

Intégration double-face de contacts passivés poly-silicium sur oxyde ultra-mince : vers un procédé simplifié de fabrication des cellules bifaciales à haut-rendement

Camille Oliveau, Adeline Lanterne, Thibaut Desrues, Benoit Martel et Sébastien Dubois

Univ. Grenoble Alpes, INES, F-73375 Le Bourget du Lac, France; CEA, LITEN, Département des Technologies Solaires, F-73375 Le Bourget du Lac, France

Les nouveaux standards industriels pour les cellules photovoltaïques en silicium cristallin (c-Si) sont des structures (PERC et PERT) impliquant des interfaces directes entre les électrodes métalliques et le c-Si. Ces zones sont sujettes à de fortes recombinaisons surfaciques des porteurs de charges et la tension de circuit ouvert (V_{oc}) du dispositif s'avère donc limitée. Afin de s'affranchir de ces interfaces recombinantes, l'une des alternatives possible est de basculer vers des technologies de cellules dites à contacts passivés parmi lesquelles on peut citer les structures à « hétérojonction de silicium » ou celles basées sur l'empilement « poly-Si/SiO_x ». Ces dernières offrent de belles perspectives avec des résultats déjà très prometteurs en matière de rendements de conversion^{1,2}. Néanmoins, les initiatives d'industrialisation de ces technologies de cellules imposent une simplification des procédés de fabrication afin de limiter le nombre d'étapes et les coûts de fabrication.

C'est dans ce contexte qu'est proposée la structure CARLAH (Conductive and Anti-Reflective Layers for Advanced Homo Junction solar cells, fig. 1a), structure intégrant de fins empilements poly-Si/SiO_x (entre 20 et 30nm) en face avant et en face arrière d'un substrat de c-Si et une prise de contact par des oxydes transparents et conducteurs (TCO). Ce dispositif est élaboré à partir d'un procédé de fabrication simplifié basé sur un dépôt LPCVD de poly-Si sur les deux faces, suivi d'implantations PIII (Plasma Immersion Ion Implantation) Bore en face arrière et Phosphore en face avant. De plus, le recuit d'activation des dopants à haute température permet de développer un effet getter bénéfique sur les substrats c-Si de qualité moyenne, et des développements sont en cours afin de transférer la fabrication sur des substrats type mono-like et réduire les coûts de fabrication.

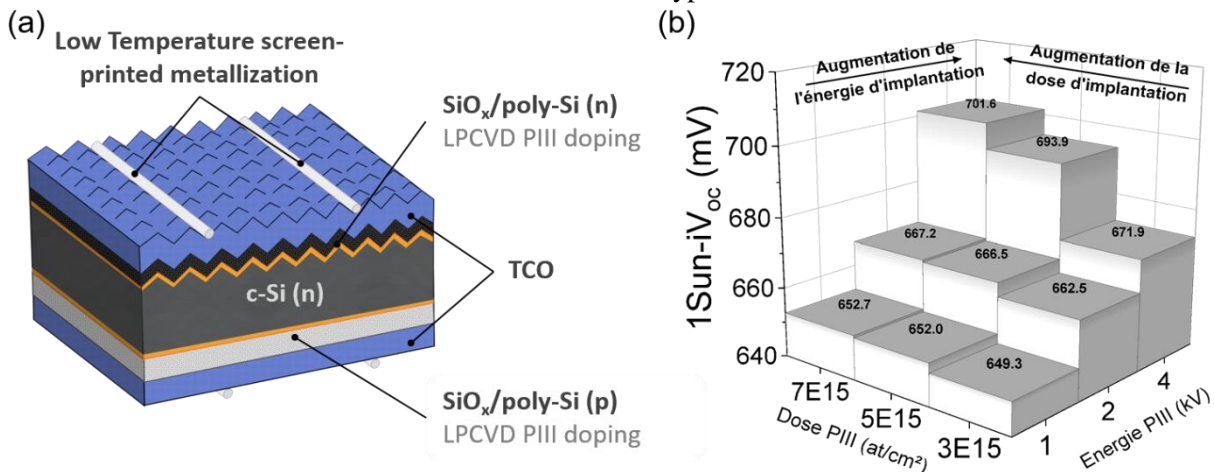


Figure 1: (a) Structure CARLAH et (b) Niveaux de passivation après recuit pour différentes conditions PIII de Phosphore (symétriques)

Les développements effectués sur ces couches de poly-Si fines de 20-30nm déposées par voie LPCVD et dopées PIII ont déjà permis d'obtenir d'excellents niveaux de passivation des surfaces avec des iV_{oc} sur échantillons symétriques excédant après recuit 700mV (fig.1b) et 690mV pour les poly-Si (n⁺) et (p⁺), respectivement. Suite à une procédure d'hydrogénation des interfaces de ces empilements, les iV_{oc} dépassent les 720mV. En parallèle de ces travaux d'optimisation des couches dopées, la compatibilité du TCO avec les procédés de fabrication utilisés a été étudiée. Ainsi, un comparatif entre l'oxyde d'indium dopé à l'étain (ITO) et l'oxyde de zinc dopé à l'aluminium (AZO) a été effectué dans le but de s'affranchir à terme de l'utilisation d'indium. L'expérimentation a montré une excellente tenue en température des différents TCO, ceux-ci voyant leurs performances accrues avec l'augmentation de température jusqu'à un optimum à 350°C pour lequel la résistance carrée des couches de TCO devient inférieure à 75Ω/sq et les transmissions effectives du rayonnement sur la gamme d'absorption du Silicium dépassent 80% (mesure sur verre). Les toutes premières intégrations en cellules, avec un procédé qui n'était pas optimisé, ont déjà permis d'obtenir des rendements supérieurs à 19% (substrats industriels M2, métallisations sérigraphiées). De nouvelles cellules sont en cours de fabrication, cette fois avec les structures de collecte les plus abouties.

1. Peibst, R. *et al.* Building Blocks for Industrial, Screen-Printed Double-Side Contacted POLO Cells With Highly Transparent ZnO:Al Layers. *IEEE J. Photovolt.* 1–7 (2018). doi:10.1109/JPHOTOV.2018.2813427
2. Richter, A. *et al.* n-Type Si solar cells with passivating electron contact: Identifying sources for efficiency limitations by wafer thickness and resistivity variation. *Sol. Energy Mater. Sol. Cells* **173**, 96–105 (2017).