

Prosjekt i Elektrisitet og magnetisme (FY1303)

Solceller

Av

Kristian Hagen
Torbjørn Lilleheier

Innholdsfortegnelse

<u>Sammendrag.....</u>	<u>3</u>
<u>Innledning.....</u>	<u>4</u>
<u>Bakgrunnsteori.....</u>	<u>5</u>
Halvledere.....	5
Dopede halvledere	7
Pn-overgang	9
Solcellens oppbygning	12
Effektivitet	13
Tap av effektivitet i solcellen	15
<u>Eksperiment.....</u>	<u>17</u>
<u>Utgangspunkt.....</u>	<u>21</u>
Effekt inn på solcella.....	21
Utleddning av V_m , I_0 , I_m og R_m	22
<u>Vurdering.....</u>	<u>25</u>
<u>Konklusjon.....</u>	<u>26</u>
<u>Kilder.....</u>	<u>27</u>

Sammendrag

I dette prosjektet skal vi ta for oss flere temaer innenfor solceller.

Vi skal blant annet se på teorien bak solceller, hva en halvleder er og hvilke egenskaper den har. I tillegg skal vi se nærmere på hva som skjer dersom vi doper en halvleder. Vi skal også gjøre rede for hva en pn-overgang er, dens egenskaper, og hvordan man kan utnytte denne til å lage strøm fra lys. Dette er utgangspunktet for en solcelle.

I tillegg skal vi se på faktorer som gjør at strømmen man kan få utnyttet i en solcelle reduseres. Vi skulle selvfølgelig ønske at alt lyset som fant veien til solcella kunne bli utnyttet i form av elektrisk strøm, men dette er altså ikke tilfelle.

Ved hjelp av et solcellepanel, ei lampe og en del måleinstrumenter utførte vi et eksperiment. Her målte vi blant annet strøm og spenning over solcella. Noe som kanskje var mer interessant var hvor stor elektrisk effekt vi greide å få ut, kontra hvor mye lys som skinte på solcella. Dette skal vi også se nærmere på.

Ut av eksperimentet vårt fikk vi en del måleresultater. Vi skal sammenligne disse med teoretiske. Ved hjelp av en del utregninger skal vi til å se hvordan man kommer fram til formler for blant annet hvilken motstand man får størst effekt.

Til slutt vil vi også ta med en sammenligning av de teoretiske verdiene mot de verdiene vi fikk i eksperimentet vårt.

Innledning

Vi bruker i dag mye fossilt brennstoff. Bruken av fossilt brennstoff fører til utslipp av karbondioksid. Det er bevist at karbondioksid i atmosfæren fører til økt drivhuseffekt. Drivhuseffekt vil si at mer stråling på vei ut av atmosfæren blir reflektert tilbake til jorda og mindre energi slipper ut. Dette fører til at klimaet på jorden blir varmere. Et varmere klima kan påvirke den økologiske balansen på jorda.

Innstrålt effekt fra sola på jordens overflate er $1353 \frac{W}{m^2}$. Denne energien tilsvarer den energien som skal til for å varme opp mer enn 3 desiliter vann $1^\circ C$ per sekund.

Solceller er veldig aktuelt for å lage strøm i verdensrommet til for eksempel satelliter. Solceller er godt egnet i verdensrommet fordi de veier lite samtidig som de har lang holdbarhet. Dette er to viktige kriterier innenfor romfart.

Produksjon av solceller er i dag ganske kostbart og strømmen man klarer å produsere med solceller er begrenset. Dette medfører at solceller i dag ikke er en av de mest lønnsomme måtene å produsere strøm på.

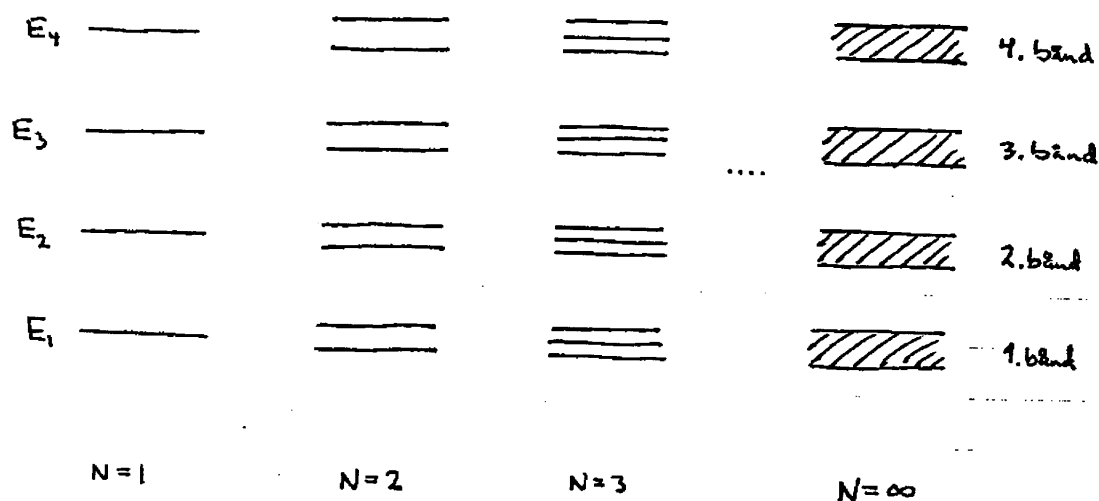
Kanskje kostnadene ved dyrere, men mer miljøvennlig strøm er noe verdenssamfunnet må ta på seg. Kanskje forskning på solceller kan øke effektiviteten slik at framtidens solceller blir økonomisk gunstige. Kanskje vi i framtiden slipper å bekymre oss over ikke-fornybare, forurensende energikilder?

Bakgrunnsteori

Halvledere

Faststoff materialer kan deles inn i tre grupper. Disse er ledere, isolatorer og halvledere. På atomært nivå kan disse sees på som krystaller. Det vil si at atomene ligger lagvis og ordnet avhengig av hva slags type krystall det er snakk om. Denne typen ordnet oppbygning kalles et gitter. I en krystall vil aldri et atom bevege seg langt vekk fra en unik, fiksert posisjon.

Elektroner har diskrete tillatte energinivåer. I følge kvantefysikken er det kun to elektroner som kan ha nøyaktig samme energi (spinn opp og spinn ned). I det to atomer kommer nærme hverandre vil de dele seg opp i to nivåer som ligger nær hverandre. I det mange atomer kommer sammen vil energinivåene ligge veldig tett sammen og danne tilnærmede kontinuerlige energibånd. Det vil bli noe tilsvarende som figuren under.



Dersom man nå ser på situasjonen ved $T = 0$ (null temperatur) vil elektronene fylle opp de laveste energinivåene. I det elektronene har fylt opp de laveste energitilstandene, er de høyere nivåene tomme for elektroner. Energibåndene som er oppfylt av elektroner kalles valensbånd, mens energibåndene som ikke har elektroner kalles ledningsbånd. Dette er ikke helt tilfellet i praksis siden $T > 0$ og termiske eksitasjoner vil forekomme, men det er uansett veldig mye høyere konsentrasjon av elektroner i valensbåndet enn i ledningsbåndet.

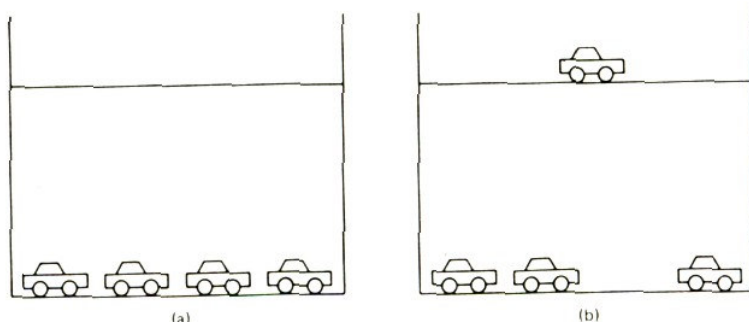
Energinivået til bunnen av ledningsbåndet betegnes gjerne med E_C og energinivået til toppen av valensbåndet betegnes med E_V . Energigapet mellom de to er gitt ved $E_G = E_C - E_V$

Størrelsen på E_G avgjør om det er en isolator, halvleder eller leder. Dersom energigapet er stort slik at mye energi må tilføres for å løsrive et elektron, er det en isolator. E_G i en isolator er av størrelsesorden 5eV . I en halvleder er $E_G \approx 0,5 - 1,5\text{eV}$. I et metall derimot er $E_G = 0$.

I en halvleder i romtemperatur vil elektroner hele tiden bli eksitert og bevege seg rundt i krystallen og rekombinere med andre atomer. I fravær av et elektron vil det oppstå et hull. Dette hullet kan enklest beskrives ved å late som det er en partikkel med positiv ladning. Det vil si at dersom elektroner opptar posisjoner og beveger seg i en retning, kan man si at hullene beveger seg i motsatt retning. Dette blir analogt med å anse at det er luftboblene i vann som stiger, når det egentlig er vannet som faller ned i tomrommet.

I en ren halvleder er det like mange elektroner (betegnes med n) som hull (betegnes med p). Dvs. $n = p$.

En god analogi er et parkeringshus med to nivåer.



Dersom bilene nå representerer elektroner så er i bilde a det nederste (valensbåndet) fylt opp. I det den ene bilen "eksiteres" til ledningsbåndet, blir det en ledig plass i valensbåndet. Fravær av bil (elektron) tilsvarer at det oppstår ett hull.

Sannsynligheten for at et elektron er eksitert fra valensbåndet til ledningsbåndet er tilnærmet gitt ved

$$f \approx e^{-E_G / 2k_B T}$$

k_B er Boltzmans konstant.

Man ser her at denne sannsynligheten er avhengig av størrelsen på energigapet og temperaturen.

Tettheten av eksiterte elektroner er gitt ved

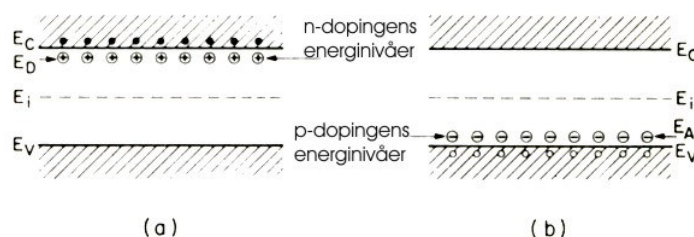
$$n = n_0 e^{-E_G / 2k_B T}$$

Ut av dette ser man at dersom energigapet er stort, vil både sannsynligheten for å finne et elektron i ledningsbåndet være liten og tettheten av elektroner i ledningsbåndet være liten.

Dopede halvledere

For å lage en pn-overgang må man nødvendigvis ha en p-halvleder og en n-halvleder. Grunnen til at man doper er for å endre egenskapene til halvlederen.

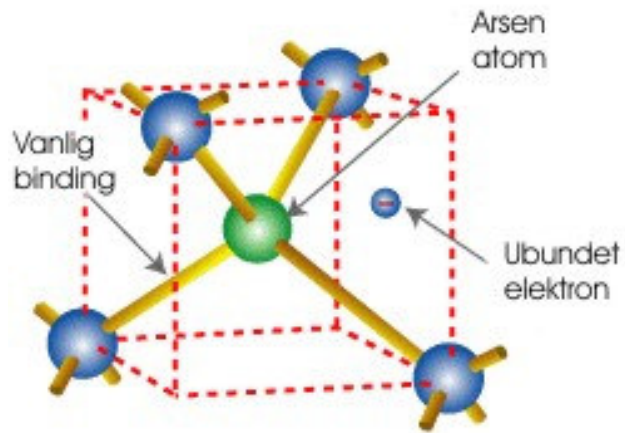
Forskjellige atomer har forskjellige tillatte energinivåer som er karakteristiske for akkurat denne typen atomer. Det er en fordel om man doper halvlederen med en type atomer der øverste energinivå som er fylt av elektroner, ligger nært bunnen av ledningsbåndet og nært toppen av valensbåndet i henholdsvis n-dopet og p-dopede halvledere. Dette er illustrert i figuren under.



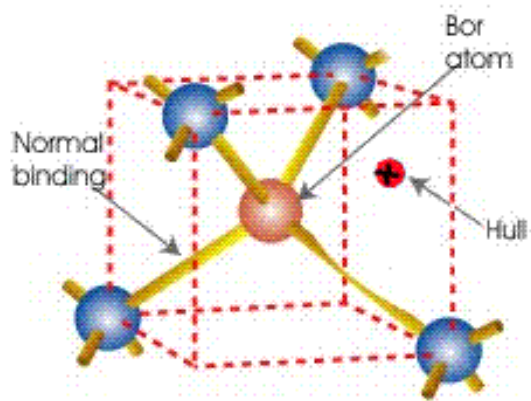
Ved n-doping tilsetter man atomer som har det høyeste okkuperte energinivået tett oppunder ledningsbåndet til halvlederen. Sagt på en annen måte så gjør dette at de elektronene ikke trenger mye energi for å bli frigjort fra donoratomet. I eksempelet over innebærer det at det høyeste okkuperte energinivået for arsen ligger like under bunnen av ledningsbåndet til silisium. Energien som skal til for å eksitere et elektron fra arsenforurensningen og opp i ledningsbåndet er svært lite. Dette medfører at termiske eksitasjoner alene vil være nok til å få eksitert elektroner.

Når det gjelder p-doping, tilsettes et stoff som har sitt energinivå like over valensbåndet til halvlederen. Energiforskjellen fra toppen av valensbåndet til dette nivået er tilsvarende lite som det var for elektronene og ledningsbåndet i n-halvlederen. Dette medfører på tilsvarende måte at termisk energi er nok til å eksitere elektroner fra toppen av valensbåndet til dette energinivået, og dermed tilføre halvlederen nyere hull.

Et eksempel på en n-halvleder er dersom man tilfører arsenatomer til silisium. Arsen har 5 valenselektroner mens silisium har 4. Dette fører til at arsenatomet binder seg til 4 silisium atomer, men det har i tillegg et ekstra elektron som lett kan bli eksitert opp i ledningsbåndet til silisium. Halvlederen er fortsatt elektrisk nøytral. Selv om den har fått mange frie elektroner, har arsenatomene blitt ionisert slik at de har fått positiv ladning.



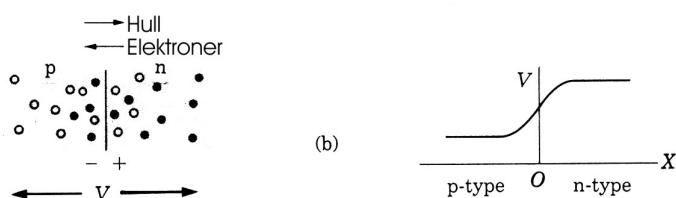
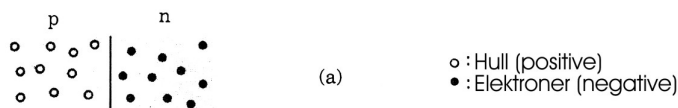
En typisk p-halvleder er silisium dopet med boratomer. Boratomer har 3 valenselektroner og i det de binder seg til silisium vil boratomet bli negativt og man får frigjort et hull. Dette står forholdsvis fritt til å bevege seg.



Pn-overgang

I det man kobler sammen en p- og en n-halvleder, vil dette skape diffusjon av frie ladninger. De frie elektronene i ledningsbåndet fra n-siden vil bevege seg over til p-siden fordi det er større konsentrasjon av elektroner på n-siden. Der vil de falle ned i ledige tilstander i valensbåndet. Dette kalles rekombinasjon.

På samme måte vil hullene på p-siden diffundere over til n-siden fordi det er færre hull på den siden. Både p- og n-siden var i utgangspunktet elektrisk nøytrale. Nå har n-siden fått tilført positive hull, mens p-siden har fått tilført negative elektroner.



På grunn av konsentrasjonsforskjellen av elektroner og hull, har vi nå en potensialforskjell mellom p-siden og n-siden. Dette fører til at det blir dannet et elektrisk felt. Dette feltet har retning slik at elektroner går fra p-siden og over til n-siden. For hull blir det motsatt. Dette elektriske feltet skapes nær overgangene der vi har potentialspranget fra n-siden til p-siden. Denne diffusjonen av elektroner og hull vil fortsette kontinuerlig. Diffusjonsstrømmen kan uttrykkes ved

$$I_{diff} = I_0 e^{\frac{eV}{kT}}$$

I_0 er metningsstrømmen i materialet. Den er liten og konstant.

k er Boltzmanns konstant

T er temperaturen.

V er potensialforskjellen. Det er viktig å merke seg at dette ikke «er» den innebygde potensialforskjellen mellom p-siden og n-siden. Dette er derimot potensialforskjellen dersom man kobler til en ytre spenning. Dette kommer vil tilbake til om litt. Dersom det ikke er påtrykt noen ytre spenning, vil diffusjonsstrømmen bare bli

$$I_{diff} = I_0$$

I tillegg medfører diffusjonsstrømmen også en driftstrøm. Uten ytre påvirkning vil driftstrømmen være like stor som diffusjonsstrømmen og systemet er i dynamisk likevekt.. Driftstrømmen uttrykkes som

$$I_{drift} = -I_0$$

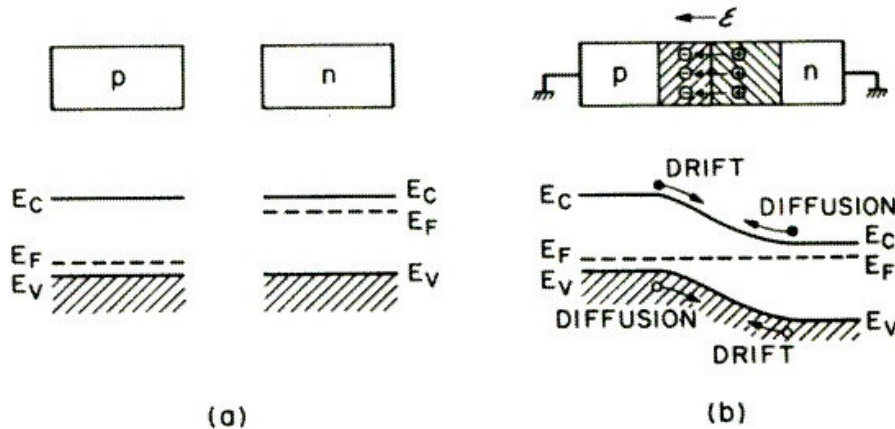


Fig: Viser hvordan strømmene går i en pn-overgang.

Som nevnt tidligere har vi i likevekt

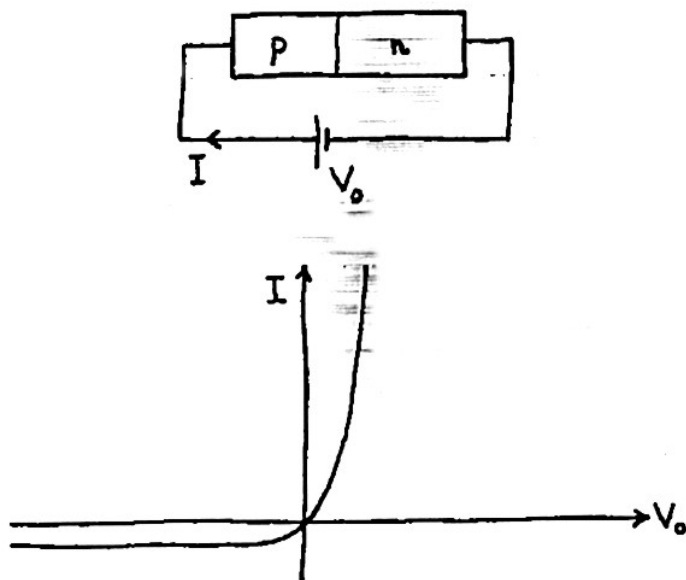
$$I_{drift}^C + I_{diff}^C = 0 \text{ og}$$

$$I_{drift}^V + I_{diff}^V = 0$$

Dersom vi påtrykker strømkretsen en ytre spenning, vil ikke systemet lenger være i likevekt. Hvis vi kobler på en spenning $V < 0$ vil potensialforskjellen mellom p-siden og n-siden bli enda større. Dette påvirker ikke I_{drift}^C siden den er proporsjonal med konsentrasjonen av elektroner. På tilsvarende måte vil dette heller ikke påvirke I_{drift}^V som er proporsjonal med konsentrasjonen av hull. I_{diff}^V og I_{diff}^C derimot har fått et større potensialsprang de må overvinne for å diffundere over til den andre siden. Dermed blir disse to strømmene redusert.

Dersom vi i stedet kobler på en spenning $V > 0$ vil potensialforskjellen mellom p-siden og n-siden bli mindre. I_{drift}^C og I_{drift}^V vil bli forholdsvis uendret siden de er proporsjonal med konsentrasjon av elektroner og hull på deres respektive sider.

I_{diff}^V og I_{diff}^C har nå fått et mindre potensialsprang å overvinne for å diffundere over. Dette påvirker elektroner (på n-siden) og hull (på p-siden) slik at diffusjonsstrømmen vil øke eksponentielt.



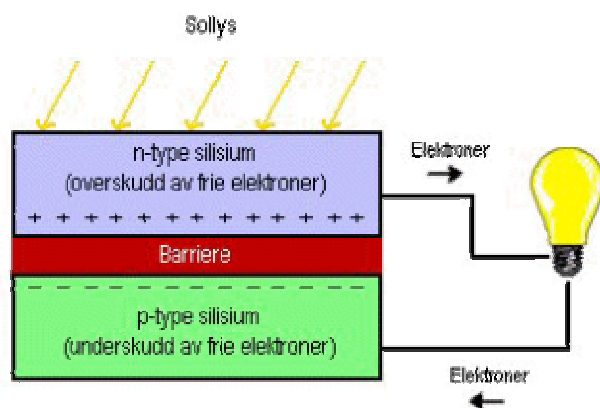
Dette gir den totale strømmen i en pn-overgang. Den skrives som

$$I_{pn} = I_{diff} - I_{drift} = I_0(e^{\frac{eV}{kT}} - 1)$$

Vi ser både av utregningen og av grafen over at med $V > 0$ øker strømmen eksponentielt med hvor stor spenning vi påtrykker. Har vi derimot $V < 0$ vil vi ikke få noe særlig strøm.

Solcellens oppbygning

En solcelle er essensielt pn-overganger tilkoblet en krets.



For å forstå hvordan man kan få generert strøm ved at fotoner treffer et solcellepanel kan det være enklest å tenke på lys som en strøm av partikler (fotoner). Sola sender ut et stort antall fotoner med forskjellig energi, uttrykt ved

$$E = h\nu$$

Her er h Plancks konstant og ν er frekvensen til det innkommende lyset. I det et foton absorberes av et elektron, vil elektronet få tilført energi. Dersom det absorberte fotonet hadde tilstrekkelig energi, vil elektronet løsne seg fra bindingen det har til atomet. Det vil da komme opp i ledningsbåndet. Dersom det løsrivne elektronet befinner seg på p-siden, vil det elektriske feltet kunne transportere det over på n-siden. I det mange elektroner blir eksitert på denne måten og kommer opp i ledningsbåndet på n-siden, vil dette tilsvarende øke strømmen gjennom kretsen. Det vil si at jo mer intenst lys man har, jo mer strøm vil gå gjennom kretsen. Vi har at den totale strømmen I som går gjennom kretsen med lys på solcellepanelet.

$$I = I_{\omega} - I_{pn} = I_{\omega} - I_0 \left(e^{\frac{eV}{kT}} - 1 \right)$$

I_{ω} er strømmen generert av lyset.

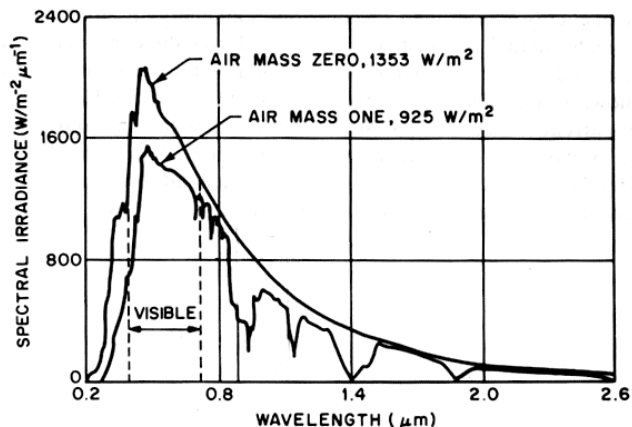
En omskrivning av dette uttrykket gir

$$V_{oc} = \frac{kT}{e} \ln \left(\frac{I_{\omega}}{I_0} + 1 \right)$$

som er et uttrykk for spenningen over solcella når den ikke er koblet i en krets. V_{oc} kommer vi til å bruke en del etter hvert.

Effektivitet

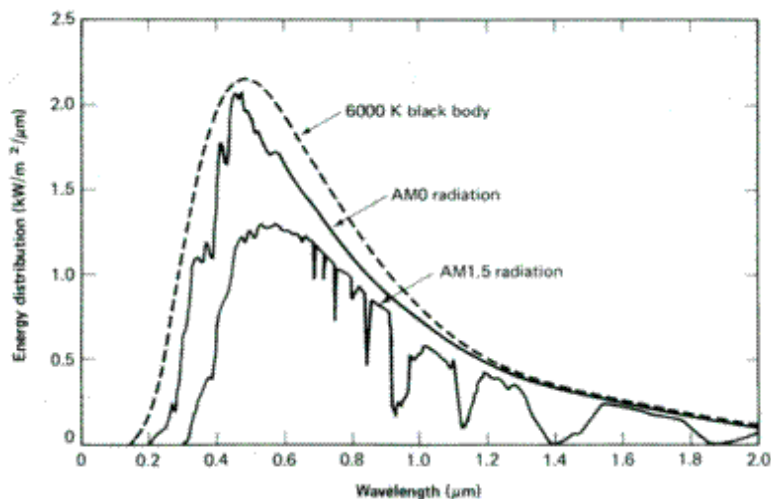
Hvor mye energi vi klarer å dra nytte av fra solcellepaneler har flere begrensninger. En begrensning er den teoretiske grensen for hvor stor effektivitet vi kan få fra en pn-overgang. Før vi ser nærmere dette betrakter vi solas lyskarakteristikk.



Figur: Solas strålings karakteristikk.

Den øverste grafen i figuren viser lysets strålingskarakteristikk utenfor atmosfæren, mens den underste viser lysets karakteristikk under atmosfæren. Forskjellen mellom de to grafene kommer av at lyset svekkes i atmosfæren. Spesielle bølgelengder blir absorbert av ozon og vanndamp, mens det i tillegg er en generell spredning fra støv.

Dersom vi forenkler lyskarakteristikken fra sola til nærmeste lyskarakteristikk for et sort legeme, finner vi at det er karakteristikken til et sort legeme med en temperatur på 6000 K som er nærmest.

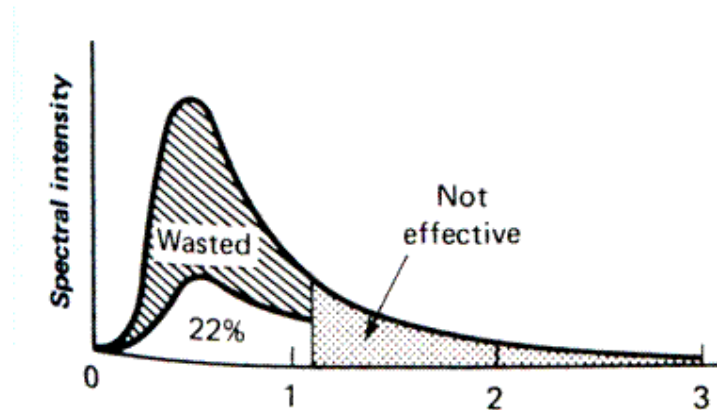


Figur: Viser lyskarakteristikken fra sola og fra et sort legeme med $T = 6000\text{ K}$

Uttrykket for det sorte legemet er gitt ved:

$$E(\nu) = \frac{8\pi h\nu}{c^3} \cdot \frac{1}{e^{h\nu/kT} - 1}$$

En viss energi skal til for å eksitere et elektron over potensialforskjellen i en pn-overgang. Kun fotoner med mer energi enn det som skal til for å eksitere et elektron over energigapet bidrar til å til den elektriske energien. Den energien fotoner har mer enn det som skal til for å eksitere et elektron over energigapet, går bort til termisk energi og bidrar ikke til den elektriske energien.

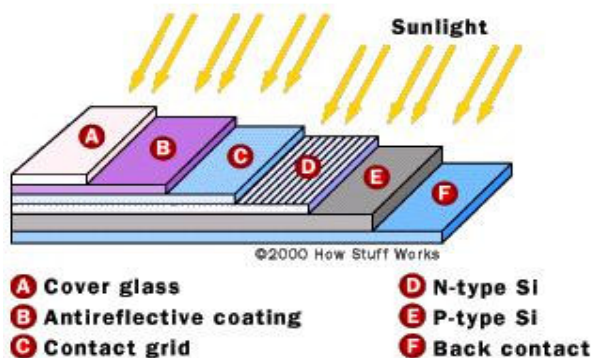


Dette vil si at en maksimalt ved en pn-overgang kan utnytte 32,4 % av solas energi.

For å få en pn-overgang som drar nytte av denne mest egnede bølgelengden trenger vi en pn-overgang med en potensialforskjell i likevekt på 0,14 eV.

Tap av effektivitet i solcellen

Det vi har sett på til nå har vært ideelle pn-overganger og ideelle forhold for en solcelle. Dette er som sagt ikke tilfellet i virkeligheten. Det eksisterer en rekke faktorer som bidrar til å minske effektiviteten til en solcelle. Silisium, som de fleste solceller blir laget av, er et skinnende materiale som i seg selv reflekterer ca. 30 % av alt lyset som skinner på det. Solceller derimot er utstyrt med antireflekterende lag som gjør at refleksjonen blir betydelig mindre. To lag med silisiummonoksid kan redusere refleksjonsprosenten betydelig slik at omtrent 4 % av lyset blir reflektert.

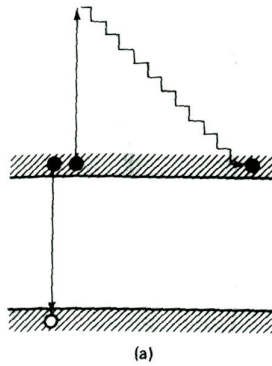


Et annet punkt er at solceller er laget slik at metallkontaktene som kobler p-siden sammen med n-siden gjerne blokkerer for deler av solcella. Disse kan blokkere ute 5-15 % av det innkommende lyset. I tillegg er det ikke riktig alt lyset som blir stoppet av solcella. Noe av lyset går rett gjennom solcella uten å avgi energi til solcella.

Det er selvfølgelig også en motstand i solcella og kretsen koblet til den. Det vil alltid være en liten motstand i metallkontaktene mellom p-siden, n-siden og i ledningene slik at noe av det som kunne blitt utnyttet som strøm blir gjort om til varme i stedet.

Dersom man betrakter solcella på atomnivå er det også noen faktorer som gjør at effektiviteten reduseres. En del av fotonene som faller inn på solcella har ikke nok energi til å løsrive et elektron slik at det eksiteres opp i ledningsbåndet. Dette fører til at elektronet får tilført noe energi, men ikke tilstrekkelig. Elektronet befinner seg da fortsatt i valensbåndet. Denne ekstra energien går over til varme etter kort tid. Tilsvarende kan et energirikt foton tilføre så mye energi til elektronet at det eksiteres opp i ledningsbåndet, men det blir i tillegg eksitert høyt opp i ledningsbåndet slik at det etter kort tid faller ned igjen og kun har den energien som er "vanlig" for eksiterte elektroner. Denne ekstra energien blir også omgjort til varme.

En figur som illustrerer dette er på neste side.

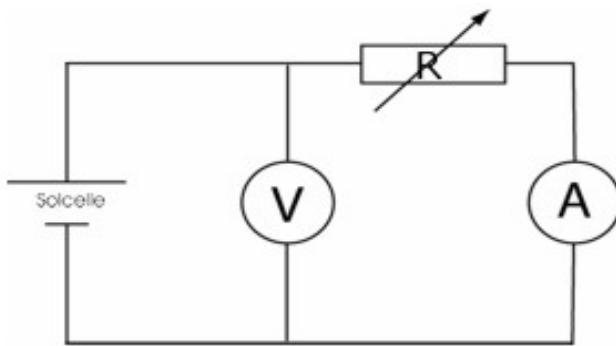


Dersom et elektron blir eksitert opp i ledningsbåndet av et foton er det ikke nødvendigvis sikkert at elektronet "finner veien til" pn-overgangen. Dersom denne eksitasjonen skjer et stykke fra pn-overgangen, er det store sjanser for at elektronet og et hull vil rekombinere før elektronet kommer til overgangen og vi kan utnytte det som elektrisk strøm. Dette er grunnen til at overflaten til en solcelle har mange slike pn-overganger. På denne måten vil et eksitert elektron aldri være langt fra en pn-overgang.

Eksperiment

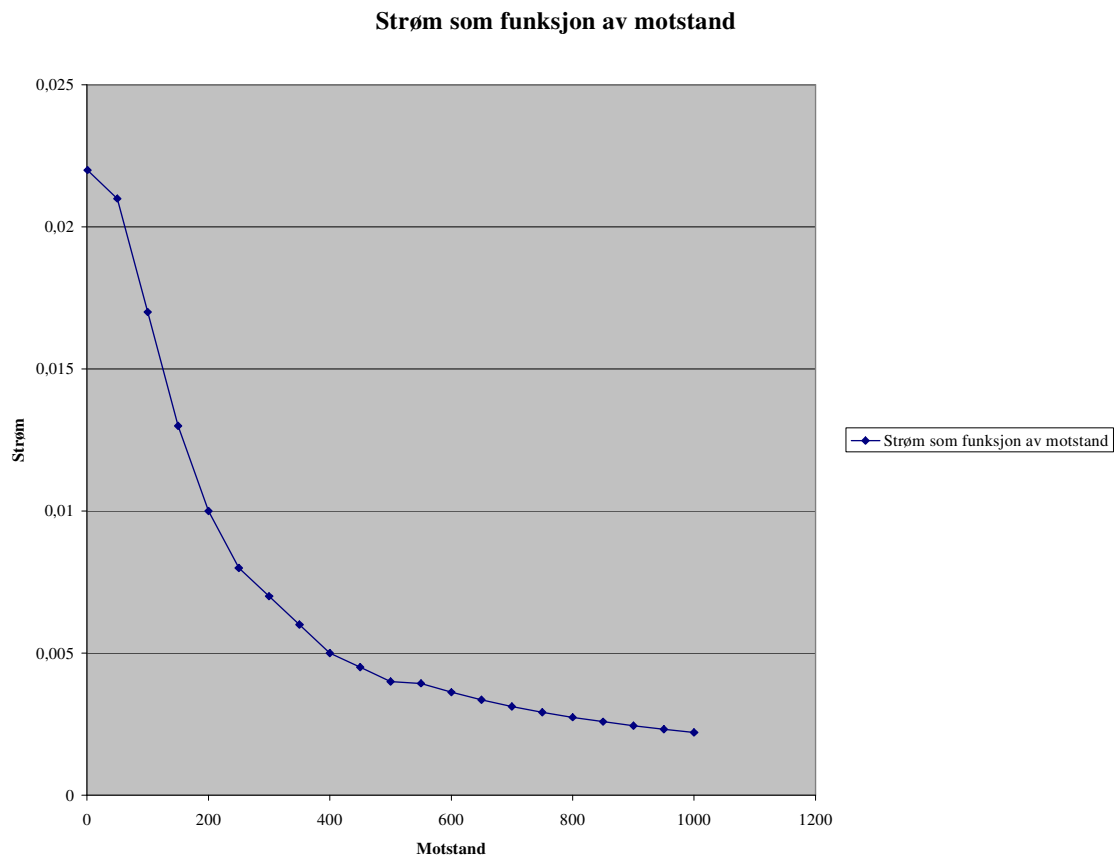
Vi utførte et eksperiment for å se på strøm, spenning og effektkarakteristikken for et solcellepanel.

Vi koblet et solcellepanel i serie med en variabel motstand og et amperemeter. Spenningen over solcelle panelet målte vi ved å koble et voltmeter parallelt med den variable motstanden og amperemeteret. En 150 watts lampe i konstant avstand på 29,5 cm belyste solcellepanelet.



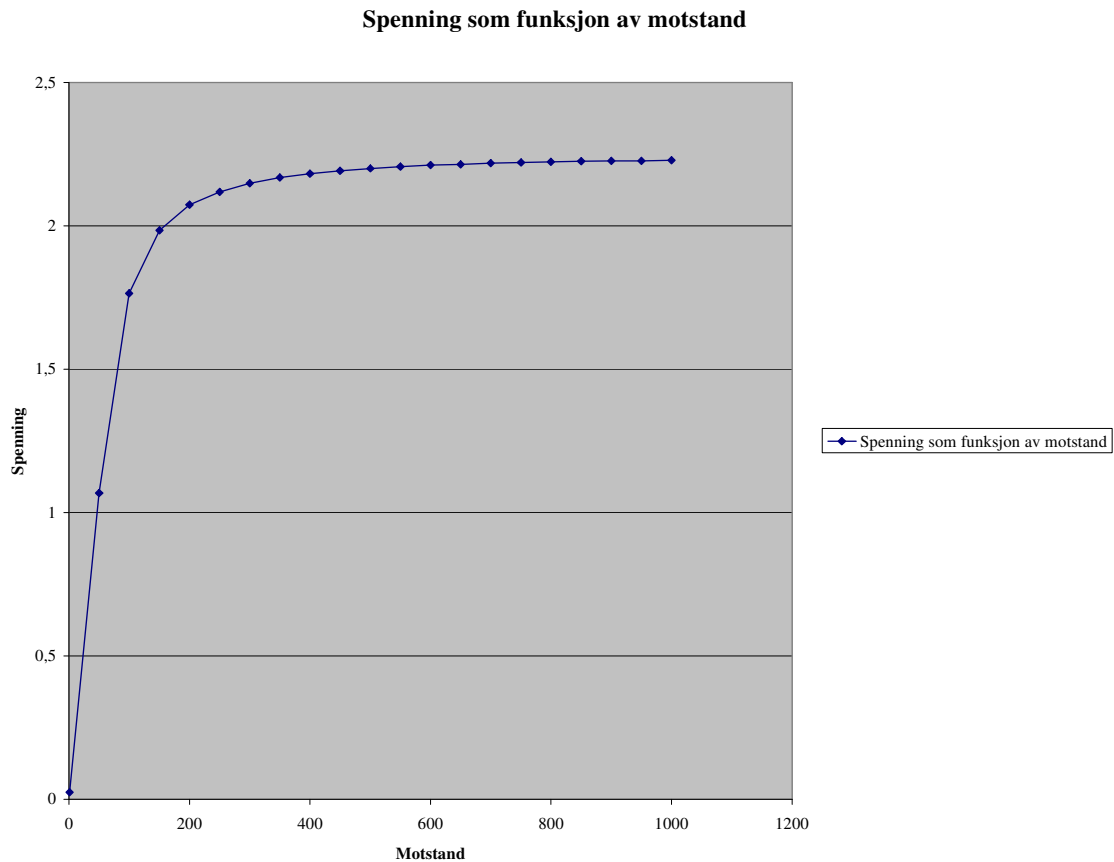
Figur: Viser koblingsskjema for forsøket.

Motstanden varierte vi fra 10Ω til 1000Ω med intervaller på 50Ω . For hver motstand målte vi strømmen og plottet den inn i en graf.



Ut fra denne grafen kunne vi konstatere at i det motstanden i kretsen økte, ble strømmen redusert. Dette var ikke uventet.

I tillegg målte vi spenningen ved hver motstand. Disse resultatene presenterte vi også grafisk.



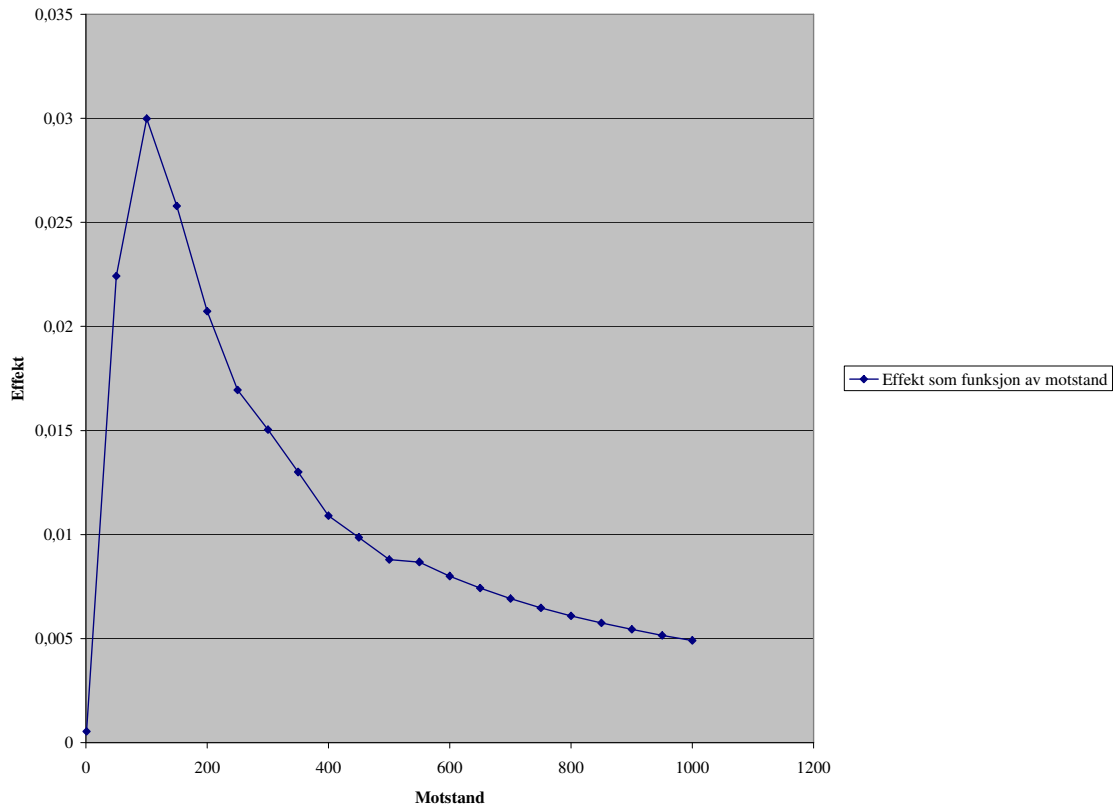
Ut fra denne grafen kunne vi se at spenningen konvergente mot en verdi i noe i nærheten av 2,23V. Dette er da maksimal spenning for akkurat denne solcella. Dette var også som forventet, nemlig at solcella ikke er i stand til å lage en uendelig stor spenning.

Fra strøm og spenningsdataene regnet vi ut effekten ved hver måleserie ved formelen

$$P = V \cdot I$$

Resultatet fremstilte vi grafisk ved effekten som funksjon av motstand.

Effekt som funksjon av motstand



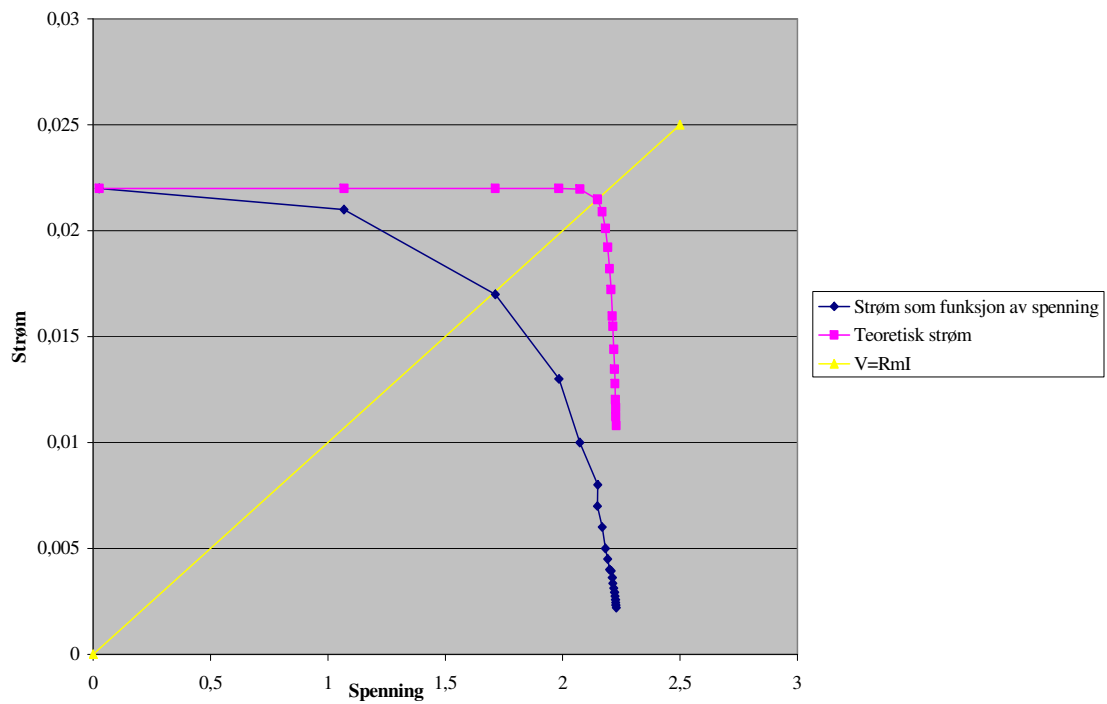
Fra grafen med effekten som funksjon av motstanden, så vi tydelig at effekten hadde et maksimum på $0,03W$ når motstanden var ca. 100Ω .

Vi laget også en graf der vi fremstilte strøm som funksjon av spenning. I tillegg hadde vi et uttrykk for teoretisk strøm som vi plottet i grafen.

$$I = I_{\omega} - I_0 (e^{\frac{eV}{kT}} - 1)$$

Her måtte vi anta $I_0 = 4,113 \cdot 10^{-40} A$ som er metningsstrømmen. Hvordan vi kom fram til dette resultatet følger senere. I tillegg antok vi $I_{\omega} = 0,022A$ som er strømmen generert av lyset. Dette antok vi til å være det samme som den strømmen vi fikk gjennom kretsen med kun 1Ω motstand.

Det siste vi plottet på denne grafen var $V = R_m I$. Vi brukte en fast motstand, 100Ω . Dette var den motstanden som ga oss mest effekt.



Effekten kan vi også finne ved å regne ut arealet av det firkantede området mellom aksene og skjæringspunktet til strømfunksjonen og voltfunksjonen. Med en gang ser vi at effekten til teoretisk strøm er større enn det vi fikk i praksis.

De to verdiene vi fikk ut fra grafen var

$$P_{m\ddot{a}lt} = 1,713V \cdot 0,017A = 0,029W$$

$$P_{teori} = 2,111V \cdot 0,021A = 0,045W$$

Utgning

Effekt inn på solcella

I vårt forsøk brukte vi en 150W pære vi plasserte 0,295m fra panelet. Dersom vi antar at pæra lyser uniformt ut i en halvsirkel, har vi:

$$I = \frac{P}{A} \Rightarrow \frac{P}{2\pi r^2} = \frac{150}{2\pi(0,295)^2} = 274,33 \text{ W/m}^2$$

Solcellas sideflater målte vi til 0,08m og 0,11m . Dette gir et areal,

$$A = 0,08 \cdot 0,11 = 0,0088 \text{ m}^2 .$$

Teoretisk ideell effekt inn på solcella blir til slutt

$$P = I \cdot A = 274,33 \cdot 0,0088 = 2,414 \text{ W}$$

Dette gir en forskjell mellom hvor mye lys som falt inn på solcella i mot hvor mye vi greide å utnytte i vårt forsøk på

$$\frac{0,029121 \text{ W} \cdot 100}{2,414 \text{ W}} = 1,21 \%$$

Som en kuriositet kan man også se på hvor mye av lyset som hadde blitt utnyttet dersom solcellen hadde fulgt den teoretiske verdien for strøm vi hadde tidligere. I dette tilfellet hadde vi en effekt $P_{teori} = 0,045 \text{ W}$

Da blir prosentdelen av lyset som ble utnyttet

$$\frac{0,045 \text{ W} \cdot 100}{2,214 \text{ W}} = 2,03 \%$$

Utleddning av V_m , I_0 , I_m og R_m

V_m , I_m og R_m er her den spenning, strømmen og motstanden som gir størst effektivitet.
 I_0 er metningsstrømmen til solcellen.

Har

$$P = V \cdot I \quad (1)$$

og

$$I(V) = I_\omega - I_0(e^{\frac{eV}{k_B T}} - 1) \quad (2)$$

Slår sammen (1) og (2)

$$P = V[I_\omega - I_0(e^{\frac{eV}{k_B T}} - 1)]$$

Finner maksimum ved å sette den deriverte og sette den deriverte lik 0.

$$\frac{dP}{dV} = [I_\omega - I_0(e^{\frac{eV}{k_B T}} - 1)] - VI_0(e^{\frac{eV}{k_B T}}) \frac{e}{k_B T}$$

$$\frac{dP}{dV} = 0$$

$\Leftrightarrow$

$$[I_\omega - I_0(e^{\frac{eV}{k_B T}} - 1)] - VI_0(e^{\frac{eV}{k_B T}}) \frac{e}{k_B T} = 0$$

$\Leftrightarrow$

$$\frac{I_\omega}{I_0} + 1 = (e^{\frac{eV}{k_B T}}) \cdot (1 + \frac{eV}{k_B T})$$

$\Leftrightarrow$

$$V_m = \frac{k_B T}{e} \cdot \ln\left(\frac{1 + (\frac{I_\omega}{I_0})}{1 + (\frac{eV}{k_B T})}\right)$$

$\Leftrightarrow$

$$V_m = \frac{k_B T}{e} \cdot \ln\left(1 + \frac{I_\omega}{I_0}\right) - \frac{k_B T}{e} \ln\left(1 + \frac{eV}{k_B T}\right) \quad (3)$$

Vi har:

$$V_{oc} = \frac{k_B T}{e} \cdot \ln(1 + \frac{I_\omega}{I_0})$$

Setter inn Voc i (3)

$$V_m = V_{oc} - \frac{k_B T}{e} \ln(1 + \frac{eV}{k_B T})$$

Finner Vm med eksperimentell Voc:

Vi har:

$$V_m = V_{oc} - \frac{k_B T}{e} \ln(1 + \frac{eV}{k_B T})$$

Setter inn Voc fra eksperiment:

$$V_m = (2,25 - \frac{1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 300}{1,6 \cdot 10^{-19}} \ln(1 + \frac{1,6 \cdot 10^{-19}}{1,39 \cdot 10^{23}} \cdot V))$$

$\Leftrightarrow$

$$V_m = 2.13V$$

Dette medfører at den spenningen der vi teoretisk skal få størst effekt er ved 2,13V

Finner I_0 med eksperimentell Voc og I_ω :

$$V_{oc} = \frac{k_B T}{e} \cdot \ln(1 + \frac{I_\omega}{I_0})$$

$$2,25 = \frac{1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 300}{1,6 \cdot 10^{-19}} \cdot \ln(1 + \frac{0,022}{I_0})$$

$$I_0 = 4,113 \cdot 10^{-40} A$$

Finner I_M med eksperimentell Voc og I_ω :

$$I(V) = I_\omega - I_0 (e^{\frac{eV}{k_B T}} + 1)$$

$$I_M = 0,022 - 4,113 \cdot 10^{-40} (e^{\frac{1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 2,13}{1,37 \cdot 10^{-19} \cdot 300}} + 1)$$

$$I_M = 0,021 A$$

Finner teoretisk R_M med eksperimentell Voc og $I\omega$:

$$R_M = \frac{V_M}{I_M}$$

$$R_M = \frac{2,13}{0,021}$$

$$R_M = 97,7 \Omega$$

Vurdering

Måleresultater

De instrumentene vi brukte hadde selvfølgelig en viss grad av unøyaktighet. Hadde amperemeteret og voltmeteret for eksempel hatt flere desimaler, ville vi fått større grad av nøyaktighet. I tillegg kommer unøyaktighet i ledninger. De ledningene vi brukte har visse avvik fra ideelle ledere.

Vi målte spenningen med voltmeteret over den variable motstanden og den viste seg å være veldig nøyaktig. Vi fikk samme resultat da vi målte med voltmeteret som motstanden skulle yte.

Innkommende effekt

Måten vi regnet ut den innkommende effekten er ikke nødvendigvis helt nøyaktig. Det mest ideelle hadde nok vært å måle intensiteten til lyset på en annen måte, men vi brukte ressursene vi hadde til rådighet der og da. Lyspæra vi brukte hadde en effekt på 150W. Vi brukte som en tilnærming at den strålte uniformt ut i en halvsirkel. Dette er selvfølgelig bare en antagelse. Hvor vidt lampen faktisk strålte ut lys med effekt på 150W måtte vi bare anta.

Elektrisk effekt

Ved å sammenligne de målte verdiene vi fikk for strøm som funksjon av spenning og den teoretiske verdien av strøm som funksjon av spenning ser vi at det er ganske stor forskjell. Både når det gjelder hvilken spenning som ga mest effekt og hvor mye strøm som gikk gjennom kretsen ved det aktuelle punktet. Som nevnt tidligere er det mange faktorer som reduserer effekten i en solcelle. Derfor er det helt naturlig at vi fikk lavere effekt enn den teoretisk maksimale.

Med tanke på at vi hadde en stor usikkerhet i den innkommende effekten og den målte effekten, blir det følgelig stor usikkerhet i hvor stor prosentandel av lyset vi nyttiggjorde oss av i eksperimentet.

Grafiske resultater kontra utledede resultater

Våre måleresultater viste oss at den motstanden som ga størst effekt var ved 100Ω . I vårt eksperiment tok vi kun avlesninger med 50Ω mellomrom. Da vi derimot regnet på hvor stor motstand som ga best effekt fikk vi $97,7\Omega$. Dette må sies å være en relativt liten forskjell. I den utregnede motstanden vi brukte lå også måleresultatene til grunn, men vi brukte utregnet ideell strøm. Siden den ideelle strømfunksjonen ikke hadde målepunkter å forholde seg til på samme måte, ble det mer som en kontinuerlig funksjon. Det kan være en grunn til at vi fikk et litt annet resultat. Vi så også at det var stor forskjell på grafen for ideell strøm og målt strøm, men hvilken motstand som ga størst effekt var likevel omtrentlig det samme.

Konklusjon

Vi har i dette prosjektet sett på solceller og dets oppbygning. Solceller benytter på en fascinerende måte den dynamiske likevekten i en pn-overgang til å lage strøm. Vi har sett at solceller er en fin, fornybar måte å produsere strøm på. Solceller har likevel begrensninger i forhold til den relativt lille effektiviteten som er mulig å fremskaffe.

Det er teoretiske, så vel som praktiske faktorer som begrenser effektiviteten. Den teoretisk størst mulige effektiviteten er et resultat av sammenhengen mellom energigapet i halvlederne og energien til lys med forskjellige bølgelengder. Solcellenes oppbygning gir opphav til flere av de praktiske begrensningene. En av disse er kontaktene på oversiden av solcellen. I tillegg har vi det faktum at solceller som oftest lages av silisium og at silisium er et reflekterende materiale.

Solcellene har en bestemt motstand der effekten er størst. I realiteten er en solcelles strøm- og spenningskarakteristikk ganske annerledes enn den teoretiske med tanke på effekt. Likevel stemmer forholdet mellom strøm og spenningen bra med teorien. Dette medfører at den motstanden vi målte til å gi mest effekt, stemte bra med den utregnede.

Alt i alt må det sies at vi i løpet av dette prosjektet lærte veldig mye om solceller. I tillegg til å lære om solceller spesielt, lærte vi også mye generelt om halvledere og pn-overganger. Vi har naturligvis bare skrapet overflaten, men vi fikk et inntrykk av kompleksiteten ved å produsere mest mulig effektive solceller.

Kilder

Green, Martin A. – Solar Cells
Sze, S.M – Semiconductor Devices
Alonso & Finn – Physics

URL's:

Teknologien bak solceller:

[http://www.elkraft.ntnu.no/~eit04/landsby2/Presentasjoner/EiT%202004%20\(E\)/web/solceller_teknologi.html](http://www.elkraft.ntnu.no/~eit04/landsby2/Presentasjoner/EiT%202004%20(E)/web/solceller_teknologi.html)

How stuff works:

<http://science.howstuffworks.com/>

U.S Department of energy:

http://www.eere.energy.gov/solar/pv_physics.html

Støvneng (2002-03): Forelesningsnotater,

<http://bohr.phys.ntnu.no/~stovng/MNFFY103/mnffy103.htm>