

Effet de la couche fenetre sur les performances d'une cellule solaire à base de GaAs

M.Benaicha et A.Ounissi

Département de physique, Université Elhadj lakhdar, Batna

E-mail : M.Benaicha@gmail.com

Abstract- During the last years, III-V solar cells were widely used, more particularly in spatial applications, because of their high conversion efficiency and their weak degradation in front of space irradiations. This paper reports on a simulation of a GaAs solar cell using a PC1D. The properties of the top layer in a solar cell (thickness, doping,...) in particular, plays a crucial role in its performances, in order to optimise them we analysed their influence on the Photovoltaic parameters of the cell. To demonstrate the importance of the deposition of a window layer $Ga_{1-x}Al_xAs$ on the top of a GaAs solar cell we carried out a comparison of performances between a cell with a window and a conventional GaAs cell (without window). The optimized structure gives the following results: $\eta = 26.5\%$ and $FF = 86.05\%$. We also compare these cell performances with those of an optimised GaAs single junction solar cell to show the window layer improvement.

Key words: III-V semiconductors, GaAs, Solar cells, Heterojunction, Efficiency, Window layer.

I. INTRODUCTION

Durant ces dernières années, les cellules solaires à base des matériaux semi-conducteurs III-V ont été largement utilisées, plus particulièrement aux applications spatiales, et ce à cause de leur rendement élevé et leur faible dégradation face aux irradiations dans l'espace. Cependant, un problème important s'opposait au développement des piles solaires au GaAs, à savoir celui de la vitesse de recombinaison en surface. C'est la raison pour laquelle le rendement réalisé pour les premières cellules solaires était seulement de l'ordre de 10% [1,2]. Ce problème a été résolu partiellement grâce à la croissance d'une couche de $Ga_{1-x}Al_xAs$ sur la surface du GaAs [3]. Les deux matériaux ayant des paramètres cristallins voisins, peu de défauts et de centres de recombinaison peuvent exister à l'interface entre les deux semi-conducteurs [4].

La cellule solaire que l'on a étudiée est une cellule de type n-p à base de GaAs sur laquelle est déposée une couche fenetre $Ga_{0.3}Al_{0.7}As$ de type n. Entre le substrat et la cellule on a inséré une couche BSF (Back Surface Field) dopée P+, qui a pour rôle, la création d'un champ électrique retardeur en face arrière, qui permet d'abaisser la valeur effective de la vitesse

de recombinaison et par conséquent d'améliorer les caractéristiques électriques de la cellule. Un schéma de la structure est illustré dans la (figure 1). Le tableau I regroupe les paramètres physiques utilisés dans la simulation.

Notons que la structure à été étudiée sous spectre solaire AM 1.5, avec $P = 100 \text{ mW/cm}^2$, et à température ambiante $T = 300 \text{ K}$. En ce qui concerne la couche antireflet, on utilise généralement une double couche MgF_2/ZnS qui réduit la réflexion à moins de 2%.

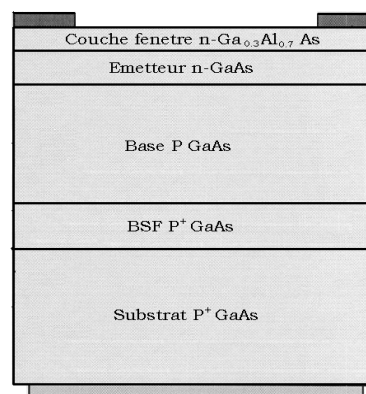


Fig. 1. Structure de la cellule à hétérojonction.

TABLEAU I.

PARAMETRES PHYSIQUE UTILISES DANS LA SIMULATION

Fenêtre $Ga_{0.3}Al_{0.7}As$	Emetteur	Base	Couche BSF
$X_F = 0.01 - 0.4 \mu\text{m}$	$X_E = 0.1 \mu\text{m}$	$X_B = 3 \mu\text{m}$	$X = 0.2 \mu\text{m}$
$N_D = 10^{17} - 10^{19} \text{ cm}^{-3}$	$N_D = 5 \cdot 10^{18} \text{ cm}^{-3}$	$N_A = 10^{17} \text{ cm}^{-3}$	$N_A = 4 \cdot 10^{18} \text{ cm}^{-3}$

II. RESULTAT DE LA SIMULATION

A. Effet de l'épaisseur de la couche fenêtre

Sur la (figure. 2) est représenté le rendement photovoltaïque de la cellule solaire en fonction de l'épaisseur de la couche fenêtre.

Le rendement photovoltaïque décroît en fonction de l'épaisseur de la couche fenêtre de 26,5% pour $x=0,01\mu\text{m}$ à 25.4% pour $x=0,1\mu\text{m}$. Pour le GaAs et à cause de la vitesse de recombinaison en surface élevée, qui est de l'ordre de 10^6 cm/s , l'épaisseur de la couche fenêtre doit être réduite à quelques centièmes de micron.

La composition $\text{Al}_{0.7}\text{Ga}_{0.3}\text{As}$ a une largeur de bande interdite approximativement de 1,817 eV donc seul les radiations du spectre solaire de longueurs d'onde inférieure ou égale à $\lambda=0,68\mu\text{m}$ sont absorbées.

Le taux de génération optique est donc faible dans toute l'épaisseur du composé ternaire particulièrement si cette dernière est très mince. Par contre, à l'interface, les radiations non absorbées rencontrent le GaAs, et celles dont les longueurs d'onde sont inférieure à $\lambda=0,86\mu\text{m}$ vont être absorbées dans la base. L'effet de l'épaisseur de la couche fenêtre sur la réponse spectrale est représenté sur la (figure 3). On remarque que pour des longueurs d'onde au-dessous de $0,66\mu\text{m}$, la réponse spectrale diminue sensiblement avec l'augmentation de l'épaisseur, ce phénomène peut être attribué à l'absorption de la lumière dans cette couche.

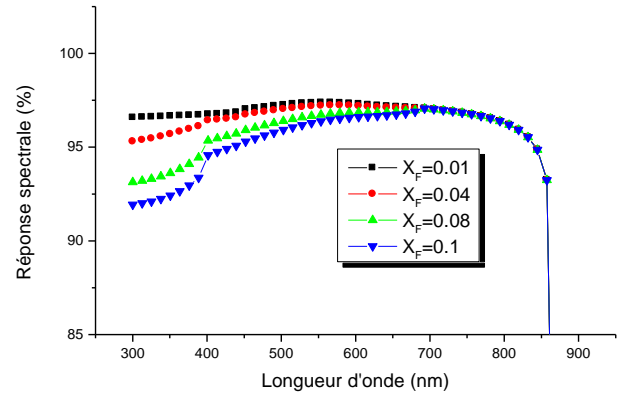


Fig. 3. Effet de l'épaisseur de la couche fenêtre sur la réponse spectrale

B. L'effet du dopage de la couche fenêtre

Sur la (figure. 4), on a représenté l'effet du dopage de la couche fenêtre sur le rendement photovoltaïque. Le rendement subit une légère augmentation pour un dopage entre 10^{17} et 10^{19} cm^{-3} , puis diminue légèrement lorsque $N \geq 10^{19}\text{ cm}^{-3}$. Ceci s'explique par le fait que l'augmentation du dopage de la couche fenêtre va diminuer la barrière de potentiel dans l'hétérojonction GaAlAs/GaAs, et augmenter la zone de charge d'espace dans la base d'où une amélioration de la collecte des porteurs photogénérés.

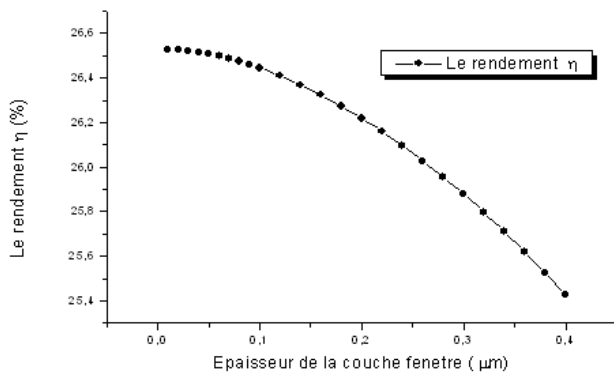


Fig. 2. Le rendement photovoltaïque en fonction de l'épaisseur de la fenêtre

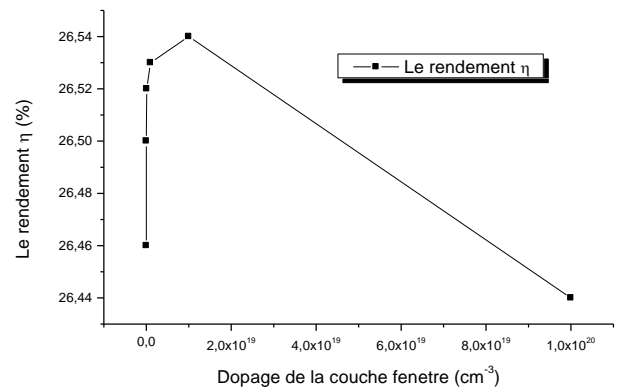


Fig. 4 Effet du dopage de la couche fenêtre sur le rendement photovoltaïque

C. Comparaison entre la cellule solaire à homojonction et celle à heterojonction

Afin de visualiser l'importance de la couche fenêtre Ga_{1-x}Al_xAs dans les cellules solaires au GaAs, on a fait une étude comparative entre ces deux cellules, avec et sans couche fenêtre. Sur la (figure. 5), est représentée la caractéristique I(V) pour ces deux cellules. On remarque que la cellule GaAs donne un courant de court-circuit plus important ainsi qu'un meilleur facteur de forme lorsque la couche fenêtre est présente.

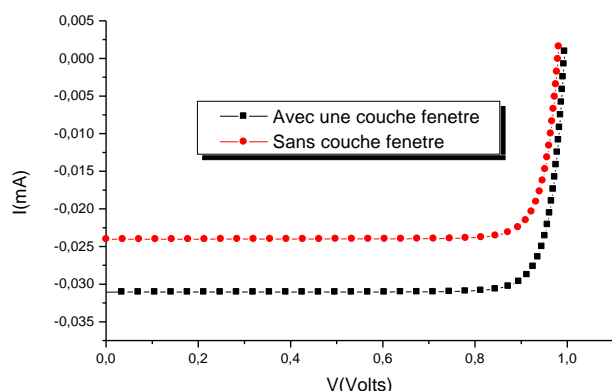


Fig. 5. Caractéristique I(V) des deux cellules : à homojonction et à hétérojonction

Les grandeurs photovoltaïques des deux cellules sont données dans le tableau comparatif II. D'après ce tableau, on remarque que les grandeurs photovoltaïques de la cellule solaire à hétérojonction sont nettement meilleures que celles à homojonction. L'amélioration est enregistrée surtout dans le courant de court-circuit et le rendement de conversion. Avec l'utilisation d'une couche fenêtre de type Ga_{0,3}Al_{0,7}As, on augmente le photo-courant de 24,01mA à 31mA et le rendement de 20.2% à 26.5%.

Tableau II. Grandeurs photovoltaïques des deux cellules

Grandeurs photovoltaïques	Cellule sans fenêtr	Cellule avec fenêtr
V _{co} (Volts)	0.9799	0.9934
I _{cc} (mA)	24.01	31
FF (%)	85.88	86.05
η (%)	20.2	26.5

Sur la (figure. 5), est représentée la réponse spectrale des deux cellules. On remarque l'importance de la couche fenêtre sur la réponse spectrale, elle est presque transparente pour la majeure partie du spectre solaire. La réponse spectrale de la cellule solaire à l'hétérojonction Ga_{0,3}Al_{0,7}As/GaAs est considérablement élevée par rapport à celle de l'homojonction GaAs/GaAs. En outre, la perte des photo-porteurs par la recombinaison en surface dans le cas de la cellule à homojonction, conduit à une diminution de la réponse spectrale quand l'énergie des photons augmente à cause du coefficient d'absorption du GaAs très élevé. Les rendements élevés des cellules solaires à hétérojonction comparées aux cellules à homojonction à base du GaAs, sont généralement attribués aux réductions de la résistance série et de la vitesse de recombinaison en surface [4]. Du fait que les paramètres des deux matériaux sont très proches l'interface Ga_{1-x}Al_xAs/GaAs doit présenter peu de défauts correspondant à une vitesse de recombinaison de l'ordre de 10⁴ cm/s [5].

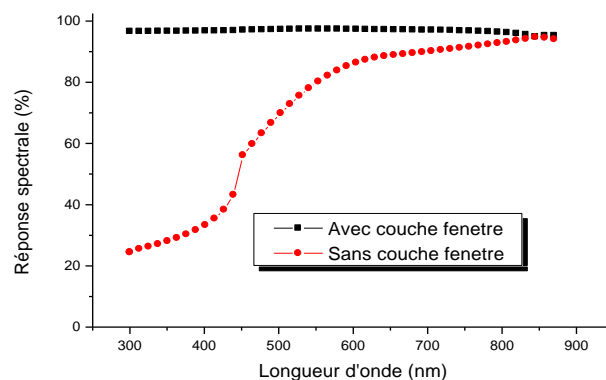


Fig. 5. La réponse spectrale des deux cellules à homojonction et à hétérojonction

III. CONCLUSION

On a étudié dans ce travail l'effet de la couche fenêtre du type Ga_{1-x}Al_xAs (x=0.7) sur les performances de la cellule à base de GaAs. On a trouvé que la meilleure structure doit avoir une couche fenêtre mince, et un dopage de l'ordre de 10¹⁹ cm⁻³. Les cellules solaires à base d'hétérojonction, en particulier le Ga_{1-x}Al_xAs/GaAs, donnent des rendements et des réponses

spectrales meilleures que celle à homojonction. Cela est attribué à la réduction de la vitesse de recombinaison en surface.

REFERENCES

- [1] S. C. Tsaur et al., "Theoretical and experimental results for GaAs solar cells" , in proceedings of the fourth international symposium on GaAs and related compounds, conference series N°17, the institute of physics, London, (1972), pp. 156.
- [2] C.Hardingham and S. P. Wood,,"High efficiency GaAs solar arrays in space", GEC review., Vol.13, N°3 (1998), pp.163-171.
- [3] J. J. Liou and W. W. Wong, "Comparison and optimization of the performance of Si and GaAs solar cells", Solar Energy Mater. Solar Cells, 28 (1992), pp. 9-28.
- [4] J. M. Woodall and H. J. Hovel, "High efficiency $Ga_{1-x}Al_xAs$ -GaAs solar cells", Appl.Phys. Lett., Vol. 21, N°8 (1972), pp.379-381.
- [5] A. Laugier et J. A. Roger, "Les photopiles Solaires- Du matériau au dispositif, du dispositif au applications", Tech et Doc, Paris (1981).