

Optimisation du Rendement de Conversion Photovoltaïque des Cellules Solaires à base de GaAs et de Si

T. Baghdadli, A. Zerga et B. Benyoucef

Laboratoire de Physique Energétique et Matériaux, Institut de Physique, Université Abou-Bekr Belkaid, B.P. 119, 13000 Tlemcen, Algérie

Résumé - Nous avons proposé un modèle analytique pour le fonctionnement des cellules solaires de type n/p sous des conditions d'éclairement AM1.5 et détaillé les expressions des grandeurs photovoltaïques nous permettant d'obtenir les performances optimales des cellules solaires basées sur le modèle proposé. Nous avons procédé après cela à une étude comparative des deux matériaux photovoltaïques qui sont l'arsenic de gallium et le silicium. Ce qui nous a permis de définir le matériau photovoltaïque le plus performant. Nous avons à cette fin utilisé une méthode d'optimisation de recherche globale adéquate pour la recherche du rendement optimal en fonction des paramètres de structure (dopants et épaisseurs) des cellules solaires. Cette méthode d'optimisation dite 'méthode complexe' nous a permis d'obtenir un rendement de 26,15 % pour une cellule solaire à base de GaAs et de 18,15 % pour une cellule solaire à base de Si.

Abstract - We have proposed a theoretical model describing the behaviour of n/p type solar cells under one AM1.5 global normal sun condition and we give the expression of the photovoltaic equations which allow us to obtain the optimal efficiency of solar cells based on the model suggested. Later, we make a comparative study of the two photovoltaic materials which are silicon and gallium arsenide, this allows us to define the most efficiency photovoltaic material. To achieve this aim we use a global search optimisation method which is appropriate to obtains the optimal efficiency versus of the structure parameters (thickness and doping concentration) of several regions of the solar cell, this method of optimisation called 'complex method', allow us to obtain an efficiency of 26.15 %, 18.15 % for GaAs and Si solar cells respectively.

Mots clés: Cellule solaire - Performances - Si - GaAs

1. INTRODUCTION

Aux cours de ces dernières années, des améliorations considérables concernant les performances des cellules solaires ont permis d'aboutir à des rendements de conversion photovoltaïque respectivement de 24.8 % et de 23 % pour des cellules solaires à base d'arsenic de gallium et de silicium, sous la condition d'éclairement d'un soleil [1, 2].

Le rendement élevé des cellules solaires à base d'arsenic de gallium s'obtient par l'utilisation de la fenêtre AlGaAs pour la réduction de la vitesse de recombinaison en surface ainsi que par l'amélioration de la qualité du GaAs par les techniques MBF et MOCVD [3]. La plupart des perfectionnements concernant les cellules solaires à base de silicium a pour origine l'amélioration de leurs structures (Ex: surfaces texturisées pour le piégeage de la lumière) et une passivation de surface (Ex: interfaces SiO₂/Si pour réduire la vitesse de recombinaison en surface).

On donnera une comparaison et une optimisation du rendement des cellules solaires à base d'arsenic de gallium et à base de silicium en utilisant les équations gouvernant les cellules solaires qui peuvent être trouvées dans [4, 5].

2. MODELE THEORIQUE

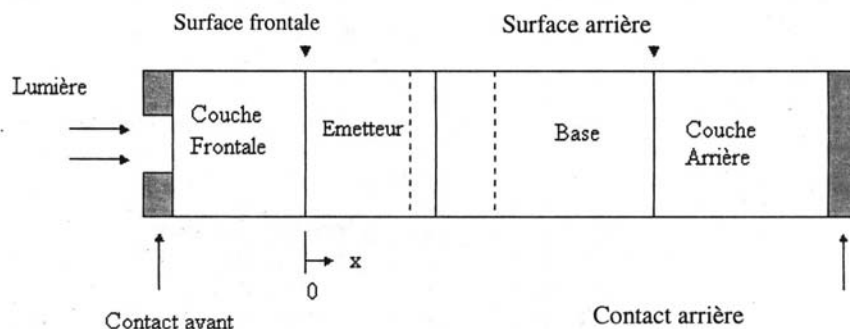


Fig. 1: Structure généralisée d'une cellule solaire

2.1 Densité de courant de court-circuit

Fondamentalement les relations régissant le fonctionnement d'une cellule solaire au silicium sont valables pour l'arsenic de gallium. La densité du photocourant monochromatique est donnée par [4] :

$$J_{ph}(\lambda) = J_{p,ph}(X_1) + J_{n,ph}(X_2) + J_{scr,ph}(W) \quad (1)$$

$J_{p,ph}$: la densité de photocourant de l'émetteur

$J_{n,ph}$: la densité de photocourant de la base

$J_{scr,ph}$: la densité de photocourant de la zone de charge d'espace

W : l'épaisseur de la zone de charge d'espace.

Les équations des densités des photocourants données auparavant pour une longueur d'onde (λ) spécifique sont approximativement valables dans une bande de largeur étroite ($\approx 100 \text{ \AA}$). La densité du photocourant total peut être calculée en additionnant les densités du photocourant par la fraction de 100 \AA [6].

$$J_{ph} = \sum_{i=1}^n J_{ph}(\lambda_i) \quad , \quad \lambda_i = 0.24 + 0.01(i-1) \quad (2)$$

GaAs : $n = 65$ et Si : $n = 85$. Il faut mentionner que la densité de photocourant total représente la densité de courant de court-circuit J_{sc} .

2.2 Tension en circuit-ouvert

La densité de courant d'obscurité est donnée par [7, 8] :

$$J_d = J_{p,d}(X_1) + J_{n,d}(W_B) + J_{scr,d} \quad (3)$$

$J_{p,d}$: la densité de courant d'obscurité de l'émetteur

$J_{n,d}$: la densité de courant d'obscurité de la base

$J_{scr,d}$: la densité de courant d'obscurité de la zone de charge d'espace

W_B : l'épaisseur de la zone quasi neutre de la base.

La tension en circuit ouvert est calculée en utilisant la caractéristique :

$$J = J_{sc} - J_d(V) = 0 \quad (4)$$

$$V = V_{oc} \quad (5)$$

2.3 Facteur de forme et rendement de conversion photovoltaïque

$$P = J \cdot V = (J_{sc} - J_d) \cdot V \quad (6)$$

$$P_m = J_m \cdot V_m = J_{sc} [V_{oc} - V_T (1 + \ln(1 + V_m / V_T))] \quad (7)$$

$$V_m = V_{oc} - V_T \cdot \ln(1 + V_m / V_T) \quad (8)$$

$$FF = \frac{J_m \cdot V_m}{J_{sc} \cdot V_{oc}} \quad (9)$$

$$\eta = \frac{P_m}{P_{in}} \quad (10)$$

P : puissance de sortie, P_m : puissance maximale, V_m : tension maximale, J_m : densité de courant maximale, V_T : Potentiel thermique, FF : facteur de forme, η : rendement de conversion photovoltaïque, P_{in} : $100 \text{ mW/cm}^2 =$ puissance incidente sous la condition AM1.5.

3. TECHNIQUE D'OPTIMISATION

En optimisant, le problème principal se pose sous la forme suivante :

$$F(X_1, X_2, \dots, X_N)_{(\text{rendement photovoltaïque})}$$

Optimiser la fonction :

$$G_k(X_1, X_2, \dots, X_N) \leq 0 \quad (\text{plage de variation}) \text{ et sujette aux contraintes.}$$

$$k = 1, 2, \dots, N$$

Tableau 1: Plage de variation des paramètres de structure

Variable	Domaine de variation
$X_1 = N_A (\text{cm}^{-3})$	$[10^{15}, 5 \cdot 10^{17}]$
$X_2 = N_D (\text{cm}^{-3})$	$[10^1, 10^{19}]$
$X_3 = X_J (\mu\text{m})$	$[0.2, 2.4]$
$X_4 = X_{BJ} (\mu\text{m})$	$[10, 250]$

3.1 Algorithme (Méthode Complexe [9])

$$X_k = C + \zeta (C - X_j) \quad \text{où} \quad C = \frac{1}{2N-1} \sum_{i \neq j} X_i \quad (11)$$

$$F(X_k) \geq F(X_i) \quad \text{pour} \quad i = 1, 2, \dots, 2N \quad (12)$$

$$X_e = C + \beta \cdot (X_k - C) \quad (13)$$

Le premier critère est :

$$F(\text{best}) - F(\text{worst}) \leq \varepsilon_f (1 + |F(\text{best})|) \quad (14)$$

Le deuxième critère est :

$$\sum_{i=1}^{2N} \left(F_i \frac{\sum_{j=1}^{2N} F_j}{2N} \right)^2 \leq \varepsilon_f \quad (15)$$

4. RESULTATS ET DISCUSSIONS

4.1 Densité de courant de court circuit

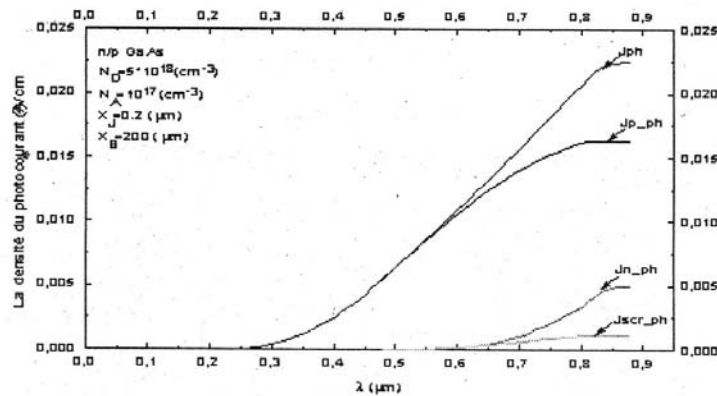


Fig. 2: Variation des différentes densités de photocourant en fonction de la longueur d'onde pour une cellule à base de GaAs

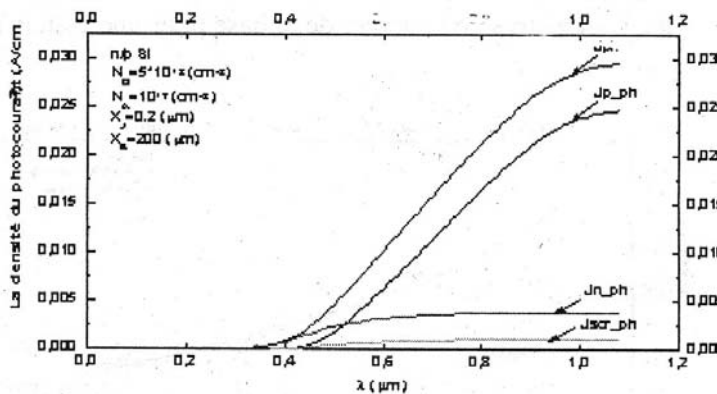


Fig. 3: Variation des différentes densités de photocourant en fonction de la longueur d'onde pour une cellule à base de Si

4.2 Rendement de conversion

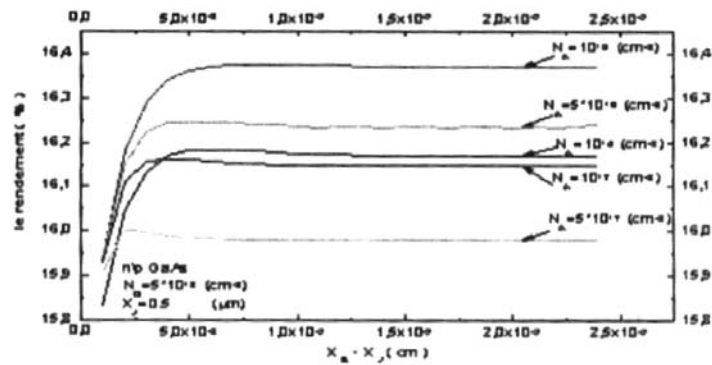


Fig. 4: Variation du rendement de conversion photovoltaïque en fonction des paramètres de structure de la base pour une cellule à base de GaAs

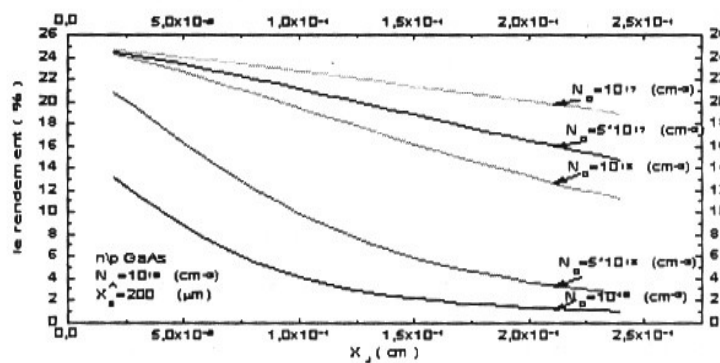


Fig. 5: Variation du rendement de conversion photovoltaïque en fonction des paramètres de l'émetteur pour une cellule à base de GaAs

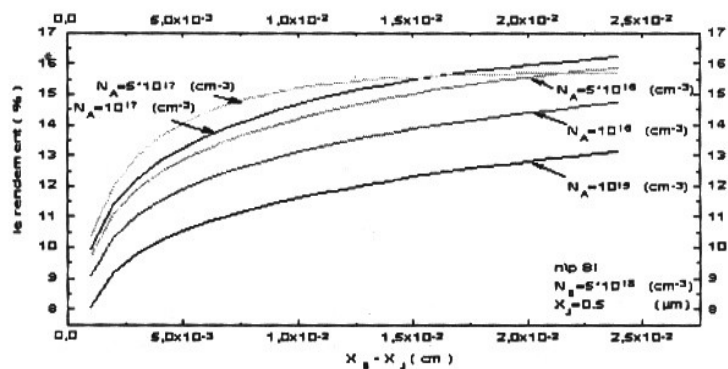


Fig. 6: Variation du rendement de conversion photovoltaïque en fonction des paramètres de la base pour une cellule à base de Si

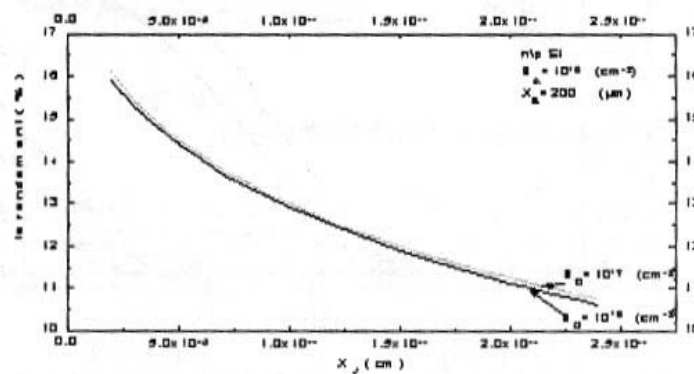


Fig. 7: Variation du rendement de conversion photovoltaïque en fonction des paramètres de l'émetteur pour une cellule à base de Si

4.3 Résultats de l'optimisation

Tableau 2: Résultats de notre optimisation comparés à ceux de Liou et al. [10]

	GaAs	GaAs (Liou et al.)	Si	Si (Liou et al.)
N_A (cm ⁻³)	$2.5 \cdot 10^{17}$	$5 \cdot 10^{17}$	$1.6 \cdot 10^{17}$	$1 \cdot 10^{17}$
N_D (cm ⁻³)	$1 \cdot 10^{18}$	$5 \cdot 10^{18}$	$1 \cdot 10^{18}$	$5 \cdot 10^{18}$
X_J (μm)	0.2	0.2	0.2	0.2
X_{BJ} (μm)	19.5	4.8	250	-200
J_{sc} (mA/cm)	29.92	-	32.62	-
V_{oc} (V)	0.992	-	0.663	-
FF (%)	88.07	-	83.8	-
η (%)	26.15	26.00	18.15	18.75

5. CONCLUSION

Les résultats obtenus sont en bon accord avec ceux de Liou et al. Les cellules solaires à base de GaAs donnent une densité de courant de court-circuit petite, une tension en circuit ouvert plus grande et un meilleur rendement que les cellules solaires à base de Si.

REFERENCES

- [1] D.B. Hasti, D.L. King and J.D. McBrayer, 'Crystalline Photovoltaic Research, Status and Future Direction', IEEE Photovoltaic Specialists Conf., p. 217, 1990.
- [2] S.P. Tobin et al., IEEE Trans. Electron. Dev. ED-37, p. 469, 1990.
- [3] E. Yablonovitch, R. Bhat, J.P. Habison and R.A. Logan, Appl. Phys. Lett 50, p. 1197, 1987.
- [4] H.J. Hovel, in: 'Semiconductors and Semimetals', Solar Cells, Vol. 1, 1975.
- [5] S.J. Fonash, Solar Cells Device Physics, 1981.
- [6] R. Houlstrom, R. Bird and C. Riordan, Solar Cells, 15, p. 365, 1985.
- [7] M.P. Godlowski, C.R. Baraona and H.W. Brandhorst Jr, 'Low-high Junction Theory Applied to Solar Cells', Proc. 10th Photovoltaic Specialist Conference, New York, 1973.
- [8] J.J. Liou, 'Physical Models for Predicting the Performances of Si/Si, AlGaAs/GaAs and Si/SiGe Solar Cells', Solar Energy Materials and Solar Cells, 29, pp. 261-276, 1993.
- [9] M.J. Box in : 'A New Method of Constrained Optimization and Comparison with Other Method', Computer J., 8, pp. 42-52, 1965.
- [10] J.J. Liou, W. Wong, 'Comparison and Optimization of the Performance of Si and GaAs Solar Cells', Solar Energy Materials and Solar Cells, 28, pp. 9-28, 1992.