

Zonnecellen

Inhoudsopgave

1	Introductie	1
2	Theorie	1
3	Verkennen opstelling	2
4	Onderzoeksvragen en werkplan	5
5	Metingen	6
6	Rapportage	6

1 Introductie

Zonnecellen zetten stralingsenergie van de zon om in elektrische energie. In eerste instantie werden ze alleen gebruikt op plaatsen waar geen andere elektriciteitsvoorziening is, zoals bij lichtboeien op zee en bij satellieten die rond de aarde draaien. Maar tegenwoordig zie je ook op bedrijfsterreinen en in woonwijken steeds meer panelen met zonnecellen op de daken. Zonnecellen leveren een bijdrage aan een duurzame energievoorziening, doordat ze de uitputting van de voorraden fossiele brandstof en de luchtvervuiling door het verstoken van die brandstof tegengaan. Maar zonnecellen zijn (nog) duur. Het is wel mogelijk om minder dure zonnecellen te produceren, maar dat heeft gevolgen voor het rendement en daarmee voor de energie-opbrengst. In deze proef gaan jullie onderzoek doen naar het rendement van een zonnecel.

2 Theorie

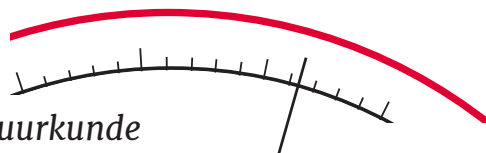
Om je goed voor te bereiden op het experiment wordt eerst de theorie bestudeerd.

2.1 Rendement van een zonnecel

Het rendement van een zonnecel hangt af van het gebruikte materiaal. Als we ons beperken tot zonnecellen gemaakt van silicium, dan kan dat materiaal monokristallijn, polykristallijn of amorf zijn. Of, met andere woorden: de kristalstructuur van het silicium kan verschillend zijn. Het rendement van zonnecellen gemaakt van deze drie vormen van silicium is verschillend.

Opdracht 1: Rendement vergelijken

Het rendement van zonnecellen gemaakt van silicium hangt af van de kristalvorm van het materiaal. De productiekosten van zonnecellen van monokristallijn silicium zijn het hoogst, die van zonnecellen van amorf silicium het laagst. Welke veronderstelling kun je hieruit afleiden over het rendement van de drie soorten zonnecellen?



Een onderzoek naar het wel of niet juist zijn van deze veronderstelling is buiten met zonlicht moeilijk uit te voeren. Daarvoor variëren de weersomstandigheden teveel. De veronderstelling is wel te controleren in een testopstelling met een kunstmatige lichtbron.

Opdracht 2: Rendement meten

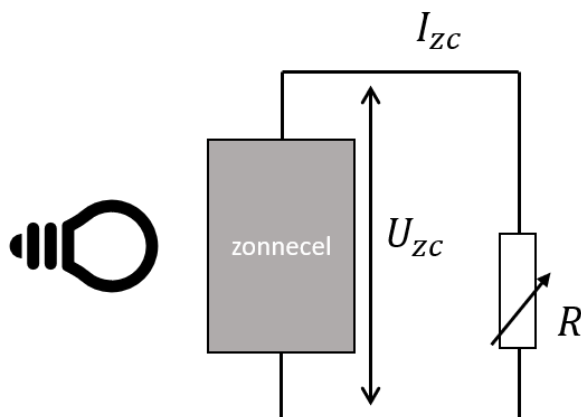
Een zonnecel zet stralingsenergie van de zon (of een andere lichtbron) om in elektrische energie.

- Hoe zou je het rendement van een zonnecel definiëren?
- Welke grootheden moet je meten om het rendement van een zonnecel te kunnen bepalen? En hoe bepaal je dat rendement dan uit de meetresultaten?
- Wat lijkt je een redelijke schatting van het rendement van een zonnecel?

3 Verkennen opstelling

Je gaat nu aan de slag met de opstelling waarbij je eerst zal lezen over hoe de opstelling werkt en daarna een aantal proefmetingen zal uitvoeren. Op deze manier begrijp je goed hoe de opstelling werkt. Daarna ga je, op basis van deze kennis, het werkplan opstellen.

3.1 De opstelling

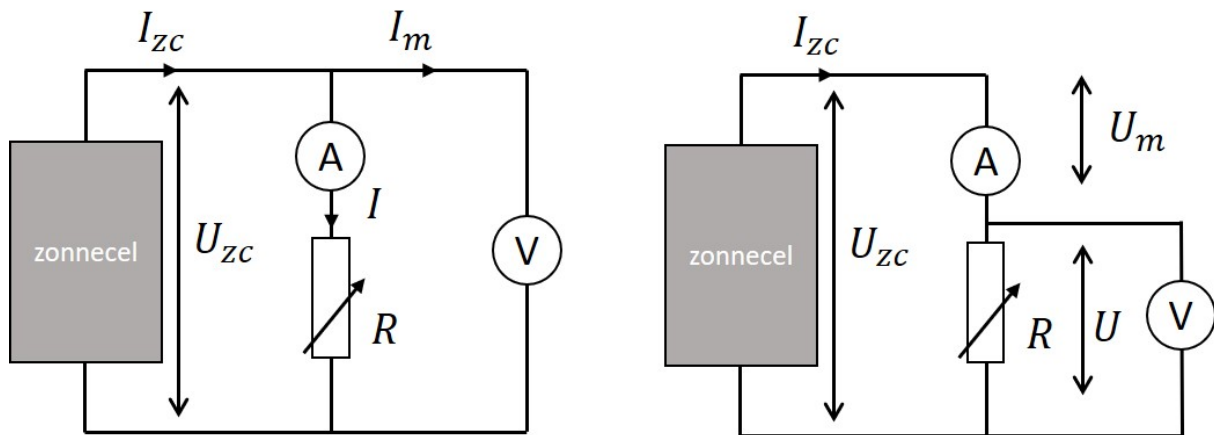


Figuur 1: Schakeling voor het meten van het elektrisch vermogen P_e van een zonnecel.

De meetopstelling bestaat uit een lamp, een drietal zonnecellen (van monokristallijn, polykristallijn en amorf silicium), een stralingsmeter, een weerstandsbank, twee multimeters en een drietal kleurfilters.

Stralingsvermogen

De lichtbron in de meetopstelling is een gloeilamp op ruwweg een meter afstand van de zonnecellen. Zet de lamp aan als je met het inlezen begint, het duurt even voordat hij op temperatuur is. Zet hem pas uit als je de laatste bent die met de opstelling gaat meten. Het op de zonnecel invallende stralingsvermogen P_{str} is te meten met behulp van een stralingsmeter. Deze meet de stralingsintensiteit in de eenheid W/m^2 . Met deze stralingsintensiteit I_{str} en het oppervlak A van de zonnecel is dan het op de zonnecel invallende stralingsvermogen P_{str} te bepalen.



Figuur 2: Twee mogelijke schakelingen voor het meten van de I,U-karakteristiek van een zonnecel. In beide gevallen wordt slechts één van de twee grootheden (I_{zc} of U_{zc}) correct gemeten.

De belichting van de zonnecel in de meetopstelling is niet helemaal gelijkmatig: de stralingsintensiteit hangt enigszins af van de plaats op het oppervlak van de zonnecel. Voor de bepaling van het rendement van de zonnecel moet de laagste waarde van de gemeten stralingsintensiteit worden gebruikt. Een zonnecel bestaat namelijk uit een groot aantal kleine cellen, die elk een elektrische lading produceren als er straling op invalt. De cellen waarbij de stralingsintensiteit het grootst is ‘lopen leeg’ in de cellen waarbij de stralingsintensiteit lager is. De cel waarbij de stralingsintensiteit het laagst is zal dan bepalend zijn voor de in totaal geproduceerde elektrische lading, en dus voor het elektrisch vermogen dat de zonnecel in zijn geheel levert.

Elektrisch vermogen

Het door de zonnecel geleverde elektrisch vermogen is te meten met behulp van de weerstandsbank en een tweetal multimeters. De weerstandsbank is een variabele weerstand waarvan de weerstandswaarde stapsgewijs instelbaar is. Een multimeter is in te stellen als stroommeter of als spanningsmeter – zie daarvoor het onderdeel Meetopstelling bij dit experiment.

Het begin van de meetopstelling voor het meten van het elektrisch vermogen P_e van een zonnecel is weergegeven in figuur 1: een zonnecel aangesloten op de weerstandsbank. Nu hangt het door de zonnecel geleverde elektrisch vermogen af van de waarde van deze belastingsweerstand R . Als we deze weerstand heel groot maken, meten we de spanning die de zonnecel levert bij een stroomsterkte die vrijwel nul is. En als we deze weerstand heel klein maken, wordt de stroomsterkte groot maar zakt de spanning in tot vrijwel nul. In beide gevallen is het door de zonnecel geleverde elektrisch vermogen vrijwel nul. In het tussenliggende gebied bereikt dit vermogen ergens een maximum. En het is dat maximale elektrisch vermogen $P_{e,max}$ waarmee we het rendement van de zonnecel bepalen. Dat maximum is te bepalen door een meting van de zogenaamde I,U-karakteristiek van de zonnecel – zie daarvoor het onderdeel Achtergrondinformatie bij dit experiment. Zo’n I,U-karakteristiek geeft het verband tussen de stroomsterkte I_{zc} en de spanning U_{zc} die de zonnecel levert, en is te meten door het variëren van de belastingsweerstand R . Voor het meten van deze I,U-karakteristiek moet de schakeling van figuur 1 worden aangevuld

met een stroom- en spanningsmeter.

Opdracht 3: Schakeling kiezen

In figuur 2 zie je twee mogelijkheden voor het opnemen van een stroom- en spanningsmeter in de schakeling van figuur 1. In beide gevallen wordt slechts één van de twee grootheden correct gemeten. In het ene geval is dat de stroomsterkte I_{zc} en in het andere geval de spanning U_{zc} die de zonnecel levert. De oorzaak hiervan is de inwendige weerstand van de meters. De stroommeter heeft een kleine inwendige weerstand (grootte-orde $0,1 \Omega$), waardoor er bij een meting een kleine spanning over de meter staat. De spanningsmeter heeft een grote inwendige weerstand (grootte-orde $10 \text{ M}\Omega$), waardoor er bij een meting een kleine stroom door de meter loopt. De vraag is nu bij welke schakeling de relatieve meetfout in de niet correct gemeten grootheid het kleinst is. Dat is namelijk de schakeling die we het best kunnen gebruiken voor het meten van het elektrisch vermogen van een zonnecel.

- Bij welke van de twee schakelingen in figuur 2 wordt de stroomsterkte I_{zc} die de zonnecel levert correct gemeten? En bij welke schakeling wordt de spanning U_{zc} van de zonnecel correct gemeten?
- Bekijk de linkerschakeling in figuur 3. In die schakeling loopt een (kleine) stroom I_m door de spanningsmeter. De door de stroommeter gemeten stroom I is dan (iets) te klein. De stroom I_m is dus de meetfout ΔI bij een meting van de stroom I_{zc} : $\Delta I = I_m$. Voor de relatieve meetfout in de stroom I_{zc} geldt dan: $\Delta I / I_{zc} = I_m / I_{zc}$.
Bereken de relatieve fout in de meting van de stroom I_{zc} . Ga er daarbij van uit dat de zonnecel een spanning U_{zc} levert, en dat de grootte-orde van de weerstand $R100\Omega$ is.
- Bekijk de rechter schakeling in figuur 2. In die schakeling staat een (kleine) spanning U_m over de stroommeter. De door de spanningsmeter gemeten spanning U is dan (iets) te klein. De spanning U_m is dus de meetfout ΔU bij een meting van de spanning U_{zc} : $\Delta U = U_m$. Voor de relatieve meetfout in de spanning U_{zc} geldt dan: $\Delta U / U_{zc} = U_m / U_{zc}$. Bereken de relatieve fout in de meting van de spanning U_{zc} . Ga er daarbij van uit dat de zonnecel een stroom I_{zc} levert, en dat de grootte-orde van de weerstand $R100\Omega$ is.
- Wat is je conclusie: welke van de twee schakelingen van figuur 2 is het meest geschikt voor het meten van het elektrisch vermogen van een zonnecel?

3.2 Proefmeting

Voordat je nu in het volgende onderdeel bij opdracht 8 je werkplan kunt uitvoeren, is eerst een verkenning van de meetopstelling en de meetmethode nodig. Bij opdracht 4 staan wat aandachtspunten voor het opbouwen van de meetopstelling. Bij opdracht 5 doe je enkele oriënterende metingen om een idee te krijgen van een zo efficiënt mogelijke manier om het maximale elektrisch vermogen van een zonnecel te bepalen.

Opdracht 4: Meetopstelling

Bouw de meetopstelling op met de beschikbare losse onderdelen, rekening houdend met je antwoord op de volgende vragen.

- Onder welke hoek moet het licht op de zonnecel invallen? En wat betekent dat voor de opstelling van de lichtbron en de zonnecel?

- b) Zet de zonnecel van amorf silicium in de meetopstelling. Meet met de stralingsmeter de stralingsintensiteit in het midden, in de vier hoeken en langs de randen van de zonnecel. Probeer de belichting zo gelijkmatig mogelijk te maken, en bedenk welke waarde van de stralingsintensiteit je zou moeten gebruiken bij het bepalen van het rendement van de zonnecel.
- c) Welke van de twee schakelingen uit figuur 2 is het meest geschikt voor het meten van het elektrisch vermogen van de zonnecel?

Opdracht 5: Maximaal elektrisch vermogen

Een belangrijk onderdeel van de meetmethode is het meten van de I,U-karakteristiek van een zonnecel om daaruit het geleverde maximale elektrisch vermogen $P_{e,max}$ te bepalen. In deze opdracht ga je eerst na hoe dat in zijn werk gaat, en daarna hoe dat zo efficiënt (of snel) mogelijk kan.

- Zet de zonnecel van amorf silicium in de meetopstelling, en zorg voor een zo gelijkmatig mogelijke belichting.
- Zet de belastingsweerstand R op nul. Zijn de waarden die je nu meet een indicatie van de kortsluitstroom I_{ks} of van het open circuit voltage U_{oc} ?
- Maak de belastingsweerstand R in een aantal stappen steeds groter. Wat verwacht je dat er dan gebeurt met I_{zc} en U_{zc} ? Gebeurt dit ook?
- Maak de belastingsweerstand R zo groot mogelijk. Zijn de waarden die je nu meet een indicatie van I_{ks} of van U_{oc} ?
- Meet de volledige I,U-karakteristiek van de amorfe zonnecel. Let daarbij op een geschikte waarde van de stapgrootte bij het veranderen van de belastingsweerstand R. Geef je meetresultaten weer in de vorm van een I,U-diagram en een P_e, U -diagram. Bepaal daaruit $P_{e,max}$.
- Het meten van de volledige I,U-karakteristiek van een zonnecel is veel werk. Bedenk daarom een zo efficiënt (of snel) mogelijke meetmethode voor het bepalen van $P_{e,max}$.

4 Onderzoeksvragen en werkplan

Na de theoretische voorbereiding en het verkennen van de opstelling kun je nu de onderzoeksvraag en een werkplan op te stellen.

Opdracht 6: Onderzoeksvragen

Formuleer de onderzoeksvraag die je met deze opstelling wilt beantwoorden. Gebruik hiervoor de kennis die je hebt opgedaan in de voorbereiding. Je moet de onderzoeksvraag kunnen beantwoorden met deze opstelling. Stel voor de onderzoeksvraag een hypothese op. De hypothese is wat je verwacht dat het antwoord zal zijn op de onderzoeksvraag.

Opdracht 7: Werkplan

Stel nu het werkplan op waarin in ieder geval de volgende punten behandeld worden:

- De onderzoeksvraag en hypothese.
- De grootheden die gevarieerd worden.
- De grootheden die gemeten worden en hoe deze metingen gedaan worden.
- Het aantal metingen.
- Hoe de data weergegeven wordt.

5 Metingen

Nadat je de voorbereiding hebt uitgevoerd en het werkplan is goedgekeurd door de docent of assistent, kan je het experiment gaan uitvoeren.

Opdracht 8: Metingen

Zoek met behulp van de meetopstelling volgens je werkplan een antwoord op de onderzoeksvraag en controleer de opgestelde hypothese.

6 Rapportage

Afhankelijk van wat je docent van je verwacht rapporteer je met een schriftelijk verslag of een presentatie over het onderzoek. Zorg ervoor dat in dit verslag of deze presentatie de volgende onderdelen duidelijk naar voren komen:

- De onderzoeksvraag en hypothese.
- Een beschrijving en een uitleg van de werking van de meetopstelling.
- Grafische weergave van de meetresultaten.
- Verwerking en interpretatie van de meetresultaten.
- Het antwoord op de onderzoeksvraag verkregen door de meetresultaten.