



OVER HET PRACTICUM

De werktekst die je nu voor je hebt liggen is een leidraad voor dit practicum. Ze bevat richtlijnen voor het uitvoeren van de experimenten en vragen die je aan het denken zetten. Aan de hand van deze werktekst zou je het practicum volledig zelfstandig, in groepjes van twee weliswaar, moeten kunnen uitvoeren. Eventuele vragen mag je altijd stellen aan de stafleden van de Universiteit Hasselt die in het laboratorium aanwezig zijn. Probeer echter steeds zoveel mogelijk zelf antwoorden te zoeken.

Het practicum duurt drie uur. Er is een pauze van een kwartier voorzien. Tijdens deze pauze kan je in de cafetaria van de Universiteit Hasselt terecht voor een drankje.

We wensen je veel succes en hopen dat je plezier beleeft aan het uitvoeren van dit practicum!

ACHTERGRONDINFORMATIE

DE ZON



De zon is voor de aarde een quasi-onuitputtelijke bron van energie. Alles wat op aarde leeft ontvangt licht en warmte van de zon, en kan daardoor, rechtstreeks of onrechtstreeks, in leven blijven. Wij als mensen kunnen echter nog een stapje verder gaan: we kunnen de energie van de zon gaan gebruiken om ons leven aangenaamer te maken. Zonne-energie is immers een schone, hernieuwbare energie, die zelfs in landen als België volstaat om aan de energiebehoeften van de mens te voldoen.

DE ZONNECEL

Om de energie van de zon optimaal te kunnen benutten heeft de mens vernuftige apparaatjes ontworpen die we zonnecellen noemen. Zonnecellen kunnen de energie van de zon omzetten in elektrische energie, die op zijn beurt gebruikt kan worden om allerlei toestellen draaiende te houden. Deze omzetting is niet altijd even efficiënt, met andere woorden, het rendement van deze omzetting is niet altijd even hoog. Er wordt dan ook veel onderzoek gedaan naar mogelijke verbeteringen van de bestaande zonnecellen. Ook op het Instituut voor Materiaalonderzoek, dat verbonden is aan de Universiteit Hasselt, houdt men zich hiermee bezig.

Er bestaan verschillende types zonnecellen, elk met een eigen typisch rendement voor het foto-voltaïsch proces (dit wil zeggen, het proces waarbij de energie van de zon omgezet wordt in elektrisch energie).

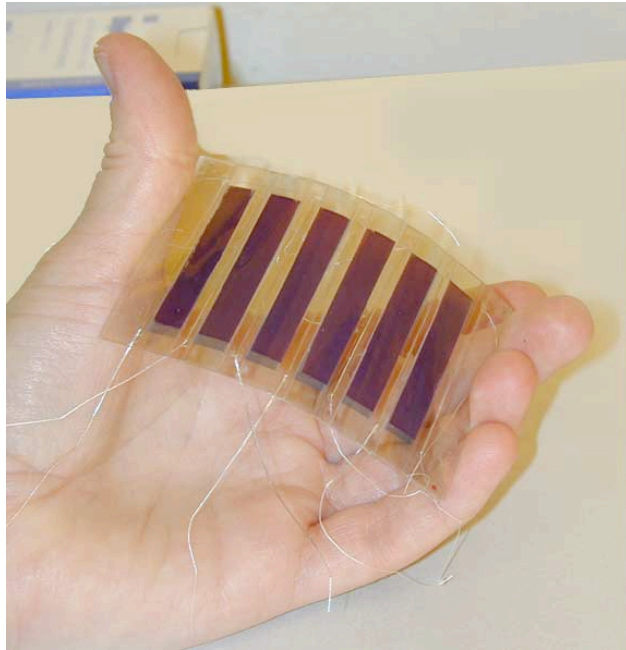
ZONNECELLEN UIT SILICIUM



Zonnecellen uit silicium zijn opgebouwd uit twee lagen silicium. Iedere laag bevat een bepaald type onzuiverheden: één halfgeleidende laag Si is gedopeerd met onzuiverheden die ten opzichte van Si een elektron op de buitenste schil meer hebben (donoren) en noemen we n-type Si omdat de meerderheidsladingsdragers negatief zijn, en één halfgeleidende laag Si is gedopeerd met onzuiverheden die ten opzichte van Si een elektron op de buitenste schil minder hebben (acceptoren) en noemen we p-type Si omdat de meerderheidsladingsdragers positief zijn. Wanneer we de twee lagen met elkaar in contact brengen ontstaat er door het verschil in meerderheidsladingsdragers een spanningsverschil. Indien er nu zonne-energie op de zonnecel invalt zullen er extra, vrije ladingsdragers gecreëerd worden die door dat spanningsverschil een stroom zullen veroorzaken.

Er bestaan drie types zonnecellen uit silicium, die voornamelijk verschillen door hun kostprijs en efficiëntie. Het werkingsprincipe is voor de drie hetzelfde. Monokristallijn silicium zonnecellen bestaan uit één Si-kristal; ze hebben een vrij goed rendement maar zijn ook vrij duur. Polykristallijn silicium zonnecellen bestaan uit meerdere Si-kristallen; ze hebben een vrij slecht rendement maar zijn ook vrij goedkoop. Tot slot zijn er ook zonnecellen die bestaan uit een ander materiaal waarop silicium werd opgedampt. Deze zonnecellen kunnen snel gemaakt worden en kosten daarom een stuk minder.

NATUURLIJKE ZONNECELLEN



Zonnecellen moeten echter niet altijd uit het vrij dure materiaal silicium bestaan. In de natuur rondom ons zijn er voortdurend heel wat zonnecellen aan het werk, en meestal met meer efficiëntie dan de zonnecellen die de mens in het laboratorium kan ontwikkelen. Het proces dat wij fotosynthese noemen en dat in de meeste planten plaatsgrijpt is immers niets anders dan het omzetten van de energie van de zon in chemische energie.

De zonnecellen die jullie vandaag gaan maken zijn gebaseerd op het proces dat wij fotosynthese noemen. Men noemt deze zonnecellen daarom ook wel eens organische zonnecellen, hoewel ze beter bekend zijn onder de naam Grätzel-cel naar de uitvinder Michaël Grätzel. Grätzel-cellen bestaan uit vrij goedkope materialen en zijn makkelijk zelf in elkaar te knutselen. Hoewel het rendement momenteel nog niet erg hoog is, verwacht men veel van deze cellen.

Grätzel-cellen bestaan uit twee glasplaatjes waarop een geleidende coating is aangebracht. Op een glasplaatje wordt een laagje grafiet aangebracht: dit glasplaatje zal de anode of positieve elektrode van de zonnecel vormen; op een glasplaatje wordt een laagje TiO_2 aangebracht: dit glasplaatje zal de kathode of negatieve elektrode van de zonnecel vormen. Tussen beide glasplaatjes laat men een elektrolyt-oplossing druppelen.

Om de zonnecel een zo groot mogelijk werkzaam oppervlak te geven, wordt de zonnecel gesinterd. Bij dit bakproces, dat bij een vrij hoge temperatuur plaatsgrijpt, zullen de nanodeeltjes die we voor onze zonnecel gebruikten lichtjes smelten en daardoor aan elkaar gaan kleven, zodat ze een groot, stevig oppervlak vormen. Daarna worden de nu aan elkaar geklitte nanodeeltjes

voorzien van een kleurstof, dat met de nanodeeltjes een complex zal gaan vormen. Hierdoor wordt de zonnecel lichtgevoelig.

Wanneer er zonne-energie invalt op een Grätzel-cel, vinden in deze zonnecel de volgende processen plaats:

2 kleurstof(grondtoestand) + zonne-energie \rightarrow 2 kleurstof(aangeslagen toestand)

2 kleurstof(aangeslagen toestand) \rightarrow 2 e⁻ + 2 kleurstof_{ox}(grondtoestand)

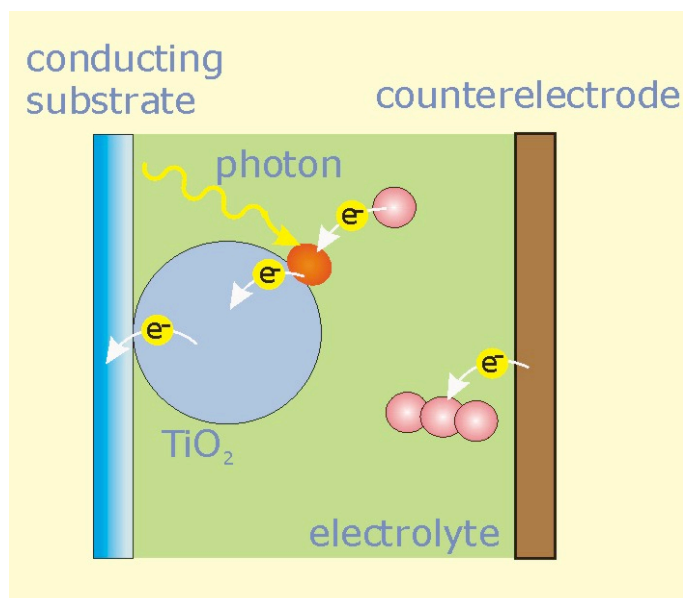
2 e⁻ + I₃⁻ \rightarrow 3 I⁻

2 kleurstof_{ox}(grondtoestand) + 3 I⁻ \rightarrow 2 kleurstof(grondtoestand) + I₃⁻

In woorden: de zonne-energie wordt opgenomen door de kleurstof. De kleurstof die zich oorspronkelijk in zijn grondtoestand bevond, zal hierdoor in een aangeslagen toestand terechtkomen. Na een tijdje vervalt de kleurstof weer naar zijn grondtoestand, met uitzending van een elektron. Dit elektron zal zich naar de anode (positieve elektrode) begeven.

Door een elektron af te staan is de kleurstof geoxideerd. Om deze oxidatie teniet te doen zal de kleurstof gaan reageren met jood-ionen, met vorming van trijood-ionen. Deze trijood-ionen worden tenslotte weer omgezet in jood-ionen door de elektronen afkomstig van de kathode (negatieve elektrode).

Ter verduidelijking kan je het onderstaande figuurtje bestuderen.



DEEL 1: BOUW JE ZONNECEL

In het eerste deel van het practicum zal je je eigen zonnecel bouwen. Volg de onderstaande instructies nauwgezet. Vraag gerust om hulp als je niet zeker bent van wat je precies moet doen.

BENODIGD MATERIAAL:

- multimeter
- twee glasplaatjes
- ontvetter
- zachte doek
- potlood
- papier
- plakband
- TiO₂-pasta
- pipet
- microscopie-glaasje
- Al-folie
- bunsenbrander
- driepoot
- draadnet
- kleurstof
- petrischaal
- paperclip
- elektrolyt-oplossing

VEILIGHEIDSVOORSCHRIFTEN:



Wees heel voorzichtig bij het werken met de bunsenbrander. Laat alle materialen die verhit werden voldoende lang afkoelen. Zorg ervoor dat de gasleidingen niet langer dan strikt nodig open blijven staan.

OPDRACHTEN:

Schakel de multimeter zo dat je er weerstanden mee kan meten, en dat de multimeter een pieptoon laat horen wanneer er een weerstand gemeten wordt. Meet de weerstand van de glasplaatjes. De glasplaatjes hebben een geleidende kant en een niet-geleidende kant. De weerstand die je aan de geleidende kant meet is eindig; de weerstand die je aan de niet-geleidende kant meet is oneindig. Zorg ervoor dat je goed weet welke kant van de glasplaatjes geleidt en welke kant van de glasplaatjes niet geleidt: de hele proef staat of valt met deze stap. Giet wat ontvetter op een zachte doek en maak de geleidende kant van de glasplaatjes schoon. Raak de geleidende kant van de glasplaatjes daarna niet meer met je vingers aan.

BOUW DE ANODE OF POSITIEVE ELEKTRODE VAN DE ZONNECEL

1. Neem het eerste glasplaatje en kleur de geleidende kant in met potlood. Blaas het teveel aan poeder weg.

BOUW DE KATHODE OF NEGATIEVE ELEKTRODE VAN DE ZONNECEL

1. Neem een stuk papier. Neem het tweede glasplaatje en kleef het met de geleidende kant naar boven gericht met plakband op het papier, zoals op de onderstaande foto getoond wordt.



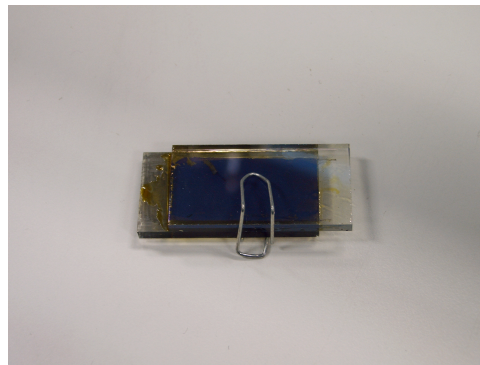
2. Zuig een kleine hoeveelheid TiO_2 -pasta op met een pipet en laat een druppel op het glasplaatje vallen. Smeer de druppel met het microscopie-glaasje uit tot een dunne laag. Laat de dunne laag drogen.
3. Verwijder voorzichtig de plakband.
4. Vouw een stukje Al-folie vierdubbel. Neem het glasplaatje en leg het met de dunne laag naar boven gericht op de Al-folie, zoals op de onderstaande foto getoond wordt.
5. Steek de bunsenbrander aan. Plaats de driepoot met het draadnet boven de bunsenbrander. Leg de Al-folie met het glasplaatje op het draadnet, in de punt van de vlam. De dunne laag zal nu gaan verkleuren: van wit naar bruin naar wit. Wanneer de dunne laag de juiste kleur heeft doof je de bunsenbrander en laat je het materiaal rustig afkoelen.
6. Dompel het glasplaatje onder in de kleurstof en geef het een tiental minuten de tijd om de kleurstof op te nemen. Spoel het glasplaatje daarna af met zuiver water. Laat het glasplaatje drogen.

WERK DE ZONNECEL AF

1. Vouw een paperclip zoals op de onderstaande figuur, en klem anode en kathode tegen elkaar zodat de geleidende lagen elkaar raken.



2. Laat elektrolyt-oplossing tussen de twee elektrodes druppelen. Deze zal zich door capillariteit over het volledige raakvlak van de elektrodes verspreiden.



DEEL 2: TEST JE ZONNECEL

In het tweede deel van het practicum zal je je eigen zonnecel testen. Volg de onderstaande instructies nauwgezet. Vraag gerust om hulp als je niet zeker bent van wat je precies moet doen.

BENODIGD MATERIAAL:

- zonnecel
- bureaulamp
- meetsondes
- multimeter
- schakelbord
- kabeltjes
- computer
- dataverwerkingssoftware (LabVIEW)

VEILIGHEIDSVOORSCHRIFTEN:

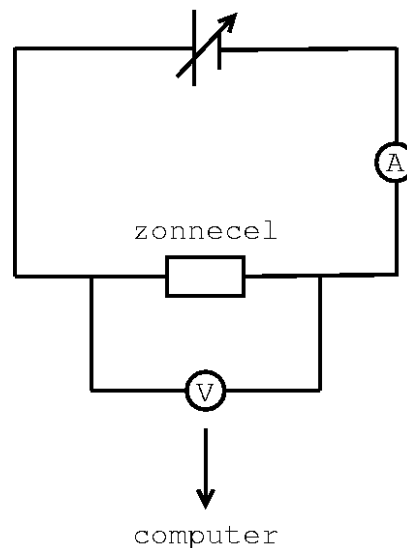


Zorg ervoor dat je goed weet hoe je met een multimeter moet werken. Raadpleeg daarvoor het laatste blad van deze werktekst. Laat bij twijfel je schakeling controleren door een stafmedewerker van de Universiteit Hasselt. Een slecht gebouwde schakeling kan voor schade aan het materiaal zorgen.

OPDRACHTEN:

Controleer of je zonnecel geen kortsluiting maakt. Dit doe je door met de multimeter de weerstand van je zonnecel te meten.

Voer de onderstaande stappen tweemaal uit: eenmaal voor de onbelichte zonnecel, eenmaal voor de belichte zonnecel.



Verbind de zonnecel met de meetsondes – de anode (positieve elektrode) wordt verbonden met de rode kabel, de kathode (negatieve elektrode) wordt verbonden met de zwarte kabel. Bereid de computer voor op het verzamelen van gegevens door het bestand 'I-U final' te openen. Dit bestand bevindt zich in de map 'C → Program Files → LabVIEW Applications → I-U meting temp'. Kijk na of je op je scherm een grafiek ziet die stroom in functie van spanning uitdrukt. Schakel de multimeter zo dat je er stromen mee kan meten. Klik op de knop met 'Kalibreer sensoren'. Klik op 'Kalibreer V'. Er wordt een dialoogvenster geopend. Volg de instructies en klik op 'OK' om het dialoogvenster te sluiten. Klik nogmaals op 'OK' om het kalibreren van de sensoren te beëindigen.

Klik op de knop met 'Start I-V meting'. Volg de instructies en klik steeds op 'OK'. Klik na de laatste meting op 'stop' om de meting te beëindigen. Volg de instructies. Geef je werk een nieuwe naam, sla op en druk af.

ANALYSE:

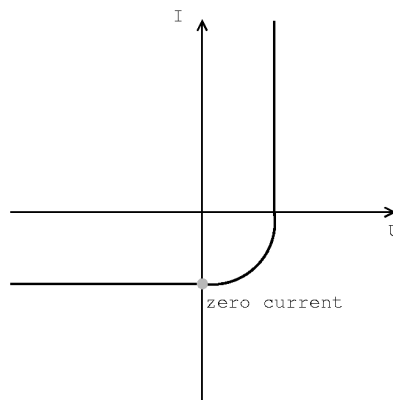
DE STROOM-SPANNINGS-KARAKTERISTIEK VAN DE ZONNECEL

1. Vergelijk de stroom-spannings-karakteristiek van de (onbelichte en belichte) zonnecel met de stroom-spannings-karakteristiek van een gewone weerstand (raadpleeg even het internet indien je niet meer precies weet hoe die laatste eruit ziet). Zijn er verschillen? Zo ja, welke?

2. Heb je een verklaring voor deze verschillen?

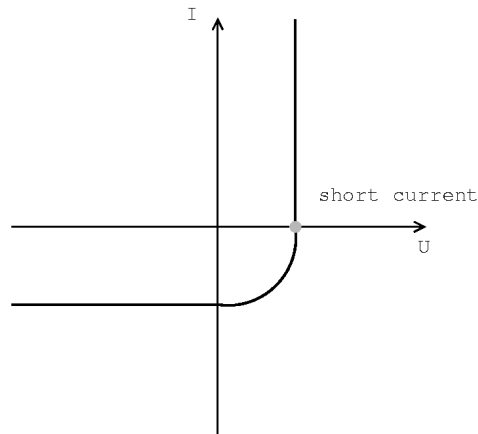
HET PUNT VAN MAXIMAAL VERMOGEN VAN DE ZONNECEL

1. Neem de stroom-spannings-karakteristiek van de belichte zonnecel. Bij welke spanning is de stroom gelijk aan nul? Dit punt wordt met de Engelstalige term 'Zero Current' aangeduid.



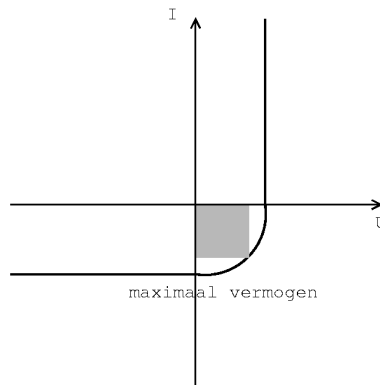
Heb je een verklaring voor het feit dat er zonder stroom toch spanning is?

2. Neem de stroom-spannings-karakteristiek van de belichte zonnecel. Bij welke stroom is de spanning gelijk aan nul? Dit punt wordt met de Engelstalige term 'Short Current' aangeduid.



Heb je een verklaring voor het feit dat er zonder spanning toch stroom is?

3. Kan je nu een verklaring formuleren voor de verschillen in de stroom-spannings-karakteristieken van de onbelichte/belichte zonnecellen?
4. Zoek het punt van maximaal vermogen van de zonnecel. Je vindt dit punt door te kijken waar de oppervlakte van de rechthoek die je onder de curve kan tekenen maximaal is, zoals weergegeven op onderstaande figuur:



Wat is daar de stroom? Wat is daar de spanning? Gebruik stroom en spanning om het vermogen ($P=UI$) te berekenen. Wat is nu het vermogen op het punt van maximaal vermogen van de zonnecel? Waarvan is dit vermogen afhankelijk? Vergelijk je resultaten ook eens met die van andere groepjes.

DEEL 3: GEBRUIKSAANWIJZING VOOR DE MULTIMETER



Een multimeter wordt gebruikt voor het meten van weerstanden, stromen en spanningen. Om op een correcte manier metingen uit te voeren zijn er echter een aantal dingen die je moet weten over het werken met een multimeter. In het volgende vind je telkens de handelingen die je moet uitvoeren om weerstanden, stromen of spanningen te meten.

METEN VAN WEERSTANDEN

Om weerstanden te meten sluit je de rode kabel aan op Ω en de zwarte kabel op COM. Zet de draaischijf van de multimeter op Ω .

METEN VAN STROMEN

Druk op DC voor gelijkstroom. Zet de draaischijf van de multimeter op de kleinst mogelijke schaal van A. Om stromen te meten sluit je de rode kabel aan op A en de zwarte kabel op COM. Stromen worden in serie gemeten. Wanneer je een 1 op het scherm van de multimeter ziet verschijnen kies je voor een grotere schaal.

METEN VAN SPANNINGEN

Druk op DC voor gelijkspanning. Zet de draaischijf van de multimeter op de kleinst mogelijke schaal van V. Om stromen te meten sluit je de rode kabel aan op V en de zwarte kabel op COM. Spanningen worden in parallel gemeten. Wanneer je een 1 op het scherm van de multimeter ziet verschijnen kies je voor een grotere schaal.