# Jonctions tunnels à base d'hétérostructures à semiconducteurs III-V pour les cellules solaires multi-jonctions à haut rendement

K. Louarn[1,2,3], C. Fontaine[1,2], F. Olivié[1,2], G. Libaude[1,2], A. Arnoult[1,2], F. Piquemal[3], A. Delvallee[3], A. Bounouh[3], G.Almuneau[1,2]

[1] CNRS, LAAS, 7 avenue du colonel Roche, F-31400 Toulouse, France
[2] Univ de Toulouse, LAAS, F-31400 Toulouse, France
[3] LNE, Laboratoire National de métrologie et d'Essais, Paris-France

**Résumé**– Les cellules solaires à multi-jonctions sont fabriquées afin que chaque jonction PN absorbe une partie du spectre solaire, ce qui permet d'obtenir des rendements records jusqu'à 46% [1]. Ces cellules sont majoritairement basées sur des matériaux semiconducteurs III-V, afin de pouvoir combiner au sein d'une structure monolithique une large gamme d'alliages avec des énergies de bande interdite différents. Les sous-cellules sont électriquement connectées en série par des jonctions tunnels (ou diodes Esaki), ce qui permet aux porteurs de charges photo-générés d'être transférés par effet tunnel inter-bande d'une jonction à l'autre avec une très faible résistivité. Les propriétés électriques et optiques de ces jonctions tunnels jouent donc un rôle essentiel et l'optimisation rigoureuse de leurs propriétés permet d'obtenir les plus hauts rendements dans ce type de cellules solaires.

Les jonctions tunnels sont des jonctions P+/N+ constituées de semi-conducteurs dégénérés, ce qui permet à des états propres de la bande de valence du matériau dopé P d'être « alignés » avec des états propres de la bande de conduction du matériau N. Ainsi, de fortes densités de courant peuvent traverser la jonction tunnel à faible tension par effet tunnel bande à bande. La densité de courant « tunnel » maximale « $J_{pic}$ » que peut supporter la jonction tunnel est un indicateur des performances du composant. La présence de niveaux profonds dans la bande interdite de la jonction est susceptible d'assister l'effet tunnel et donc d'augmenter les performances des jonctions tunnels [2].

Des jonctions tunnels à base d'une homojonction GaAs ont été fabriquées par Epitaxie à Jets Moléculaires (MBE) au LAAS-CNRS. Un premier composant, pourtant relativement « faiblement dopé » ($4.10^{18}$ / $3.10^{19}$ $cm^{-3}$), a permis d'obtenir un courant pic de 2 mA/cm². Par des simulations électrique réalisées sous SILVACO, et prenant en compte seulement l'effet tunnel direct bande à bande, nous n'avons pas réussi à reproduire les caractéristiques J(V) mesurées L'étude en température dans la gamme 150K-390 K ainsi que l'allure de la courbe J(V) à plus haute tension semble indiquer que l'effet tunnel assisté par des niveaux profonds est prédominant dans cette structure. Des caractérisations par Deep Levels Transient Spectroscopy (DLTS) sont en cours et seront couplées aux simulations numériques et à des mesures métrologiques des composants (réalisées au LNE) afin de comprendre plus précisément l'influence des niveaux profonds dans les jonctions tunnels.

Ces jonctions tunnels à base de GaAs peuvent être optimisées par augmentation des niveaux de dopage et par incorporation de niveaux profonds dans les structures au cours de la croissance épitaxiale. En parallèle, des hétérojonctions tunnels dans le système GaAsSb/InGaAs sur GaAs doivent être prochainement réalisées et modélisées. Cette hétérostructure, grâce à un raccord de bandes décalées (Type II), favorise naturellement l'effet tunnel bande à bande [3]. Les simulations numériques prédictives sous Silvaco indiquent une augmentation des densités de courant tunnel de l'ordre $10^7$ par rapport aux jonctions tunnels à homojonction GaAs, et ce pour des mêmes niveaux de dopages

A terme, ces jonctions seront intégrées dans une cellule tandem accordée sur substrat GaAs avec une combinaison de gap optimale de 1.64 eV et 0.96 eV, la jonction de plus faible gap étant réalisée à base de nitrure dilué.

Ce projet est supporté financièrement par l'ANRT (Bourse CIFRE), et par le projet européen EURAMET-JRP ENG51 SolCell.

***REFERENCES***

[1] Press Release, Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems (December 2014) (https://www.ise.fraunhofer.de/en/press-and-media/press-releases/press-releases-2014/new-world-record-for-solar-cell-efficiency-at-46-percent)
[2] M. Baudrit et C. Algora, « Tunnel diode modeling, including nonlocal trap-assisted tunneling: a focus on III–V multijunction solar cell simulation », Electron Devices IEEE Trans. **57**, 2564 ( 2010)
[3] I. García, J. F. Geisz, R. M. France, J. Kang, S.-H. Wei, M. Ochoa and D. J. Friedman, « Metamorphic $Ga_{0.76}In_{0.24}As/GaAs_{0.75}Sb_{0.25}$ tunnel junctions grown on GaAs substrates », J. Appl. Phys. 116, 074508 (2014)

Contact: klouarn@laas.fr