

**NUMERICAL SIMULATION AND OPTIMIZATION OF PERFORMANCES
OF A SOLAR CELL BASED ON CdTe**

A.M. Ferouani*, M.R Merad Boudia, K. Rahmoun

Université Aboubekr Belkaid de Tlemcen, Faculté des sciences, Département de physique, Unité de Recherche sur les Matériaux Energies Renouvelables, B.P 119, 13000 Tlemcen Algérie

Received: 07 February 2011 / Accepted: 05 June 2010 / Published online: 30 June 2011

ABSTRACT

This article has as an aim the study and the simulation of the photovoltaic cells containing CdTe materials, contributing to the development of renewable energies, and able to feed from the houses, the shelters as well as photovoltaic stations... etc. CdTe is a semiconductor having a structure of bands with an indirect gap of a value of 1,5 eV at ambient temperature what means that photon wavelength of approximately 1200 nm will be able to generate an electron-hole pair. One speaks about photogeneration.

We will lay the stress, initially, on the essential design features of a photovoltaic module (the open-circuit tension, the short-circuit current, the fill factor, and the output of the cell), our results was simulated with the SCAPS computer code in one dimension which uses electrical characteristics DC and AC of the thin layers heterojunctions. The results obtained after optimization are: $V_{CO} = 0.632V$, $J_{sc} = 39.1 \text{ mA/cm}^2$, $FF=82.98 \%$ and the output energy of conversion is 18.26%. Optimization is made according to the temperature and the wavelength.

Key words: Solar cell containing CdTe materials, temperature, quantum yield, absorption, reflexion, transmission, SCAPS

Author Correspondence, e-mail: madjid_phy@yahoo.fr

[ICID: 1020779](#)

1. INTRODUCTION

Historiquement deux matériaux ont été particulièrement étudiés et ont fait l'objet d'une industrialisation : le silicium amorphe et le tellure de cadmium (CdTe), tous deux déposés sur verre. Le rendement maximum de ce type de cellules pour des tailles significatives, reste malheureusement limité. Ceci tient à la difficulté d'obtenir ce type de matériaux avec une faible densité de défauts et, par là, de bonnes propriétés électroniques.

Jusqu'à une date récente, il était admis que la filière au CdS/CdTe représentait l'approche la plus prometteuse pour les cellules de nouvelle génération. CdTe paraissait être un matériau idéal pour les cellules solaires en films minces pour au moins trois raisons :

— le gap d'énergie est de type direct : ainsi le coefficient d'absorption est élevé ($> 10^5 \text{ cm}^{-1}$ dans le visible) et la couche absorbante ne nécessite pas plus de quelques micromètres pour absorber 90 % du spectre solaire, autorisant par conséquent l'utilisation de matériaux relativement impurs dont la longueur de diffusion des porteurs minoritaires ne dépasse pas quelques micromètres ;

— la valeur du gap $E_g = 1,45 \text{ eV}$ est idéale pour la conversion photovoltaïque du spectre solaire ;

— de nombreuses méthodes existent pour déposer CdTe avec une vitesse de dépôt très élevée tout en gardant une qualité raisonnable. Pour estimer l'effet de la température et l'épaisseur sur le fonctionnement de la cellule, nous avons simulé les quatre caractéristiques photovoltaïques I_{cc} , V_{co} , et FF . La figure.1 représente la structure d'une cellule solaire à base de (CdTe). Le tableau 1 présente les différentes propriétés des couches de $\text{SnO}_2/\text{CdS}/\text{CdTe}$ qui rentrent dans les calculs.

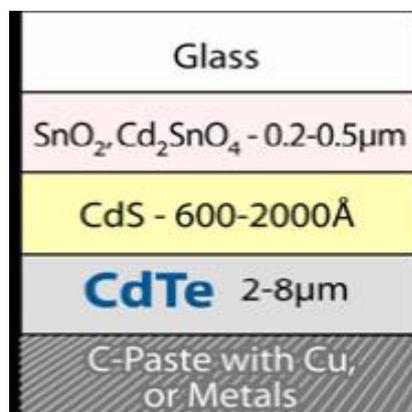


Figure 1 : Représentation schématique de la cellule solaire à base CdTe

Tableau 1. Les propriétés électroniques de la cellule solaire $SnO_2/CdS/CdTe$ [1]

Propriétés des couches			
	SnO ₂	CdS	CdTe
W [nm]	500	25	4000
ϵ/ϵ_0 [1]	9	10	9.4
μ_e [cm ² /Vs]	100	100	320
μ_h [cm ² /Vs]	25	25	40
n, p [cm ⁻³]	n: 10 ¹⁷	n: 10 ¹⁷	p: 2x10 ¹⁴
E _g [eV]	3.6	2.4	1.5
N _C [cm ⁻³]	2.2x10 ¹⁸	2.2x10 ¹⁸	8x10 ¹⁷
N _V [cm ⁻³]	1.8x10 ¹⁹	1.8x10 ¹⁹	1.8x10 ¹⁹
ΔE_C [eV]	0		-0.1
États gaussiens de défaut (de mi-vide)			
	SnO ₂	CdS	CdTe
N _{DG} , N _{AG} [cm ⁻³]	D: 10 ¹⁵	A: 10 ¹⁸	D:2x10 ¹⁴
E _A , E _D [eV]	de mi- vide	de mi- vide	de mi- vide
W _G [eV]	0.1	0.1	0.1
τ_e [cm ²]	10 ⁻¹²	10 ⁻¹⁷	10 ⁻¹²
τ_h [cm ²]	10 ⁻¹⁵	10 ⁻¹²	10 ⁻¹⁵

2. CARACTERISTIQUES TECHNIQUES D'UN MODULE

Les caractéristiques essentielles d'un module photovoltaïque sont :

- V_{co}: tension de circuit ouvert mesurée aux bornes de la cellule sous éclairage et sans circuit de charge.
- I_{cc} : courant de court-circuit
- I_m et V_m : courant et tension qui correspondent à la puissance maximale P_m fournie par la cellule photovoltaïque avec

$$P_m = V_m I_m \quad (1.1)$$

- FF : facteur de forme qui détermine la qualité électrique de la cellule :

$$FF = \frac{I_m V_{mp}}{I_{cc} V_{co}} \quad (1.2)$$

- η : rendement de la cellule qui correspond au rapport entre la puissance électrique maximale fournie par la cellule et la puissance solaire incidente :

$$y = \frac{P_{mp}}{P_{in}} = \frac{I_{sc}V_{oc}}{P_{in}} \quad (1.3)$$

Après les simulations par le code de calcul SCAPS en utilisant les paramètres enregistrés dans le tableau 1. (Propriétés des couches et des interfaces par les défauts gaussiens) on trouve les caractéristiques électriques suivantes donnés précédemment et on fait l'optimisation de la température (300k-400k) en fonction de ces caractéristiques et nous obtenant les résultats suivants :

La production des modules photovoltaïques dépend aussi de la température des cellules. Plus la température augmente plus le rendement diminue. Les figures (2-3) suivante met en évidence ce phénomène. La température de la cellule a une petite influence sur le rendement, celui-ci décroît lorsque la température augmente. Il s'agit bien de la température de la cellule dont on parle ici, elle dépend de la température extérieure, de l'ensoleillement et du refroidissement auquel la cellule est soumise (vent, contacts, système de refroidissement dédié,...)

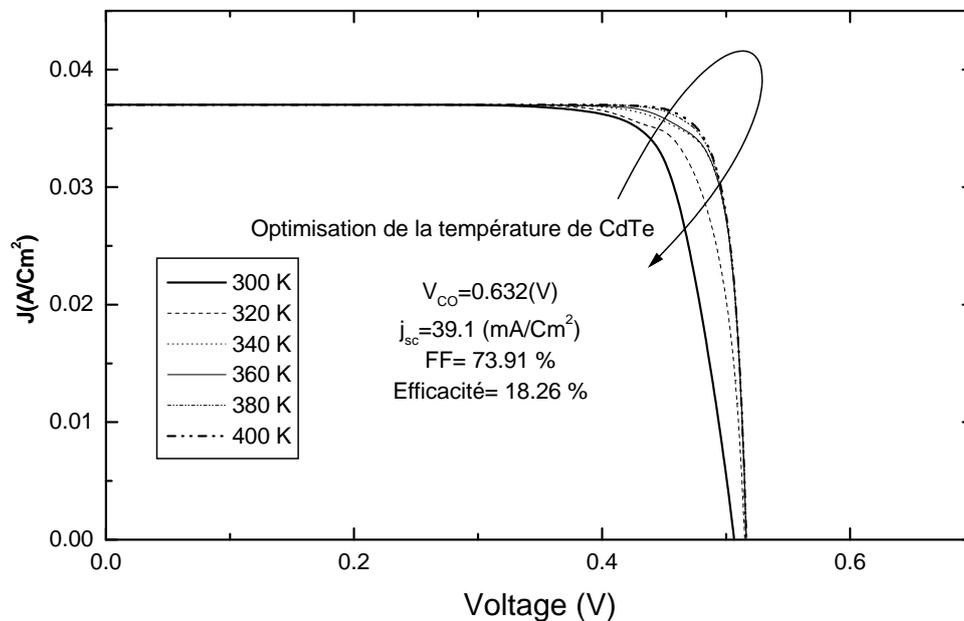


Fig.2. Caractéristique J -V de la cellule solaire à base de CdTe

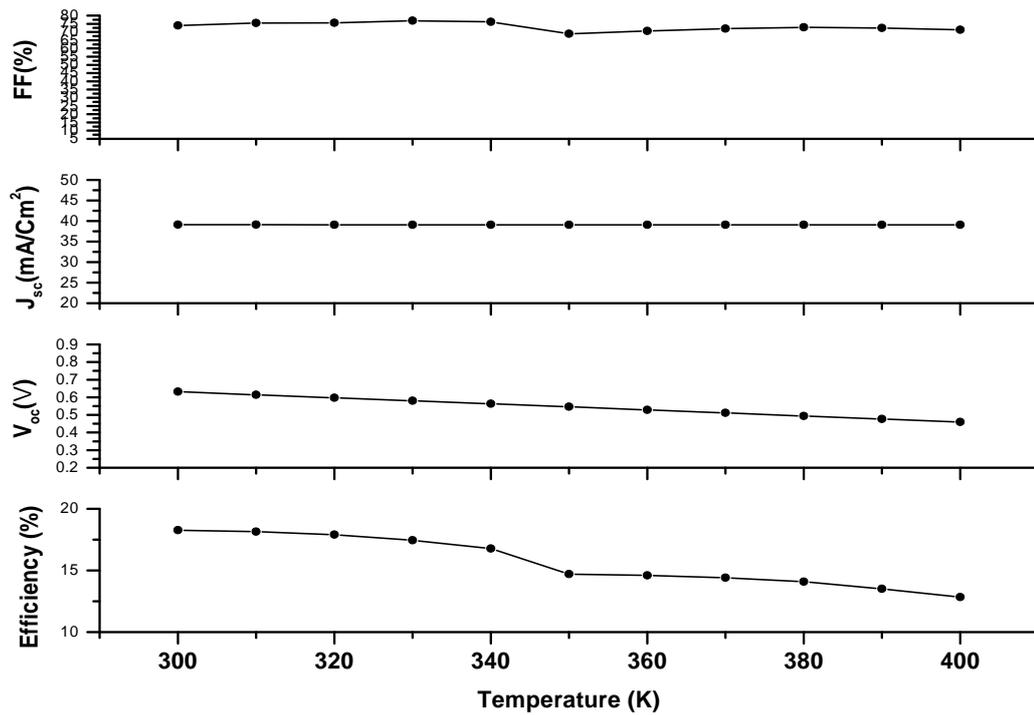


Fig. 3. Les caractéristiques V_{co} , J_{sc} , FF, et le Rendement en fonction de la température

La diminution de V_{co} en fonction de la température est due principalement à l'augmentation du courant d'obscurité engendrée par l'élévation de la concentration intrinsèque. Cette dernière est favorisée par l'augmentation de la température et la diminution de l'énergie de gap. L'effet de ce dernier reste minime par rapport à celui de la température. Cette diminution du facteur de forme en fonction de la densité de puissance est due principalement à la diminution de la tension de circuit ouvert.

L'élévation de la température crée un désordre thermique dans la microstructure de la cellule ce qui fait diminuer la mobilité et la durée de vie des porteurs libres. Donc, cette faible augmentation est due principalement à une amélioration du coefficient d'absorption [2]. Ceci est réalisé par un processus d'absorption assisté par une multiplication des phonons dû à l'effet thermique [3] et un décalage du seuil d'absorption vers les basses énergies [4]. Ceci est confirmé par l'efficacité quantique interne illustrée sur la figure 4.

3. RENDEMENT QUANTIQUE

Les paramètres électriques de la cellule photovoltaïque obtenus avec une caractérisation I(V) nous renseignent sur les performances globales de celle-ci sans indiquer précisément leurs origines. La réponse spectrale, et plus particulièrement le rendement quantique, permet de déterminer la réponse de la cellule en fonction de la longueur d'onde et permet de localiser dans la cellule les sources qui limitent (ou non) ses performances. Le coefficient d'absorption du *CdTe* varie avec la longueur d'onde du rayonnement. Les photons de faible longueur d'onde sont absorbés près de la surface (dans l'émetteur) alors que ceux de longueur d'onde plus élevée sont majoritairement absorbés au cœur de la cellule (dans la base). Il est donc possible d'accéder au comportement et à l'efficacité de chaque région de la cellule.

Plusieurs facteurs sont responsables de la diminution du rendement quantique: citons les phénomènes de recombinaison aussi bien en surface qu'en volume et la réflexion de la face avant ainsi que la longueur de diffusion des porteurs. Les Figures.(4-5) détaillent les principaux facteurs de perte selon la longueur d'onde considérée. Le rendement quantique tient compte des pertes optiques comme la réflexion ou la transmission à travers la cellule. Il peut être corrigé des pertes optiques liées à la réflexion de la cellule en négligeant l'absorption de la couche antireflet SnO_2 .

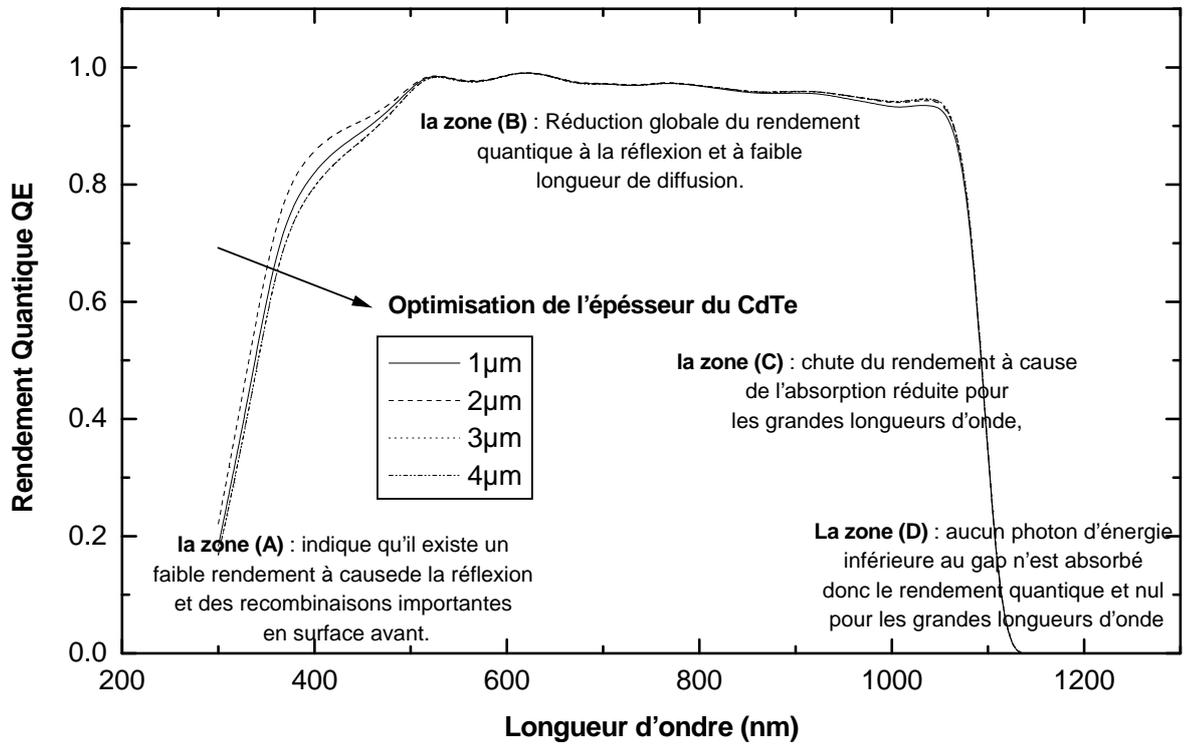


Fig. 4. Rendement quantique d'une cellule photovoltaïque à base de CdTe

4. ABSORPTION, TRANSMISSION ET REFLEXION DE LA LUMIERE

L'absorption de la lumière par le matériau solaire étant sans doute le mécanisme principal du phénomène de la génération, la majorité des semi-conducteurs de base des cellules solaires absorbe convenablement le spectre visible. En effet, on utilise toujours les semi-conducteurs ayant un coefficient d'absorption élevé. Le taux de l'absorption des photons par un matériau semi-conducteur est lié directement aux énergies des photons incidents.

Bien que le phénomène d'absorption joue un rôle positif dans la conversion photovoltaïque,

le phénomène de la réflexion est au contraire l'un des problèmes qui réduisent le rendement de la conversion d'énergie. Ces pertes affectent principalement le courant de court circuit de la cellule solaire. Généralement, la lumière incidente subit des pertes sous deux formes : soit par réflexion, soit par transmission. Dans un matériau semi-

conducteur, pour qu'un électron lié à son atome et participant aux liaisons chimiques (bande de valence), devienne libre et mobile (bande de conduction) dans un éventuel champ électrique, il faut entre autres conditions, lui transférer une énergie minimale, par exemple par absorption de photons ou par élévation de la température. Tous les photons du spectre solaire peuvent être absorbés par les électrons, mais tous ne donnent pas lieu à une promotion d'électrons vers la bande de conduction.

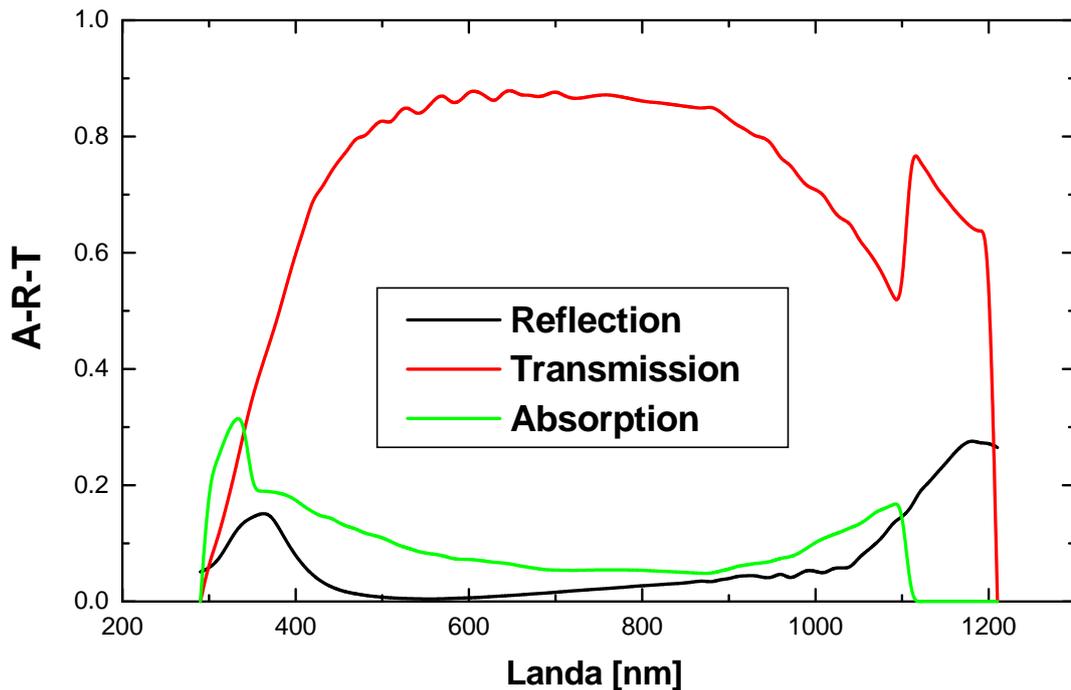


Fig. 5. Spectre de réflexion et de transmission pour la cellule solaire à base de CdTe à 300k

5. CONCLUSION

Cette simulation a permis l'étude des cellules photovoltaïques à base de CdTe. Notre premier objectif était d'acquérir des connaissances de base sur ce type de semi-conducteurs qui apparaît comme une technologie moderne pour la production de l'énergie électrique. Les résultats obtenus montrent clairement, que les caractéristiques photovoltaïques sont très affectées par la température du dispositif; les paramètres calculés ont montré l'instabilité du rendement avec l'augmentation de la température,

enfin le rendement quantique est optimisé pour les cellules solaires de différentes épaisseurs testées sous le spectre 300-1200nm pour une valeur moyenne de 500nm.

6. REFERENCES

- [1] M. Gloeckler, A.L. Fahrenbruch, and J.R. Sites. Numerical modeling of CIGS and CdTe solar cells: setting the baseline. In Proceedings of 3rd World Conference on Photovoltaic Energy Conversion, pages 491–494, 2003.
- [2] G.E. Jellison, Jr. and F.A. Modine, ‘*Optical Absorption of Silicon Between 1.6 and 4.7 eV at Elevated temperature*’, Appl. Phys. Lett., Vol. 41, N°2, July, 1982.
- [3] B.O. Séraphin and al., ‘*Topics in Applied Physics*’, Vol. 31, Edition B.O. Seraphin, Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, New-York, 1979.
- [4] H.A. Weakliem and D. Redfield, ‘*Temperature Dependence of the Optical Properties of Silicon*’, J. Appl. Phys., Vol. 50, N°3, pp. 1491-1493, 1979.

SIMULATION NUMERIQUE ET OPTIMISATION DES PERFORMANCES D'UNE CELLULE SOLAIRE A BASE DE CdTe

RESUME

Cet article a pour objet l'étude et la simulation des cellules photovoltaïques à base de CdTe, contribuant au développement des énergies renouvelables, et capables d'alimenter des maisons, des abris ainsi que des stations photovoltaïques...etc. Le CdTe est un semi-conducteur ayant une structure de bandes à gap indirect d'une valeur de 1,5 eV à température ambiante ce qui signifie qu'un photon d'une longueur d'onde d'environ 1200 nm pourra générer une paire électron-trou. On parle de photogénération. Nous allons mettre l'accent, dans un premier temps, sur les caractéristiques techniques essentiels d'un module photovoltaïque (la tension de circuit ouvert, le courant de court-circuit, le facteur de forme, et le rendement de la cellule), nos résultats ont été simulés avec le code de calcul SCAPS en une dimension qui utilise les caractéristiques électriques DC et AC des couches minces hétérojonctions. Les résultats obtenues après optimisation sont : $V_{CO}=0.632V$, $J_{sc} =39.1 \text{ mA/cm}^2$, $FF=82.98 \%$ et le rendement de conversion énergétique est 18.26%. L'optimisation est faite en fonction de la température et de la longueur d'onde.

Les mots clés : Cellule solaire à base de CdTe, température, rendement quantique, absorption, réflexion, transmission, SCAPS

How to cite this article

Ferouani A M, Merad Boudia and Rahmoun K. Numerical simulation and optimization of performances of a solar cell based on CdTe. J Fundam Appl Sci. 2011, 3(1), 58-67.