

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la
Recherche Scientifique



L'école Normale Supérieure de Kouba-Alger

Département de Physique.

Mémoire de magistère intitulé:

*Simulation numérique d'une cellule solaire à
couches minces à base de CIGS par SCAPS*

Présenté par :

M^{me} Zouaoui Somia.

Devant le Jury Composé par:

M ^r A.Zeghdaoui	prof E.N.S Kouba	Président.
M ^{me} R.Tala Ighil	M.C.A UMB Boumerdes	Examineur.
M ^r S.Blizak	M.C.A UMB Boumerdes	Examineur.
M ^r M.Oldache	MCA , ENS , Kouba –Alger	Examineur.
M ^r Belal Tahar	MCA , ENS , Kouba –Alger	Directeur de Thèse

2015/2016

Sommaire

Introduction générale:.....	1
CHAPITRE I: DISPOSITIF PHOTOVOLTAÏQUE.	
I.1.Rappel sur les semi-conducteurs:	4
I.1.1.Les semi-conducteurs intrinsèques:.....	5
I.1.2.Les semi-conducteurs extrinsèques:	6
I.1.2.1.Le semi-conducteur de type n:	6
I.1.2.2.Le semi-conducteur de type p:	7
I.2.Rôle des défauts et impuretés dans les semi-conducteurs:.....	8
I.2.1.Conductivité électrique:	8
I.3.Equation de Poisson:	11
I.3.1.Théorème de Gauss et équation de Poisson:	11
I.4.Jonction et hétérojonction.	15
I.4.1. Jonction p-n:	15
I.4.2. Hétérojonction:	18
I.5.Les couches minces:.....	20
CHAPITRE II : PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT D'UNE CELLULE SOLAIRE.	
II.1.Diagramme d'énergie d'une cellule solaire :	24
II.2.Caractéristique courant-tension I(V) et paramètre essentiel d'une cellule	25
II.2.1.Caractéristique courant-tension I(V) des cellules solaires:.....	25
II.2.2.Paramètres des cellules solaires.	26
II.2.2.1.Courant de court-circuit I_{CC} :	26
II.2.2.2.La tension de circuit ouvert V_{CO} :	26
II.2.2.3.Facteur de forme FF:	26
II.2.2.4.Le rendement de conversion η :	27

II.3.Principe de la conversion photovoltaïque:	27
II.4.2.Les filières photovoltaïque :	31
II.5.Propriétés physique des matériaux ternaires CIS et quaternaire CIGS:...	32
II.5.1.La structure cristalline de CIS et CIGS:.....	34
II.5.2.Caractéristiques et différentes propriétés des semi-conducteurs CIS et CIGS	35
II.5.2.1.CuInSe ₂ (CIS) :	35
II.5.2.2.Cu (In, Ga) Se ₂ (CIGS) :	38

CHAPITRE III: PHENOMENE DE CONVERSION DE LA LUMIERE EN ELECTRICITE PAR UNE CELLULE SOLAIRE.

III.1.Spectre solaire :.....	40
III.2.Structure classique de cellule solaire a base de CIGS:	42
III.3.Absorption de la lumière:	44
III.3.1.Pertes optiques:	45
III.4.Génération et séparation des porteurs de charges.....	47
III.4.1.Génération:	47
III.4.2.Séparation (diffusion):	48
III.5. Mécanisme de recombinaison:	48
III.5.1.Recombinaisons en volume.	49
III.5.1.1.Recombinaisons Shockley-Read-Hall (SRH):.....	49
III.5.1.2.Recombinaison radiative:	52
III.5.1.3.Recombinaison Auger :	52
III.5.2.Recombinaison en surface:	53
III.6.Collecte de charges et transport des porteurs de charges:	54

CHAPITRE IV: PROPRIETES ELECTRONIQUES DES CELLULES SOLAIRES A BASE DE CIS ET CIGS.

IV.1.Caractéristiques de la base de dispositif CIGS:.....	57
IV.1.1.Le substrat:	57
IV.1.2.Le contact métallique arrière:.....	58
IV.1.3.L'absorbeur:	59
IV.1.4.La couche tampon:	59
IV.1.5.La couche fenêtre:	60
IV.3.Critère de choix de matériaux photovoltaïque à base CIGS:	60
IV.3.Evaluation de choix de matériaux photovoltaïque à base CIGS.	61
IV.3.1.Les inconvénients CIGS et CIS:.....	61
IV.3.2.Les avantages de CIGS et CIS:.....	61
IV.4.Etat de recherches:.....	62
IV.4.1.le premier état:	62
IV.4.1.le deuxième état:.....	63
IV.4.3.Le troisième état:	64
IV.5.Récapitulatif des résultats des études obtenues selon la couche tampon:..	64
IV.6.Effet de la fraction molaire en Ga dans le $\text{CuIn}_{1-x}\text{Ga}_x\text{Se}_2$:.....	65
CHAPITRE V: SIMULATION NUMERIQUE D'UNE CELLULE SOLAIRE EN COUCHES MINCES A BASE DE CIGS.	
V.1.Présentation du logiciel SCAPS -1D:	67
V.2.Modélisation électrique :	69
V.3. Avantages d'utilisation de ZnO comme couche tampon déposé sur CIGS:.....	70
V.4.Les paramètres du dispositif étude :.....	71
V.5. Préliminairement au milieu du chapitre:.....	72

V.6.Résultats:.....	73
V.6.1. Influence de densité de dopage de couche tampon F-ZnO sur les caractéristiques électriques de la cellule:	73
V.6.2. Influence de l'épaisseur de F-ZnO sur les caractéristiques électriques de la cellule:.....	75
V.6.2.1.Etude Influence de l'épaisseur de F-ZnO pour la densité de dopage $N_d=5.10^{+18} \text{ cm}^{-3}$	75
V.6.2.2.Etude Influence de l'épaisseur de F-ZnO pour les densités de dopage $N_d=10^{+17} \text{ cm}^{-3}$	76
V.6.3.Influence de l'épaisseur de CIGS sur les caractéristiques électriques de la cellule.....	77
V.6.4.l'influence de densité de dopage de couche absorbeur CIGS sur les caractéristiques électriques de la cellule:	79
V.6.5.Influence de Band gap de CIGS sur les caractéristiques électriques de la cellule.....	80
V.7.Resultats et discussion.....	83

Conclusion

Bibliographie

يندرج هذا العمل في اطار المجهودات المبذولة من طرف فرق البحث عبر العالم من اجل انجاز خلايا ضوئية من صفائح رقيقة ذات تركيب ثلاثي ورباعي مثل CuInSe_2 و $\text{CuIn}_{1-x}\text{Ga}_x\text{Se}_2$ من اجل تخفض تكلفة تصنيع الأجهزة الكهروضوئية وجعل الكهرباء الضوئية منافسة لأحسن مصادر الطاقة الحالية .

إن عملنا هذا تمحور حول دراسة خلية ضوئية من الصفائح الرقيقة ذات قاعدة $\text{CuIn}_{1-x}\text{Ga}_x\text{Se}_2$ (CIGS) التي لها خواص ذاتية تمكنها من إعطاء مردود تحويل كهروضوئي مرتفع يصل إلى 30% بالنسبة للخلايا الكهروضوئية و 15% بالنسبة للتركيبات الكهروضوئية .

قمنا في هذا العمل بإحلال طبقة اكسد الزنك ZnO المطعم بالفليور F محل كبريتيد الكاديوم CdS من اجل ازالة اثر CdS كونها مادة سامة .

لأجل هذا قمنا بإجراء محاكاة للنموذج المقترح بطريقة SCAPS-1D للحصول البراميترات الداخلية المثلى وتأمين في نفس الوقت تيار الدارة المقصورة (I_{cc}) ومعامل البنية (FF) وجهد الدارة المفتوحة (V_{co}) مرتفعة، ان محاكاة التركيب الكهروضوئي مكنتنا من الحصول على الخصائص $I(V)$ و $C(V)$ وعند تحليل المنحنيات السابقة تمكنا من الحصول على بعض المعلومات بخصوص تلاحم حاملات الشحنة في حجم العنصر الماص مع تركيز شوائب يقدر ب $(10^{+17}-10^{+18} \text{ cm}^{-3})$.

ان التحكم في تحديد كمية الشوائب ذو اهمية بالغة في تحسين أداء البنية الكهروضوئية والنتائج المتحصل عليها عن طريق المحاكاة بواسطة برنامج SCAPS-1D نسخة (3201) والمتعلقة بالمردود الكهروضوئي تتفق مع النتائج التجريبية $\eta \leq 31\%$.

Résumé

Ce travail s'inscrit dans le cadre d'une contribution aux efforts menés par différents groupes de recherche dans le monde pour l'élaboration des cellules solaires en couches minces à base des composés ternaires tel que chalcopyrites CuInSe_2 noté CIS et quaternaires comme $\text{Cu}(\text{In}_{1-x}, \text{Ga}_x)\text{Se}_2$ noté CIGS en associant la technologie des couches minces pour réduire le coût de fabrication de dispositifs photovoltaïques (PV), ce qui permet à l'électricité solaire d'être compétitive avec les meilleures sources d'énergie.

Notre travail est focalisé sur l'étude d'une cellule solaire en couche mince à base de $\text{Cu}(\text{In}_{1-x}, \text{Ga}_x)\text{Se}_2$ qui possède des propriétés intrinsèques et des performances élevées en matière de rendement de conversion PV atteignant 30% pour la cellule solaire et 15% pour le module PV.

Nous avons proposé le remplacement de la couche tampon Sulfure de Cadmium (CdS) par l'oxyde de Zinc (ZnO) pour éliminer l'impact de CdS à cause de sa toxicité.

Pour cette simulation numérique du modèle proposé par le logiciel SCAPS-1D version (3201) s'avère nécessaire pour optimiser les paramètres intrinsèques et assurer à la fois un courant de court-circuit (I_{cc}) et un facteur de forme (FF) et une tension en circuit ouvert (V_{co}) élevée, cette dernière permet d'établir les caractéristiques $I(V)$ et $C(V)$ l'analyse des courbes $I(V)$ et $C(V)$ ont permis d'obtenir des informations sur la recombinaison au volume de l'absorbeur (CIGS) avec une concentration d'impureté de l'ordre (10^{17} et 10^{18} cm^{-3}) le contrôle des défauts dans (CIGS) joue un rôle déterminant sur l'amélioration des performances de la structure.

Ce résultat obtenu par SCAPS-1D version (3201) pour le rendement de conversion s'accorde avec l'expérimental $\eta \approx 31\%$.