

Energimyndighetens titel på projektet – svenska Kolbaserade perovskitsolceller för lokal europeisk produktion (UNIQUE)	
Energimyndighetens titel på projektet – engelska Carbon Based Perovskite Solar Cells with UNI-Directional Electron Bulk Transport: in the quest of a Short Time to Market (UNIQUE)	
Universitet/högskola/företag Dyename AB	Avdelning/institution -
Adress Teknikringen 38A	
Namn på projektledare Sonja Prideaux	
Namn på ev övriga projektdeltagare Martin Karlsson, Qian Gao, Louise Seregard, Henrik Pettersson	
Nyckelord: 5-7 st Solcell, perovskit, kol, SOLAR ERA-Net	

Förord

Projektet UNIQUE genomfördes inom ramen för det internationella samarbetet Solar-ERA.NET Cofund 2. Energimyndigheten finansierade Dyenames deltagande under forskningsprogrammet El från Solen. Projektets finansieringsgrad var 70 %, dvs Dyename har finansierat 30 % av projektet.

Sammanfattning

Projektet UNIQUES övergripande mål har varit att kombinera europeisk akademisk och industriell spetskompetens för att realisera konkurrenskraftiga kolbaserade perovskitsolcellsmoduler. Projektet koordinerades av Fraunhofer ISE. Övriga projektdeltagare var Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL), University of Savoie Mont Blanc (LPMI), Solarnoix, Centre d'études atomiques (CEA), University of Rome Tor Vegata (UNITOV), Dyename, Universidad Autonoma de Madrid (Madrid) och Swansea University (Specific). Dyename var projektets industriella kemipartner.

Projektet har varit framgångsrikt och levererat en plattform för fortsatt teknikutveckling i form av ex. en lång rad nya material, processer, förseglingsmetodiker och utredningar. Det har även genererat ett antal viktiga spetsresultat såsom 18.5 % verkningsgradsvärldsrekord för lågtemperaturspåret, uppskalning från cell till modul (upp till 900 cm²) i låg- samt

högtemperaturspåret, samt passerat standartest IEC 61215-2:2016 ("hot spot" test) för högtemperaturspåret.

UNIQUE bekräftar det som PV-historien har visat, nämligen att utvecklingen av nya solcellstekniker tar längre tid än inblandade organisationer tror. Trots att inte UNIQUE lyckades uppnå de ambitiösa verkningsradsmålen lyckades projektdeltagarna ta kolbaserade perovskitsolceller från nyfikenhet till en seriös teknikkandidat för framtida kommersiell exploatering. Detta bekräftas av investeringar hos Solaronix och beviljande av EU-projektet DIAMOND som är en direkt konsekvens av, och naturlig fortsättning på, UNIQUE.

Summary

The ambition of the UIQUE project was to combine European academic and industrial competence to realize competitive carbon-based perovskite solar cells and modules. The project was coordinated by Fraunhofer ISE. Additional partners were Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL), University of Savoie Mont Blanc, Solaronix, Centre d'études atomiques, University of Rome Tor Vegata, Dyenamo, Universidad Autonoma de Madrid (Madrid) and Swansea University.

The project has been successful in delivering a platform for further development in terms of e.g. a number of novel materials, processes and evaluations. It has also delivered a few peak results, mainly the 18.5 % world-record efficiency for low-temperature carbon-based perovskite cells and the passing of standard test standard test IEC 61215-2:2016 ("hot spot" test) and prototypes of 900 cm².

UNIQUE confirms what PV-history has shown, i.e. that the development of a novel PV technology takes longer time than expected. Despite the fact that UNIQUE did not manage to realize the targeted efficiency values, the project has transferred the technology from curiosity to a serious candidate for future commercial exploitation. This is confirmed by recent investments by the module-producer Solaronix and the granted project DIAMOND, funded by the European Commission, with focus on carbon-based perovskite devices.

Inledning/Bakgrund

Perovskitsolcellsteknologin öppnar nya möjligheter för europeisk solcellsindustri. Den är en viktig beståndsdel i EUs ambitiösa planer på att återetablera en betydande solcellsindustri. UNIQUEs övergripande mål var att visa vägen för en ny skalbar solcellsteknologi med förutsättningar för lokal europeisk produktion.

Projektet löpte under tre år inom ramen för det internationella samarbetet Solar-ERA.NET Cofund 2. Energimyndigheten finansierade Dyanamos deltagande under forskningsprogrammet El från Solen.

Genomförande

Projektdeltagare

Projektet koordinerades av Fraunhofer ISE. Övriga projektdeltagare var Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL), University of SavoieMont Blanc (LPMI), Solarnoix, Centre d'études atomiques (CEA), University of Rome Tor Vegata (UNITOV), Dyanamo, Universidad Autonoma de Madrid (Madrid) och Swansea University (Specific).

Pandemi, samarbeten och Dyanamo roll

Då projektet till största delen utfördes under pandemin har det hållits många digitala möten. Utöver kontinuerliga avstämningar i olika konstellationer genomfördes ett heldags projektmöte i maj och ett i oktober 2021. Det är glädjande att konstatera att samarbetet mellan projektets deltagare har fungerat mycket bra trots försvårande omständigheter.

Dyanamos primära projektroll var att utveckla och tillverka nya och förbättrade material (perovskitsalter, hålledare och kolpasta) åt cell/modultillverkande partners. Detta innebar att vi främst samarbetade med Fraunhofer ISE och UNITOV, dvs de två cell/modultillverkande partners som var mest aktiva med detta. Vi samarbetade även med EPFL (elektroder optimerade för att kombineras med vår kolpasta) samt Madrid (utveckling av nya så kallade ftalocyanin-molekyler för att förbättra kolpastan genom dopning).

Projektets arbetspaket

Projektet utgick från två alternativa vägar för att realisera perovskitsolceller med bakkontakt av kol, det så kallade lågtemperaturspåret respektive högtemperaturspåret. Det förstnämnda baseras på kollagret appliceras ovanpå ett färdigt perovskitlager (temperaturer <150°C). För detta krävs en bra kontakt mellan perovskit och kol, bra elektrisk ledningsförmåga hos kolet samt att kolet inte påverkar perovskitskiktet under applicering och/eller under härdning. Högtemperaturspåret bygger på att perovskitlagret skapas efter att kollagret har

deponerats och sintrats (temperaturer >400°C). Utmaningen består då av att erhålla ett högkvalitativt perovskitlager då kristallisationen skall ske i den porösa strukturen bestående av åtminstone tre olika materialskikt.

Projektet genomfördes i åtta arbetspaket (ansvarig partner inom parentes).

WP1. Material (EPFL)

WP2: Karakterisering (LEPMI)

WP3: Koncept för celler/moduler nyttjande högtemperaturprocesser (Solaronix)

WP4: Koncept för celler/moduler nyttjande högtemperaturprocesser (Fraunhofer ISE)

WP5: Inkapsling och livslängd för celler /moduler (CEA)

WP6: Uppskalning och kvalitetskontroll (UNITOV)

WP7: Demonstrator och en kartläggning av miljöpåverkan och ekonomiska förutsättningar (Solaronix)

WP8: Projektkoordinering (Fraunhofer ISE)

Resultat

Projektet har resulterat i en lång rad nya material, modultekniker, uppskalningslösningar, tillverkningsprocesser, verkningsgrads- och stabilitetsförbättringar, åldringstester (inkluderade utomhustester), publikationer och föreläsningar. Centrala resultat är:

- Ett världsrekord på 18,5 % för kolbaserade perovskitsolceller med lågtemperaturspåret från Fraunhofer ISE med Dyenamos lågtemperatur kolpasta i kombination med perovskitelektroder från EPFL (Publikation 1, se Referenser)
- Enastående stabilitetsresultat har uppnåtts med kolmotelektrod. Perovskitceller och moduler passerade för första gången passerar standartestet IEC 61215-2:2016 ("hot spot" test), Publikation 2. Resultaten

bekräftar att det finns betydande stabilitetsfördelar vid användande av kolmotelektrod i perovskitsolceller.

- Moduler för både lågtemperatur- och högtemperaturspåret upp till 30x30 cm².
- Fungerade förseglingstekniker, inkluderande en lågtemperaturförseglingsteknik (<90°C) som inte påverkar solcellernas utbyte.
- Projektets översiktsartikel om lågtemperaturspåret (Publikation 3) är en direkt konsekvens av UNIQUE-projektet (medförfattare, Henrik Pettersson och Bo Xu, kommer från Dyenamo). Publikationen är redan citerad > 80 gånger.

Diskussion

UNIQUEs övergripande mål var att visa vägen för en ny skalbar solcellsteknologi med förutsättningar för lokal europeisk produktion. Projektet bekräftar det som historien har visat, nämligen att utvecklingen av nya solcellstekniker tar längre tid än inblandade organisationer tror. Trots att inte UNIQUE lyckades uppnå de ambitiösa verkningradsmålen lyckades projektdeltagarna ta kolbaserade perovskitsolceller från nyfikenhet till en seriös teknikkandidat för framtida kommersiell exploatering. Detta bekräftas av investeringar hos Solaronix och beviljande av EU-projektet DIAMOND som är en direkt konsekvens av, för att inte säga fortsättningsprojekt på, UNIQUE.

Relevanta projektpublikationer för denna rapport

Publikation 1: “Low-temperature carbon-based electrodes in perovskite solar cells”, Dmitry Bogachuk, Salma Zouhair, Konrad Wojciechowski, Bowen Yang, Vivek Babu, Lukas Wagner, Bo Xu, Jaekeun Lim, Simone Mastroianni, Henrik Pettersson, Anders Hagfeldt, Andreas Hinsch, *Energy & Environmental Science* 13 (11), 3880-391

Publikation 2: “Perovskite Photovoltaic Devices with Carbon-Based Electrodes Withstanding Reverse-Bias Voltages Up to -9V and Surpassing IEC 61215:2016 International Standard”, *RRL Solar*, Volume6, Issue3, March 2022, <https://doi.org/10.1002/solr.202100527>

Publikation 3: “Employing 2D-Perovskite as an Electron Blocking Layer in Highly Efficient (18.5%) Perovskite Solar Cells with Printable Low Temperature Carbon Electrode”, Dmitry Bogachuk, et al., *Advanced Energy Materials*, Volume12, Issue21, June 2, 2022, <https://doi.org/10.1002/aenm.202200837>