



Openbaar eindrapport MIRACLE

Gegevens project

- Projectnummer: TEUE116139
- Projecttitel: Material Independent Rear pAssivating Contact solar cEll (MIRACLE)
- Penvoerder en medeaanvragers:
 - Tempres Systems B.V. (penvoerder)
 - ECN.TNO
 - Technische Universiteit Eindhoven
 - Universiteit Twente
- Projectperiode: 01-01-2017 – 30-09-2019
- Publicatiedatum openbaar rapport: 30-12-2019



Samenvatting van uitgangspunten, doelstelling en samenwerkende partijen

De doelstelling van het Miracle project was om een procesflow te ontwikkelen gebaseerd op een p⁺-polySi gepassiveerde achterzijde die zowel op n-type wafers als p-type wafers toegepast kan worden. Modelberekeningen geven aan dat voor beide wafer-types cel-rendementen boven de 23% mogelijk zouden moeten zijn. De potentie voor p-type wafers is zelfs iets hoger, maar het behouden van de benodigde materiaalkwaliteit van de silicium wafer tijdens de processing is waarschijnlijk moeilijker. Focuspunten van het project waren: i) verbeterde voorzijde door hetzij het toepassen van selectieve P-gediffundeerde gebieden of het gebruik van transparante oxiden voor voorzijde passivering, ii) het ontwikkelen van p⁺-polySi achterzijdepassivering; iii) het maken van 22-23% zonnecellen (industriële proces – R&D proces), en iv) demonstratie-experimenten met de industrie.

Het project is uitgevoerd door middel van een intensieve samenwerking van Tempres Systems (penvoerder, P-diffusie en p⁺-polySi optimalisatie en industriële demonstraties), TU Eindhoven (ontwikkeling en testen van transparante voorzijde contactering en passiveren), Universiteit Twente (speciale analysetechnieken en toepassen van halfgeleider technologieën op zonnecellen) en ECN.TNO (p⁺-polySi optimalisatie en integratie in het cel-proces)

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

Binnen het project is een wereldrecord voor lage recombinatiestroom (J_0) voor p⁺-polySi lagen gerealiseerd, dit op zowel gepolijste oppervlakken als op voor zonnecellen meer relevante getextureerde oppervlakken ($J_{0,surface} < 9 \text{ fA/cm}^2$). Het gebruiken van deze lagen in zonnecellen resulteerde in cellen met meer dan 20% rendement en Voc tot 688 mV.

Metallisatietechnieken van de halfgeleiderindustrie zijn succesvol toegepast op halffabrikaten van zonnecellen, resulterend in lage contactweerstand. De uitlijning met gezeefdrukte patronen in volledige Miracle cellen kon niet gerealiseerd worden, dus kon de technologie niet getest worden op volledige cellen.

Als alternatief voor het elektron voorzijde contact zijn transparante passiverende selectieve lagen gebaseerd op TiO_x ontwikkeld. Met TiO_x:Nb is een goede voorzijde passivering ($J_{0,surface} < 20 \text{ fA/cm}^2$) en lage contactweerstand ($< 10 \text{ m}\Omega\cdot\text{cm}^2$) gerealiseerd.

Ondanks de tegenvallende cel resultaten zijn er succesvolle demonstraties van het mede in dit project ontwikkelde n⁺polySi voor industriële partijen uitgevoerd.

Het meest aansprekende resultaat van dit project dat ook breed onderkend wordt in de internationale R&D gemeenschap is de zeer goede p⁺-polySi passivering, terwijl ook de passiverende eigenschappen van TiO_x:Nb goed ontvangen zijn door de PV R&D wereld.

Bijdrage van het project aan de doelstellingen van de regeling

De behaalde resultaten met p⁺-polySi passivering vormen een goed startpunt voor de verdere ontwikkeling van goedkope silicium cellen met hogere rendementen. Tevens geven de behaalde resultaten op demonstratiecellen de potentie voor implementatie van deze technologie in een productie-omgeving van silicium zonnecellen weer.

Spin off binnen en buiten de sector



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

- M.K. Stodolny, Y. Wu, J. Anker, X. Lu, J. Liu, P.C.P. Bronsveld, A.A. Mewe, G.J.M. Janssen, G. Coletti, C.J.J. Tool, L.J. Geerligts, J. Löffler, A. Weeber, PolySi based passivating contacts enabling industrial silicon solar cell efficiencies up to 24%, IEEE 46th Photovoltaic Specialist Conference (PVSC) Proceedings, 2019.
- A.A. Mewe, M.K. Stodolny, J. Anker, M. Lenés, X. Pagès, Y. Wu, C.J.J. Tool, L.J. Geerligts, I.G. Romijn, Full wafer size IBC cell with polysilicon passivating contacts, AIP Conference Proceedings 1999 (1), 040014, 2018.
- M.K. Stodolny, J. Anker, C.J.J. Tool, M. Koppes, A.A. Mewe, P. Manshanden, M. Lenés, I.G. Romijn, Novel schemes of p+ polySi hydrogenation implemented in industrial 6" bifacial front-and-rear passivating contacts solar cells, 35th European PV Solar Energy Conference Proceedings, p.p. 414-417, 2018.
- 8th Workshop on Metallization and Interconnection for c-Si Solar Cells, V.2019, Constance, Germany – talk M.K. Stodolny
- 28th Workshop on Crystalline Silicon Solar Cells & Modules: Materials and Processes, VIII.2018, Winter park, Colorado, USA – invited talk M.K. Stodolny
- M. van Rijnbach et al., On the validity of the Cox-Strack equation for contact resistance determination, paper in preparation for IEEE Transactions on Electron Devices.
- W.J.H. Berghuis, MSc thesis, Eindhoven University of Technology, 2018.
- L.E. Black, B.W.H. van de Loo, B. Macco, J. Melskens, W.J.H. Berghuis, and W.M.M. Kessels, Sol. Energy Mater. Sol. Cells 188 (2018) 182.
- W.J.H. Berghuis et al., Atomic layer deposition of Nb-doped TiO₂: dopant incorporation and effect of annealing, submitted for publication, 2019
- J. Melskens et al., manuscript in preparation (TiO_x overview covering progress in passivation quality, contact resistivity, and working mechanisms of TiO_x-based contacts in different configurations and solar cells)
- R.C.G. Naber, J.R.M. Luchies, EUVSEC Sep 2018, Boron autodoped LPCVD polysilicon as a surface passivation and contact passivation layer on the front-side of n-PERT solar cells
- Kees Tool, Maciej Stodolny, John Anker, Gaby Janssen, Martijn Lenés, Ingrid Romijn, PVSC Jun 2018, Miracle: Material Independent Rear Passivating Contact Solar cells using optimized texture and novel p+poly-Si hydrogenation.
- R.C.G. Naber, M. Lenés, A.H.G. Vlooswijk, J.R.M. Luchies, EUPVSEC Sep 2016, N-PERT solar cells with passivated contact technology based on LPCVD polysilicon and fire-through contact metallization.

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:

- de heer Peter Venema, Tempres Systems BV, pvenema@tempres.nl.

Subsidie

Het project is uitgevoerd met subsidie van het Ministerie van Economische Zaken, voor het TKI Solar Energy uitgevoerd door RVO.