



Openbaar eindrapport PV4FACADES

Gegevens project

- Projectnummer: TEMW140009
- Projecttitel: PV4FACADES ("Photovoltaics for high-performance building integrated electricity production using high-efficiency back-contact silicon modules")
- Penvoerder en medeaanvragers: ECN, Tempres Systems B.V., Eurotron B.V.
- Projectperiode: 01-09-2014 t/m 31-08-2017
- Publicatiedatum openbaar rapport: 30-11-2017

Samenvatting van uitgangspunten, doelstelling en samenwerkende partijen

Uitgangspunt van dit project was dat achterzijde-gecontacteerde zonnecellen (Fig. 1) zeer geschikt zijn voor toepassing in gebouw-geïntegreerde fofovoltaïsche (BIPV) toepassingen. Dit heeft te maken met o.a. het uniforme aanzicht van zulke modules (Fig. 2), het hoge rendement (meer vermogen per oppervlakte-eenheid), en het mogelijk betere gedrag onder gedeeltelijke beschaduwing, betere temperatuurcoëfficiënt, en nog andere mogelijke voordelen. De projectdoelstellingen waren als volgt:

1. Ontwikkeling van achterzijde-gecontacteerde zonnecellen (zowel metal-wrap-through (MWT) type, als interdigitated back contact (IBC) type) voor hoog rendement en industriële toepassing. Rendementsdoelstelling voor de cel 22%.
2. PV moduletechnologie (interconnectie en laminatie) voor 0% cell-to-module vermogensverlies en gereduceerde kosten. Rendementsdoelstelling voor de module 20.5%.
3. Ontwikkeling van gehard dun glas (dunner dan 2.2mm) voor moduleproductie.
4. Ontwikkeling, test, en evaluatie (met terugkoppeling vanuit de markt) van BIPV elementen op basis van achterzijde-gecontacteerde zonnecellen.

Het project is in solar-erant verband uitgevoerd in een samenwerking tussen 4 verschillende “nationale” innovatie-projecten: uit Nederland, Vlaanderen, Wallonië, en Turkije. Binnen het Nederlandse project was de nadruk sterk gericht op de introductie en ontwikkeling van polykristallijn silicium (polysilicium of polySi) junctie-technologie voor hoogrendements zonnecellen, door Tempres en ECN. Tempres installeerde hiertoe buisovens voor depositie en dotering van de polySi lagen. ECN onderzocht de karakteristieken van deze lagen, optimalisatie, en toepassing en integratie in diverse types zonnecellen. Daarnaast werkten in het Nederlandse project Eurotron en ECN aan ontwikkeling van de module-technologie voor IBC cellen, en analyse van de IBC modules in o.a. outdoor tests. In het Vlaamse project werkte imec aan de ontwikkeling van hoogrendement MWT cellen, met name de introductie van electroplating voor aanbrengen van de contacten. Soltech, Eternit, en Wienerberger ontwikkelden BIPV elementen op basis van MWT cellen. De Nederlandse en Vlaamse projecten maakten zoveel mogelijk gebruik van dezelfde modulematerialen en elkaars ervaringen daarmee. In het Waalse project ontwikkelde Eliosys test- en analyse-opstellingen en testprocedures voor deze modules.

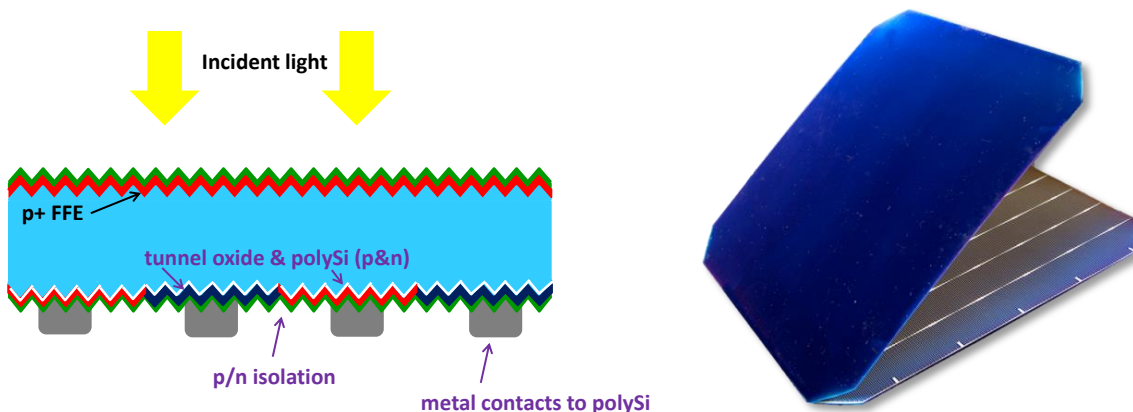


Fig. 1. Links: schematische dwarsdoorsnede van een achterzijde-gecontacteerde zonnecel (IBC cell) zoals onderzocht in dit project, met in paars aangegeven de belangrijke onderzoeksonderwerpen op het gebied van celtechnologie in dit project. Rechts: foto van een IBC cell (voorzijde blauw; achterzijde bruin met wit metallisatie-patroon) zoals gebruikt voor module-ontwikkeling in dit project. Deze cellen voor module-integratie bevatten nog geen juncties op basis van tunnel oxide & polySi.



Fig. 2. Links: foto van een demonstratie-module van 2x2 IBC cellen toont het uniforme aanzicht. Rechts: foto van een BIPV dakelement zoals ontwikkeld in dit project door de Vlaamse projectpartners Soltech en Eternit, op basis van achterzijde gecontacteerde metal-wrap-through (MWT) zonnecellen. (bij MWT cellen is de voorzijde van de zonnecel niet geheel vrij van metallisatie, vandaar dat er in het BIPV element nog enige structuur in de module te zien is.)

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

Onderzoek gericht op de eigenschappen van de polySi lagen.

Contacten zijn in de praktijk één van de voornaamste bronnen van recombinatieverliezen in hoogrendementszonnecellen. De recombinatie wordt gekwantificeerd met de zogenaamde “prefactor van de recombinatiestroomdichtheid”, J_0 . De afhankelijkheid van de spanning van een zonnecel van deze parameter is te zien in Fig. 3.

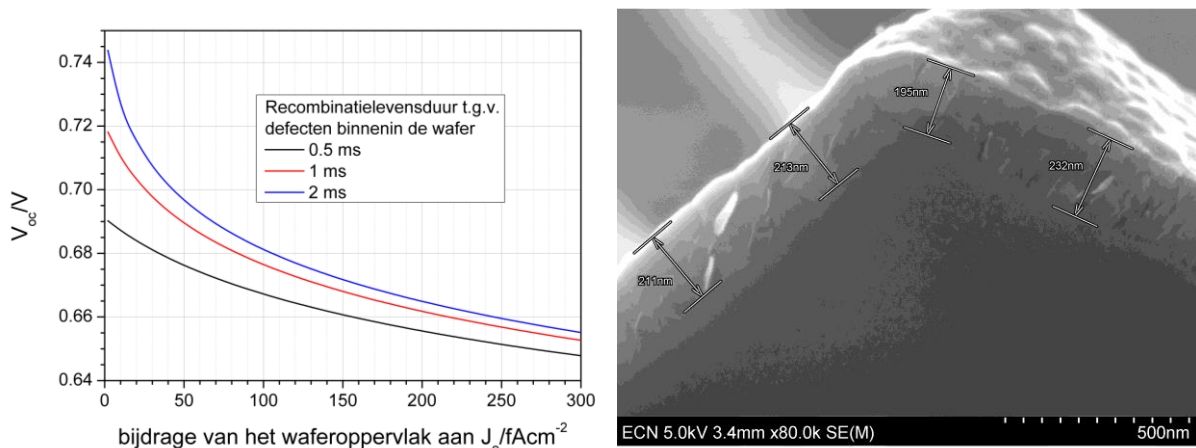


Fig. 3. Links: Afhankelijkheid van de openklemspanning van een kristallijn silicium zonnecel van recombinatie, uitgesplitst naar oppervlakte- en bulk-recombinatie. De drie curves corresponderen met representatieve bulk recombinatielevensduren in monokristallijne wafers. De meeste industriële zonnecellen hebben momenteel een V_{oc} rond de 0.65 V. Rechts: PolySi laag op getextureerde wafer zoals ontwikkeld in dit project.

De huidige industriële zonnecellen hebben momenteel een waarde voor J_0 van het waferoppervlak van ca. 100 fA/cm². In dit project is de polySi technologie ontwikkeld waarmee deze waarde met ongeveer een factor 2-5 omlaag is gebracht. De polySi technologie is gebaseerd op een dubbellaag van een zeer dun (ongeveer 1 nm) siliciumoxide en een gedoteerde laag polykristallijn silicium (polySi, ongeveer 50-200nm dik). De werking van de oxide/polySi dubbellaag berust op de passivering van defecten aan het waferoppervlak door het dunne oxide (dun genoeg om



elektronen en gaten met weinig weerstandsverlies door te laten) en de depletie van één type ladingsdrager aan het waferoppervlak door de hoge concentratie dotering in het polySi. Deze combinatie van effecten kon gemodelleerd worden. Het oxide is geoptimaliseerd voor een goede werking als diffusiebarrière en passivatielaag, en de contactweerstand is geanalyseerd. Verschillende doteringsprocessen (in-situ, implantatie, diffusie uit gasfase) zijn geoptimaliseerd. Een belangrijke stap was het aantonen dat een grote verbetering van de passivatie mogelijk was door middel van het aanbrengen van een waterstofvrije SiNx antireflectiecoating. Een beste J_0 van 8 fA/cm^2 kon bereikt worden voor n-type polySi, en 12 fA/cm^2 voor p-type polySi (gemiddeld over de wafer).

Toepassing van de polySi lagen in nPERT zonnecellen.

Toepassing van de polySi werd allereerst getest als gepassiveerde n-type contactlaag op de achterzijde van een n-type “passivated emitter and rear totally diffused” (n-PERT) zonnecel. Daarbij werd zowel de contactrecombinatie als de parasitaire infraroodabsorptie geanalyseerd. Een winst van ca. 10-15 mV op de Voc werd bereikt, en een hoogste celrendement van 20% (op 156mm industriële wafers met industriële gezeefdrukte metaalcontacten). De parasitaire IR absorptie was ca. 0.7 mA/cm^2 in een 200nm dikke hoog-gedoteerde polySi laag. Door dikte of dotering te verminderen kan de absorptie ongeveer proportioneel verminderd worden. Dit celproces en celconcept zijn sindsdien verder ontwikkeld in andere TKI projecten (NexPas, Nchanted, Antilope). De winst in Voc werd gelimiteerd door de recombinatie van de (van “traditionele”gediffundeerde emitter voorziene) voorzijde van de n-PERT cel, en de recombinatie van de gezeefdrukte metaalcontacten. Andere types metaalcontacten zijn bestudeerd met betere eigenschappen (minder recombinatie) maar vanwege het minder industriële karakter daarvan lag de nadruk van het onderzoek op zeefdruk-contacten. Hoewel de gezeefdrukte metaalcontacten op polySi niet recombinatie-vrij zijn, is de recombinatie toch aanmerkelijk minder (ruwweg $<500 \text{ fA/cm}^2$) dan die van gezeefdrukte contacten op de gebruikelijke gediffundeerde juncties (ruwweg $\geq 1500 \text{ fA/cm}^2$).

Als brug naar IBC cellen werd vervolgens gewerkt aan p-type polySi, via in-situ dotering (dotering van de polySi laag in de depositie-buisoven). Een IBC structuur met polySi contacten van beide polariteiten kan dan verkregen worden door lokale compensatie tot n-type polySi. Die compensatie kan in principe verkregen worden door diffusie, of door implantatie. Initieel is er in het project veel nadruk op ontwikkeling van een compensatie uit diffusie gelegd, succesvol v.w.b. prestaties van het gecompenseerde n-polySi, maar een succesvol maskeringsproces (nodig voor IBC patronen) kon niet gevonden worden. Daarna is overgestapt op compensatie door (gemaskeerde) implantatie, wel met succes. Als vehikel om deze lagen “op celniveau”, met metaalcontacten, te testen, zijn vervolgens dubbelzijdig van polySi-laag voorziene zonnecellen gemaakt en geanalyseerd. Deze bereikten een redelijk hoge implied Voc van ca. 700mV (voordat metaalcontacten werden aangebracht), vergelijkbaar met de beste conventionele nPERT cellen, en een beste Voc van 678 mV met metaalcontacten, significant hoger dan conventionele nPERT cellen vanwege de passivatie van het achterzijdecontact door de polySi laag. Dit zijn bemoedigende resultaten, in aanmerking nemende dat er geen uitgebreide variatie en optimalisatie van procesmaterialen en procescondities is uitgevoerd. Op deze cellen kon ook de contactweerstand van de polySi lagen van beide polariteit direct vergeleken worden, van belang voor IBC cellen, en het geeft inzicht in het transportmechanisme van landingsdragers door de contacten. Het was in zekere mate onverwacht, maar zeer bruikbaar, dat onder gemeenschappelijke processing beide polariteiten zowel goede passivatie als goede transporteigenschappen kunnen opleveren. Deze dubbelzijdig van polySi-laag voorziene zonnecellen zijn vergelijkbaar met de amorf Si heterojunctiecellen zoals geproduceerd door Panasonic in de zin van goede oppervlaktepassivering (hoge Voc), hoewel ze nog niet hetzelfde niveau bereiken. Onderzoek aan deze cellen wordt voortgezet o.a. in de context van tandem PV structuren, waarvoor ze zeer geschikt zijn.

PERPoly

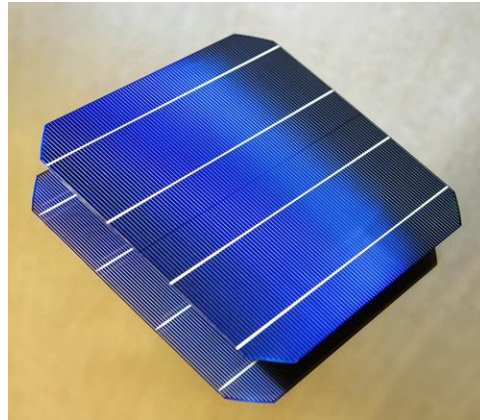
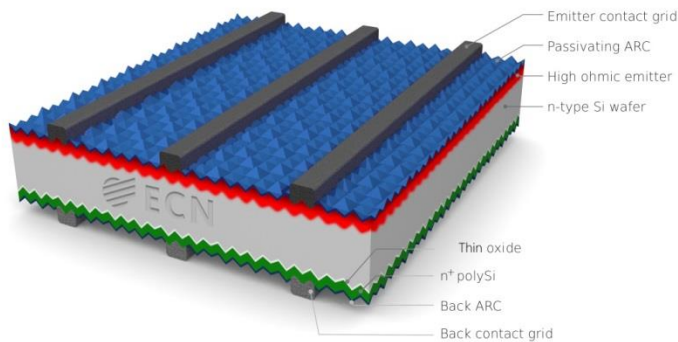


Fig. 4. nPERT zonnecel met polySi achterzijde contactlaag (PERPoly zonnecel) ontwikkeld in PV4facades.

Toepassing van de polySi lagen in IBC zonnecellen.

Net zoals de toepassing van een n-polySi achterzijde contact op nPERT cellen een winst in Voc en rendement geeft (huidige winst in rendement is bijna 1%abs), is in dit project op vergelijkbare wijze een n-polySi achterzijde contact op IBC cellen toegepast. De n-type gediffundeerde contacten hebben op de bij ECN ontwikkelde “Mercury” IBC cellen een significant hogere recombinatie dan de p-type gediffundeerde emitter. Vervanging door n-polySi levert dus potentieel een flinke verbetering, al zonder de volledige stap naar polySi juncties van beide polariteiten te maken. Prototype IBC cellen leverden inderdaad een toename in Voc van 10-15mV, net als bij nPERT cellen, echter ook hier werd geen variatie en optimalisatie van procesmaterialen en procescondities uitgevoerd, zodat het rendement vanwege een lage FF slechts ca. 18% was. Er is niet in detail beoordeeld of dit type cel op weg naar volledige polySi juncties een commercieel levensvatbare tussenstap zou kunnen zijn, maar als de nPERT process flow met n-polySi achterzijde junctie zou aanslaan in industrie lijkt dit gezien de overeenkomsten goed mogelijk.

Op basis van de resultaten met combinatie van p-polySi en n-polySi in tweezijdig gecontacteerde zonnecellen is vervolgens de stap gemaakt naar IBC zonnecellen met beide polariteiten polySi juncties. Een belangrijke vraag die hierbij onderzocht moest worden was de noodzaak van een ruimtelijke scheiding (“gap”) tussen de n-polySi en p-polySi. Omdat de polySi zeer defectrijk is, isoleert naar verwachting een p-n junctie tussen beide polariteiten maar zeer matig. Dit betekent dat een recombinatiestroom tussen beide contacten zou kunnen optreden, wat het celrendement vermindert. Deze recombinatiestroom is getest als functie van dikte en doteringsnivo van de polySi. Binnen het geteste parametergebied (kleinste polySi dikte van 120nm) is de recombinatie duidelijk merkbaar en lijkt een gap daarom noodzakelijk. Dit vergroot de complexiteit van het celproces enigszins t.o.v. de gebruikelijke gediffundeerde IBC cel, die geen gap nodig heeft. De cost of ownership is door ECN op hoofdlijnen beoordeeld, aan de hand van het aantal processtappen. Tempress heeft de kosten van de polySi depositieproces in detail gemodelleerd, waarbij blijkt dat de kosten in lijn zijn met andere industriële low-cost processtappen zoals fosfordiffusie. In het meest gesimplificeerde poly-IBC fabricageproces (niet volledig bewezen in dit project) zou het aantal processtappen 12 kunnen zijn, t.o.v. 10 voor de huidige industriële PERC zonnecellen zonder selectieve emitter. Naar schatting vereist kosteneffectiviteit dan dat het IBC celrendement 1%abs hoger is dan dat van PERC cellen (d.w.z. het vereist een IBC celrendement van >23% in 2019 en >24% in 2024, gebaseerd op wat de “international technology roadmap for PV” voorziet voor PERC zonnecellen). Er zijn in dit project geen IBC zonnecellen met gap tussen de n-polySi en p-polySi vervaardigd, wel IBC cel-halfabrikaten (zonder metaalcontacten) met gap, maar daarvan was de implied Voc te laag (tussen 670 en 680mV) om metallisatie zinvol te maken.

Industrialisatie van het LPCVD polySi proces.

Tempress heeft een nieuw ontwikkelde “low-pressure chemical vapour deposition” (LPCVD) polysilicium depositietool voor de PV-industrie aanvankelijk in bestaande apparatuur bij ECN geplaatst, en dat kort na indiening van het

PV4Facades projectvoorstel. Hierdoor kon een snelle start worden gemaakt met alle polysilicium-experimenten binnen het project. Een enorme hoeveelheid gegevens is verzameld tijdens het project met behulp van deze tool (Fig.5). Dit heeft geleid tot talrijke ontwerpwijzigingen in de oven. Hiermee konden in het project de beschreven experimenten uitgevoerd worden, wat resulteerde in verschillende wereldrecords op passivatiekwaliteit, en verschillende artikelen en bijdragen op conferenties. Nadat het proces goed presteerde en goed begrepen was, heeft Tempress gewerkt aan de ovenintegratie in een versie voor het nieuwste 'Spectrum' productieplatform die hogere doorvoer mogelijk maakt. De ontwikkeling van de hoge-doorvoer-tool vereiste verschillende ontwerp-iteraties, op basis van voortgang in inzicht in de werking van de oven. Verder werd de besturingssoftware voor de oven gewijzigd voor de nieuwe productietechnologie. Na verschillende ontwerp-iteraties werd bij ECN een volledig nieuwe LPCVD-oven op basis van dit technologieplatform geplaatst (Fig. 5). De nieuwe oven is in staat om 1200 wafers in 5 buizen tegelijkertijd te bewerken, met standaarddeviatie in dikte-uniformiteit van minder dan 5%. De passivering door de polysiliciumlaag is zeer goed; de J_0 is beter dan $5\text{fA}/\text{cm}^2$ voor alle 1200 wafers.



Fig. 5. Polysilicon procesbuis in bestaande systeem in 2014 Nieuw systeem bij ECN inclusief nieuwe hardware.

Module-ontwikkeling en -testen.

Op module-gebied richtte het project zich met name op de verbindingsmethoden voor achterzijdecontactcellen in de module, het vermogensverlies van cel naar module, en testen van de betrouwbaarheid en energieopbrengst van de achterzijdecontact-modules. Hiervoor werden ECN's conventionele gediffundeerde "Mercury" cellen gebruikt, met rendement tot ca. 20.6%. De nadruk lag op prototypes van kleine afmeting (zogenaamde 1-cel en 4-cel laminaten) die een relatief hoog weerstandsverlies hebben. Het vermogensverlies van de cel naar module was ongeveer -3.5%, met perspectief voor minder vermogensverlies in grotere modules, en in het geval van meer ruimte tussen de cellen.

Eurotron heeft veel aandacht besteed aan een nieuwe methode voor het aanbrengen van de geleidende lijm waarmee de cellen elektrisch worden verbonden. Met de nieuwe technologie wordt de geleidende lijm contactloos op de cel aangebracht. De contactpunten worden geïdentificeerd met behulp van beeldherkenningstechnologie en de lijm wordt in kleine hoeveelheden vanuit een jet aangebracht. Dit wordt gedaan met een hogere mate van precisie dan de standaard stencil-print-technologie kan bereiken. Met deze ontwikkeling anticipeert Eurotron op de zonnecelconcepten van de toekomst, zoals IBC cellen. Het maakt een overgang van kleine aantallen grotere contactpunten op een cel naar meer en kleinere contactpunten verdeeld over het gehele celoppervlak mogelijk (Fig. 1). Aangezien de contactpunten steeds kleiner worden, terwijl tegelijkertijd vanwege de kosten een toename van het gebruik van geleidende lijm moet worden voorkomen, is een toenemende mate van nauwkeurigheid vereist. Door de betere verdeling van de pastapunten over het oppervlak, vermindert deze nieuwe technologie ook het gebruik van zilver op de zonnecel, wat resulteert in lagere kosten per cel. Bovendien zorgt het voor een betere controle van de lijmdosis en wordt alleen de lijm die daadwerkelijk wordt gebruikt aangebracht. Dit vermindert verder zowel de verdamping van oplosmiddel als verspilling van lijm. Bovendien is deze technologie compatibel met elk soort contactpatroon van de cellen, waardoor het module-interconnectie-proces zeer flexibel is. Voor de implementatie van deze technologie in (bestaande) Eurotron-machines moest de snelheid worden verhoogd. Daarom is een lineair motorisch aangedreven systeem ontworpen en gerealiseerd om de jet te verplaatsen met zeer hoge snelheden, gecombineerd met een uitstekende precisie.

De buitenlandse projectpartners hebben degradatietesten uitgevoerd op de IBC-minimodules, zowel met voor- en achterzijde glas, als met de meer conventionele voorzijde glas/achterzijde folie. “Humidity freeze”, “thermal cycling”, en “potential induced degradation” tests werden succesvol doorstaan volgens IEC normen, hoewel de glass/folie modules onverwacht wel enige degradatie vertoonden door nog onbekende oorzaak.

ECN ontwikkelde verder een testmethode voor gedeeltelijke beschaduwing van laminaten van een enkele IBC cel, die gebruikt kan worden om het gedrag in een “full-size” module te beoordelen wanneer zo’n module nog niet beschikbaar is. Voor de IBC-cellen werd een beter gedrag met minder opwarming dan standaard zonnecellen vastgesteld.

Ten slotte zijn de prestaties en de energieopbrengst van de glas/glas en glas/folie IBC-modules gemeten gedurende 1 jaar, zowel in Nederland als in Turkije. Een enigszins verbeterde temperatuurcoëfficiënt van de IBC-modules in vergelijking met standaard n-PERT-modules werd vastgesteld. De prestaties van de glas/glas-IBC-modules waren gedurende het testjaar zeer stabiel, terwijl de glas/folie ook hier, net als in de degradatietesten, enige degradatie vertoonden.

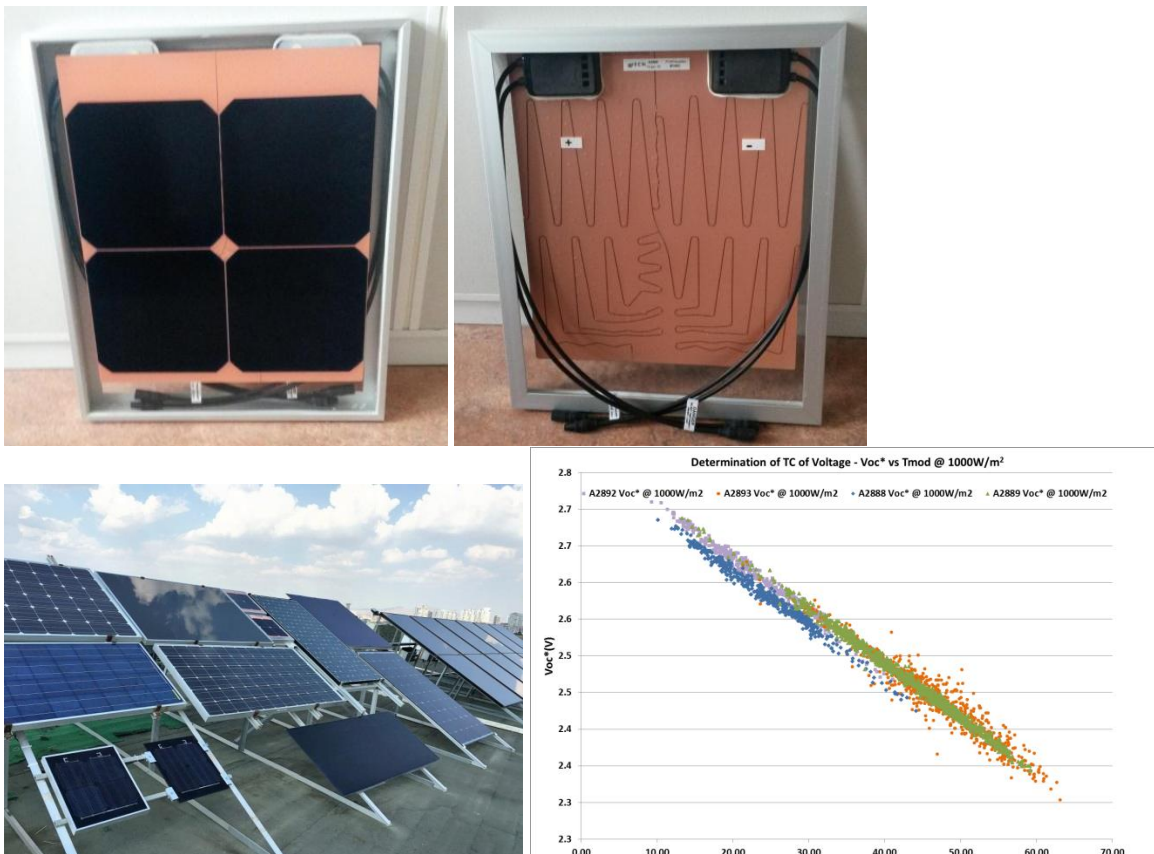


Fig. 6. Glas/glas IBC minimodules, test setup bij partner in Ankara, en voorbeeld van data waaruit de temperatuurcoëfficiënt is afgeleid.

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

De projectpartners hebben op het gebied van apparatuur, processing en eigenschappen van selectieve contacten op basis van gedoteerd polysilicon veel nieuwe kennis opgedaan. Deze kennis wordt al gebruikt voor het op de markt zetten van deze nieuwe technologie. De technologie heeft potentie voor toepassing in veel verschillende



celconcepten, en er is daarom zeer veel interesse van de zonnecelproducerende industrie. Daarnaast hebben de partners aangetoond hoe n-polySi specifiek in het n-PERT proces kan worden toegepast, waarmee op goedkope wijze significante verbetering van rendement (tot 22% of meer) bereikt kan worden. Het onderzoek en de ontwikkeling van dit n-PERT concept met n-polySi vond en vindt nu plaats in andere TKI projecten. Ook verdere ontwikkeling en toepassing van p-type polySi wordt al onderzocht in een TKI project. Hoewel een basis is gelegd voor IBC (achterzijde contact) cellen met selectieve contacten van gedoteerd polysilicon, is dit type cel in dit project niet verder ontwikkeld. Ook voor het poly-IBC celconcept vond en vindt verdere ontwikkeling al plaats in andere TKI projecten. Het poly-IBC celconcept biedt veel perspectief voor de toekomst in de lijn van de uitgangspunten van dit project (toepassing in BIPV, aantrekkelijk uiterlijk van de modules, zeer hoog rendement, relatief goede TC en andere prestaties t.o.v. standaard celtechnologie). Het is te verwachten dat een ontwikkeling van BIPV in de richting van gebruik van kosteneffectieve achterzijdecontact IBC-technologie de toepassing van BIPV en BAPV en energieopbrengst uit PV zal doen toenemen.

Verder is de kennispositie op het gebied van back-contact-modules toegenomen met ontwikkeling van nieuwe productietechnologie, nieuwe materialen, degradatietesten en outdoor-resultaten.

Uit de buitenlandse partnerprojecten is kennis opgedaan op het gebied van productie en toepassing van BIPV elementen, en additionele kennis op het gebied van karakterisatie en testing van modules met achterzijdecontact cellen.

Spin off binnen en buiten de sector

Binnen de PV sector kan de technologische bijdrage gemeten worden aan de hoeveelheid publicaties en conferentiebijdragen die zijn gedaan door de projectpartners. De lijst hiervan is onderaan dit rapport toegevoegd. Daarnaast staat polySi sinds 2014 enorm in de internationale belangstelling, en de resultaten die vanuit dit project zijn gepubliceerd, en die zeer goed aansluiten bij de industriële processen, hebben daar zeker aan gedragen.

Verschillende celfabrikanten hebben aangegeven belangstelling te hebben voor de processen en celconcepten die zijn ontwikkeld in het project.

De kennis opgedaan in het project op het gebied van polySi zou ook voor een deel interessant kunnen zijn voor andere toepassingsgebieden, bijv. in ander halfgeleideronderzoek (zowel voor IC industrie als laag-TRL onderzoek), waarmee al een link is vanuit het marktgebied van Tempres.



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

Publicaties and presentaties van het project:

Auteurs (partner)	Titel	Gelegenheid/Tijdschrift, Datum
M. Lenes et al. (Tempress) and M. Stodolny et al. (ECN)	LPCVD doped poly passivated contacts for Si-cell technology	Presentation at Asia PV conference, 29-10-2015.
Y. Wu et al. (ECN) and M. Lenes et al. (Tempress)	In-situ doping and local overcompensation of high performance LPCVD polysilicon passivated contacts as approach to industrial IBC cells	Energy Procedia 92, pp. 427-433 (2016). Also poster at 6th International Conference on Silicon Photovoltaics, SiliconPV 2016.
M. Stodolny et al. (ECN) and M. Lenes et al. (Tempress)	n-Type polysilicon passivating contact for industrial bifacial n-type solar cells	Solar Energy Materials & Solar Cells 158, pp. 24-28 (2016). Also presentation at 6th International Conference on Silicon Photovoltaics, SiliconPV 2016.
B. Geerligs et al. (ECN) and M. Lenes et al. (Tempress)	LPCVD polysilicon passivating contacts for crystalline silicon solar cells	Photovoltaics International Magazine, Volume 32 (May 2016), pp. 43-52.
M. Stodolny et al. (ECN) and M. Lenes et al. (Tempress)	n-Type polysilicon passivating contact for industrial bifacial n-type solar cells	Presentation, and proceedings of the 32nd European PVSEC, June 20-24, 2016, Munich, Germany, pp. 460-465
L.J. Geerligs et al. (ECN) and M. Lenes et al. (Tempress)	LPCVD polysilicon passivating contacts	Invited presentation and article contribution to workshop handout, Workshop on Crystalline Silicon Solar Cells and Modules: Materials and Processes, Vail, Co. August 28-31, 2016.

Alle publicaties zijn te verkrijgen bij ondergenoemde contacten, en in veel gevallen ook te verkrijgen op <https://www.ecn.nl/publicaties/>.



Overige publicaties die resultaten van het project bevatten:

Auteurs (partner)	Titel	Gelegenheid/Tijdschrift, Datum
I. Gordon et al. (imec), and all project partners	PV4Facades project	Presentation at Eranet matchmaking event, 19-2-2016
ECN	Dutch innovation makes solar cells more profitable	News release on ECN website, 8-3-2016: https://www.ecn.nl/news/item/dutch-innovation-makes-solar-cells-more-profitable/
J.M. Luchies et al. (Tempress)	Next steps for mass production of low-cost n-type	PV-tech conference, Kuala Lumpur, March 17 th , 2016
E. Bende (ECN)	Application of polysilicon passivation in industrial solar cells	Presentation at workshop 'Incremental technology steps for the next generation solar cells and modules' within the 12th Chinese CSPV conference, Shanghai, 25-11-2016
I. Romijn (ECN)	From lab to fab: track record, strategy, and new concepts	Invited presentation at PV CellTech, March 16-17, 2016, Kuala Lumpur, Malaysia
M. Lenes et al. (Tempress)	LPCVD polysilicon passivated contacts for different solar cell concepts	SNEC Conference, 24 May 2016, Shanghai
M. Stodolny (ECN)	Contact recombination of polysilicon passivating contact with fire-through screen-printed metallization	Presentation at 7th Workshop on Metallization & Interconnection for Crystalline Silicon Solar Cells, Konstanz, Germany, Oct 23-24, 2017.
L.J. Geerligs et al. (ECN) and M. Lenes et al. (Tempress)	Op zoek naar contacten voor zonnecellen	article in Nederlands Tijdschrift voor Natuurkunde (Magazine of the Dutch Physics Society), February 2017
Eurotron	Eurotron focusses on jet printing technology	Press release on Eurotron website 6-10-2017: https://www.eurotron.nl/news/eurotron-focusses-on-jet-printing-technology

Alle publicaties zijn te verkrijgen bij ondergenoemd contacten, en in veel gevallen ook te verkrijgen via <https://www.ecn.nl/publicaties/>.



Rijksdienst voor Ondernemend
Nederland

Meer exemplaren van dit rapport

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

Contact voor meer informatie

Meer informatie over dit project kan verkregen worden via:

L.J. Geerligts, ECN Solar Energy, e-mail: geerligts@ecn.nl.

Jan-Marc Luchies, Tempres Systems B.V., e-mail: jmluchies@tempres.nl

Jan Bakker, Eurotron B.V., e-mail: jan@eurotron.nl

Subsidie

Het project is uitgevoerd met subsidie van het Ministerie van Economische Zaken, Nationale regelingen EZ-subsidies, Topsector Energie uitgevoerd door Rijksdienst voor Ondernemend Nederland.