljumistöö on väiksem;
- 4) ühendatud on metall ja p-pooljuht, kus metalli väljumistöö on väiksem.

Esimesel juhul liiguvad elektronid metallist pooljuhti ja küllastavad metallialuse tsooni elektronidega (tekib nn. n+ kiht). Selle kihi juhtivus on tavalisest suurem ning metalli ja pooljuhi vahel tekib hea kontakt.

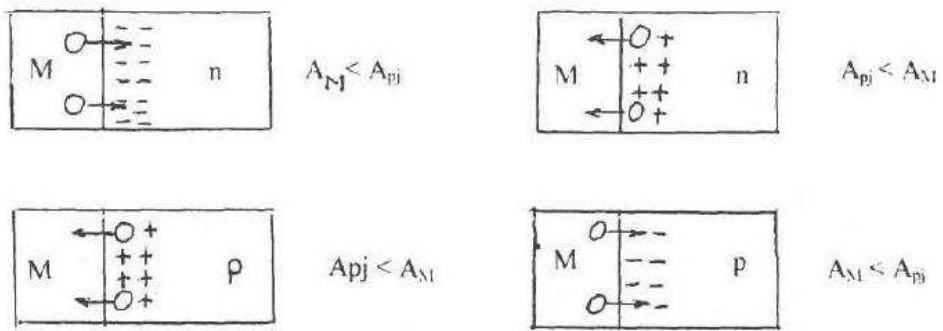
Teisel juhul liiguvad elektronid pooljuhist metalli, lahkunud elektronide tõttu suureneb aukude kontsentratsioon metalli aluses kihis (nn. p+ tsoon) j - saame jällegi parema juhtivusega kontakti.

Kolmandal juhul liiguvad elektronid n-pooljuhist metalli ja nende lahkumise tõttu jäävad sinna augud. Tekib potentsiaalibarjäär ja p-n-siirdega sarnane olukord, mida nimetatakse Schotky siirdeks. Sellenimeline mees kirjeldas vaadeldavaid nähtusi juba 1938. a. Seda olukorda kasutatakse Schotky diodides, kus metalliks on alumiinium ja pooljuhiks n-pooljuht.

Neljandal juhul saame samuti Schotky siirde, kuna metallist liiguvad elektronid pooljuhti ja tekitavad seal n-juhtivusega tsooni sellega kaasneva potentsiaalibarjääriga. Seda olukorda kasutatakse Schotky diodides, kus metalliks on kuld ja pooljuhiks p-pooljuht.

Ülalkirjeldatud olukorrad on kujutatud joonisel 4.15.

Schotky siiret kasutatakse kaasajal laialdaselt mitmeks otstarbeks nn. Schottky diodides. Võrreldes teiste siiretega on tema eripäraks väiksem avanemispinge nii, et pärisuuna pingelanguks kujuneb 0,2...0,7 V. Samuti on väike siirde mahtuvus ja vastusuunatakistuse taastumiskestus. Lubatavad vastupinged on väiksemad ja vastuvool suurem kui p-n-siirdel.



JOONIS 4.15