



Openbaar eindrapport Dutchness

Gegevens project

- Projectnummer: TKIZ01007
- Projecttitel: Dutchness (Dutch Technology for high-efficiency n-type solar cells)
- Penvoerder en medeaanvragers:
 - Tempres Systems B.V. (penvoerder)
 - Mecco Equipment Engineers B.V.
 - Technische Universiteit Eindhoven (Tu/e)
 - Technische Universiteit Delft (TUD)
 - Energieonderzoek Centrum Nederland (ECN)
 - Roth & Rau B.V.
 - Levitech B.V.
 - ASM Europe B.V.
- Projectperiode: 20-07-2012 t/m 30-06-2014
- Publicatiedatum openbaar rapport: 29-09-2014



Samenvatting van uitgangspunten, doelstelling en samenwerkende partijen

In het project Dutchness is door vijf bedrijven (Tempress, Levitech, ASM, Roth & Rau BV en Meco) 2 universiteiten (TU/e en TU Delft) en een onderzoeksinstituut (ECN) samengewerkt aan het ontwikkelen nieuwe technologieën voor het produceren van zeer efficiënte, kristallijn silicium n-type zonnecellen.

De deelnemende industriële partijen zijn allen producenten van apparatuur die nodig is voor het fabriceren van zonnecellen. Voor deze bedrijven was (en is) het belangrijk dat hun productieapparaten getest kunnen worden als een onderdeel van een compleet zonnecel- en moduleproces. Daarnaast onderzoeken de technische universiteiten van Eindhoven en Delft specifieke processen van de zonnecel fabricage (namelijk het maken van de p-n-junctie en het passiveren van de gedoteerde oppervlaktes) op een fundamenteel niveau. ECN ontwerpt, modelleert en ontwikkelt de cel concepten waarin alles geïntegreerd wordt.

De twee doelstellingen van dit project waren:

- De Nederlandse partners zullen apparaten en processen ontwikkelen en optimaliseren met betrekking tot yield, doorvoer en kwaliteit om zo de productie van 21% n-Pasha zonnecellen voor 21 \$ct/wp en 22.5% n-IBC zonnecellen voor 25 \$ct/wp mogelijk te maken
- De nieuw ontwikkelde apparatuur zal worden geïntegreerd in een complete zonnecelproductielijn voor 21% n-Pasha cellen, met een doorvoer van 2800 wafers/uur en een verbeterde yield hetgeen zal resulteren in 120 MWatt per jaar

De twee n-type celconcepten die zijn ontwikkeld in dit project zijn het n-Pasha celconcept, met een efficiëntie van 19.8% aan het begin van het project en een lage kosten IBC concept, Mercury. Het Mercury concept was nieuw ontworpen bij de start van het project en is dus volledig opgebouwd en ontwikkeld binnen Dutchness.

Beschrijving van de behaalde resultaten, de knelpunten en het perspectief voor toepassing

Het ontwikkelen, toepassen en testen van nieuw ontwikkelde apparaten en processen werd voornamelijk op n-Pasha cellen gedaan. Aan het begin van het project behaalden n-Pasha cellen een gemiddelde efficiëntie van 19.8%. Voor alle hoofdonderdelen van het n-Pasha celproces zijn verbeterde celprocessen gevonden: emitter formatie, selectieve BSF formatie, passivatie en metallisatie. Los van elkaar leverden alle verbeterde processen een efficiëntie winst op van tussen de 0.2 – 0.3% absoluut. Aan het eind van het Dutchness project zijn de meesten geïntegreerd in het n-Pasha cel proces. Hierbij is een gemiddelde efficiëntie van 20.4% en top efficiëntie van 20.5% behaald.

Hoewel de efficiëntie van 21% voor n-Pasha niet is bereikt, (een van de doelstellingen van dit project), laat modelering zien dat dit zeker haalbaar is. Hiervoor dient vooral het emitter proces nog verder te worden geoptimaliseerd door middel van een zogenaamde selectieve emitter. De kosten target van 0.21\$/Wp is wel behaald. Sterker nog, het meest kosteneffectieve proces, waarmee een gemiddelde efficiëntie van 20.4% kan worden behaald, kost slechts 0.17 \$/Wp aan productiekosten. Dit komt mede door efficiëntere en goedkopere processen die zijn ontwikkeld door de partners voor de volgende stappen:

- Tempress heeft een nieuwe BBr_3 emitter ontwikkeld die gemaakt wordt met minder BBr_3 gas en resulteert in een zelfde efficiëntie voor n-Pasha cellen
- ECN en Roth & Rau BV hebben samen een nieuw proces ontwikkeld voor het maken van een selectief POCl BSF, wat resulteert in een hogere efficiëntie en significant lagere productiekosten
- Tempress heeft een apparaat ontwikkeld voor het deponeren van $SiNx$ passiverende en antireflectie lagen. Deze $SiNx$ lagen resulteren in dezelfde efficiënties als de oorspronkelijke referentielagen bij ECN, maar kunnen door de hogere apparaatdoorvoer tegen lagere kosten worden gevormd in de fabriek.



- Levitech en ASM hebben beiden hun 'atomic layer' Al_2O_3 depositie apparaten verder ontwikkeld en ge-optimaliseerd. Dit resulteerde in beide gevallen in homogenere Al_2O_3 lagen en een gereduceerde TMA consumptie. Emitter passivatie met behulp van deze Al_2O_3 lagen resulteerde in 0.2% absoluut hogere efficiëntie.
- ECN heeft de metallisatie van de cellen verbeterd door het printen van steeds dunnere lijnen waardoor de zilver consumptie is verlaagd en tegelijkertijd de efficiëntie ongeveer 0.3% absoluut is verhoogd.

Al deze ontwikkelde processen en apparaten zijn industrieel en kunnen worden toegepast voor massaproductie van n-type zonnecellen. De meesten worden zelf al (met het n-Pasha of andere processen) gebruikt door industriële partijen zoals Yingli Solar en zouden kunnen worden ge-upgrade voor het verbeterde n-Pasha proces om 20.4% avg. n-type zonnecellen te produceren. De meeste processen kunnen ook direct worden toegepast voor het fabriceren van n-type cellen met een ander ontwerp zoals bijvoorbeeld n-type IBC cellen. De verdere optimalisatie van n-Pasha cellen tot efficiënties van 21% zal worden gedaan in het "n-Pasha vervolg" van Dutchness: NChanted

Naast het werk aan n-Pasha cellen, is een assessment gemaakt voor de verschillende mogelijkheden van ontwerp en proces-flow voor IBC cellen. Hierbij waren naast de efficiëntie, ook de kosten van productie een heel belangrijke factor. Het concept dat gekozen is, is de Mercury cel. De Mercury cel is gekozen vanwege de makkelijkere productie en flexibiliteit ten opzichte van basis materiaal. De doelstelling voor Mercury is een efficiëntie van 21.5% voor de goedkoopste productie.

De Mercury IBC cel moest worden ontworpen vanaf 'scratch' binnen dit project. De eerste Mercury cellen die binnen dit project zijn gemaakt hadden een efficiëntie van 15.9%. Aan het eind van het project is een ontwerp gemaakt voor een 6 inch Mercury cel, die compatibel is met de modules die bij ECN ontwikkeld zijn met geleidende achterzijde folies. De Mercury cel heeft 62 contactpunten van cel tot module. Een beste cel, met 19.5% efficiëntie, is gemaakt in de laatste run van dit project, hetgeen de voortgang van de ontwikkeling van Mercury cellen goed laat zien. De ontwikkeling aan de Mercury cel, en het optimaliseren tot 21.5% efficiëntie zal worden voortgezet in de "IBC-opvolger" van Dutchness: IBChampion

Beschrijving van de bijdrage van het project aan de doelstellingen van de regeling (duurzame energiehuishouding, versterking van de kennispositie)

Zonne-energie heeft een enorm potentieel: mondiaal, in Europa en in Nederland. Grootschalige toepassing van zonne-energie voor de productie van elektriciteit kan een belangrijke bijdrage leveren aan de vergaande reductie van CO_2 -emissies en aan het vergroten van voorzieningszekerheid.

Volgens Stichting Monitoring Zonnestroom is er 1 GW vermogen aan zonnestroom geïnstalleerd sinds halverwege september 2014 in Nederland¹. Het belang van zonnestroom in de Nederlandse stroomvoorziening wordt daarmee steeds groter, waarmee Nederland nu in het spoor van haar buurlanden treedt. Deze mijlpaal is met nadruk een eerste mijlpaal. De volgende mijlpaal, een geïnstalleerd vermogen van 2 GW aan geïnstalleerd vermogen kan binnen 2 tot 3 jaar worden gehaald als de trend zich voortzet. De doelstelling van de sector voor 2020 is een opgesteld vermogen van 4 GWp, bij opwekkosten van 0,10-0,15 €/kWh. Dit komt overeen met een **bijdrage van 3% aan het totale elektriciteitsgebruik in 2020** en een **bijdrage van 10% aan de doelstelling voor duurzame elektriciteit**.

Dankzij het Dutchness project zijn er technologieën ontwikkeld die dicht bij marktintroductie zijn en die zullen leiden tot verdere daling van opwekkosten. Er zullen daarom in het komende decennium omvangrijke zelfdragende markten voor PV kunnen ontstaan. De industriepartners hebben hun apparatuur verder ontwikkeld om 21% efficiënte zonnecellen te ontwikkelen, waarbij lage kosten gegarandeerd worden door hoge opbrengsten, korte doorlooptijden en hoge kwaliteit.

¹ Rapport SMZ-2014-3, Stichting Monitoring Zonnestroom, September 2014



Spin off binnen en buiten de sector

Binnen de PV sector, de technologische bijdrage is duidelijk, door de toegenomen zonnecel efficiëntie en de verbetering van de producten die de bedrijven kunnen aanbieden. Deze kennis zou voor een deel interessant kunnen zijn voor andere toepassingsgebieden, bijv. de halfgeleider industrie, waar al een link is vanuit de marktgebieden van de industriepartners.

Het verlagen van de kostprijs voor zonne-elektriciteit heeft invloed op de introductie van zonnepanelen in de gebouwde omgeving, waarbij consumenten steeds vaker kiezen voor installatie op hun daken. Dit heeft weer positieve invloed op de installatiesector voor PV-panelen en alles wat daarbij hoort (invertors, dakvernieuwing, etc.).

Overzicht van openbare publicaties over het project en waar deze te vinden of te verkrijgen zijn

- I.G. Romijn, A. Guthahr, D. Saynova, J. Anker, E. Kossen and K. Tool: "Cost effective n-Pasha solar cells with efficiency above 20%", Photovoltaics international 20 (2013)
- D.S. Saynova et al.: "Dielectric passivation schemes for high efficiency n-type c-Si solar cells", EU PVSEC, Paris, 30 September – 2 October 2013 (poster)
- G.J.M. Janssen, A. Gutjahr, A.R. Burgers, D.S. Saynova, I. Cesar, I.G. Romijn: "Power loss analysis of n-Pasha cells validated by 2D simulations", EU PVSEC, Paris, 30 September - 2 October 2013 (poster)
- I.G. Romijn et al.: "Industrial cost effective n-Pasha solar cells with >20% efficiency", EU PVSEC, Paris, 30 September - 2 October 2013 (oral)
- B.B. van Aken, M.J. Jansen, N.J.J. Dekker: "Reliability and Energy Output of bifacial Modules", IEEE, Tampa, USA, 2013 (poster)
- I.G. Romijn et al.: "Towards 21%: front side improvements for n-Pasha solar cells", SNEC, Shanghai, 2014 (oral).
- I. Cesar et al.: "Mercury: A Back Junction Back Contact Cell With Novel Design For High Efficiency And Simplified Processing", Energy Procedia, 4th Int. Conf. on Silicon Photovoltaics, Silicon PV 2014 (oral).
- Burgers et al.: "Mercury: a Back Junction Back Contact Cell with Novel Design for High Efficiency and Simplified Processing" SNEC, Shanghai, 2014 (oral).
- Mewe et al.: "Implied Voc determination on IBC cell structure with front floating emitter", NREL workshop, Denver, 2014 (poster).
- Cesar et al.: "Mercury: a novel design for a back junction back contact cell with front floating emitter for high efficiency and simplified processing", EU PVSEC, Amsterdam, 22-26 September 2014 (oral granted).
- Burgers et al.: "Mercury: modelling of IBC cells with front floating emitter", WC-PEC, Kyoto, 2014 (oral granted).
- Mewe et al.: "Mercury: record efficiency of industrial 6" IBC with front floating emitter", WC-PEC, Kyoto, 2014 (poster granted).
- B.W.H. van de Loo, G. Dingemans, E.H.A. Granneman, I.G. Romijn, G.J.M. Janssen, W.M.M. Kessels: "Advanced front-surface passivation schemes for industrial n-type silicon solar cells", Photovoltaics international 24 (2014).
- B.W.H. van de Loo, H.C.M. Knoop, G. Dingemans, M. Lamers, I.G. Romijn, W.M.M. Kessels: "'Zero-Charge' SiO₂/Al₂O₃ Stacks for the Simultaneous Passivation of n+ and p+ Surfaces in Solar Cells", Silicon PV conference 's-Hertogenbosch, 2014 (oral).
- B.W.H. van de Loo, H.C.M. Knoop, G. Dingemans, I.G. Romijn, M.W.P.E. Lamers, J. Liu, Y. Komatsu, W.M.M. Kessels: "Simultaneous Passivation of n+ and p+ diffused Silicon Surfaces by Atomic Layer Deposition of Al₂O₃ and SiO₂/Al₂O₃ Stacks", EU PVSEC, Amsterdam, 22-26 September 2014 (poster granted).



- B.W.H. van de Loo, H.C.M. Knoops, G. Dingemans, I.G. Romijn, W.M.M. Kessels: "Excellent Chemical Passivation of p+ and n+ Surfaces of Silicon Solar Cells by Atomic Layer Deposition of Al₂O₃ and SiO₂/Al₂O₃ Stacks", American Vacuum Society Conference in Baltimore, November 2014 (oral granted).

Meer exemplaren van dit rapport

Meer exemplaren van dit rapport kunnen digitaal worden verkregen via het hieronder genoemde contact.

Contact voor meer informatie

Meer informatie over dit project kan verkregen worden via:

- de heer Jan Marc Luchies, Tempres Systems B.V., jmluchies@tempres.nl
- mevrouw Ingrid Romijn, ECN Solar Energy, romijn@ecn.nl

Subsidie

Het project is uitgevoerd met subsidie van het Ministerie van Economische Zaken, voor het TKI Solar Energy uitgevoerd door RVO.