

## DEVELOPPEMENT DE CELLULES SOLAIRES MULTI-JONCTIONS III-V SUR SILICIUM PAR COLLAGE DIRECT

Laura Vauche<sup>1,2</sup>, Elias Veinberg Vidal<sup>1,2</sup>, Christophe Jany<sup>1,2</sup>, Christophe Morales<sup>1,2</sup>, Thibaut Desrues<sup>1,3</sup>, Karim Medjoubi<sup>1,3</sup>, Philippe Voarino<sup>1,3</sup>, Jean Decobert<sup>4</sup>, Pierre Mur<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Univ. Grenoble Alpes, Grenoble, 38000, France

<sup>2</sup>CEA, LETI, MINATEC Campus, Grenoble, 38054, France

<sup>3</sup>CEA, LITEN, INES, Le Bourget du Lac, 73375, France

<sup>4</sup>GIE IIIVLab, F-91767 Palaiseau, France

Le rendement de conversion photovoltaïque de cellules solaires à une jonction (1J) est limité autour de 30% [1]. Les cellules solaires multi-jonctions (MJSC) combinant plusieurs énergies de bandgap permettent d'absorber de manière plus efficace le spectre solaire et donc de dépasser cette limite. Les matériaux III-V, dont la croissance est effectuée en accord de paramètre de maille sur des substrats GaAs ou Ge, de par leur grande variété de bandgaps, offrent de nombreuses possibilités. Jusqu'à maintenant les MJSC à base de matériaux III-V ont permis d'obtenir les rendements les plus élevés [2]. Les cellules III-V sur Si peuvent combiner le bas coût des cellules Si avec le potentiel de haut rendement du III-V/Si [3]. L'approche par collage direct permet d'obtenir une interface permanente, transparente, conductrice et de combiner des matériaux à paramètre de maille différents.

Dans cette étude, des cellules à 3 jonctions (3J) GaInP/AlGaAs/Si et à deux jonctions (2J) AlGaAs/Si sont fabriquées, avec 2 terminaux, menant à des rendements maximums de 25.2% et 21.8%, respectivement, sous une illumination de 1 soleil (AM1.5D). Les cellules III-V sont épitaxiées sur des substrats GaAs 100mm, incluant des jonctions tunnel et une couche de collage GaAs, puis reportées sur des cellules Si, par procédé de collage direct entre la couche GaAs et la cellule Si. Le procédé de collage donnant aujourd'hui les meilleures performances est le procédé de collage SAB (Surface-Activated Bonding), incluant une étape de bombardement Ar des surfaces GaAs et Si avant leur mise en contact sous ultra-vide [4], [5]. Les cellules sont ensuite fabriquées par retrait du substrat GaAs, isolation des cellules III-V par gravure méso, dépôt des contacts métalliques, retrait de la couche contact/ouverture de la couche window dans le III-V et dépôt d'une couche anti-reflet [6].

L'analyse du rendement quantique externe (EQE) permet de comparer les performances des sous-cellules. Par exemple, pour la 3J, le  $J_{SC}$  généré par la sous-cellule à base de silicium est limitant. Différentes générations de cellules III-V sur Si développées au CEA seront présentées. Les optimisations possibles pour aller vers des performances plus élevées seront discutées en particulier en travaillant le design des cellules III-V, la couche anti-reflet (ARC), l'épaisseur de la couche de collage ainsi que les performances de la sous-cellule Si.

- [1] A. Richter, M. Hermle, and S. W. Glunz, "Reassessment of the Limiting Efficiency for Crystalline Silicon Solar Cells," *IEEE J. Photovolt.*, vol. 3, no. 4, pp. 1184–1191, Oct. 2013.
- [2] F. Dimroth, M. Grave, P. Beutel, U. Fiedeler, C. Karcher, T. N. D. Tibbits, E. Oliva, G. Siefer, M. Schachtner, A. Wekkeli, A. W. Bett, R. Krause, M. Piccin, N. Blanc, C. Drazek, E. Guiot, B. Ghyselen, T. Salvétat, A. Tauzin, T. Signamarcheix, A. Dobrich, T. Hannappel, and K. Schwarzburg, "Wafer bonded four-junction GaInP/GaAs/GaInAsP/GaInAs concentrator solar cells with 44.7% efficiency: Wafer bonded four-junction concentrator solar cells with 44.7% efficiency," *Prog. Photovolt. Res. Appl.*, vol. 22, no. 3, pp. 277–282, Mar. 2014.
- [3] S. Essig, C. Allebé, T. Remo, J. F. Geisz, M. A. Steiner, K. Horowitz, L. Barraud, J. S. Ward, M. Schnabel, A. Descoedres, D. L. Young, M. Woodhouse, M. Despeisse, C. Ballif, and A. Tamboli, "Raising the one-sun conversion efficiency of III–V/Si solar cells to 32.8% for two junctions and 35.9% for three junctions," *Nat. Energy*, vol. 6, p. 17144, 2017.
- [4] L. Vauche, E. Veinberg-Vidal, C. Weick, C. Morales, V. Larrey, C. Lecouvey, M. Martin, J. D. Fonseca, C. Jany, T. Desrues, C. Brughera, P. Voarino, T. Salvétat, F. Fournel, M. Baudrit, and C. Dupré, "Wafer bonding approaches for III-V on Si multi-junction solar cells," in *Photovoltaic Specialist Conference (PVSC), 2017 IEEE 44th*, 2017.
- [5] R. Cariou, J. Benick, P. Beutel, N. Tucher, M. Graf, D. Lackner, M. Hermle, S. W. Glunz, A. W. Bett, and F. Dimroth, "Wafer Bonded III-V on Silicon Multi-Junction Cell Cell with Efficiency beyond 31%," in *IEEE Photovoltaic Specialists Conference*, 2017.
- [6] E. Veinberg-Vidal, C. Dupré, P. Garcia-Linares, C. Jany, R. Thibon, T. Card, T. Salvétat, P. Scheiblin, C. Brughera, F. Fournel, Y. Desieres, Y. Veschetti, V. Sanzone, P. Mur, J. Decobert, and A. Datas, "Manufacturing and Characterization of III-V on Silicon Multijunction Solar Cells," *Energy Procedia*, vol. 92, pp. 242–247, Aug. 2016.