

The Reliable and Ultimate Solar cell and module Test

Datum: Maart 2017
Author(s): Mirjam Theelen (TNO/Solliance)

Project naam: The Reliable and Ultimate Solar cell and module Test (TRUST)
Project nummer: TEID115012
Project periode: 1 oktober 2015 – 28 februari 2017
Consortium: Eternal Sun, Hielkema Testequipment, ReRa Solutions en
TNO/Solliance

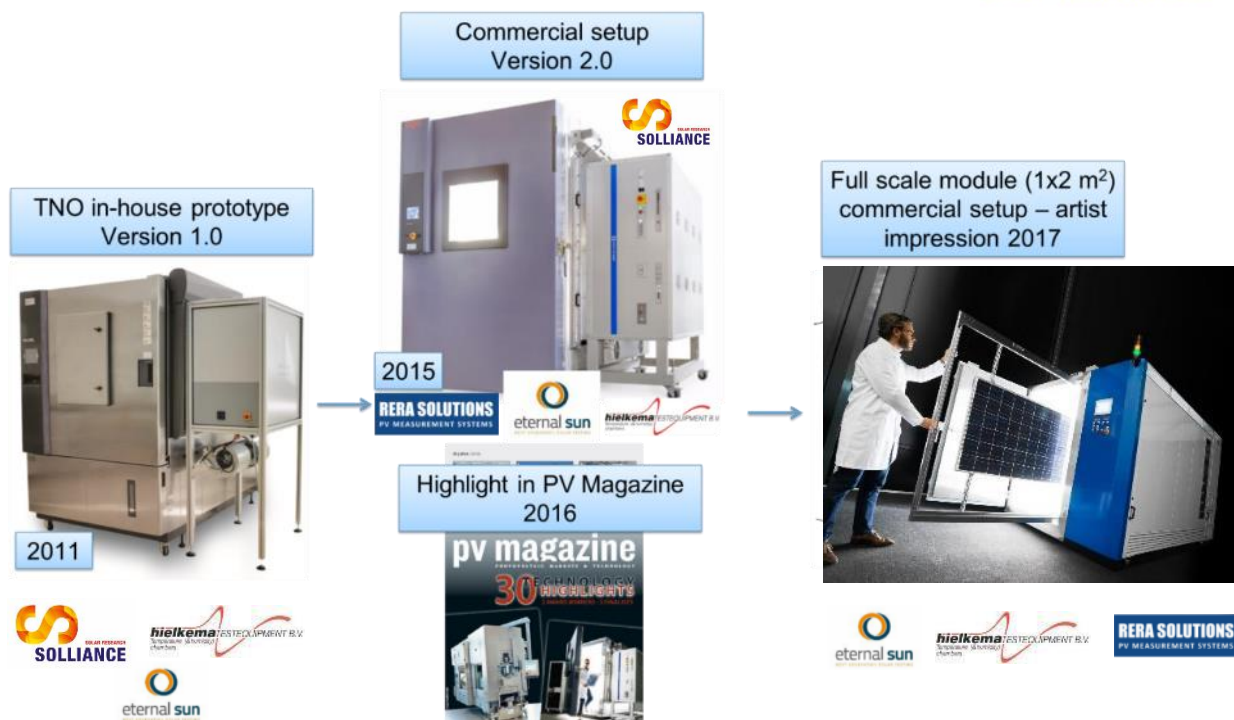
Introductie en projectdoelstelling

Fotovoltaïsche (PV) systemen spelen een belangrijke en zeker ook groeiende rol in het opwekken van hernieuwbare energie. Het hart van dergelijke systemen zijn PV modules, die over het algemeen een gegarandeerde levensduur van 20 jaar hebben. Om de opbrengst van PV systemen te optimaliseren is het belangrijk dat modules niet eerder opbrengst verliezen, en bij voorkeur zelfs een langere levensduur dan 20 jaar hebben. Helaas kunnen modules eerder kapot gaan bij operatie op het dak of in het veld. Om dit te voorkomen worden geselecteerde modules blootgesteld aan verscheidende ‘versnelde levensduur testen’ (vastgelegd in de “IEC standaarden”). Deze testen zijn echter gebaseerd op een go/no go criterium en bieden geen inzicht in de voorkomende degradatie-mechanismen (“Welke processen leiden tot modulefalen en opbrengstverlies?”). Daarnaast zijn deze testen gebaseerd op enkele of eventuele tweevoudige stress factoren, zoals bijvoorbeeld alleen mechanische stress of een combinatie van hoge temperatuur en hoge luchtvochtigheid. Omdat stress factoren, zoals licht, hoge temperaturen, luchtvochtigheid en elektrische belasting in de praktijk buiten allemaal tegelijkertijd optreden, is het beeld van het werkelijke gedrag dus onvolledig. Daarom is de voorspellende waarde van de IEC standaardtests nu te beperkt om volledig te voorspellen wat er met een module op het dak of in het veld gaat gebeuren.

Om de effecten van de werkelijke operatie van een module beter te kunnen voorspellen, is er door TNO in samenwerking met Hielkema Testequipment en Eternal Sun een prototype opstelling ontworpen en gebouwd waarmee zonnecellen en modules gelijktijdig kunnen worden blootgesteld aan verlichting, verhoogde temperatuur en verhoogde luchtvochtigheid. Deze opstelling werd gebouwd voor het testen van enkele zonnecellen of minimodules en kan de energie-opbrengst van deze samples real-time volgen (Figuur 1). Door uitgebreide nationale en internationale aandacht voor deze opstelling, is een consortium van drie Nederlandse MKB’ers (Eternal Sun, Hielkema Testequipment en ReRa Solutions) begonnen aan de commercialisatie en doorontwikkeling van deze opstelling. Hun eerste commerciële product is in 2015 in gebruik genomen door ECN. Dit product is in 2016 uitgeroepen door PV Magazine als één van de twee wereldwijde *Technology Highlights* in de fotovoltaïsche industrie.

Voor succesvolle marktintroductie van dit product, is het erg belangrijk om de commerciële degradatie-opstelling verder te verbeteren, met een focus op zowel het verlagen van de kosten als het verbeteren van de functionaliteiten van de opstelling. Dit was dan ook een belangrijke doelstelling binnen dit project, tezamen met het tonen van de functionaliteiten aan de buitenwereld. Deze activiteiten zijn in dit project gecombineerd met het vergroten van de kennis van de toepassing, zijnde degradatie-mechanismen, zoals deze optreden in dunne film zonnecellen en modules. Dit zal leiden tot dunne film modules met een langere en meer voorspelbare levensduur en dus lagere kosten van zonne-energie

Het consortium in dit project bestond uit de bedrijven Eternal Sun, Hielkema Testequipment en ReRa Solutions en het onderzoeksinstituut TNO/Solliance. Daarnaast was ECN/Solliance ook betrokken in de uitvoering.



Figuur 1, figuren zijn niet op schaal

Links: Eerste hybride degradatie-opstelling

Midden: verbeterde en commerciële hybride degradatie-opstelling voor het testen van zonnecellen en minimodules plus de cover van het internationale PV magazine, die deze opstelling laat zien als één van de twee PV technologie hoogtepunten van 2016

Rechts: Foto van een hybride degradatie-opstelling voor volledige modules (in test fase), die in 2017 aan een top-10 zonnepaneelfabrikant geleverd zal worden

Behaalde resultaten

In dit project zijn twee issues geadresseerd om de opstelling commercieel aantrekkelijker te maken voor de PV industrie

- Voor het bouwen van een hybride degradatie-opstelling voor volledige modules zijn grote opstellingen vereist. Hierin is dan ook een zeer grote, overgedimensioneerde en dus dure klimaatkamer vereist. De kosten kunnen verlaagd worden door het zelf produceren van een goedkopere klimaatkamer. Om echter voor het bouwen de vereiste specificaties van de klimaatkamer te weten, is het belangrijk om de warmtehuishouding van het gehele systeem te kennen. Daarom is er een warmte-model opgesteld door TNO en gevalideerd door TNO, Eternal Sun en Hielkema Testequipment. Hiermee kan de warmtehuishouding van de nieuw te bouwen opstelling nu al voorspeld worden. Dit zal leiden tot een significante kostenbesparing tijdens de bouw van de hybride degradatie-opstelling. Daarnaast heeft Hielkema Testequipment tijdensdit project een grote en aanzienlijk goedkopere klimaatkamer ontwikkeld, die wordt gebruikt als onderdeel van de hybride degradatie-opstelling. Ook heeft Eternal Sun tijdens het project een zonn simulator ontwikkeld voor integratie in een module schaal klimaatkamer met verbeterde prestaties.
- Zonnecellen en modules die worden verlicht, maar waarvan de opgewekte elektriciteit niet wordt gebruikt, gedragen zich anders dan volledig functionerende apparaten. Daarnaast gedragen ze zich weer anders als een deel van een module beschaduwd wordt. Om deze effecten te simuleren, heeft ReRa Solutions elektrische loads (Figuur 2) ontwikkeld, die kunnen worden aangesloten op de samples in de hybride degradatie-opstellingen. Binnen dit project heeft TNO/Solliance deze loads gebruikt om CIGS zonnecellen te testen onder verschillende elektrische condities. Over deze experimenten zijn verscheidene wetenschappelijke artikelen, publicaties en posters gepresenteerd waarop veel positieve feedback is ontvangen. Naast de succesvolle implementatie van deze loads in de degradatie-opstelling heeft ReRa de loads ook als apart product op de markt gezet. Dit product is nu al wereldwijd verkocht.



Figuur 2: Foto van een elektrische load. Deze zijn binnen het TRUST project ontwikkeld: 44 stuks zijn geïmplementeerd in de hybride degradatie-opstellingen



Bijdrage aan de doelstelling van TKI Solar

Dit project heeft bijgedragen aan een verhoogde en beter voorspelbare levensduur van (dunne film) PV modules. Dit zal o.a. resulteren in:

- Het verlagen van de elektriciteitsprijs gebaseerd op PV opwekking
- Het verhogen van de opbrengst door een langere levensduur
- Het verhogen van het vertrouwen van consumenten en investeerders in PV

Omdat er binnen dit project vooral gefocust is op dunne film CIGS, is vooral de kennis van de stabiliteit van dit type verbeterd. Voor dit type materiaal heeft de verhoogde kennis van het degradatiegedrag er ook voor gezorgd dat de zonnecellen zelf intrinsiek stabiel gemaakt kunnen worden. Dit zal ervoor zorgen dat, vooral in flexibele modules, minder kosten voor water barrières hoeven te worden gemaakt. De kennis en internationale uitstraling van Solliance (TNO en ECN) is op dit terrein sterk toegenomen, wat ook weer interesse van (buitenlandse) partijen heeft opgeleverd.

Verder heeft dit project sterk bijgedragen aan de marktpositie van de hybride degradatie-opstelling. Deze opstelling draagt bij succesvolle marktintroductie bij aan het verbeteren van alle soorten zonnepanelen wereldwijd, en het vertrouwen in de betrouwbaarheid van zonne-energie. De klanten zijn gebaat bij de gereduceerde kostprijs en verbeterde functionaliteit, en worden ook enthousiaster over de mogelijkheden van de opstelling door de wetenschappelijke output gepresenteerd door Solliance.

Presentaties en publicaties

De wetenschappelijke resultaten van dit project zijn gepresenteerd in wetenschappelijke artikelen en bij wetenschappelijke conferenties. Daarnaast is de hybride degradatie-opstelling gepresenteerd bij verschillende grote PV producenten en leidende test- en onderzoeksinstituten. Hieronder staat een overzicht van de verschillende publicaties, presentaties en prijzen:

Media aandacht

1. Vogelpoep op je zonnecel, Financieele Dagblad, 10 oktober 2016 (Figuur 3)
2. De ultieme zonnepanellentester bereikbaar voor elk onderzoekslab, Solar Magazine, september 2016
3. Rera en Solliance ontwikkelen verbeterde PV-testopstelling, Bits&Chips, oktober 2010
4. Verscheidene publicaties op het internet, onder andere. displayplus.net and semiconductorpackagingnews.com

Prijzen

1. PV Magazine 2016 Technology highlight award winner
2. Nominated for TNO Energie Impact Price 2016

Peer-reviewed en conferentie-artikelen

1. M. Theelen, H. Steijvers, K. Bakker, J. Vink, S. Mortazavi, A. Mulder, N. Barreau, D. Roosen, E. Haverkamp, *The Exposure of CIGS Solar Cells to Different Electrical Biases in a Damp-heat Illumination Environment*, Proc. 43rd IEEE PVSC (2016) 0929-0934
2. Klaas Bakker, Henk Steijvers, Stefan Roest, Erik Haverkamp, Peter Hielkema, Nicolas Barreau, Mirjam Theelen, *In-situ monitoring of the accelerated performance degradation of solar cells and modules: a case study for CIGS solar cells*, submitted to Journal of Visualized Experiment (2016)
3. Soheyl Mortazavi, Klaas Bakker, Gabriela de Amorim Soares, Henk Steijvers, Mirjam Theelen, *Effect of elevated and constant reverse biases on degradation of CIGS solar cells*, aangeboden aan de IEEE PVSC 2017
4. Klaas Bakker, Soheyl Mortazavi, Arthur Weeber, Mirjam Theelen, *Influence of reversed bias voltages on CIGS solar cells*, aangeboden aan de EUPVSEC 2017

Presentaties

1. M. Theelen, K. Beyeler, V. Hans, H. Steijvers, Z. Vroon, M. Zeman, N. Barreau, *Exposure of CIGS Solar Cells to Illumination Combined with Damp and Dry Heat*, May 10th 2016, PVTC, Marseille, France

Vogelpoep op je zonnecel

Het nieuwe onderzoekssysteem voor zonnecellen van Solliance en ReRa Solutions moet de markt voor dit onderzoek gaan veroveren. Het nieuwe systeem maakt het mogelijk meerdere zonnecellen tegelijkertijd te analyseren onder variabele omstandigheden. Zo kunnen de temperatuur, luchtvochtigheid en lichtintensiteit aangepast worden.

Met dit nieuwe analysesysteem kan bovendien bekeken worden hoe de zonnecellen functioneren bij verschillende instelspanningen. Gedurende een dag buiten in de zon, verandert deze spanning continu zodat de maximale energie uit een zonnecel kan worden gehaald.

Onderzoek

Solliance gebruikt deze apparatuur om beter te begrijpen hoe zonnecellen kapot gaan en waar de zwakke punten zitten. Vervolgens gebruiken ze die informatie om zo goedkoop mogelijk zonnecellen te maken die langer meegaan.

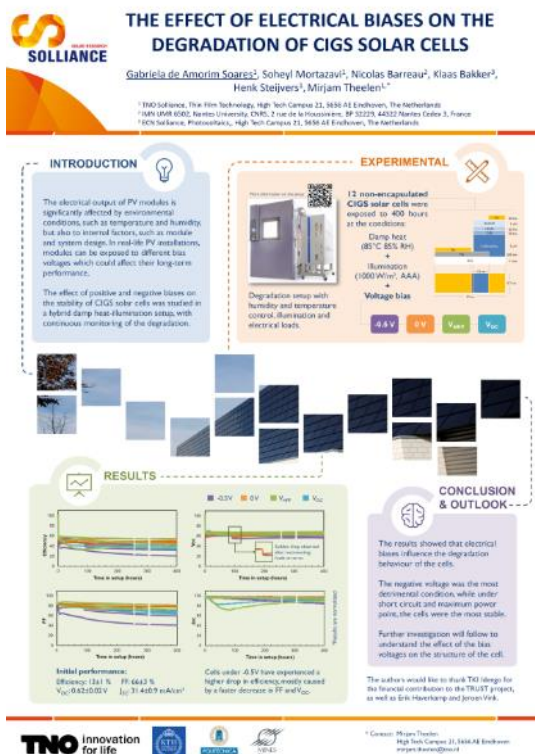
'Een module werkt onder optimale condities, een zeker voltage en stroom', vertelt Mirjam Theelen onderzoeker bij Solliance en medewerker aan het

Figuur 3: Artikel in het Financieele Dagblad over de resultaten van het TRUST project

2. M. Theelen, Stability of CIGS solar cells under elevated temperature, humidity, illumination and electrical biases, May 6th 2016, eMRS Spring Meeting, Lille, France
3. NREL PV module reliability workshop 2016 & 2017, Denver, USA
4. Verscheidene grote belangrijke PV producenten (o.a. Jinko, Trina, Canadian, First Solar, JA Solar, Hanwha)
5. Verscheidene gerenomeerde onderzoeks- en testinstituten (o.a. Fraunhofer, NREL, Seris, AIST)

Poster presentaties

1. Gabriela de Amorim Soares, Soheyl Mortazavi, Nicolas Barreau, Klaas Bakker, Henk Steijvers, Mirjam Theelen, The effect of electrical biases on the degradation of CIGS solar cells, November 23rd 2016, Sunday, Veldhoven (Figuur 4)
2. Soheyl Mortazavi, Klaas Bakker, Gabriela de Amorim Soares, Henk Steijvers, Mirjam Theelen, Effect of reverse bias on degradation of non-encapsulated CIGS solar cells under damp heat and illumination, November 23rd 2016, Sunday, Veldhoven



Figuur 4: Poster met enkele resultaten uit het onderzoek binnen TRUST



Voor meer informatie:

Voor meer informatie over dit rapport en de publicaties waarnaar verwezen wordt, hiervan kunt u contact opnemen met Mirjam Theelen van TNO/Solliance (mirjam.theelen@tno.nl).

Voor verdere informatie over verschillende onderwerpen kunt u zich richten tot:

Commerciële hybride testopstelling:

Eternal Sun

Stefan Roest

Sroest@eternalsun.com

Elektrische loads:

ReRa Solutions

Erik Haverkamp

erik.haverkamp@rerasolutions.com

Klimaatkamers:

Hielkema

Peter Hielkema

peter@hielkematest.nl

Wetenschappelijke resultaten en hybride testen:

TNO / Solliance

Mirjam Theelen

Mirjam.theelen@tno.nl



Dankwoord

Het project is uitgevoerd met subsidie van het Ministerie van Economische Zaken, Nationale regelingen EZ-subsidies, Topsector Energie uitgevoerd door Rijksdienst voor Ondernemend Nederland. Dit project was onderdeel van de TKI call IDEEGO uit 2015.