

Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

Université Ferhat Abbas- Sétif 1

Institut : Optique et Mécanique de Précision

Département : Optique et mécanique de précision

Domaine : Sciences et Technologies

Filière : Optique et Mécanique de Précision

Spécialité : Mécanique des matériaux

Mémoire de Master

Évaluation des performances d'une cellule solaire hétérojonction à base de CdS/CdTe

Étudié par : Hamdi Amel Ines

Dirigé Par : Dr. Bettine Farid

Dr. Bouzid Fayçal

Devant le jury :

(Président) : Dr.Hamouda

(Examineur) : Dr.Abdslem

Soutenu le : 22 / 06 /2024

Sommaire :

Résumé

Listes des figures.....i

Listes des tableaux.....iv

Listes des symboles.....v

INTRODUCTION GENERALE.....01

Références.....04

CHAPITRE I: Energie photovoltaïque et principe de fonctionnement des cellules solaires.

I.1 INTRODUCTION05

I.2 Spectre solaire et notion de masse d'air (Air Mass).....06

I.3 Absorption de la lumière.....07

I.4 Généralités sur les semi-conducteurs.....07

I.4.1 Définition d'un semi-conducteur.....08

I.4.2 Les semi-conducteurs II-VI.....08

I.4.3 Les types des semi-conducteurs.....09

I.4.3.1 Semiconducteur intrinsèque.....09

I.4.3.2 Semi-conducteur extrinsèque.....09

I.4.3.2.1 Semi-conducteur de type N.....10

I.4.3.2.2 Semi-conducteur de type P.....10

I.5 Mécanisme de génération-recombinaison.....11

I.5.1 Génération-recombinaison par transition directe bande à bande.....11

I.5.2 Génération-recombinaison par centres recombinants.....11

I.5.3 Génération-recombinaison AUGER.....12

I.6 Effet photovoltaïque et principe de fonctionnement.....13

I.7 Description de la structure conventionnelle d'une cellule solaire.....14

I.8 Matériaux et technologies photovoltaïques.....15

I.8.1 Cellule solaire au silicium cristallin.....16

I.8.2 Cellule solaire au silicium polycristallin.....16

I.8.3 Cellule solaire au silicium amorphe.....16

I.8.4 Cellule solaire à jonctions multiples.....	17
I.8.5 Cellule solaire en films minces.....	17
I.8.6 Cellule solaire de type Schottky.....	18
I.8.7 Cellule solaire de type structure MIS.....	18
I.8.8 Cellule solaire organique.....	18
I.8.9 Cellule nanocristallines à colorant ou cellules de Gratzel.....	19
I.8.10 Hétérostructures.....	19
I.8.10.1 La filière au CdS/CdTe.....	19
I.8.10.2 Méthodes de déposition.....	20
I.8.10.3 Cellule solaire à hétérojonction CdS/CdTe.....	20
I.9 Conclusion.....	22
Références.....	23
Chapitre II : Propriétés physiques des matériaux CdS et CdTe et modélisation de l'hétérojonction CdS/CdTe	
II.1 Introduction.....	25
II.2 Propriétés physiques des matériaux CdS et CdTe.....	25
II.2.1 Propriétés physiques du matériau CdS.....	25
II.2.2 Propriétés physiques du matériau CdTe.....	28
II.3 Caractérisation électro-optique de la cellule photovoltaïque hétérojonction CdS/CdTe.....	30
II.3.1 Structure de la cellule à hétérojonction CdS/CdTe.....	30
II.3.2 Description du modèle.....	31
II.3.2.1 Base théorique.....	31
II.4 Paramètres photovoltaïques.....	34
II.5 Modèles physiques et paramètres utilisés.....	34
II.5.1 Energies des bandes interdites.....	35
II.5.2 Mobilités des porteurs de charge.....	35
II.5.3 Coefficients d'absorption.....	35
II.5.4 Densités effectives des états.....	36
II.6 Modélisation de la cellule solaire hétérojonction CdS/CdTe.....	36
II.7 Conclusion.....	37
Références.....	38
Chapitre III : Résultats et discussions	
III.1 Introduction.....	40

III.2 Présentation du programme « HETSIM.1.0 ».....	40
III.2.1 Fenêtre de démarrage « HETSIM.1.0 ».....	40
III.2.2 Interface graphique du calcul	41
III.3 Paramètres initiaux de la cellule hétérojonction CdS/CdTe.....	41
III.4 Effet de l'épaisseur des couches CdS et CdTe.....	42
III.5 Effet de la profondeur de jonction y_1.....	44
III.6 Effet de la vitesse de recombinaison en surface avant S_p	45
III.7 Effet de la durée de vie des porteurs de charge "$\tau_{e,h}$" dans la couche CdTe.....	46
III.8 Effet des résistances série et parallèle R_s, R_p.....	47
III.8.1 Simulation de l'effet de la résistance série R_s.....	47
III.8.2 Simulation de l'effet de la résistance parallèle R_p.....	49
III.9 Effet de la température.....	50
III.10 Effet de la réflexion du rayonnement incident.....	52
III.11 Conclusion.....	53
Références.....	53
Conclusion générale.....	54

ملخص

لا تزال مركبات CdS و CdTe ضمن المواد الرائدة لتطوير الخلايا الكهروضوئية الموثوقة والفعالة. الخاصيتان الرئيسيتان لهذه المواد هما فجوات النطاق (2.42 eV و 1.5 eV، على التوالي) القريبة من القيمة المثالية لكفاءة التحويل الكهروضوئي (1.45 eV)، ومعاملات الامتصاص الضوئي العالية. الخلايا الشمسية المعتمدة على CdS و CdTe هي بشكل عام وصلات متغايرة. غالبًا ما يتم استخدام CdS كطبقة باعث أو نافذة من النوع n، بينما يتم استخدام CdTe غالبًا كقاعدة أو طبقة ماصة من النوع p. وفقًا للمراجع المتوفرة، تم تحقيق قيم للمردود تصل إلى 22٪، ولكن لا تزال هناك إمكانية لزيادته. في هذا العمل، أجرينا دراسة تحسين معلمية عن طريق محاكاة خلية الوصلة المتغايرة CdS/CdTe، من أجل تحسين الأداء الحالي. تظهر النتائج التي تم الحصول عليها أن كفاءة تحويل الطاقة في الوصلة المدروسة يمكن أن تصل إلى 26٪ عن طريق تقليل الخسائر الناجمة عن الانعكاس قدر الإمكان.

Abstract

CdS and CdTe compounds continue to be leading materials for the development of reliable and efficient photovoltaic cells. The two key properties of these materials are its band gaps (2.42 eV and 1.5 eV, respectively) close to ideal for photovoltaic conversion efficiency (1.45 eV), and its high optical absorption coefficients. Solar cells based on CdS and CdTe are generally heterojunctions. CdS is often used as an n-type emitter or window layer, while CdTe is often used as a p-type base or absorber layer. According to the literature, conversion efficiencies up to 22% have been achieved, but there is still some potential to increase them. In this work, we carried out a parametric optimization study by simulation of the CdS/CdTe heterojunction cell, in order to improve current performances. The results obtained show that the conversion efficiency of the studied heterojunction can reach 26% by minimizing losses due to reflection as much as possible.

Résumé

Les composés CdS et CdTe continue d'être matériaux de premier plan pour le développement des cellules photovoltaïques fiables et efficaces. Les deux propriétés clés de ces matériaux sont ses bandes interdites (2.42 eV et 1.5 eV, respectivement) proches de l'idéal pour le rendement de conversion photovoltaïque (1.45 eV), et ses coefficients d'absorption optiques élevés. Les cellules solaires à base de CdS et CdTe sont généralement des hétérojonctions. Le CdS est utilisé souvent comme émetteur ou couche fenêtre de type n, tandis que le CdTe est utilisé souvent comme base ou couche absorbante de type p. D'après la littérature, des rendements énergétiques allant jusqu'à 22 % ont été atteints, mais il existe encore un certain potentiel pour les augmenter. Dans ce travail, nous avons effectué une étude paramétrique d'optimisation par simulation de la cellule à hétérojonction CdS/CdTe, afin d'améliorer les performances actuelles. Les résultats obtenus montrent que le rendement énergétique de l'hétérojonction étudiée peut atteindre 26 % en minimisant au maximum les pertes dues à la réflexion.

Introduction générale

Introduction :

De nos jours, l'énergie est quelque chose d'indispensable à notre quotidien, elle est l'étincelle qui permet d'accomplir toute activité humaine. Elle est aussi un facteur de développement et le pilier de l'économie moderne. La situation énergétique mondiale actuelle et son évolution à l'avenir sont des questions d'une grande importance, qui touchent l'humanité dans son ensemble. L'utilisation répandue de l'énergie provenant des sources fossiles est polluante, entraîne des rejets considérables de gaz à effet de serre, suscite des tensions géopolitiques et pose des problèmes de sécurité. En outre, la disponibilité de ces ressources va s'amenuiser à plus ou moins à court terme. Afin de rendre nos modes de production et de consommation d'énergie plus durables, il est donc nécessaire de repenser complètement , et d'éprouver un changement de ces derniers [1].

Depuis que les hydrocarbures ont été découverts, ils ont profondément transformé le quotidien de l'humanité et leur utilisation ne cesse d'augmenter. Cela entraîne une demande croissante en énergie et une réduction des ressources qui sont passées d'abondance à épuisement, ce qui entraîne des problèmes environnementaux, des crises économiques et des conflits en raison de la non-conformité de l'offre à la demande.

Les solutions alternatives à ce problème sont les énergies renouvelables en particulier l'énergie solaire, qui demeure une excellente option car le soleil est une source d'énergie remarquable, fournissant quotidiennement à la Terre 8 000 fois plus d'énergie qu'elle n'en a besoin. Ainsi, elle jouera un rôle de plus en plus crucial à l'avenir en tant que source d'énergie alternative et renouvelable [2].L 'énergie photovoltaïque est considérée comme une solution prometteuse pour la production d'électricité. Cependant, cette technologie est largement dominée par le silicium qui souffre toujours d'un faible rendement et d'un coût relativement cher. C'est pourquoi, au cours des vingt dernières années, de nombreux chercheurs se sont concentrés sur l'amélioration du rendement des cellules solaires, qui sont essentielles dans les applications photovoltaïques. Le but principal de ses recherches est de sélectionner le semi-conducteur le plus performant, qui se distingue par des propriétés physiques très importantes dans les applications photovoltaïques. Cela permettra de créer un matériau avantageux qui contribuera au développement des énergies renouvelables et à la préservation de l'environnement[3].

Parmi la variété des semi-conducteurs utilisés dans la technologie photovoltaïque, on vise des semi-conducteurs capables d 'avoir un meilleur coefficient d 'absorption des spectres lumineux afin d'obtenir des meilleurs rendements avec un coût relativement bas. Grâce aux

nouvelles technologies utilisées et l'amélioration des mécanismes mis en jeu dans le processus de fabrication des cellules photovoltaïques, les chercheurs ont réussi à obtenir une amélioration significative du rendement énergétique. En 20 ans, les rendements des systèmes photovoltaïques commercialisés sont passés de 5% à plus de 20%.

Dans ce cadre le tellure de cadmium ainsi que le sulfure de cadmium, présentent un fort potentiel pour les applications photovoltaïques à hauts rendements grâce à leur large Gap. Ce matériau utilisé dans l'imagerie médicale est bien connu dans le domaine de l'énergie photovoltaïque pour ces capacités d'absorption et sa largeur de bande interdite adaptée au spectre solaire. La nécessité de grandes surfaces à bas prix pour la fabrication de cellules solaires a été l'un des éléments déclencheurs des études et des contributions pour l'obtention d'une cellule solaire à hétérojonction CdS/CdTe.

Ce travail de mémoire basé sur la simulation vise à optimiser les paramètres physiques de la cellule solaire à hétérojonction CdS/CdTe afin d'avoir un meilleur rendement. Le CdTe et le CdS sont des matériaux semi-conducteurs très importants dans la fabrication de composants électroniques qui fonctionnent dans une haute température. En se basant sur les propriétés de ces derniers, des interrogations sont évidentes :

- Le CdS et le CdTe, peuvent-ils être appliqués dans la technologie photovoltaïque ?
- Peuvent-ils être Considérés comme des matériaux principaux dans le domaine photovoltaïque ?
- Quels sont les facteurs liés au rendement de la cellule solaire à base de CdS/CdTe ?

Ce travail se fait autour de la simulation pour l'amélioration des performances des cellules solaires ; Par principe, on fait l'élaboration des échantillons pratiquement puis leur caractérisation se fait par l'analyse de pertes. Dans la présente étude, une simulation fondamentale à l'aide du programme HETSIM.1.0 permet de calculer et représenter les caractéristiques électriques : densité de courant-tension et densité de puissance-tension ainsi que la réponse spectrale de quelques cellules photovoltaïques mono et hétérojonctions en fonction de plusieurs paramètres physiques des matériaux utilisés, et paramètres géométriques de conception .En plus , d'extraire les paramètres photovoltaïques essentiels de la cellule à savoir : densité de courant de court-circuit, tension en circuit ouvert, facteur de forme, densité de puissance maximale et rendement énergétique de conversion. On peut aussi évaluer l'effet de la température sur la performance de la cellule.