

Simulation et fabrication des cellules solaires à base de InGaN nano-pyramides

Walid El-Huni¹, Y. Halfaya¹, S. Karrakchou^{1,3}, M. Arif¹, M.B. Jordan^{1,3}, R. Puybaret², T. Ayari^{1,3}, S. Sundaram¹, C. Bishop², S. Gautier², Bertrand Boussert^{1,3}, Paul L. Voss^{1,3}, Jean-Paul Salvestrini^{1,3}, and Abdallah Ougazzaden^{1,3}

¹ CNRS UMI 2958 Georgia Tech-CNRS, 57070 Metz, France

² Institut Lafayette, 3 rue Marconi, 57707 Metz, France

³ School of Electrical and Computer Engineering, Georgia Institute of Technology, Atlanta, USA

Email : jean-paul.salvestrini@georgiatech-metz.fr

Les alliages du système InGaN ont des propriétés intéressantes pour les applications photovoltaïques [1] grâce à une bande d'absorption couvrant la totalité du spectre solaire [2]. Cette propriété rend possible la fabrication de cellule solaire multi-jonction à base de ce même matériau. Cependant certains défis restent à relever en particulier en termes de croissance d'une couche InGaN relativement épaisse et de bonne qualité [3]. Une structure a été développée dans notre laboratoire grâce à la croissance nano-sélective par MOCVD [4] qui donne des résultats prometteurs. Les nano-structures à base InGaN ont une forme pyramidale homogène d'une hauteur de cent à deux cent nanomètres. Elles sont principalement exemptes de défauts matériels intrinsèques et présentent six facettes semi-polaires lisses. Nous rapportons ici les résultats une étude par simulation numérique de ces structures, ayant pour objectif d'identifier les avantages de cette structure par comparaison avec une structure planaire. Ces résultats sont confirmés par des résultats expérimentaux de la première cellule solaire InGaN par croissance nano-sélective.

Deux résultats intéressants ont été obtenus dans cette étude. Le premier est la réduction des charges de polarisation à l'interface p-GaN/i-InGaN des nano-pyramides InGaN. Par conséquent le niveau de dopage-p requis pour le fonctionnement de la cellule est fortement réduit. Ce résultat inattendu répond bien à la difficulté du dopage de type p dans le GaN. Le deuxième résultat marquant de cette étude de simulation est la meilleure absorption optique grâce aux réflexions par le masque SiO₂ utilisé pour la nano SAG. Une structure optimisée atteindrait une efficacité énergétique >8% (voir Figure 1) avec des niveaux de dopage p réaliste (5E17 cm⁻³) pour 30% indium. Les simulations ont utilisé Lumerical pour absorption et génération de porteurs et Silvaco pour le transport des porteurs.

L'expérience a été fait avec des cellules solaires 0.1 mm x 0.1 mm contenant des absorbeurs InGaN à nano-pyramides composé de 9% d'indium, diamètre=100 nm, et épaisseur effective de 46 nm (voir Figure 2). Un premier résultat pour les cellules InGaN à base de nano-pyramides sous illumination par lampe UV de 140 mW/cm² et un spectre de 350-420 nm montrent une densité de courant J_{SC}=12.7 mA/cm², et une tension V_{OC}=1.89 V. Ces résultats sont prometteurs.

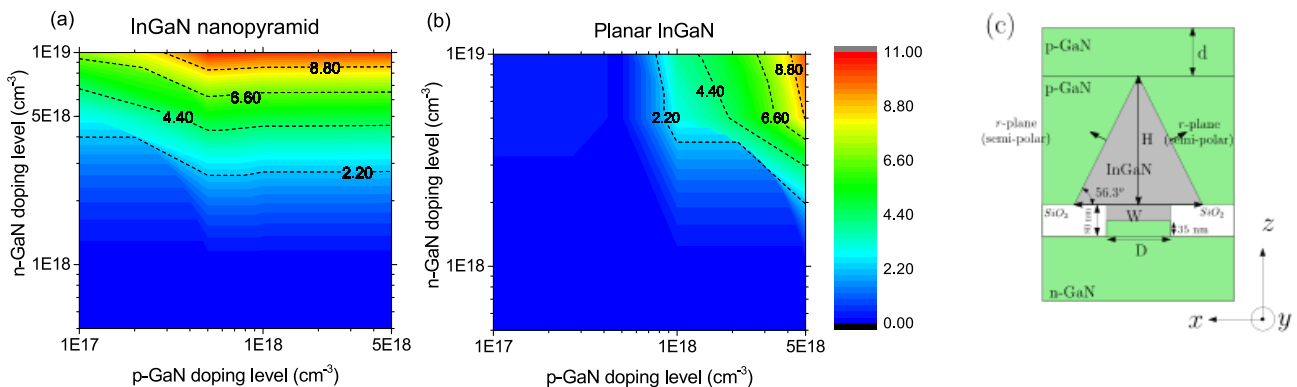


Figure 1 : (a) Efficacité énergétique en fonction de dopage p-GaN et n-GaN avec i-InGaN=1E17/cm³, (b) Efficacité énergétique pour une structure planaire avec absorption équivalent des nanopyramides, (c) structure étudiée.

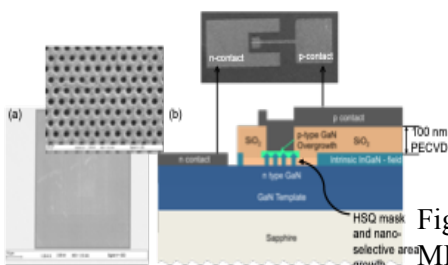


Figure 2 : (a) image MEB du masque SiO₂ avant croissance, et (b) image MEB de la cellule avec schéma.

[1] W. El-Huni et al., Prog. Photovoltaics Res. Appl., 24, 11(2016), 1436–1447.
 [2] J. Wu et al., J. Appl. Phys., vol. 94, no. 10, pp. 6477–6482, 2003.
 [3] K. Pantzas et al., J. Cryst. Growth, vol. 370, pp. 57–62, may 2013.
 [4] S. Sundaram et al., J. Appl. Phys., vol. 116, no. 16, p. 163105, 2014