

Productieproces
**flexibele
zonnecellen**
onder de loep



Heliantos

De meest bekende silicium zonnecellen zijn nog van stijf materiaal gemaakt en daardoor breekbaar en beperkt toepasbaar. Door de actieve laag van een zonnecel steeds dunner te maken, is er minder materiaal nodig en nemen tegelijkertijd de mogelijkheden flink toe. De zonnecel wordt immers flexibel. Maar het productieproces van deze dunne zonnecellen heeft men nog niet volledig in de hand. Promovendus ir. Menno van den Donker werkte eraan bij een Duits onderzoekscentrum.

Bestonden de eerste silicium zonnecellen nog uit één groot kristal, al snel bleek dat ze goedkoper te produceren waren door een bak vloeibaar silicium te laten afkoelen en daar de actieve laag van een zonnecel uit te zagen. Gevolg van dit proces was dat het materiaal 'multi-kristallijn' werd: het bestond uit meerdere, nog steeds grote kristallen. 'Dit zijn de bekende blauwige zonnecellen met de duidelijk zichtbare grove structuur erin', vertelt ir. Menno van den Donker, promovendus bij de groep Plasma & Materials Processing van Technische Natuurkunde. 'Groot nadeel hiervan was het verlies aan materiaal. Silicium is niet goedkoop en bij het zagen van lagen van tweehonderd micrometer dik uit het grote blok, raakte je misschien wel de helft kwijt.' Vandaar dat men de stap zette naar het opdampen van dunne lagen silicium. In eerste instantie waren deze lagen nog amorf, dat wil zeggen zonder dat de atomen zich in de nette ordening van een kristal bevonden. Hierdoor waren de elektrische eigenschappen weliswaar iets slechter (rendementen tot acht procent), maar de lagen konden wel heel dun worden gefabriceerd. Een dikte van driehonderd nanometer was heel normaal. Wat een enorme materiaalbesparing opleverde.

Microkristallijn silicium is een relatief nieuwe vorm van het materiaal. Van den Donker, die zijn onderzoekswerk deed bij het Forschungszentrum in het Duitse

Jülich: 'Het lijkt op de amorfe versie, maar dat heeft als nadeel dat het steeds minder goed gaat werken onder invloed van zonlicht. Doordat we waterstofgas toevoegen, gaan er kleine kristalletjes ontstaan. De waterstof schudt als het ware de bindingen van de siliciumatomen door elkaar. Overal waar waterstofdeeltjes geweest zijn, laten ze een spoor van kristalletjes achter in het silicium, zo'n vijftig nanometer groot.'

Plasmareactor

Het opdammen van de actieve siliciumlaag van een zonnecel gebeurt in een plasma-reactor. In deze goed afgesloten ruimte zit onder lage druk (tien millibar) een mengsel van waterstofgas en silaan (SiH_4). Wanneer je over twee elektrodes een specifieke wisselspanning zet, ontstaat een plasma. 'De wisselspanning trekt elektronen weg van de voorheen neutrale gasatomen. De aldus ontstane hete elektronen veranderen het gasmengsel in een grote brij van verschillende moleculen, ionen en radicalen.'

Met name de radicalen – deeltjes met een onverzadigde binding – blijven gemakkelijk op een oppervlak plakken. Op een substraat in de reactor zet zich zo een laag silicium af. Maar niet alleen daar, overal in de ruimte bevinden zich de reactieve deeltjes. Van den Donker: 'De samenstelling van deze brij is enorm ingewikkeld. SiH_4 valt bijvoorbeeld uiteen in waterstof en SiH_3 , maar de laatste valt zelf ook weer uit el-

Het productieproces van microkristallijn silicium is sterk verbeterd.



FOTO: BART VAN OVERBEEK

Menno van den Donker met de flexibele zonnecel die hij in zijn promotietijd ontwikkelde.

kaar. Zo krijg je een waterval van reacties. Wij waren niet zozeer geïnteresseerd in de precieze samenstelling van de brij, maar wilden juist weten aan welke 'knoppen' we zouden moeten draaien om het proces te verbeteren.'

Want het proces had men nog niet volledig in de hand. De voorganger van Van den Donker in Jülich had in zijn promotieonderzoek het proces in kaart gebracht door verschillende parameters te variëren. 'Daarbij moet je denken aan de temperatuur, de concentraties van de gassen voor het plasma, de afstand tussen de elektroden enzovoort. Maar bij hem was het nog een soort van 'trial-and-error'. Zo van: wanneer we dit doen, gebeurt er dat.' Van den Donker begon tijdens zijn promotie meer in de reactor te kijken. In overdrachtelijke zin dan. Hij bouwde de plasmareactor zodanig om dat verschillende meetapparaten in de reactor konden meten. Met een zogeheten pyrometer bepaalde hij steeds op afstand de temperatuur van het substraat. En met een optische spectrometer kon hij de samenstelling van het plasma bekijken. Zo kwam hij erachter dat bij het opstarten van het plasma de eerste minuut zeer belangrijk is. 'In de eerste minuut verandert de samenstelling van het plasma ingrijpend. In feite komt er dan snel veel waterstof vrij uit het silaan. Waterstof dat nodig is aan het oppervlak om te helpen bij het vormen van de nodige siliciumkristallen. Na die minuut wordt het zaakje constant. Nogal een ontdekking, want voorheen voerden we altijd honderd keer

meer waterstofgas dan silaan toe aan het plasma. Maar nu blijkt dus dat dat alleen de eerste minuut nodig is, om de boel op gang te helpen. Daarna kan het plasma zelf voldoende waterstof leveren.' Een enorme vooruitgang, want -hoewel niet duur- wordt hiermee op waterstof bespaard. Bijkomend voordeel is dat de stevige waterstofstroom zware eisen stelde aan het ontwerp van de depositoreactor. En, misschien wel het belangrijkste, het silaan wordt nu wél volledig gebruikt, doordat de overvloed aan waterstof niet meer in de weg zit.

Ideale temperatuur

Een andere ontdekking die Van den Donker deed, is dat het substraat langzaam warmer wordt onder invloed van het plasma. Een ongewenst effect, want een andere temperatuur betekent een andere kwaliteit van de laag. 'Constant houden bleek de beste oplossing. De hoogte van de temperatuur speelt ook een belangrijke rol. Is die te hoog, dan stuiten de silaanmoleculen terug. En is de temperatuur te laag, dan vormt het silicium zich meteen op de eerste de beste plek waar het silaandeeltje het oppervlak raakt. Op de ideale temperatuur (zo'n tweehonderd graden) gaat een silaandeeltje een stukje wandelen over het oppervlak, tot het een mooi passend plekje vindt. Een beetje zoals bij het computerspel Tetris', aldus de promovendus. Deze fikse verbetering van het productieproces van microkristallijn silicium betekent niet dat het gebruik van de amorfe variant nu helemaal voorbij is. Van den

Donker: 'Amorf silicium absorbeert een ander deel van het spectrum, meer bij blauw en groen. Microkristallijn silicium profiteert van een breder spectrum, helemaal tot in het infrarode. Zo vullen ze elkaar aan.' Het loont dan ook de moeite de twee lagen op elkaar te zetten om zo het rendement van de cel te verhogen. En dat lukt: reikt een amorfe siliciumzonnecel nog maar tot zo'n acht procent rendement, samen met een versie met microkristallen (in zijn eentje goed voor negen procent) levert dat een rendement van twaalf procent op.

Hoewel Van den Donker bij zijn onderzoek steeds glas heeft gebruikt om de zonnecel op af te zetten, is in de praktijk een flexibel materiaal mogelijk voor het substraat. Dat heeft verschillende voordelen. Voor de prijs is het het belangrijkste dat de flexibele zonnecel op rol te produceren is in een continu proces. 'Maar doordat volledig plastic zonnecellen erg licht zijn, zijn ze ook goedkoop te vervoeren en prettig te installeren. Je rolt gewoon een rol folie ergens op uit. Maar in de toekomst zitten grote zonnecellen misschien wel in het doek van je tentje verwerkt, of in je jas', aldus Van den Donker.

Duurzame energie

De promovendus was al vóór zijn promotie erg enthousiast over zonne-energie. Per 1 januari is hij in dienst getreden bij Solland Solar Energy in Heerlen. 'Volgens mij is zonne-energie de enige mogelijkheid voor duurzame energie die op korte termijn interessant is. Voor een deel is dat een gevoel, want in alle berekeningen zitten zoveel aannames. Maar alleen windmolens en biomassa kunnen nooit voor honderd procent aan de vraag voldoen. Zonnecellen kun je bijna overal opplakken zonder dat je er last van hebt. En zonlicht is er altijd.' Daarmee zijn zonnecellen volgens Van den Donker ook een goede optie voor ontwikkelingslanden. Maar dan zal wel de prijs van zonnestroom omlaag moeten. 'Die is nu in Nederland nog drie keer zo hoog als die van 'gewone' stroom. Maar met alweer decennialang een groei van veertig procent per jaar verwacht ik dat zonne-energie over tien jaar goedkoper is dan gewone stroom. En dan is volgens mij het hek van de dam.' En kernfusie dan? 'Daar moeten we op hopen voor centrale energieopwekking. Maar zonne-energie kan iedereen lokaal opwekken, zodat je het niet ver hoeft te transporteren.'