

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 : Optique et photonique Appliquée

Mémoire de Master

Conception et étude numérique de cellules solaires à double
absorbeur à base de tellurure de cadmium (CdTe) et de
disiliciure de fer (FeSi_2)

Etudié par : Benhadhoum Sihem

Dirigé Par : Dr. Guechi Abla

Devant le jury :

Président : Pr. S. Meguellati
Examineur : Dr. N. Rouag.

Soutenue le :04/07/2023

Sommaire

Table des matières

Introduction générale	- 1 -
Chapitre I : Généralités sur l'énergie Solaire Photovoltaïque	- 3 -
I.1.Définition d'énergie solaire.....	- 4 -
I.2. Panneaux photovoltaïques.....	- 4 -
I.3.Cellule photovoltaïque	- 5 -
I.4.L'effet photovoltaïque.....	- 5 -
I.5. Caractéristiques des cellules photovoltaïques	- 7 -
I.5.1. Circuit électrique équivalent	- 7 -
I.5.2. Grandeurs caractéristiques des cellules solaires :	- 9 -
I.5.2.1. Courant de court-circuit J_{SC}	- 9 -
I.5.2.2. La tension de circuit ouvert V_{CO}	- 10 -
I.5.2.3. La puissance d'une cellule PV	- 10 -
I.5.2.4. Puissance max P_{max}	- 11 -
I.5.2.5. Le facteur de forme FF.....	- 11 -
I.5.2.6. Le rendement de conversion externe de la cellule (η ou PCE)	- 12 -
I.6. Rendement quantique EQE	- 12 -
I.7.Les Différentes Types Des Cellules Solaires	- 13 -
I.7.1. 1ère génération : cellules cristallines	- 13 -
I.7.1.1. Silicium monocristallin	- 14 -
I.7.1.2. Silicium poly (ou multi-) cristallin.....	- 15 -
I.7.2. 2ème génération : couches minces “thin films”	- 15 -
I.7.2.1. Silicium amorphe	- 15 -
I.7.2.2. Couches minces de di-séléniure de cuivre-indium (CIS/CIGS).....	- 16 -
I.7.3. 3ème génération : Pérovskites, multi jonction, concentration,.....	- 17 -
I.7.3.1 : Pérovskites	- 17 -
I.7.3.2 Les cellules multi-jonction	- 17 -
I.7.3.3. Arséniure de gallium (GaAs)	- 18 -

I.8. Le tellurure de cadmium CdTe	- 18 -
I.9. Structure cristalline du CdTe	- 18 -
I.10. Propriétés optoélectroniques et physicochimiques du CdTe.....	- 19 -
I.11. Les cellules photovoltaïques en couches minces à base de CdTe (2ème génération).....	- 20 -
I.12. Composition et fabrication des cellules au CdTe	- 20 -
Chapitre II Présentation du logiciel de simulation SCAPS 1D	- 22 -
II.1. Définition de logiciel SCAPS 1D.	- 23 -
II.2. Équations de base	- 23 -
II.2.1. Équation de Poisson.....	- 23 -
II.2.2. Équations de continuité.....	- 24 -
II.2.3. LES EQUATIONS DE TRANSPORT	- 25 -
II.3. Les bases de SCAPS	- 25 -
II.4. Exécuter SCAPS	- 27 -
II.5. Définir le problème :.....	- 27 -
II.6. Présentation de la cellule étudiée.....	- 28 -
II.7. Définir le point de fonctionnement	- 30 -
II.8. Les défauts et recombinaison.....	- 31 -
II.9. Sélectionner les mesures à simuler	- 32 -
II.10. Commencer les calculs	- 32 -
II.11. Affichage des courbes simulées.....	- 32 -
II.12. Affichage des courbes courant-tension (I-V).....	- 33 -
II.13. Avantages et inconvénients du SCAPS	- 34 -
Chapitre III : Simulation numérique de la cellule Solaire à double absorbeurs (CdTe et FeSi₂)	- 35 -
III.1. Structure de la cellule solaire (Cu/FTO/In ₂ S ₃ /CdTe/FeSi ₂ /Ni).....	- 36 -
III.1.1. Paramètres et propriétés de la cellule simulée	Erreur ! Signet non défini.
III.2. Résultats et discussion	- 37 -
III.2.1. Effet de la variation de l'épaisseur de l'absorbeur CdTe	- 38 -
III.2.2. Effet de l'épaisseur de la deuxième absorbeur FeSi ₂	- 40 -
III.2.3. Effet de la variation d'épaisseur de couche de fenêtre In ₂ S ₃	- 41 -
III.2.4. Effet de la variation de la densité des accepteurs de l'absorbeur CdTe sur la performance de cette cellule solaire	- 42 -
III.2.5. Effet de la densité de donneur In ₂ S ₃	- 43 -
III.2.6. Effet de la densité du défauts (N _t) de la couche d'absorbeur CdTe et de la couche fenêtre In ₂ S ₃	- 45 -

III.2.7. Effet de la densité de défauts de l'interface CdTe/FeSi ₂ et de l'interface CdTe/In ₂ S ₃ -	47
-	
III.2.8. L'effet de la résistance série R _s	- 49 -
III.2.9. L'effet de la résistance shunt R _{sh}	- 50 -
III.2.10. L'influence de la température de fonctionnement de la cellule.....	- 51 -
III.3. Les paramètres photovoltaïques de la cellule optimisée.....	- 52 -
III.4 : Caractéristique (J-V) de la structure optimale.....	- 53 -
Conclusion Générale	- 55 -
Références	- 56 -
Résumé :	Erreur ! Signet non défini.

Introduction générale

Au cours des dernières décennies, la forte évolution mondiale de la demande en énergie constitue une des principales causes d'impacts environnementaux tels que la pollution, le dégagement à effet de serre CO_2 et le réchauffement climatique. En effet, ces besoins énergétiques accentués sont majoritairement satisfaits par les sources conventionnelles d'énergies, ce qui a conduit à leur épuisement progressif. Compte tenu de cette situation et de sauvegarder les réserves d'énergies fossiles pour les générations futures et de préserver l'environnement, par conséquent, il est nécessaire de rechercher d'autres sources d'énergie. Il semble que l'énergie nucléaire et les énergies renouvelables soient des candidats prometteurs pour remplacer les carburants fossiles. Les sources d'énergie renouvelables ont plusieurs avantages : elles sont inépuisables et leur impact sur l'environnement est beaucoup plus faible que les sources d'énergie traditionnelles, elles permettent d'éviter la pollution produite par les énergies fossiles, de réduire les coûts des technologies et d'améliorer l'efficacité et la fiabilité.

L'énergie solaire est une source d'énergie très potentielle et renouvelable qui peut être utilisée pour générer des énergies renouvelables. Convertir l'énergie du soleil en énergie électrique est un moyen d'en profiter.

Ces dernières années les systèmes photovoltaïques ont gagné une popularité mondiale comme voie respectueuse de l'environnement qui permet de résoudre les problèmes d'énergie à la future.

La conversion directe de l'énergie solaire en électricité (effet photovoltaïque) à l'aide de cellules solaires est déjà un domaine clé de la science et de la technologie. Même si la récupération de l'énergie solaire a commencé avec des cellules solaires à base de silicium, les cellules solaires organiques et à base de composés II-VI ont gagné en popularité ces dernières années en raison de leur efficacité de conversion et de leur rentabilité.

Les cellules solaires inorganiques en CdTe et FeSi_2 ont récemment attiré beaucoup d'attention parce qu'elles ont des bonnes propriétés optoélectroniques par rapport aux cellules solaires classiques.

Dans ce travail, une technique alternative est présentée en utilisant FeSi_2 comme couche d'absorbeur secondaire et In_2S_3 comme couche de fenêtre pour améliorer les performances photovoltaïques (PV).

Les simulations d'une cellule solaire du type $(\text{Cu}/\text{FTO}/\text{In}_2\text{Sn}_3/\text{CdTe}/\text{FeSi}_2/\text{Ni})$ sont réalisées à l'aide du logiciel SCAPS 1D qui est un logiciel de simulation bien connue pour la modélisation de cellules solaires à couches minces. Une méthode d'optimisation spécifique des paramètres photovoltaïques a été utilisée afin d'obtenir les meilleures performances de la cellule solaire étudiée. Par conséquent, les valeurs des paramètres (épaisseur et concentration de dopage) des différentes couches de la cellule solaire ont permis d'obtenir les meilleures performances photovoltaïques.

Le mémoire est présenté en trois chapitres :

Dans le premier chapitre, on présente succinctement la cellule photovoltaïque et l'effet photovoltaïque, et les caractéristiques des cellules photovoltaïques et différentes filières photovoltaïques.

Le deuxième chapitre présente un résumé et guide d'utilisation du logiciel de simulation SCAPS utilisé dans notre travail.

On a consacré, le troisième chapitre à la présentation et la discussion des résultats de la simulation numérique obtenues pour ce type de cellule solaire tout en les effets de variation de l'épaisseur, la concentration de dopage des accepteurs (N_a), la concentration des traps (N_t), la concentration de dopage des donneurs (N_d), la résistance série (R_s), la résistance shunt (R_{sh}) et la température (T) sur les performances photovoltaïques.

Finalement, une conclusion générale résumant notre travail est présentée.

Résumé :

Les cellules solaires inorganiques à base FTO avec doubles absorbeurs CdTe et FeSi₂ ont récemment attiré beaucoup d'attention car elles offrent une stabilité thermique supérieure et de bonnes propriétés optoélectroniques par rapport aux cellules solaires conventionnelles. Afin d'augmenter le rendement (η), et améliorer les performances de la cellule Cu/FTO/In₂S₃/CdTe/FeSi₂/Ni), le logiciel SCAPS-1D est utilisé comme outil d'optimisation et d'analyse des paramètres électriques (PV) de cette cellule. Nous évaluons dans un premier temps, le courant de court-circuit I_{sc} , la tension en circuit ouvert V_{CO} , le facteur de forme FF et le rendement électrique η de la cellule, par la suite nous nous intéressons à l'effet de l'épaisseur et la concentration de dopage de chaque couche sur ces paramètres.

Mots Clés : Cellule solaire ; CdTe/ FeSi₂, SCAPS1D.

Abstract:

FTO-based inorganic solar cells with dual CdTe and FeSi₂ absorbers have recently attracted a lot of attention because they offer superior thermal stability and good optoelectronic properties compared to conventional solar cells. In order to increase the efficiency (η), and improve the performances of the Cu/FTO/In₂S₃/CdTe/FeSi₂/Ni cell), the SCAPS-1D software is used as a tool for optimization and analysis of the electrical parameters (PV) of this cell. We first evaluate the short-circuit current I_{sc} , the open-circuit voltage V_{CO} , the form factor FF and the electrical efficiency η of the cell, then we are interested in the effect of the thickness and the doping concentration of each layer on these parameters.

Keywords: Solar cell; CdTe/FeSi₂; SCAPS1D.

ملخص:

جذبت الخلايا الشمسية غير العضوية القائمة على FTO والمزودة بامتصاص ثنائي CdTe و FeSi₂ الكثير من الاهتمام مؤخرًا لأنها توفر استقرارًا حراريًا فائقًا وخصائص إلكترونية ضوئية جيدة مقارنة بالخلايا الشمسية التقليدية. من أجل زيادة العائد (η)، وتحسين أداء الخلية (Cu / FTO / In₂S₃ / CdTe / FeSi₂ / Ni)، يتم استخدام برنامج SCAPS-1D كأداة لتحسين وتحليل الخصائص الكهروضوئية لهذه الخلية. نقوم أولاً بتقييم تيار الدارة القصيرة I_{sc} ، وجهد الدارة المفتوحة V_{CO} ، وعامل الشكل FF والكفاءة الكهربائية η للخلية، ثم نهتم بتأثير السماكة وتركيز المنشطات لكل طبقة على هذه المعلمات.