

MODELISATION D'UNE CELLULE SOLAIRE TANTEM GaInP/GaAs A HAUT RENDEMENT

M. Abderrazak^a, I. Bouchama, F. Djahli et A. GHELLAB^b

^aDépartement d'Electronique, Faculté des sciences de l'ingénieur ;
Université Ferhat Abbas – SETIF, ALGERIE

^bUniversité de Jijel 1800, Algérie

^a Email: mahfoud_cbi@yahoo.fr

RESUME

Les dispositifs photovoltaïques à rendement élevé, sont basés sur la technologie des semi-conducteurs GaAs et III-V. Ils utilisent la conversion multispectrale pour obtenir des rendements énergétiques élevés. Dans ce travail, nous utilisons le système tandem composé d'une cellule inférieure, d'une cellule supérieure et d'une couche fenêtre. Le système pouvant être réalisé sous forme de pile monolithique, l'étude des cellules solaires est faite sous le spectre global AM1.5G, en utilisant le simulateur PC1D. Les résultats de simulation (caractéristiques de sortie I-V et P-V, réponse spectrale longueur d'onde) sont basés sur l'étude de l'influence des paramètres physiques et technologiques et des différentes couches.

MOTS CLES : Cellule solaire, Tandem, GaInP, GaAs, Conversion multispectrale, Réponse spectrale.

1. INTRODUCTION

Le matériau $Ga_x In_{1-x} P$ est un nouveau matériau ternaire, conçu à base de matériaux III/V, le GaP et InP. Ils ont un gap direct si la fraction molaire du Gallium est inférieure à 0.74 et un gap indirect sinon. Le maximum du gap étant de 2.26 eV à $T = 300K$. La qualité de l'interface GaInP/GaAs est d'une grande importance pour $x = 0.5$ [1,2], car elle donne un accord de maille inférieur à 1%, et un gap direct de 1.88eV, qui appartient à l'intervalle choisi pour les cellules supérieures du tandem [1.75ev, 1.9ev] [3]. C'est pour cette raison qu'on a choisi de travailler avec $Ga_{0.5}In_{0.5}P$.

L'augmentation du rendement du cellule plus de 25%, exige l'utilisation des semi-conducteur III-V qui malgré son coût de fabrication élevé, ils sont une très bonne réponse dans l'ultraviolet, une bande interdit ajustable Permettre d'absorber 97% du spectre solaire a un profondeur de $2\mu m$ [3] dans le cas de gap direct, et en fin une réduction dans la masse du panneaux solaire qui donnera l'avantage a ces semi-conducteurs dans les applications spatiales, Parmi ces semi-conducteur nous pouvons cites : Al GaAs, GaInP, AlInP, GaInAs.

La conversion multispectrale est le concept permet l'obtention de rendement énergétique élevés, par l'utilisation de plusieurs cellules chacune d'elles n'étant sensible que dans une bande spectrale, l'ensemble couvrant une plus large du spectre solaire.

2. MODELE

Le comportement d'une cellule solaire est essentiellement examiné à travers les cinq paramètres suivants : I_{CC} , V_{CO} , FF, η , et la conversion spectrale.

Ou I_{CC} : le courant en court-circuit, Pour une tension de sortie nulle

V_{CO} : la tension du circuit ouvert, qui représente le cas extrême où la résistance de charge est très élevée et Le courant prend alors une valeur négligeable.

FF: Le facteur de forme (ou de courbe), détermine les pertes de la cellule solaire. Ce facteur permet d'optimiser les performances de la cellule [3,4].

$$FF = \frac{V_m \cdot I_m}{I_{cc} \cdot V_{co}} \quad (1)$$

η : Le rendement de conversion, qui représente une caractéristique électrique très importante. Il est défini comme étant le rapport entre la puissance électrique maximale fournie par le composant photovoltaïque et la puissance qu'il reçoit.

$$\eta = P_{out}(\max) / P_{in} \quad (2)$$

$$P_{out}(\max) = V_m \cdot I_m = FF \cdot V_{co} \cdot I_{cc} \quad (3)$$

Où P_{in} est la puissance incidente reçue, définie par :

$$P_{in} = A_t \int_0^{\infty} F(\lambda)(hc/\lambda)d\lambda \quad (4)$$

A_t étant la surface totale, $F(\lambda)$ le nombre de photons incidents par centimètre carré, par seconde, par bande passante $d\lambda$, pour chaque longueur d'onde λ et (hc/λ) , l'énergie apportée par chaque photon.

La réponse spectrale: qui est le rapport entre la densité du courant collecté et la densité des photons incidents, dépend beaucoup plus des propriétés optiques des matériaux que de la distribution spectrale de la lumière reçue :

$$SS_{ext}(\lambda) = \frac{J_E(\lambda)}{F(\lambda) \cdot h\nu} \quad (5)$$

3. RESULTAS ET DISCUSSION

Nous rappelons que l'épaisseur de l'émetteur doit être faible pour une bonne collecte des porteurs et que le dopage de cette région ne doit pas dépasser $5 \cdot 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ [5], pour minimiser le courant d'obscurité. Le dopage de la base doit être supérieur à 10^{16} cm^{-3} , afin de réduire les pertes résistives dues à la base, en gardant les valeurs des paramètres de la base, constantes.

Le système à étudier est un tandem monolithique, composé d'une cellule supérieure $\text{Ga}_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$ et d'une cellule inférieure GaAs, connectées optiquement par une diode tunnel fortement dopée (GaAs, P^+N^+). La surface avant est une surface texturisée (formant des pyramides avec un angle optimal de 54.74°) [6], recouverte de deux couches antireflet MgF_2 et ZnS, d'indices de réfraction respectifs de 2.3 et 1.38 [3], pour diminuer les pertes par réflexion. Les contacts sont généralement en or, d'épaisseur $3 \mu\text{m}$ et de résistivité $10^{-4} \Omega/\text{m}$. Les couches de contacts sont en GaAs fortement dopé ($\text{N}^+ = 6 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$), d'épaisseur comprise entre $0.3 \mu\text{m}$ et $0.5 \mu\text{m}$ [7].

Pour connaître les performances du tandem, nous avons, en premier lieu, étudié séparément les deux cellules. Ensuite, nous avons assemblé ces deux cellules par une jonction tunnel, pour étudier les performances de sortie du tandem.

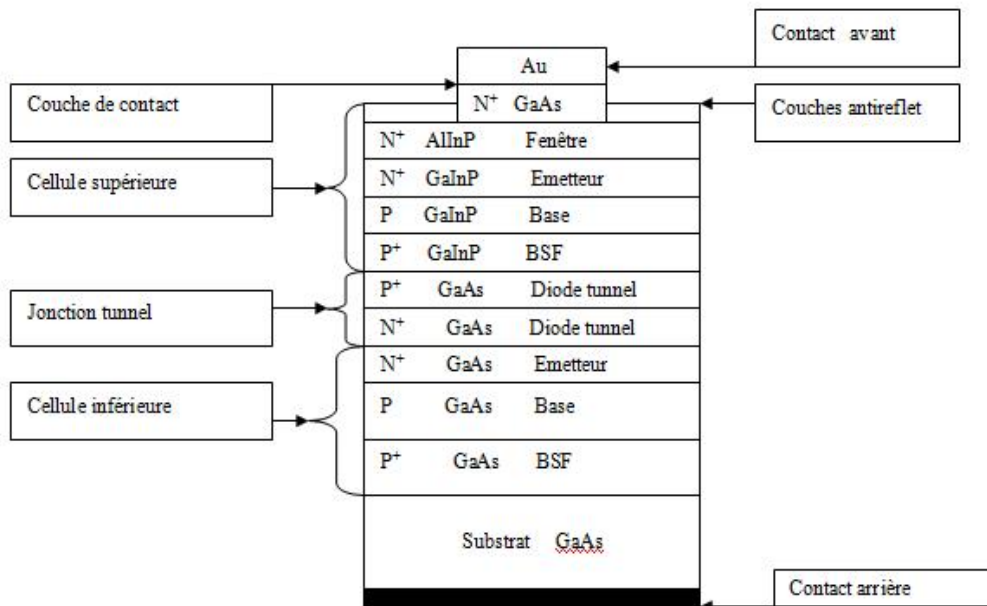


Figure 1. Schéma de base de la cellule solaire à tandem monolithique GaInP/GaAs.

3.1 La cellule GaInP

La structure à étudier, est constituée d'une couche émettrice de type N, fortement dopée, d'une base de type P et d'une couche BSF de type P, fortement dopée. L'interface entre la couche fenêtre (AlInP, de gap 1.9 eV) et l'émetteur (GaInP) est de bonne qualité, ce qui permet de diminuer la vitesse de recombinaison en surface avant ($S_{\text{fant}}=5800 \text{ cm/s}$ [2]).

Afin d'optimiser les performance de notre cellule, nous avons calculé les paramètres technologique (dopage et épaisseur) pour chaque de ses régions, ces derniers assurer les meilleurs caractéristiques de sortie, pour cela, nous avons fait varier l'épaisseur et le dopage de ces régions et nous avons choisi les paramètres qui donnent les meilleurs résultats

Notons que le choix des paramètres optimaux de chaque région de la cellule a été effectué de façon à réaliser les meilleurs compromis entre le rendement de conversion η et le facteur de forme FF.

Nous avons pris ces deux caractéristiques comme critères de choix des paramètres.

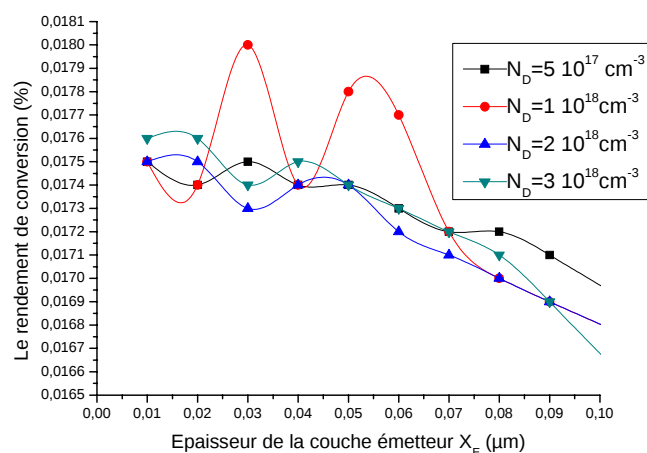


Figure 2. Influence des paramètres de l'émetteur sur le rendement de conversion de la cellule GaInP.

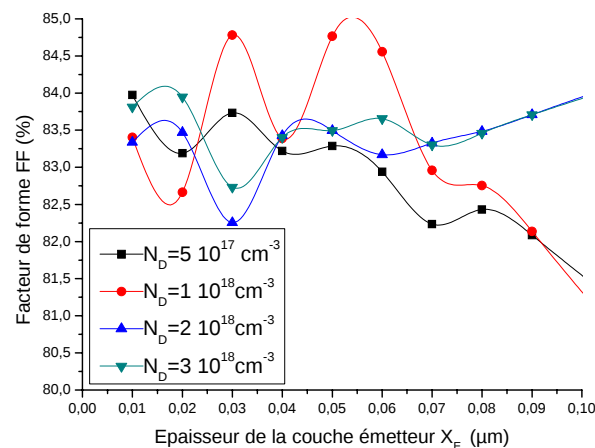


Figure 3. Influence des paramètres de l'émetteur sur le facteur de forme de la cellule GaInP.

Le tableau 1 résume les paramètres des différentes couches de la cellule étudiée, ainsi que les caractéristiques de sortie correspondantes (d'après les résultats de la simulation).

Tableau 1. Paramètres de la cellule GaInP étudiée

BASE		EMETTEUR		BSF		I_{SC}	V_{OC}	η	FF
N_A (cm^{-3})	X_B (μm)	N_D (cm^{-3})	X_E (μm)	N_A (cm^{-3})	X_{BSF} (μm)	(A)	(V)	(%)	(%)
$1,5 \times 10^{17}$	0,7	$1,0 \times 10^{18}$	0,03	2×10^{18}	0,5	0,0167	1,278	18,1	84,80

3.2 La cellule GaAs

En fait le même travail comme avec la première cellule, en fait varier l'épaisseur et le dopage de ces régions et nous avons choisi les paramètres qui donnent les meilleurs résultats, après l'étude des effets des différents paramètres sur la cellule solaire GaAs,

Les caractéristiques $I(V)$ et $P(V)$, de la cellule solaire GaAs, sont représentées sur la figure (3), où les paramètres de la cellule GaAs à couche BSF sont : $N_A = 1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ et $x_B = 3,75 \mu\text{m}$ pour la base, $N_D = 2 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ et $x_E = 0,05 \mu\text{m}$ pour la couche émetteur et $N_A = 2 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ et $x_{BSF} = 0,5 \mu\text{m}$, pour la couche BSF.

Les caractéristiques de sortie sont : $I_{SC} = 0,0295 \text{ A}$, $V_{OC} = 1,008 \text{ V}$, $\eta = 25,8\%$ et $FF = 86,76\%$.

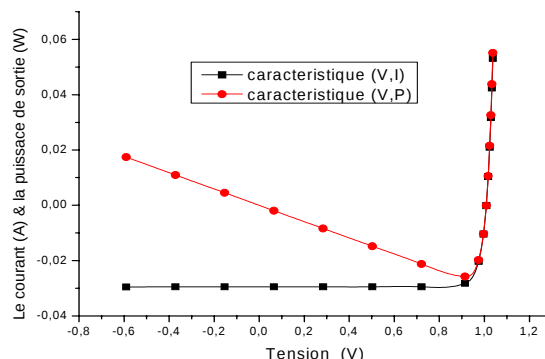


Figure 4. Caractéristiques $I(V)$ et $P(V)$ de la cellule GaAs.

4. Le TANDEM

Après l'étude de la cellule supérieure $\text{Ga}_{0,5}\text{In}_{0,5}\text{P}$ et la cellule inférieure GaAs, nous étudions le tandem $\text{Ga}_{0,5}\text{In}_{0,5}\text{p}/\text{GaAs}$, empilés en cascade, à l'aide d'une jonction tunnel GaAs (p^+)/ GaAs (n^+).

Le schéma de base de structures est donné par la figure (1) La diode tunnel doit relier les deux cellules tout en restant optiquement inactive (transparente). Elle a, essentiellement, pour rôle d'assurer le passage du courant entre les deux cellules avec une perte électrique minimale.

Tableau 2. Caractéristiques électriques des différentes cellules.

	GaAs	Ga _{0.5} In _{0.5} P
I _{SC} (A)	0.0295	0.0167
V _{OS} (v)	1.008	1.278
η (%)	25.8	18.1
FF (%)	86.76	84.80

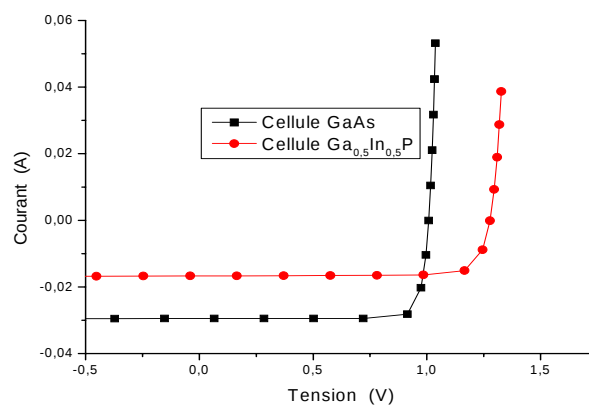


Figure 5. Caractéristiques I (V) des différentes cellules dans les conditions AM1.5G.

Le courant de court circuit et la tension de circuit ouvert du tandem sont donnés par [1] :

$$I_{SC-TANDEM} = I_{SC- TOP} \text{ (SI } I_{SC- TOP} < I_{SC- BOT} \text{)} \quad (6)$$

$$I_{SC-TANDEM} = I_{SC- BOT} \text{ (SI } I_{SC- TOP} > I_{SC- BOT} \text{)} \quad (7)$$

Où $I_{SC- TOP}$ et $I_{SC- BOT}$ sont le courant de court circuit de la cellule supérieure et de la cellule inférieure respectivement. La tension de circuit ouvert est donnée par :

$$V_{OC} = V_{OCT} + V_{OCB} \quad (8)$$

Où V_{OCT} et V_{OCB} sont, respectivement, les tensions de circuit ouvert de la cellule supérieure et inférieure, en obtient $I_{SC-TANDEM}$ (A) = 0.0167 A et $V_{OC-TANDEM}$ = 2.286 V

La caractéristique de la réponse spectrale du tandem Ga_{0.5}In_{0.5}P/GaAs est représentée à la figure (6).

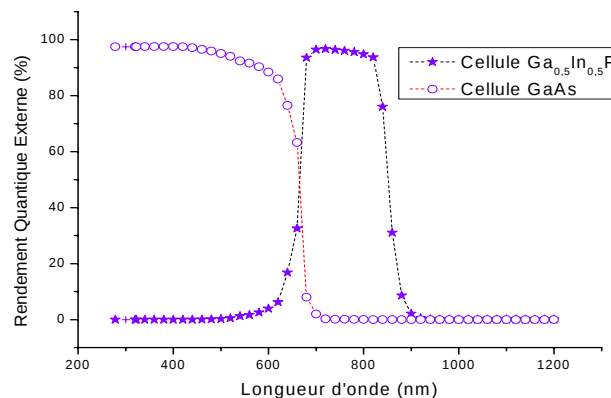


Figure 6. Rendement quantique du tandem Ga_{0.5}In_{0.5}P/GaAs.

5. CONCLUSION

Nous avons conclu que les performances d'une cellule solaire dépendent des paramètres technologiques, géométriques et physiques tels que le dopage et les dimensions des différentes régions et les dimensions de la couche BSF et la couche fenêtre.

L'utilisation du système tandem conduit à une meilleure exploitation du spectre solaire en élargissant la gamme utile de ce spectre, en effet, la cellule inférieure exploite la partie du spectre à laquelle la cellule supérieure est transparente.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. Richard J.Schwartz and Jeffery L.Gray, 1997,"A Numerical model based analysis of the design and operation of GaInP/GaAs Tandem monolithic solar cell", IEEE, 26thPVSC, Sept 30-oct.3.pp 871-874.
2. T.Takamoto, E.Ikeda, H.Kurita and M.Ohmori, 1994,"High Efficiency InGaP Solar Cells for InGaP/GaAs Tandem Cell Application", First WCPEC; Dec 5-9; IEEE Trans.Electron., vol.ED-94, n°4, pp 1729-1732.
3. H.J Hovel," solar cells, in semiconductors and semimetals", 1975, R.Kwillardson and A. C.Beer (Eds), vol.11, Academic press, New York.
4. M.Orgeret, "Les piles solaires, le composant et ses applications", 1985, Edition Masson.
5. G.Willeke,"Modellierung von III-V Solarzellen", 2003,Thèse de doctorat, univ Fraunhofer.
6. Pc1d Version 5.0, Computer Programme and manual, 1997, Photovoltaics special research centre, University of New South Wales.
7. J.M.Gee & C.J.Chiang, 1990,"The Potential Performance of GaAs Based Mechanically Stacked, Multijunction Solar Concentrator cells", IEEE Trans.Electron., vol.ED-90,n°41,pp. 41-46.