

Openbaar eindrapport BRIGHT

Gegevens project

- Projectnummer: 1721101
- Projecttitel: Bridging the voltage gap (BRIGHT)
- Penvoerder en medeaanvragers: Nederlandse Organisatie voor toegepast-natuurwetenschappelijk onderzoek TNO (TNO, Project Manager), Technische Universiteit Eindhoven (TU/e), Tempres Systems B.V. (Tempres) en Levitech B.V (Levitech)
- Projectperiode: 01-08-2018 t/m 31-05-2021
- Publicatiedatum openbaar rapport: 31-07-2021

Samenvatting van uitgangspunten, doelstelling en samenwerkende partijen

Uitgangspunten: Het project BRIGHT beoogt het creëren van een belangrijke, nog missende bouwsteen in de zonnecelconcepten met gepassiveerde polysilicium-gebaseerde contacten. Op dit gebied is de kwaliteit van het *n*-type polysilicium contact met sprongen vooruit gegaan, wat geresulteerd heeft in een zeer goed passiverend contact met zeer lage contactrecombinatie en -weerstand. Om het hele concept goed te laten functioneren, is nog een sterk voordeel te behalen in het verbeteren van het *p*-type polysilicium contact, vooral in het op peil houden van het outputvoltage na industriële metallisatie. Deze verbetering is aantrekkelijk op zowel de korte als lange termijn, namelijk als stapsgewijze upgrade van de huidige mainstream PERC zonnecellen en ook voor nieuwe concepten als TOPCon of all-polysilicon interdigitated back-contact (IBC) cellen.

Doelstelling: Het doel van het project BRIGHT is om het *p*-type polysilicium contact sterk te verbeteren zodat de kwaliteit vergelijkbaar wordt met zijn *n*-type tegenhanger. Hiermee wordt een belangrijke bouwsteen gerealiseerd voor zonnecellen met >24% efficiëntie en kan *p*-type polysilicium geïntroduceerd worden als hoogstaand gaten-selectief contact, op korte termijn in PERC cellen en op langere termijn in geavanceerde celconcepten zoals IBC.

Samenwerkende partijen: ECN, nu TNO, stond samen met industriële partners Tempres en Levitech, en met de Technische Universiteit Eindhoven aan de basis van de implementatie van de industriële polysilicium gepassiveerde contacten van beide polariteiten in de TKI projecten IBCense en Miracle. De vier partijen hebben zeer veel kennis en ervaring met polysilicium depositieprocessen, atoomlaagdepositieprocessen en waterstofpassivatie van de polysilicium-siliciumoxide-silicium grenslaag, en hebben samen nieuwe processen en materialen succesvol geïntegreerd ten behoeve van een succesvol *p*-type polysilicium gepassiveerd contact.

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

Behaalde resultaten:

Binnen het BRIGHT project zijn de volgende resultaten gehaald:

De grenslaag tussen de daadwerkelijke polysilicium laag en de bulk van de zonnecel bepaalt de kwaliteit van de oppervlaktepassivatie. Specifiek als grenslaag voor *p*-type polysilicium zijn verschillende materialen getest in een ultradunne laag van typisch 1 nm door middel van ofwel een thermisch oxidatieproces ofwel een atoomlaagdepositie (ALD) proces, waarbij gebruik is gemaakt van zowel thermische als plasma-ondersteunde processen. De *p*-type polysiliciumlaag zelf is geoptimaliseerd door het doteringsproces aan te passen, waardoor minder boor-atomen door de passiverende interlaag heen diffunderen en de mate van oppervlaktepassivatie verminderen.

Hieruit is gebleken dat een zeer hoog passivatie-niveau bereikt kan worden, van boven de 735 mV implied V_{oc} voor *p*-type polysilicium met een thermisch oxide grenslaag. Ook is gebleken dat ALD Al_2O_3 lagen uitstekende passivatie opleveren als grenslaag voor intrinsiek polysilicium, als eerste stap naar een *p*-type polysilicium contact. Ook verschillende nieuwe ALD metaaloxides zijn succesvol geïntegreerd in teststructuren. Om de contactweerstand over de combinatielaag (grenslaag en polysiliciumlaag) te bepalen is een innovatieve methode ontwikkeld: weerstandsmetingen over een silicium wafer met een combinatielaag aan één kant en een ideaal contact aan de andere kant zijn geanalyseerd door middel van een verbeterde Cox-Strack benadering. Met een zeer nauwkeurige oppervlaktebepaling wordt vervolgens de specifieke contactweerstand bepaald. De genoemde thermisch oxide en Al_2O_3 grenslagen bleken een voldoende lage weerstand te hebben van $<100 \text{ m}\Omega\text{cm}^2$.

Om contactrecombinatie te minimaliseren, zijn blokkeringslagen aangebracht in de *p*-type polysiliciumlaag. Deze lagen laten wel de dotering door, maar remmen de vorming van diepe metaalpieken door de grenslaag, wat de oppervlaktepassivatie vermindert. Met deze methode is de contactrecombinatie met maar liefst 75% gereduceerd.

Knelpunten:

Ondanks de goede resultaten is met name de kwaliteit van het *p*-type polysilicium *fire-through* metaalcontact nog niet vergelijkbaar met dat van zijn *n*-type tegenhanger. De beschikbaarheid en bruikbaarheid van geoptimaliseerde

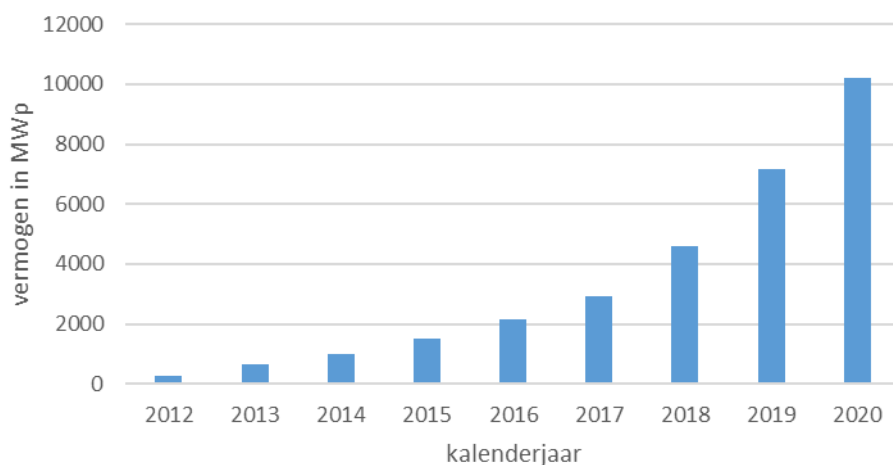
metaalpasta's zijn hierbij limiterende factoren. Omdat de marktvraag pas een recente ontwikkeling is, is er slechts een beperkte ontwikkeling door marktpartijen op dit gebied.

Perspectief voor toepassing:

Het *p*-type polysilicium contact heeft, ook met de knelpunten op het gebied van *fire-through* metallisatie, zeker een goed perspectief als upgrade in PERC zonnecellen, aangezien dan met een PERC metallisatieschema gewerkt kan worden. De introductie van *p*-type polysilicium in de PERC procesflow kan relatief eenvoudig gerealiseerd worden. Omdat in de mainstream zonnepanelen PERC zonnecellen zitten en de zonnecelfabrikanten continu kleine ingrepen toepassen om het rendement stapsgewijs te verhogen, heeft *p*-type polysilicium in PERC cellen een enorm marktpotentieel. Dit toepassingsgebied omvat zowel zonnenvelden op land of water, alsook op daken.

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

Zonne-energie wordt ook in Nederland steeds meer gebruikt als duurzame bron van elektriciteit. Volgens de roadmap zal naar verwachting tot wel 240 GW_p aan geïnstalleerd vermogen in Nederland te realiseren zijn in 2050¹. Nu al is zichtbaar dat zonne-energie steeds grootschaliger wordt toegepast en een grotere rol speelt in de productie van elektriciteit. De in het Klimaatakkoord afgesproken doelstelling van 21-23 GW_p PV installatie in 2030 is een zeer conservatieve schatting aangezien het cumulatief geïnstalleerde vermogen eind 2020 al meer dan 10 GW_p bedroeg², met meer dan 3 GW_p groei in het afgelopen jaar, zoals weergegeven in Figuur 1.



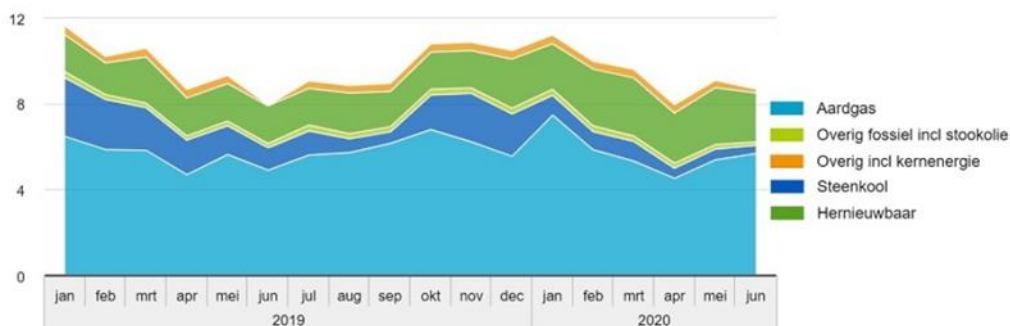
Figuur 1: Totaal geïnstalleerd cumulatief PV vermogen in Nederland. Bron cijfers: CBS.

Het is om die reden aan te nemen dat zonne-energie een belangrijke bijdrage zal leveren aan de vergaande reductie en uiteindelijk de uitbanning van CO₂-emissies. Zeker is dat zonne-energie, samen met windenergie, het gebruik van steenkool voor elektriciteitsproductie inmiddels heeft verdrongen³. Deze ontwikkeling is weergegeven in Figuur 2.

¹ Roadmap PV Systemen en Toepassingen, Wiep Folkerts e.a., december 2017

² Bron: CBS, juni 2021

³ Bron: CBS, september 2020



Figuur 2: Elektriciteitsproductie in Nederland in mld kWh, uit verschillende bronnen van januari 2019 t/m juni 2020. Het aandeel van steenkool (donkerblauw) is sterk verminderd ten gunste van hernieuwbaar (donkergroen). Bron: CBS; overgenomen uit Solarmagazine.

Dankzij het BRIGHT project is *p*-type polysilicium verder ontwikkeld en verbeterd als een belangrijke bouwsteen voor zonnecelconcepten met gepassiveerde contacten. De PERC zonnecellen die gebruikt worden in de *mainstream* zonnepanelen die in Nederland geïnstalleerd worden, kunnen met behulp van deze laag een upgrade krijgen voor efficiëntieverbetering en daarmee meer productie van zonnestroom. Met het BRIGHT project is de kennispositie van de partners op het gebied van passiverende contacten verbeterd, waarbij de behaalde passivatiekwaliteit tot de wereldtop behoort, en is de marktpositie van Tempres en Levitech op dit gebied versterkt.

Op langere termijn zullen polysilicium-gebaseerde gepassiveerde contacten ook geïmplementeerd worden op industriële schaal in zonnecellen met de hoogste efficiëntie, met name ook in tandemzonnecellen. Zeker voor Nederland, waar het grote publiek op dit moment liever zonnepanelen op daken dan op land ziet, zijn zonnepanelen met de hoogste efficiëntie van groot belang voor toepassing op beperkte dakoppervlaktes.

Spin off binnen en buiten de sector

Binnen de PV sector is de technologische bijdrage zichtbaar door toegenomen jaaropbrengst van panelen en nieuwe concepten die bedrijven kunnen introduceren. Specifiek voor dakgebonden PV installaties levert dit buiten de PV sector ook activiteiten op voor lichtgewicht constructies en geïntegreerde bouwelementen.

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

Publicaties en presentaties:

M.K. Stodolny et al., PolySi contacting with second generation FT pastes and accurate characterization of contact resistances, Metallization Workshop 2019 (presentatie)

M. van Rijnbach et al., On the accuracy of the Cox-Strack equation and method for contact resistivity determination, IEEE Trans. Elec. Dev. Vol. 67, no. 4 (2020)

D. Koushik et al., Ultra-thin Spatial Atomic Layer Deposited AlO_x as Interlayer in Hole-Selective Polysilicon Contact Structures, SiliconPV 2020 abstract (conference was cancelled)

M.K. Stodolny et al., PolySi Based Passivating Contacts Enabling Industrial Silicon Solar cell Efficiencies up to 24%, IEEE PVSC 46, 2019 (paper)

M.K. Stodolny et al., Review and outlook of doped and undoped LPCVD polySi based passivating contacts for industrial Si solar cells, SiliconPV 2019 (poster)

Peer review papers in voorbereiding:

Atomic-Layer-Deposited Oxide Interlayers for Application in Poly-Silicon Passivating Contacts

Evaluation of ALD Al_2O_3 interlayers for polysilicon passivating contacts

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:

- mevrouw A.A. Mewe, TNO EnergieTransitie, agnes.mewe@tno.nl

Subsidie

Het project is uitgevoerd met TKI Toeslag subsidie van het Ministerie van Economische Zaken voor TKI Urban Energy, Topsector Energie. www.tki-urbanenergy.nl