

Modification et amélioration du procédé de fabrication de la *top-cell* de CuGaSe₂ (CGSe) pour application tandem

A. Rivalland¹, S. Dubois², L. Arzel¹, N. Barreau¹

¹ Institut des Matériaux Jean Rouxel (IMN), UMR 6502 CNRS, 2 rue de la Houssinière BP 32229, 44322 Nantes cedex 3, France

² CEA, LITEN, INES, 50 avenue du Lac Léman, 73375 Le Bourget-du-Lac, France

Pour s'affranchir de la limite de conversion photovoltaïque de 30%, les cellules solaires tandem, basées sur une sous-cellule silicium, semblent être les structures les plus prometteuses. Une approche monolithique à deux terminaux, utilisant une couche mince à large bande interdite en *top-cell* ne nécessiterait que peu d'étapes de fabrication supplémentaires.

Le CuIn_{1-x}Ga_xSe₂ (CIGSe) est l'un des candidats les plus prometteurs grâce à son bon rendement de conversion (>23% pour x=0.3) en simple jonction, sa maturité technologique et sa présence sur le marché du photovoltaïque. Le CuGaSe₂ (x=1) peut être utilisé comme absorbeur de *top-cell* dans une structure tandem grâce à son gap optimal (1.7eV). Cependant, le rendement de conversion de ce matériau est encore réduit (11.9%) malgré des progrès récents [1]. Il est donc nécessaire de comprendre l'origine des effets limitants les performances de la cellule et d'améliorer le procédé d'élaboration de la *top-cell* de CGSe afin de l'intégrer dans une cellule tandem avec c-Si.

Plusieurs modifications ont été apportées. Nous avons choisi un procédé CuPRO[2] modifié pour la croissance du CGSe sur Molybdène par évaporation. Nos résultats montrent que l'ajout de deux étapes de recuit de l'échantillon sans apport de matière durant le procédé de dépôt améliore les performances de la cellule en simple jonction de CGSe. Considérant que la diffusion du gallium est faible, ces étapes supplémentaires (que nous appelons « étapes de relaxation ») devraient permettre une meilleure cristallisation et une plus grande homogénéité de composition à travers la couche mince. Ces points ont été démontrés par des images MEB et des analyses EDX et Raman.

Une mesure de rendement quantique externe (EQE) de la cellule simple jonction complète montre une meilleure collecte aux grandes longueurs d'onde, conséquence d'une plus grande longueur de diffusion des porteurs et confirme ainsi la meilleure qualité cristalline de notre matériau en même temps que de meilleures performances électriques. En effet, le J_{SC} comme le V_{OC} et par conséquent le rendement de la cellule sont sensiblement améliorés par rapport à une cellule sans relaxation. Cependant, le V_{OC} reste encore trop faible et est limité par le mauvais alignement des bandes de conduction entre le CGSe, le CdS et la bi-couche de ZnO. Plusieurs études ont été menées pour tenter de pallier ce problème.

Enfin, même si ces études d'optimisation de la *top-cell* ne sont pas terminées, de premières structures tandem avec des cellules silicium ont été réalisées, révélant des Voc supérieur à 1V. En particulier, une cellule tandem utilisant une sous-cellule silicium bifaciale à contacts passivés a été réalisée en collaboration avec le CEA-INES.

- [1] F. Larsson *et al.*, "Record 1.0 V open-circuit voltage in wide band gap chalcopyrite solar cells," *Prog. Photovoltaics Res. Appl.*, vol. 25, no. 9, pp. 755–763, 2017.
- [2] J. Kessler, C. Chityuttakan, J. Lu, J. Schöldström, and L. Stolt, "CIGS thin film grown with a Cu-poor-rich-poor sequence: growth model and structural considerations," *Prog. Photovolt. Res. Appl.*, vol. 11, pp. 319–331, 2003.