Homo-heterojonction en silicium : une nouvelle architecture pour des cellules à rendement record

T. Carrere[1, 2, 3], R. Varache[1], R. Lachaume[2], M. Coig[4], D. Munoz[1], J.-P. Kleider[2]

[1]CEA-LITEN, Institut National de l'Energie Solaire (INES), Savoie Technolac, F-73377 Le Bourget du Lac, France
[2]GeePs, UMR8507 CNRS, CentraleSupélec, Université Paris-Sud Sorbonne Universités UPMC Univ Paris 6, F-91192, 11 rue Joliot Curie, Gif-sur-Yvette, France
[3]ADEME, 49004, 20 avenue du Grésillé BP 90406, Angers Cedex 01, France
[4]CEA-LETI, MINATEC Campus, 17 rue des Martyrs, F-38054 Grenoble, France

Les cellules à hétérojonction de silicium (HET) ont déjà démontré leur potentiel avec des rendements de conversion élevés (>25% en R&D[1,2], >22% production) associés à des coûts de fabrication compétitifs[1,3]. Pour améliorer le facteur de forme (FF) de ces cellules, identifié comme un des points faibles[4], ce travail propose l'étude d'une nouvelle architecture comprenant une couche (p^+) ou (n^+) de c-Si insérée à l'hétéro-interface, soit du côté de l'émetteur (cf. Figure 1) soit du côté du champ de surface arrière. La nouvelle architecture est appelée homo-hétérojonction (HHJ).

Figure 1 : Schéma d'une cellule à homo-hétérojonction silicium avec une couche additionnelle (p^+) c-Si à l'hétéro-interface côté émetteur

Cette cellule est d'abord étudiée au moyen de simulations numériques réalistes. Les résultats mettent en évidence une augmentation de la tension de circuit ouvert (V_{CO}) de l'ordre de +17 mV et du facteur de forme (FF) de 2.0 %, permettant un gain de +0.8% (en valeur absolue) du rendement de conversion par rapport à la référence HET. De plus, les cellules HHJ présentent une sensibilité réduite aux défauts d'interface. Il est mis en évidence que ces avantages sont la conséquence d'une meilleure passivation par effet de champ[5] ainsi que d'une diminution de la résistance des couches de silicium amorphe.

Forts de ces résultats prédictifs de simulation, nous avons réalisé ces couches additionnelles de c-Si dopé en utilisant un procédé d'implantation ionique. L'optimisation expérimentale de ces couches permet d'obtenir des précurseurs de cellule confirmant les améliorations de l'effet de champ (mesures de durée de vie) et la diminution des résistances séries (mesures TLM). De plus, une passivation chimique limitée de a-Si:H sur une surface cristalline fortement dopée au bore est mise en évidence et constitue un point-clé à surmonter pour valider le concept.

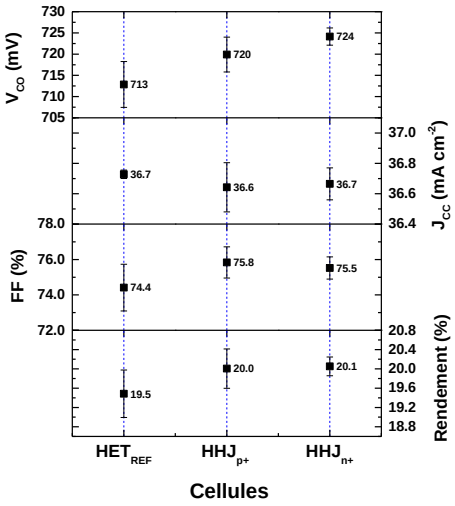

Figure 2 : Paramètres photovoltaïques de cellules solaires à homo-hétérojonction expérimentales (239 cm^2) avec une couche additionnelle (p^+) ou (n^+) c-Si. Moyennes sur au moins 4 cellules.

Enfin, des cellules solaires HHJ de grande taille (239 cm^2) ont été réalisées avec des procédés industriels, avec une couche additionnelle soit de (p^+) c-Si en face avant, soit de (n^+) c-Si en face arrière, sur des substrats de c-Si de type n (résistivité de l'ordre de 3 Ωcm). Pour chaque type de cellule, un rendement de conversion supérieur aux références HET a pu être obtenu (+0.5% abs) (cf. Figure 2). Les valeurs de pseudo-facteur de forme et de résistance série permettent de confirmer les avantages mis en évidence par les simulations numériques et les précurseurs.

Cette étude est la première réalisée sur ce nouveau type d'architecture (à la fois sous l'angle théorique et par des réalisations technologiques sur des prototypes de grande surface), et les résultats obtenus ouvrent une nouvelle voie vers une augmentation du rendement dans la filière silicium.

Références

[1] D. Adachi, J.L. Hernández, and K. Yamamoto, Appl. Phys. Lett. **107**, (2015).
[2] K. Corporation, *Press Release : World's Highest Conversion Efficiency of 26.33% Achieved in a Crystalline Silicon Solar Cell ? A World First in a Practical Cell Size ?* (2016).
[3] D. Muñoz, T. Desrues, A.S. Ozanne, S. de Vecchi, S.M. de Nicolás, F. Jay, F. Souche, N. Nguyen, C. Denis, C. Arnal, G. D'Alonzo, J. Coignus, W. Favre, T. Blevin, A. Valla, F. Ozanne, T. Salvetat, and P.-J. Ribeyron, in *Proc. 27th EU PVSEC, Frankfurt, Ger.* (2012).
[4] M. Schmidt, L. Korte, A. Laades, R. Stangl, C. Schubert, H. Angermann, E. Conrad, and K. v. Maydell, Thin Solid Films **515**, 7475 (2007).
[5] T. Carrere, R. Varache, D. Muñoz, and J.P. Kleider, J. Renew. Sustain. Energy **7**, (2015).