

J. Courtin¹, K. Ozeir^{1,2}, G. Groux¹, A. Letoublon¹, S. Boyer-Richard¹, R. Bernard¹, T. Rohel¹, A. Beck¹, K. Tavernier, T. Lepetit², A. Delamarre³, J. Buencuerpo³, C. Tamin⁴, A. Fave⁴, N. Barreau² et O. Durand¹

¹ Univ Rennes, INSA Rennes, CNRS, Institut FOTON - UMR 6082 Rennes F-35000, France

² Nantes Université, IMN, CNRS, Institut des Matériaux de Nantes Jean Rouxel, Nantes, France

³ IPVF, UMR CNRS 9006, Palaiseau, France

⁴ INSA Lyon, Ecole Centrale de Lyon, CNRS, Université Claude Bernard Lyon 1, CPE Lyon, INL, UMR5270, 69621 Villeurbanne, France

Les cellules tandem sur silicium font parties des technologies les plus prometteuses pour la production d'énergie électrique renouvelable à partir de cellules photovoltaïques à haut rendement et bas coût [1]. Pour cette raison ces dispositifs font l'objet d'intenses recherches au sein de la communauté scientifique. Nous nous proposons ici d'étudier une cellule tandem composée d'un absorbeur en $\text{Cu}(\text{In}_{1-x}\text{Ga}_x)\text{Se}_2$ (CIGSe) pour la récolte des photons de haute énergie (bleu/UV) et d'un absorbeur en Si pour la récolte des photons de basse énergie (Vis/NIR). Nous avons montré dans une précédente étude que la croissance CIGSe sur un pseudo-substrat de GaP/Si permettait d'obtenir une croissance épitaxiale de films de CIGSe de meilleure qualité cristalline que le CIGSe polycristallin déposé sur des substrats conventionnels de Mo/SLG (Soda Lime Glass) [2]. La couche d'interface en GaP, d'épaisseur 50nm, est obtenue par épitaxie par jets moléculaires (MBE). Les croissances ont été réalisées pour des films de $\text{Cu}(\text{In}_{1-x}\text{Ga}_x)\text{Se}_2$ avec de forte teneur en Ga ($x \sim 0.9$) [3] permettant théoriquement d'obtenir un film de CIGSe avec une bande interdite de ~ 1.6 eV *i.e.* proche de l'optimal théorique (~ 1.7 eV) pour une cellule tandem dont la sous-cellule « bottom » est en silicium. La cellule tandem étudiée ici est schématiquement représentée sur la Figure 1(a).

Les propriétés de photoconversion des cellules ont été évaluées par combinaison de mesures courant-tension (I-V) sous illumination (simulateur solaire) et d'Efficacité Quantique Externe (EQE) comme présenté sur la Figure 1(b) et Figure 1(c), respectivement. Les mesures EQE et I-V sous simulateur solaire (AM1.5G) sont caractéristiques d'un fonctionnement en tandem du dispositif à deux terminaux (2J-2T), ce qui à notre connaissance est une première pour un dispositif monolithique 2J-2T CIGSe/Si. Les performances des cellules ainsi réalisées montrent une tension en circuit ouvert d'environ 1.12 V, qui ne peut provenir que d'une somme des tensions individuelles des deux sous-cellules, mais avec une faible efficacité de photoconversion $\sim 2.2\%$. Cette faible performance s'explique par une forte résistance série associée à une faible résistance de shunt. L'origine physique de ces limitations est en cours d'étude. En particulier, nous cherchons à optimiser la couche d'interface en GaP. Bien que les performances soient faibles, notamment au regard de la valeur théorique, ces mesures ouvrent la voie à l'obtention de cellules tandem à partir de deux technologies éprouvées, robustes et bas-coûts que sont les cellules CIGSe et les cellules Si.

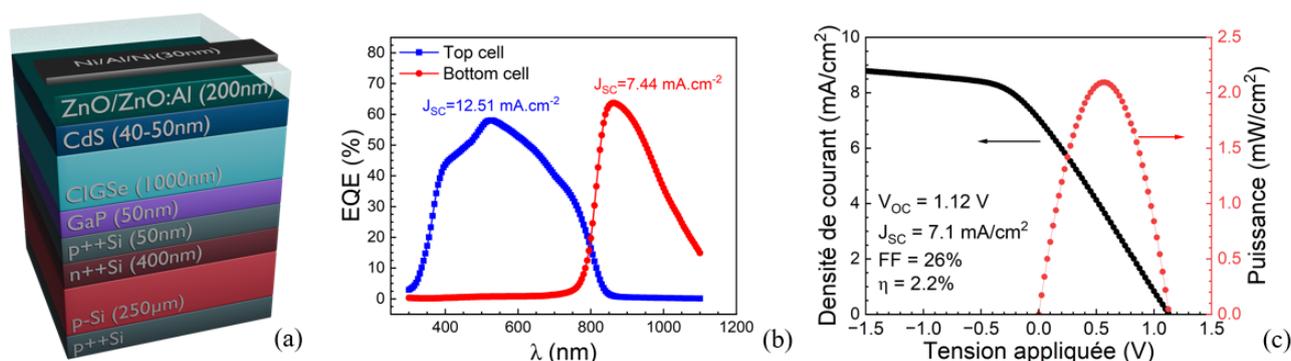


Figure 1 Représentation schématique de la structure étudiée (a), mesures d'efficacité quantique externe (b) et mesure courant-tension sous 1 sun (c).

[1] M. Green, E. Dunlop, J. Hohl-Ebinger, M. Yoshita, N. Kopidakis, et X. Hao, « Solar cell efficiency tables (version 57) », *Prog. Photovolt. Res. Appl.*, vol. 29, n° 1, p. 3-15, 2021, doi: <https://doi.org/10.1002/pip.3371>.

[2] N. Barreau *et al.*, « Epitaxial growth of CIGSe layers on GaP/Si(001) pseudo-substrate for tandem CIGSe/Si solar cells », *Sol. Energy Mater. Sol. Cells*, vol. 233, p. 111385, 2021, doi: <https://doi.org/10.1016/j.solmat.2021.111385>.

[3] A. V. Mudryi *et al.*, « Structural and optical properties of thin films of $\text{Cu}(\text{In,Ga})\text{Se}_2$ semiconductor compounds », *J. Appl. Spectrosc.*, vol. 77, n° 3, p. 371-377, juill. 2010, doi: [10.1007/s10812-010-9341-5](https://doi.org/10.1007/s10812-010-9341-5).

Ce travail est soutenu par le projet IOTA du PEPR TASE. Ce travail a bénéficié de l'ANR au titre du programme PIA ANR-21-ESRE-0012 et du soutien technologique de la plateforme nanoRennes du réseau Renatech+. La cellule bottom en Si a été fabriquée sur la plateforme NanoLyon de l'INL.