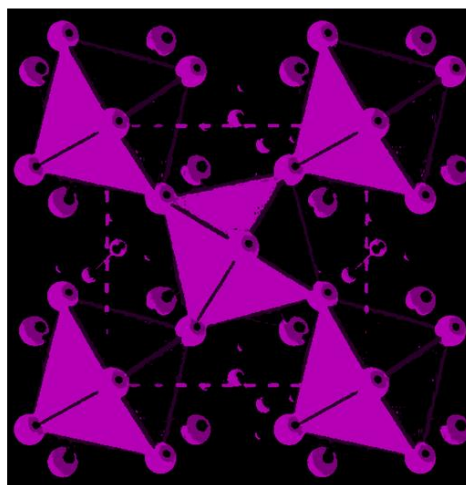
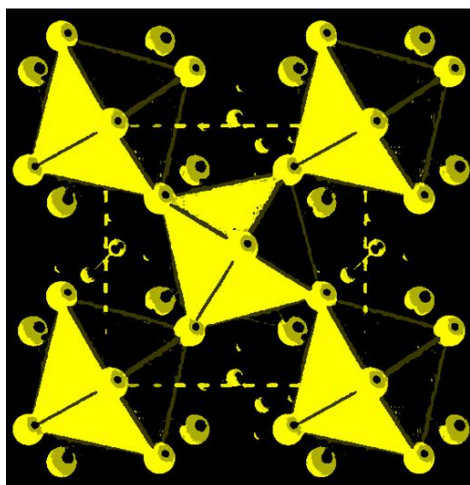
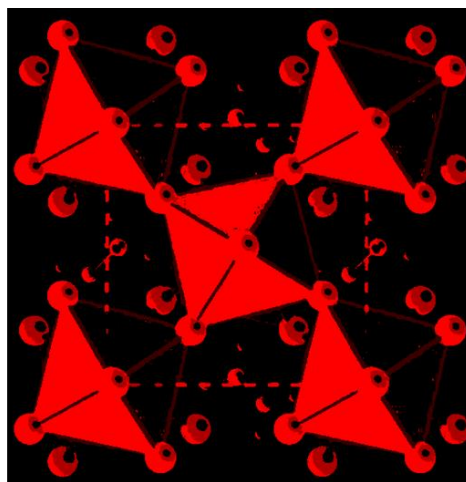
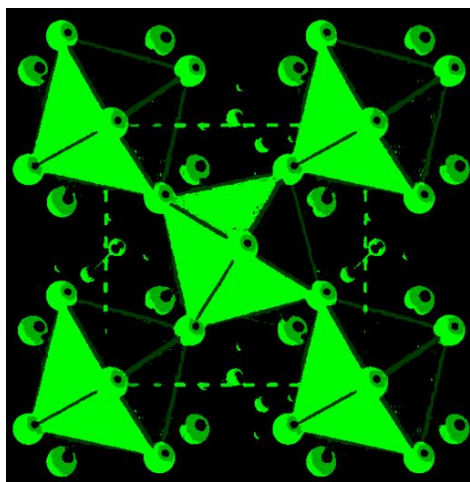


Final report

July 2020

POP-ART

Perovskite Photovoltaic device
characterization & stability



Contents

Openbaar verslag POP-ART	3
1 Doel van het project	3
Hoofddoelen	3
Belangrijkste projectactiviteiten	3
Belangrijkste resultaten	4
2 Exploitatie	6
3 Project management	7

Openbaar verslag POP-ART

1 Doel van het project

De projectdoelstelling van het TKI-toeslagproject POP-ART is het verbeteren van de stabiliteit van perovskiet-zonnepanelen en het verbeteren van de karakteriseringsapparatuur.

Hoofddoelen

De twee belangrijkste en gekoppelde doelstellingen van POP-ART zijn met succes behaald. Ten eerste werd nieuwe testapparatuur gerealiseerd door zowel ReRa Solutions als Eternal Sun om de levensduur van op perovskiet gebaseerde fotonvoltaïsche panelen onder verschillende stressomstandigheden te bepalen.

Ten tweede zijn er stabiele perovskiet PV-modules door TNO-Solliance ontwikkeld. De ontwikkeling van stabiele perovskiet modules is gebaseerd op het opschalen van zonnecel concepten waarvan al bewezen was dat ze stabiel waren onder duurtesten bij relatief hoge temperatuur (1000 uur blootstelling aan 85 °C) of aan belichting (1000 uur belichting met een intensiteit van 1000 W/m², wat ongeveer overeenkomt met de licht instraling op een zonnige dag rond het middag uur in Nederland). De opschaling van modules is en de benodigde apparatuur is in parallel uitgevoerd in het TKI project ALLSUN. Deze opgeschaalde modules doorstonden drie kritische verouderingstesten.

Belangrijkste projectactiviteiten

De ontwikkeling van stabiele perovskiet zonnecellen en modules (PSCM's) en geschikte testapparatuur om de levensduur van perovskiet PV-apparaten nauwkeurig te bepalen, is gerealiseerd door de volgende hoofdactiviteiten uit te voeren:

- Ontwikkeling van elektrische componenten en meetroutines om PSCM's met hysteretisch gedrag nauwkeurig te karakteriseren. De karakteriseringsroutines omvatten ook een preconditioneringsstap voordat de PSCMs gemeten worden. Het werk aan karakteriseringsroutines is uitgevoerd in nauwe samenwerking met de perovskiet-gemeenschap en heeft geleid tot een publiekelijk beschikbaar consensusdocument (Nature Energy 5, 35–49 (2020)).
- Verbeter de uniformiteit en stabiliteit van een AAA-class LED-zonnesimulator om karakterisering van onderzoekscellen en modules mogelijk te maken. Het spectrum zal afstelbaar zijn voor zowel het UV- als IR-gebied
- De LED-zonnesimulator integreren met de Solliance klimaatkamer.
- Ontwikkel stabiele, efficiënte, ingepakte perovskiet modules. De module-architectuur is gebaseerd op cel concepten met bewezen stabiliteit tijdens licht- en thermische duurtesten.

Belangrijkste resultaten

1. Realisatie van een nieuwe generatie actieve elektronische belastingen die nodig zijn om perovskiet-zonnepanelen te karakteriseren tijdens verouderingstests. Deze electronica maakt het mogelijk om het werkpunt van een belicht zonnepaneel vast te zetten tijdens de stabiliteitstest, het punt waarbij het product van voltage en stroom uit het belichte paneel het hoogste vermogen behaalt (of maximum power point, MPP).



Figuur 1 Foto's van de vermogenselektronica om stroom-spanningscurven van perovskiet modules (links) en de instelbare elektronische belastingen om langdurig modules te kunnen meten tijdens verouderingstesten.

2. Integratie van een LED-zonnesimulator met een klimaatkamer die voldoet aan zeer hoge kwaliteitseisen qua spectrum, variaties in verdeling van de lichtintensiteit over het belichte oppervlak en fluctuaties in lichtintensiteit. Verder is er ontwikkeld aan een feedback systeem die de LEDs bestuurd. Dit komt de lichtstabiliteit ten goede, wat cruciaal is voor lange duur metingen.

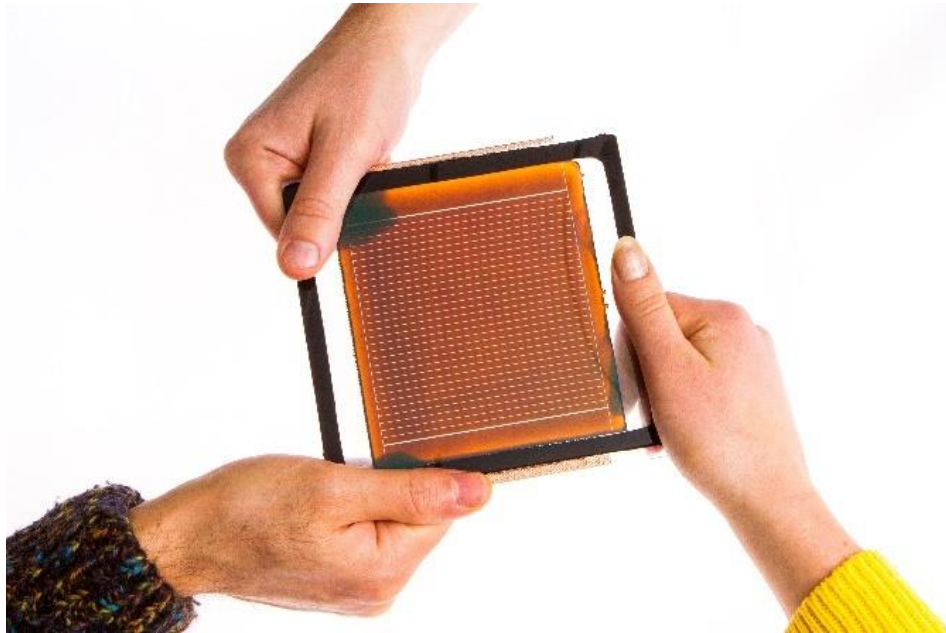


Figuur 2 Foto van de AAA-class LED zonnesimulator voor de klimaatkamer voorzien van een raam. De combinatie van zonsimulator, klimaatkamer en actieve elektronische belastingen maakt het mogelijk om perovskiet cellen en modules gecontroleerd te kunnen verouderen om daarmee te leren hoe verouderingsprocessen werken. Vervolgens wordt onderzocht hoe de processen voorkomen of vertraagd kunnen worden.

3. Perovskiet-minimodules die drie kritische stabiliteitstests doorstaan:

- 1000 uur continue belichting met een intensiteit gelijk aan één zon (light soak test);
- 1000 uur blootstelling aan een hoge vochtigheid (relatieve vochtigheid van 85%) gecombineerd met blootstelling aan een temperatuur van 85 °C (damp heat test);
- 50 thermische cycli van -40 °C tot 85 °C (thermal cyclingtest).

Na de tests was het rendement van de zonnecellen onder standaard meet condities nog ~ 95% van het initiële rendement. Dit resultaat is gepubliceerd in een persbericht. The publication was pick up by the media very well and attracted a lot of interest in the PV community.



Figuur 3 Foto van de gerealiseerde ingekapselde perovskiet module. Ingekapselde modules hebben drie van de kritische stresstests van de IEC 61215-norm doorstaan.

2 Exploitatie

Vanwege de veelbelovende resultaten van het POP-ART-project en de voortdurende inzet van de partners om de ontwikkeling van deze opkomende PV-technologie verder te ondersteunen en de nieuwe marktkansen te verkennen, willen de leden van het consortium het onderzoek voortzetten. Dit mede vanwege het feit dat de nieuwe technologie PV-toepassingen mogelijk maakt (gestapelde zonnecellen, translucente zonnecellen, flexibele en zeer efficiënte zonnecellen, nieuwe oplossingen voor gebouw geïntegreerde zonnecel toepassingen etc.). Voor al deze toepassingen zijn de nieuwe meetelektronica en testapparatuur nodig ontwikkeld in dit project, wat natuurlijk zeer relevant is voor de consortiumleden.

Voor Rera Solutions maakte het project het mogelijk om meer te weten te komen over de gangbare praktijk op het gebied van perovskiet PV en op basis van deze kennis kon Rera Solutions speciale hardware (zie figuur 1) en software ontwikkelen. Dankzij POP-ART kan het bedrijf nu producten op maat aanbieden aan academische groepen, onderzoeksgroepen en startende bedrijven.

Voor Eternal Sun was dit project waardevol omdat het de gelegenheid bood om te evalueren in hoeverre het huidige productportfolio compatibel is met deze nieuwe PV-technologie. Met name LED-zonnesimulatoren zijn zeer geschikt voor perovskiet-zonnecellen vanwege de eigenschappen van continue verlichting en minimale thermische verwarming die belangrijk zijn voor het testen van dit soort modules. Daarnaast zorgt de instelbaarheid van het lichtbronspectrum ongekeerde mogelijkheden en flexibiliteit voor onderzoek aan gestapelde zonnecellen. Naast metingen onder standaard testomstandigheden, is het nu ook mogelijk om de impact van variërende zonnespectra op de prestaties van het paneel te evalueren. Het is ook voorzien dat de combinatie van elektronica die in dit project is ontwikkeld, de stabiele perovskietmodules, de LED-simulator en de eerder ontwikkelde klimaatkamers een unieke kans biedt om de buitenomstandigheden van verschillende klimaatzones over de hele wereld na te bootsen. Dit is van waarde om de jaarlijkse opbrengst van (nieuwe) PV-producten te schatten. Eternal Sun is al benaderd door potentiële klanten om zonnesimulatoren te leveren voor perovskiet PV-toepassingen, inclusief LED-simulatoren.

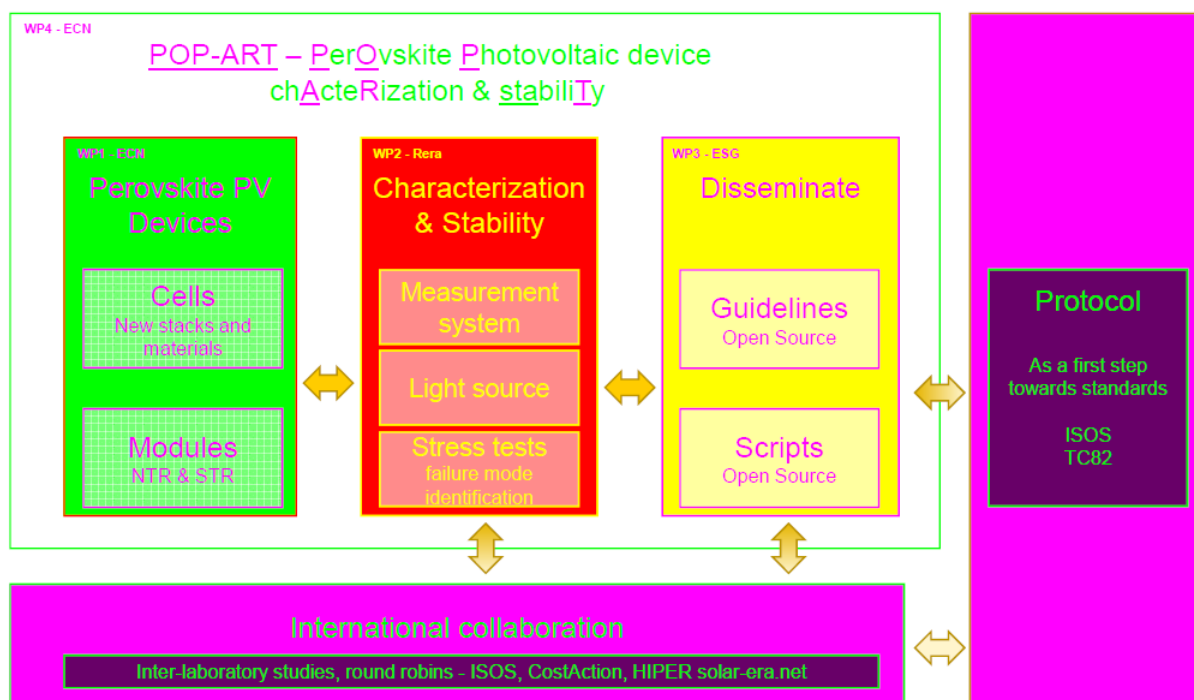
Er wordt ook opgemerkt dat de exploitatie niet beperkt is tot perovskiet PV, de ontwikkelde vermogenselektronica en LED-simulator zijn ook toepasbaar voor een veel breder scala aan PV-technologieën.

3 Project management

De projectstructuur van POP-ART is schematisch weergegeven in figuur 4. Het schema toont 3 technische werkpakketten (WP's). In WP1 zijn nieuwe materialen ontwikkeld om de stabiliteit van cellen en modules te verbeteren, geïntegreerd in de cel- en moduleverwerking en beoordeeld. Op deze manier voorzorg WP1 het project van geschikte monsters voor karakterisering en betrouwbaarheidstests.

In WP2 is de testapparatuur ontwikkeld door ReRa en ESG. WP3 valideerde en evalueerde de karakteriseringsroutines voor perovskiet-zonnecellen en -modules. In dit WP werden perovskiet-apparaten van WP1 en karakteriseringsapparatuur van WP3 geanalyseerd. Dit werk heeft geleid tot nieuwe karakteriseringsrichtlijnen.

De onderlinge afhankelijkheden tussen de werkpakketten zijn schematisch weergegeven in figuur 4.



Figuur 4 Project structuur van POP-ART.