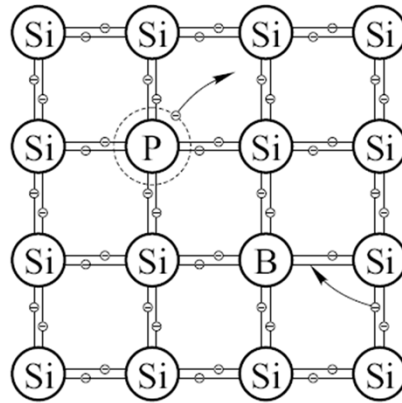


Pooljuhtidest valgusdetektorid (fotodiodid)

Rait Rand

Sissejuhatus - pooljuhid

- Et viia pooljuht juhtivus-tsooni tuleb tekitada vabad laengukandjad.



	E (eV)	N-tüüpi	P-Tüüpi
		P	B
Si	1,14	0,045	0,045
Ge	0,67	0,012	0,0104

Nagu teada kõik materjalid koosnevad aatomitest mis omakorda koosnevad + laetud tuumadest ja – laetud elektronidest mis tiirlevad ümber tuuma.

Elektron püsib orbiidil kuna tuum on + laetud. Mida kaugemal tuumast asub elektron seda nõrgem on nende vastastikuna mõju.

Kõige välimisel orbiidil olevaid elektrone nimetatakse **valentsi elektronideks**. Ränil ja germaaniumil on 4 valentsi elektroni ja seetõttu asuvad nad elementide perioodilisuse tabelis 4. veerus.

Kui elektron viia välja oma orbiidilt siis (nimetatakse aatomi ioniseerimiseks) siis jääb 1 vaba elektron ja positiivselt laetud ioon. Aatomit saab ioniseerida mingi välise teguriga (rõhk, temperatuur, kiirgus vms)

Valguskiirguse puhul peab footoni energia olema suurem elektroni ja tuuma siduvast energiast. Nimetatakse ionisatsiooni energiaks.

Fotoefekti põhilised seaduspärasused:

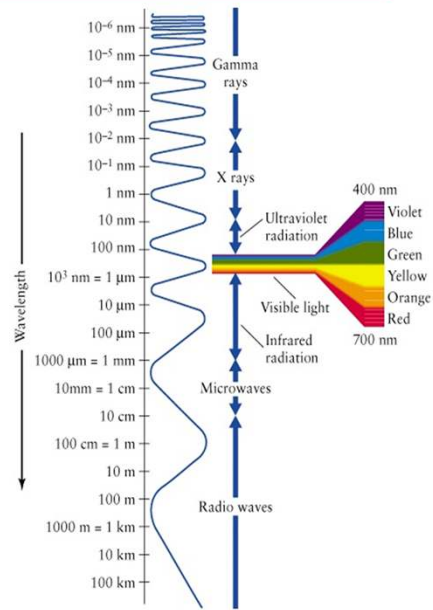
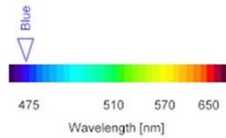
- Elektronide maksimaalne kiirus sõltub pealelangeva valguse sagedusest, kuid ei sõltu intensiivsusest.
 - Igal ainel on olemas fotoefekti punane piir, st. lainepikkus λ_0 , millest suure-ma lainepikkusega valguse korral foto-efekti ei teki.
 - Metalli pinnast väljalöödud elektronide arv on võrdeline valguse intensiivsusega.
- valgus saab neelduda või kiirata kindlate diskreetsete väärtuste (kvantide) kaupa. Einstein oletas, et valgust kandev osake (footon) lööb metalli pinnalt välja elektroni siis, kui footoni energia on suurem kui elektroni väljumistöö.

Footoni energia on sõltuv talle vastava laine sagedusest.

Kui footoni energia on suurem kui väljumistöö, siis väljub elektron, mille kineetiline energia võrdub footoni energia ja elektroni väljumistöö vahega. Teades elektroni massi, on võimalik arvutada tema kiirus.

Sissejuhatus - Fotoefekt

- Footoni energia $E = hf = \frac{hc}{\lambda}$
(h-plancki konstant, f-sagedus, c-valguse kiirus, λ -lainepikkus)
- $hf = A + \frac{mv^2}{2}$ (A-väljumistöö, $\frac{mv^2}{2}$ - elektroni kineetiline energia)
- Näiteks: Sinise valguse footoni energia on $\sim 2,6\text{eV}$

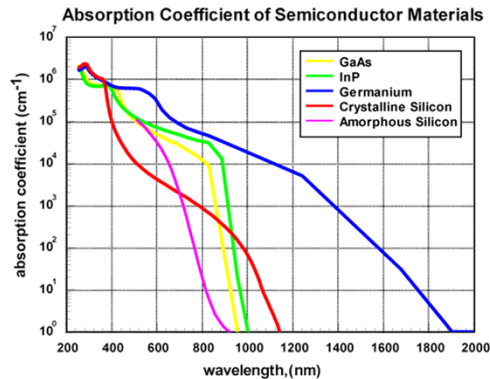


Tuleb arvestada ka materjalide punapiiri.

Valgust saab kiirata ja neelata kvantidena ja igal materjalil on nn. punapiir millest madalamat sagedust ei ole võimalik neelata.

Sissejuhatus – fotoefekt

- Materjali omadused määravad ära valguse lainepikkuse mille mõjul vabanevad laengukandjad.



- Et detektor toimiks peab footoni energia ületama keelutsooni et tekitada pooljuhis laengukandja.

Neeldumis kaugus on määratud kaugusega kus $1/e$ kiirguse algsest energiast on neeldunud.

Vabu elektrone suudavad tekitada ainult need footonid, mille energia on piisav nn. keelutsooni ületamiseks, ehk selleks, et lüüa elektron välja aatomi valentskihist ja viia ta juhtivustsooni.

Et detektorid oleks efektiivsed peab vastasmõju kaugus olema vähemalt 2 korda neeldumise sügavus.

Kuna räni baasil pooljuhtidel on “bandgap” keelutsoon suurem siis nad genereerivad vähem müra kui germaaniumi baasil pooljuhid.

Kristallilise räni jaoks on keelutsoon 1.1 elektronvolti (eV). Teiste fotoelementides kasutatavate materjalide keelutsoonid on vahemikus 1 – 3.3 eV.

1 eV on energia, mis on vajalik, et elektron läbiks vaakumis potentsiaalide vahe 1V. liigutamiseks vaakumis elektriväljas potentsiaalide vahega 1V.

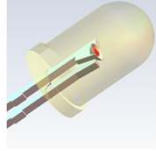

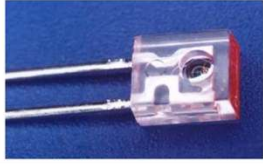

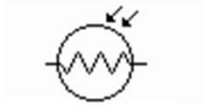
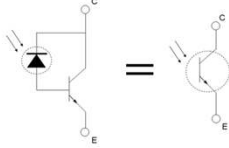
Ka footonite energiat võib väljendada elektronvoltides. Päikese kiirguse spektri footonid infrapunast kuni ultravioletini katavad vahemiku 0.5 – 2.9 eV. Punase valguse footoni energia on keskmiselt 1.7 eV, sinisel valgusel keskmiselt 2.7 eV.

Aktiivkomponendid on pooljuhid ning omavad p-n siiret siis on nad ka tundlikud kiirgusele mis võib tekitada laenguid sinna kus neid ei ole vaja. Seetõttu on kiibid jne. paigutatud läbipaistmatutesse korpustesse, kuid röntgenkiirte (x-ray) eest ei ole

nad siiski täielikult kaitstud.

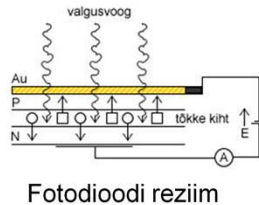
Sissejuhatus

- Valgusele reageerivad pooljuhtidest elemendid:

Fotodiod	Fototakisti	Fototransistor
		
		

Sissejuhatus

- Fotodiod on pooljuhtseadis, milles toimuvad elektrilised nähtused sõltuvad talle langevast valgusvoost.
- Sisaldab P-N siiret kuhu pääseb valgusvoog. P-N kihtide vahel on tõkkekiht (piirikiht) kuhu valguskvandi neeldudes tekib laeng.



Parameetrid

1. Tundlikkus
2. Lainepikkus
3. Ajaline reageerimisvõime
4. Detektori sisemine müra

Fotodiod sisaldab PN-siiret kuhu võib tungida valgusvoog. Selleks, et PN-siire oleks võimalikult suure pinnaga ja, et sinna saaks langeda võimalikult palju valgust on ülemine P-kiht kaetud väga õhukese läbipaistva kulla kihiga, millega saadakse väga hea kontakt ülemise P-osaga. Kahe erineva juhtivusega piirkonna vahel on tõkkekiht. Selles kihis laengukandjaid ei ole, kui sinna langevad valguskvandid tekitavad omajuhtivuse laengu kandjaid, kuna nende energia neeldub. Iga valguskvandi neeldumise kohas tekkivad laengukandjate paarid, see on üks elektron ja üks auk. Tõkkekihis mõjuva elektrivälja toimele liiguvad elektronid N-ossa ja augud P-ossa. Erinevatesse osadesse liikunud laengute toimele tekib klemmidel potentsiaalide erinevus pinge. See juures, mida suurem on siirdele langev valgus voog seda suurem on klemmidevaheline pinge. Kirjeldatud viisil töötab päikese patarei, mida nimetatakse fotodiodi generaatori režiimiks.

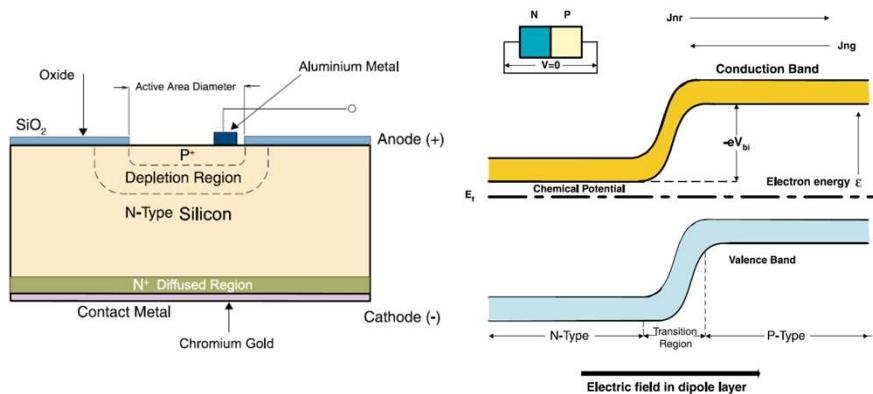
Kui rakendada fotodiodile vastupingeline pingeallikas, mille pluss on ühendatud N-osaga ja miinus P-osaga, siis eelneva režiimiga võrreldes tugevneb tõkkekihis elektriväli, tõkkekiht laieneb ja valguskvantide neeldumise tõenäosus suureneb. Tulemusena tekkib rohkem laengukandjaid, kuna meil on vastusuuna režiim, siis tekib valgustusest sõltuv vastuvool, milline on seda suurem, mida suurem on diodile langev valgusvoog. Kirjeldatud režiimi nimetatakse fotodiodi režiimiks. Teda kasutatakse valguseandurites. Võrreldes generaatori režiimiga on tundlikus suurem ja ta reageerib kiiremini valguse muutustele.

Fotodiod

- Fotodiodi kiiruse piirajaks on tema mahtuvus

$$C = \frac{\epsilon_s \times \epsilon_o \times A}{W}$$

ϵ_s - Si dielektriline konstant
 ϵ_o - Vaakumi dielektriline konstant
 A - Diodi aktiivne ala
 W - Laadimise ala



Fotodiodi mahtuvus on element mis määrab fotodiodi kiiruse.

Paremal oleva joonis on nn. p-i-n fotodiod, mille laadimise ala on suurendatud kasutades puhast pooljuhti (i-pooljuht) ning nagu valemist näha selle toimet mahtuvus väheneb. P-i-n fotodioode kasutatakse kiireid regeerimis vajavates seadmetes, näiteks sides, valguskaablite jätkamisel jne.

Neeldumiskoefitsent suureneb koos temperatuuriga

Fotodiod - kasutusala

- **Kasutusala**

Kaamerad (auto-focus, light-meter jne.)

Meditsiin (X-ray sensorid, pulsimeetrid, vere analüüs)

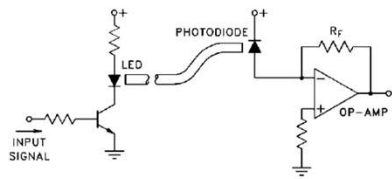
Turva-varustus (suitsuandurid, leegiandurid jne.)

Autotööstus (kliimaseadmed, valgusandurid jne.)

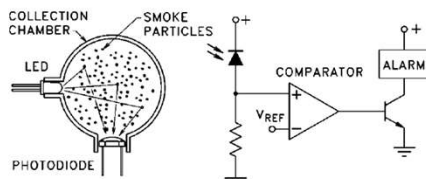
Side (fiiber optika)

Tööstus (skännerid, asukoha sensorid, koopiamasinad jne.)

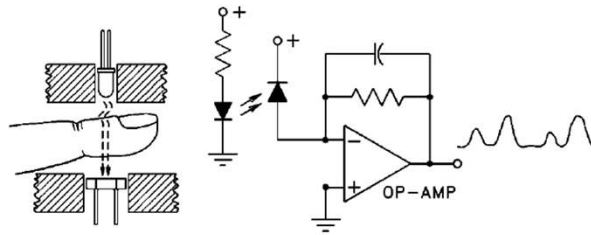
Fotodiiod - tüüpskeemid



Fiber-optiline ühendus



Suitsuandur

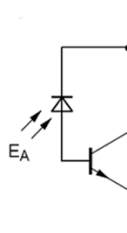


Pulsimeeter



Fototransistor

- Fototransistor on kombinatsioon fotodiodist ja bipolaartransistor võimendist.



- Fototransistori lülitamise aeg jääb vahemikku $30\mu\text{s}$... $1\mu\text{s}$

Tüüpiliselt on voolu võimenduseks 100-1000, sõltuvalt tüübist ja teostusest.
Fototransistori nn. aktiivne ala on tüüpiliselt $0,5 \times 0,5 \text{ mm}$

Fototransistor - komponendid

