



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



Université Amar Telidji- Laghouat

FACULTE : TECHNOLOGIE

DEPARTEMENT : GÉNIE DES PROCÉDÉS

MEMOIRE DE MASTER

Présenté par : KHANFAR Maroua

TELLI Ikram

DOMAINE : Sciences et Technologies

FILIERE : Génie des Procédés

OPTION : Génie chimique

Thème

Etude des cellules solaires à base de silicium nanocristallin

Jury de soutenance :

Nom et Prénom	Grade	Qualité
BELHADJ Soraya	MCA	Président
ZERROUKI Hamza	MCB	Examinateur
HANNACHI Manelle	MCB	Rapporteuse

Année Universitaire : 2022-2023



Remerciements

"Nous tiens à exprimer notre profonde gratitude à toutes les personnes qui ont contribué à la réalisation de ce mémoire. Tout d'abord, nous remercions ma directrice de mémoire Manelle HAMACH, pour sa disponibilité, ses précieux conseils et son accompagnement tout au long de cette expérience de recherche.

Nous remercions également les membres de jury d'avoir accepté d'évaluer ce travail,

Je remercie ma chère binôme Telli Ikram pour la qualité de travail et la patience,

Nous souhaitons également exprimer ma reconnaissance à Boudjenane fatima zohra, pour le soutien moral, l'encouragement et l'aide technique.

Nous n'oublions pas non plus notre famille et les amis, pour leur présence bienveillante tout au long de ces années d'études.

Enfin, nous remercions chaleureusement toutes les personnes qui, de près ou de loin, ont contribué à la réalisation de ce travail.

Merci à tous."

Dédicaces

Chers tous,

Je voudrais dédier ce modeste travail à toutes les personnes qui m'ont aidé de près ou de loin à la réalisation de ce mémoire. Je suis conscient(e) que sans leur soutien, leur amour et leur encouragement, je n'aurais pas pu atteindre mes objectifs académiques.

Je voudrais d'abord exprimer ma gratitude à mes parents, mon père Khanfar Slimane et ma mère Khoiura Aicha, pour leur soutien inconditionnel tout au long de mes années d'études. Leurs sacrifices et leur amour ont été mes principales sources d'inspiration.

Je voudrais également remercier mes sœurs Mbarka, Djanet, Zohra et Khadidja, ainsi que Meriam, Nabila et Boudjenane fatima Zohra pour leur soutien permanent et eur'encouragement tout au long de mes études.

Je tiens également à exprimer ma gratitude à tous mes enseignants qui m'ont guidé tout au long de mon parcours académique.

Enfin, je voudrais remercier toutes les personnes qui ont contribué à la réalisation de ce mémoire et à mon succès académique.

Cordialement,

Kahnfar Maroua

Dédicaces

Chers tous,

Je voudrais dédier ce modeste travail à toutes les personnes qui m'ont aidé de près ou de loin à la réalisation de ce mémoire. Je suis conscient(e) que sans leur soutien, leur amour et leur encouragement, je n'aurais pas pu atteindre mes objectifs académiques.

Je voudrais d'abord exprimer ma gratitude à mes parents, pour leur soutien inconditionnel tout au long de mes années d'études. Leurs sacrifices et leur amour ont été mes principales sources d'inspiration.

Je voudrais également remercier ma famille pour le soutien permanent et l'encouragement tout au long de mes études.

Je tiens également à exprimer ma gratitude à tous mes enseignants qui m'ont guidé tout au long de mon parcours académique.

Enfin, je voudrais remercier toutes les personnes qui ont contribué à la réalisation de ce mémoire et à mon succès académique.

Cordialement,

Telli Ikram

Table des matières

Remerciements.....	I
Dédicace	II
II Table des matières.....	IV
Liste des figures.....	VI
Liste des tableau.....	VII
Liste des symboles.....	VIII
Introduction générale.....	1

Chapitre 1: les généralités sur les cellules photovoltaïques

I.1. Introduction.....	4
I.2. Le photovoltaïque.....	4
I.3. Semi-conducteurs.....	5
1.3.1. Le silicium.....	5
I.3.2 Silicium hydrogéné.....	6
I.4. Quel ques notions de base.....	6
I.4.1. Band gap.....	6
I.4.2. Le dopage	7
I.4.2.1. Le dopage de type n.....	7
1.4.2.2.Le dopage de type p.....	7
I.4.3. Effet photovoltaïque.....	7
I.4.4. Une jonction.....	8
I.4.4.1. Homo-jonction et l'hétéro jonction.....	8
I.4.4.1.1 Jonction p-n et p-i-n.....	8
I.4.4.1.2. Jonction p-p+ et n-n+	9
1.5.. La cellule solaire.....	10

I.6 Principe général du fonctionnement d'une cellule solaire.....	11
I.7. Paramètre des cellules photovoltaïques.....	12
I.7.1. La tension de circuit ouvert (V_{oc})	12
I.7.2. Le courant de court-circuit (I_{sc})	12
I.7.3. Facteur de forme, FF	12
I.7.4. La puissance maximale (P_{max})	13
I.7.5. Le rendement électrique.....	13
I.8 les cellules solaire à base silicium amorphe.....	13
I.9 les cellules solaire à base silicium nanocristallin.....	14
I.10. Conclusion.....	15
Chapitre 2 : Simulation de l'efficacité des cellules PV à l'hétérojonction nc-Si:H	
II.1 Introduction	17
II.2 Logiciel SCAPS	17
II.2.1 structures de la cellule solaire simulées de nc-Si:H(p) /a-Si :H(n).....	18
II.2.2 Les paramètres physiques utilisée dans simulation.....	18
II.2.3 Simulation de la cellule solaire nc-Si:H(p) / a-Si:H(n).....	19
II.3 Résultats et discussions	20
II.3.1 L'impact de l'épaisseur de la couche nc-Si-H (P) sur l'efficacité des cellules.....	20
II.3.2 L'impact de l'épaisseur de la couche a-Si-H (p) sur l'efficacité des cellules.....	21
II.4 structures de la cellule solaire simulées de nc-Si:H(p)/SnS(p) /a-Si :H(n).....	22
II.4.1 L'impact de l'épaisseur de la couche SnS sur l'efficacité des cellules.....	23
II.5 Conclusion.....	25
Conclusion générale.....	27
Les références bibliographiques.....	29
Résumé.....	33

LISTE DES FIGURES

Figure I.1 : Structure en bandes dans un métal, un semi-conducteur et un isolant.....	5
Figure I.2 : Utilisation schématique des (a) matériaux de type p et n avant la formation de la jonction,(b) après p-n formation de jonction et diagramme de bande d'énergie des matériaux semi-conducteurs de type p et n avant à la formation de la jonction p-n (d) après d'un jonction contact intime étroit.....	9
Figure I.3 : Diagramme de jonction p-p+et n-n+ avec des pas potentiels petits	10
Figure I.4 : structure le cellule solaire.....	11
Figure I.5 : Cellule photovoltaïque – Principe de fonctionnement.....	11
Figure II.1 : structure de cellule solaire simulée nc-Si :H(p) / a-Si :H(n).....	18
Figure II.2 :Variation des paramètres photovoltaïque en fonction de l'épaisseur de la couche nc-Si ;H(p).....	20
Figure II.3 :Variation des paramètres photovoltaïque en fonction de l'épaisseur de la couche a-Si ;H (n).....	21
Figure II.4 : structure de cellule solaire simulée nc-Si :H(p) /SnS(p) / a-Si :H(n)	22
Figure II.5 : Variation des paramètres photovoltaïque en fonction de l'épaisseur de la couche SnS.....	23

LISTE DES TABLEAU

Tableau (II-1) :Les paramètres physiques d'entrée pour les matériaux des couches nc-Si :H(n) / SnS(p) / a-Si :H(n)	19
Tableau (II-2) variations de la couche nc-si:H(p).....	21
Tableau (II-3) variations de l couche SnS	25

Liste des Symboles

Si : silicium.

nc-Si :H : Le silicium nanocristallin hydrogéné

a-Si:H : Le silicium amorphe hydrogéné.

SCAPS 1D: Solar Cell Capacitance Simulator.

GaAs : l'arséniure de gallium.

CdTe : tellure de cadmium

ELIS: Electronique et Systèmes d'Information.

SiO₂ :dioxyde de silicium

PV : photovoltaïque

SC : semi-conducteur

nc-Si :H :silicium nanocristallin

a-Si : silicium amorphe.

SnS : sulfure d'étain

E_g : énergie interdite.

Si:H : silicium hydrogéné.

I_{cc} : Courant de court-circuit (A)

P_{max}: puissance maximale (W)

P_{in} : puissance lumineuse incidente

R_s : Résistance série [W]

R_{sh} : Résistance shunt (ou parallèle) [W].

V_{oc} : tension a circuit ouvert.(V)

V_{max} :tension maximale (V)

I_{ph} : photo-courant (A).

T : Température effective de la cellule.

I_s : courant de saturation (A)

I_{max} :courant maximale (A)

FF : Facteur de forme (%)

η : Le rendement (%)

ITO : Oxyde d'Etain dopé Indium

p : une couche fenêtre.

i : la couche absorbeur.

n : une couche collectrice

Introduction générale

Introduction générale

Les cellules solaires convertissent l'énergie des photons provenant du soleil en électricité en utilisant l'effet photovoltaïque. D'une manière générale, l'effet photovoltaïque est la génération des paires électron-trou dans un matériau exposé à la lumière, ces paires seront séparés par un champ électrique interne. Les cellules solaires ont été commercialisées pour la première fois à la fin des années 1950 dans les applications spatiales pour alimenter les satellites .Cependant, les applications terrestres n'ont pas tardé à être développées ,aujourd'hui, il y a un large choix de technologies de cellules solaires prometteuses pour satisfaire la demande énergétique de manière durable et respectueuse de l'environnement [1].

La performance des cellules solaires photovoltaïques dépend de sa conception, les propriétés des matériaux et la technologie de fabrication .Le silicium amorphe hydrogéné est un bon optoélectronique candidat pour les applications photovoltaïques car il a un coefficient d'absorption optique élevé($>10^5 \text{ cm}^{-1}$) [2].Le silicium nanocristallin hydrogéné(nc-Si:H) à une large bande interdite, il présente des avantages tels que une conductivité électrique plus élevée, une plus grande mobilité et une meilleure stabilité par rapport aux matériaux amorphes [3].

Les hétérojonctions entre le silicium hydrogéné amorphe et le silicium cristallin a-Si:H/c-Si construit un domaine de recherche très actif pour applications photovoltaïques en raison de leur faible cout de fabrication et la basse température (200°) du dépôt a-Si:H couplé à la haute efficacité et stabilité du c-Si [4].

Les chercheurs peuvent développer diverses cellules solaires en utilisant divers semi-conducteurs dans une large gamme de structures. Cependant, pour réduire le coût de développement, avant la mise en fabrication une étude de simulation est toujours nécessaire pour la sélection des matériaux et la conception des structures. Pour cette raison, divers logiciels de simulation de cellules solaires ont été développés autour du monde, et beaucoup d'autres sont en développement [5].

SCAPS est un programme de simulation de cellules solaires unidimensionnel développé au département d'électronique et Systèmes d'Information (ELIS) de l'Université de Gand, Belgique. Le programme est disponible gratuitement pour la communauté de recherche PV (universités et instituts de recherche). Il fonctionnair PC sous Windows 95, 98, NT, 2000, XP, Vista, Windows 7, et occupe environ 50 Mo d'espace de -disque [6].

Le but de ce travail est l'étude par simulation avec le logiciel SCAPS des cellules solaires à hétérojonction de structure (nc-Si:H/ a-Si:H/ SnS), en utilisant le silicium nanocristallin (nc-Si:H) comme matériaux absorbant.

Introduction générale

La première partie du manuscrit dresse une description du domaine du photovoltaïque nous y aborderons la physique du fonctionnement d'une cellule solaire photovoltaïque, les différents types de jonction, les caractéristiques électriques d'une cellule, puis un petit aperçu sur et les cellules solaires à base de silicium amorphe et es cellules solaires à base de silicium nanocristallin. La seconde partie sera consacrée à la simulation des cellules solaires(nc-Si:H-a-Si:H/ SnS) Puis la discussion et l'interprétations des différents résultats obtenus. Cette étude est terminée par une conclusion générale qui récapitule nos résultats aboutis.

Chapitre I :
Généralités sur les cellules photovoltaïques

I.1.Introduction

L'énergie solaire photovoltaïque est une solution prometteuse pour répondre aux besoins énergétiques mondiaux tout en limitant les émissions de gaz à effet de serre. Les matériaux semi-conducteurs, tels que le silicium, l'arséniure de gallium et le nitrure de gallium, sont largement utilisés dans les cellules solaires photovoltaïques pour convertir la lumière solaire en électricité.

Les cellules solaires en couche minces sont des dispositifs photovoltaïques qui ont la particularité d'être très minces, avec une épaisseur de seulement quelques micromètres. Elles sont composées de matériaux semi-conducteurs tels que le silicium amorphe, le tellure de cadmium (CdTe) ou encore le cuivre indium gallium sélénium. Ces cellules ont de nombreux avantages par rapport aux autres types de cellules solaires, notamment leur faible coût de production, leur flexibilité et leur légèreté. Cependant, leur efficacité de conversion d'énergie solaire en électricité est encore inférieure à celle des cellules solaires traditionnelles, ce qui limite leur utilisation à des applications spécifiques.

Dans ce chapitre , nous avons essayé de donner un aperçu du domaine pour la conversion photoélectrique , en donnant les bases à connaître dans ce domaine .

I.2 photovoltaïque

Le photovoltaïque est une technologie qui permet de convertir l'énergie lumineuse du soleil en énergie électrique. Cette conversion est réalisée par des cellules solaires, qui sont des dispositifs électroniques capables de générer un courant électrique lorsque la lumière du soleil les frappe. Les cellules solaires sont généralement fabriquées à partir de silicium, un matériau semi-conducteur qui présente des propriétés électriques intéressantes. Les cellules solaires sont ensuite assemblées en panneaux solaires, qui peuvent être installés sur les toits des bâtiments ou dans des champs solaires pour produire de l'électricité à grande échelle.

La photovoltaïque présente de nombreux avantages par rapport aux sources d'énergie traditionnelles, notamment :

- ✓ Il est renouvelable et non polluant, ce qui contribue à réduire les émissions de gaz à effet de serre et à lutter contre le changement climatique.
- ✓ Il est décentralisé, ce qui signifie que la production d'électricité peut être réalisée localement, à proximité des consommateurs, réduisant ainsi les pertes en ligne et les coûts associés.
- ✓ Il est modulaire, ce qui permet d'adapter la taille des installations en fonction des besoins et des capacités locales.

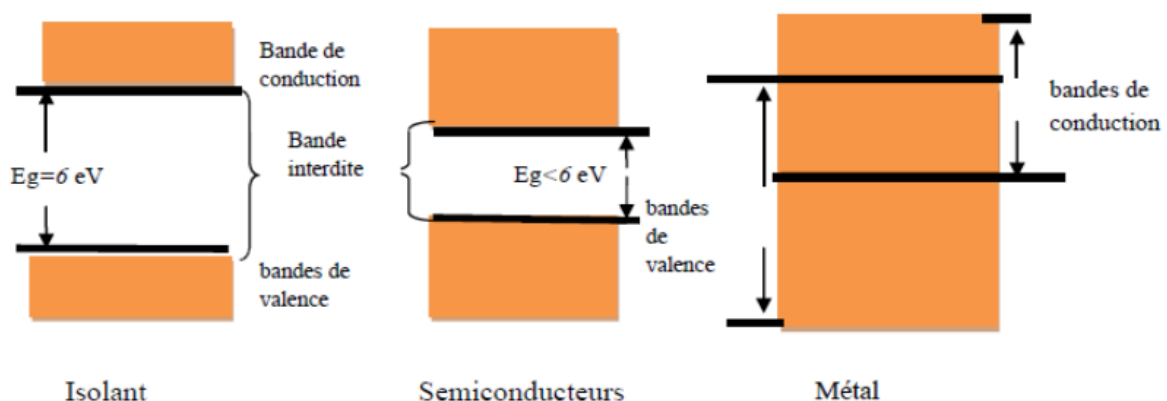
- ✓ Il est durable, les panneaux solaires ayant une durée de vie de plusieurs décennies avec un entretien minimal.

Cependant, le photovoltaïque présente également certains défis, notamment en termes de coûts, de stockage de l'énergie et d'impact environnemental de la production des panneaux solaires. Malgré cela, le photovoltaïque continue de gagner en popularité et en efficacité, et est considéré comme une solution prometteuse pour répondre aux défis énergétiques de l'avenir.

I.3 Semi-conducteurs

Les semi-conducteurs sont des matériaux qui ont une conductivité électrique intermédiaire entre les conducteurs métalliques et les isolants [7]. Ils ont révolutionné l'électronique moderne et ont rendu possible la fabrication de nombreux dispositifs tels que les ordinateurs, les téléphones portables, les appareils électroniques grand public, les panneaux solaires, les LED et bien d'autres encore.

Les semi-conducteurs sont des matériaux dont la bande interdite est suffisamment petite pour que les électrons puissent être excités de la bande de valence à la bande de conduction par l'apport d'énergie, ce qui leur permet de conduire l'électricité.



Figure(I.1) : Structure en bandes dans un métal, un semi-conducteur et un isolant [8]

I.3.1 Silicium:

Le silicium est un élément chimique de la famille des semi-métaux, qui a le symbole chimique Si et le numéro atomique 14. Il est le deuxième élément le plus abondant dans l'écorce terrestre, après l'oxygène. Le silicium est largement utilisé dans l'industrie électronique pour la fabrication de semi-conducteurs, tels que les puces de processeurs et de mémoire, ainsi que pour la production de panneaux solaires.

Le silicium est également un composant clé dans la production de verre et de céramique, ainsi que dans la fabrication d'alliages métalliques utilisés dans l'industrie automobile et

aérospatiale. Il est également utilisé comme additif dans certains produits alimentaires et dans les cosmétiques.

Le silicium est un élément important pour la vie car il est un constituant majeur des tissus conjonctifs tels que le cartilage, les os et les ongles. Il est également impliqué dans le métabolisme des glucides et des graisses.

Le silicium est généralement obtenu à partir de la silice (SiO_2), qui est présente dans les roches et les sables. Le processus de production du silicium implique des étapes de purification et de réduction chimique de la silice, suivies par une cristallisation pour produire des cristaux de silicium pur qui peuvent ensuite être utilisés dans la fabrication de semi-conducteurs.

I.3.2 siliciumHydrogéné

Le terme "hydrogéné" se réfère généralement à une technique de traitement de surface dans laquelle un matériau est traité avec de l'hydrogène pour améliorer ses propriétés. Cette hydrogénation est importante car elle réduit les défauts structuraux et les liaisons non saturées dans la couche de silicium amorphe, ce qui améliore la qualité de la couche et sa stabilité à long terme.

I.4 Quelques notions de base

I.4.1 Bande interdite gap»

La bande interdite, est la plage d'énergie interdite entre la bande de valence et la bande de conduction d'un matériau semi-conducteur, cette plage d'énergie interdite est une caractéristique importante des matériaux semi-conducteurs car elle détermine leur comportement électrique.

Dans un matériau semi-conducteur, les électrons dans la bande de valence sont fortement liés aux atomes, tandis que les électrons dans la bande de conduction sont libres de se déplacer dans tout le matériau. Pour que les électrons passent de la bande de valence à la bande de conduction et ainsi conduire l'électricité, il faut leur fournir une quantité suffisante d'énergie pour surmonter le gap [9].

Dans le cas des cellules solaires, la lumière du soleil fournit l'énergie nécessaire pour exciter les électrons dans le matériau semi-conducteur et leur permettre de passer de la bande de valence à la bande de conduction, créant ainsi un courant électrique. La largeur du gap est donc un facteur important dans la conception des cellules solaires, car elle détermine la longueur d'onde de la lumière solaire qui peut être absorbée et convertie en énergie électrique.

I.4.2. dopage

Technique utilisée pour modifier les propriétés électriques des semi-conducteurs, tels que le silicium, utilisé dans la fabrication de cellules solaires. Cette technique consiste à ajouter de petites quantités d'impuretés, appelées dopants, à un matériau semi-conducteur pour modifier sa conductivité électrique. Il existe deux types de dopage, le dopage de type n et le dopage de type p.

I.4.2.1. dopage de type n

Dopage de type n l'ajout d'impuretés telles que le phosphore, qui ont un électron de valence supplémentaire par rapport au silicium. Ces impuretés fournissent des électrons supplémentaires qui peuvent se déplacer dans le matériau semi-conducteur, augmentant ainsi sa conductivité électrique [10]. En conséquence, l'ajout d'atomes de phosphore à la structure cristalline du silicium donne à la structure une charge globalement négative, c'est-à-dire un excès d'électrons. C'est pour cette raison que le dopage de type N est souvent appelé dopage "donneur" car il donne des électrons supplémentaires au matériau.

I.4.2.2. Dopage de type p

Dopage de type p Implique l'ajout d'impuretés telles que le bore, qui ont un électron de valence en moins par rapport au silicium. Ces impuretés créent des «trous» dans le matériau semi-conducteur qui peuvent être remplis par des électrons provenant de la couche n adjacente, créant ainsi un courant électrique [11].

Dopage de type P consiste à ajouter un atome de bore dans la structure cristalline du silicium. Comme le bore a un électron de moins que le silicium, il ne pourra se lier qu'à trois atomes de silicium, laissant ainsi un trou vide dans la structure cristalline. Ce trou vacant agit comme un porteur de charge positive, contribuant ainsi à la conductivité électrique du matériau.

En conséquence, l'ajout d'atomes de bore à la structure cristalline du silicium donne à la structure une charge globalement positive, c'est-à-dire un excès de trous (déficit électronique) [12]. C'est pour cette raison que le dopage de type P est souvent appelé dopage "accepteur" car il accepte des électrons du matériau, créant ainsi des trous.

I.4.3. Effet photovoltaïque

L'effet photovoltaïque est un phénomène physique par lequel la lumière du soleil (ou toute autre source de lumière) est convertie en électricité dans une cellule solaire. Lorsque la lumière du soleil frappe la surface d'une cellule solaire, elle est absorbée par les électrons dans les matériaux semi-conducteurs de la cellule solaire, ce qui crée une paire électron-trou.

Les électrons sont alors libérés et se déplacent à travers la cellule solaire, créant ainsi un courant électrique [13].

I.4.4. Jonction

Dans une cellule solaire, une jonction est la zone où deux matériaux semi-conducteurs différents (SC dopé type n –SC dopé type p) se rencontrent pour former une couche active qui absorbe la lumière et produit de l'électricité.

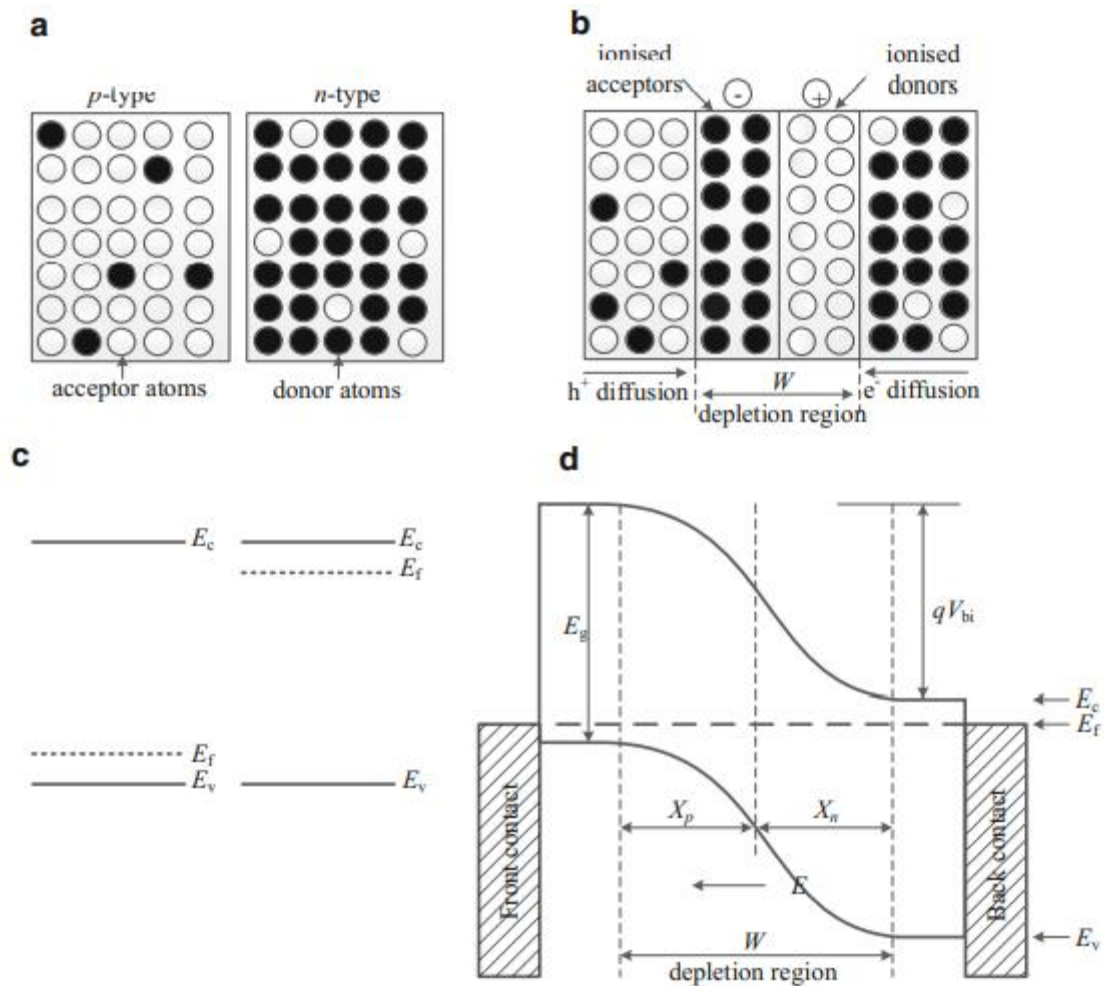
La zone de jonction PN est conçue pour créer une barrière électrique, qui empêche les électrons de migrer de la zone de type p vers la zone de type n. Cette barrière électrique crée une tension électrique à travers la cellule solaire.

I.4.4.1. Homo-jonction et l' hétérojonction

Dans les semi-conducteurs, les jonctions peuvent se développer entre des couches du même matériau semi-conducteur (homo-jonction) ou entre des couches de différents matériaux semi-conducteurs (hétérojonction). Les configurations de base des dispositifs d'homo-jonction et d'hétérojonction peuvent prendre la forme de p+ -p, n-p ou n-n+ comme éprouvée pour les applications de dispositifs à cellules solaires dans la littérature [14, 15-18].

I.4.4.1.1. Jonction p-n et p-i-n

La jonction p-n est la principale composante de la plupart des dispositifs d'application à semi-conducteurs[19,20]. Elle est formée entre des matériaux semi-conducteurs de type p et de type n. La configuration de la jonction p-i-n est une combinaison de la jonction p-n avec une couche semi-conductrice intrinsèque (de type i) en sandwich entre les couches de type p et n [21].



Figure(I.2) :Illustration schématique des (a) matériaux de type p et n avant la formation de la jonction, (b) après p-n formation de jonction et diagramme de bande d'énergie des matériaux semi-conducteurs de type p et n avant à la formation de la jonction p-n et (d) après la formation d'un contact intime étroit.

I.4.4.1.2. Jonction p-p+ et n-n+

formation de jonctions p-p+ ou n-n+ peut être une configuration homo-jonction ou hétérojonction en fonction des matériaux semi-conducteurs en contact. Dans les deux cas, la caractéristique observable de ces jonctions est un petit pas potentiel, ce qui signifie que la hauteur de la barrière est faible.

En général, les jonctions p-p+ et n-n+ sont des jonctions homo-jonction, car elles sont formées à partir de matériaux semi-conducteurs similaires, mais avec des niveaux de dopage différents. Cependant, dans certains cas, ces jonctions peuvent être des jonctions

hétérojonction, si des matériaux semi-conducteurs différents sont utilisés pour former la jonction.

La faible hauteur de la barrière de ces jonctions les rend intéressantes pour la conversion des photons en électrons. En effet, la faible hauteur de la barrière permet aux électrons de passer facilement de l'un des côtés de la jonction à l'autre [22,23], ce qui facilite la génération de paires électron-trou lorsqu'un photon est absorbé. Ces paires électron-trou peuvent ensuite être séparées par le champ électrique présent dans la jonction, créant ainsi un courant électrique. Cette propriété est utilisée dans les cellules solaires pour convertir l'énergie solaire en électricité.

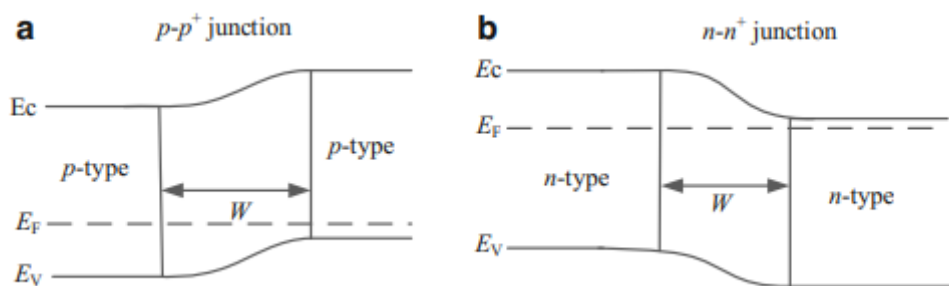
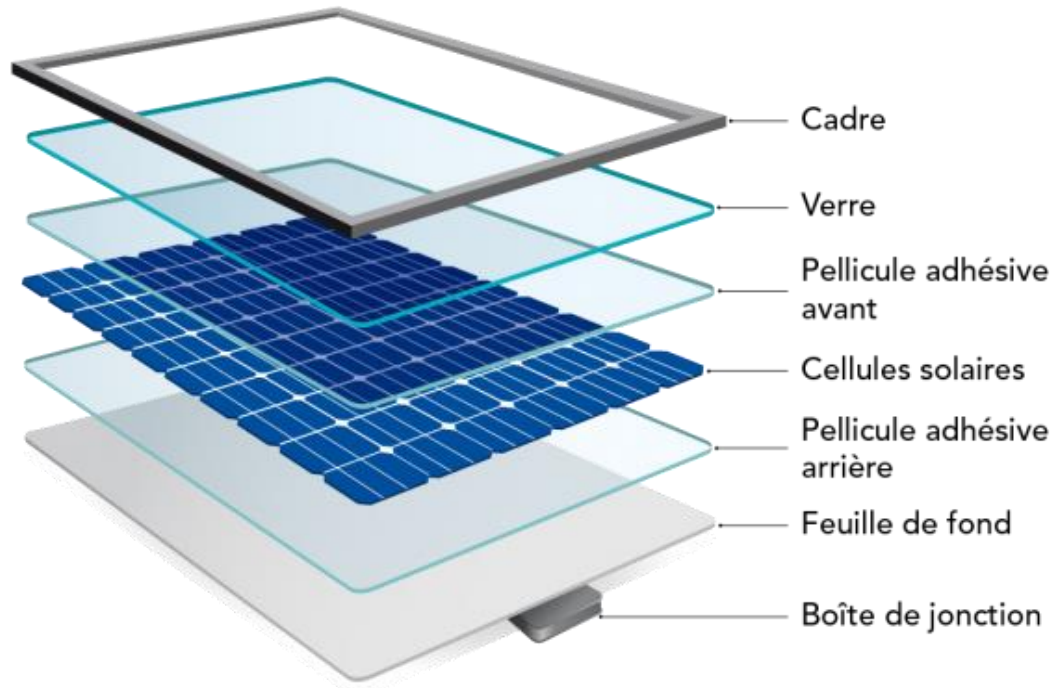


Figure (I.3): Diagrammes de jonctions p-p⁺ et n-n⁺ avec des pas potentiels plus petits[25].

I.5. Cellule solaire

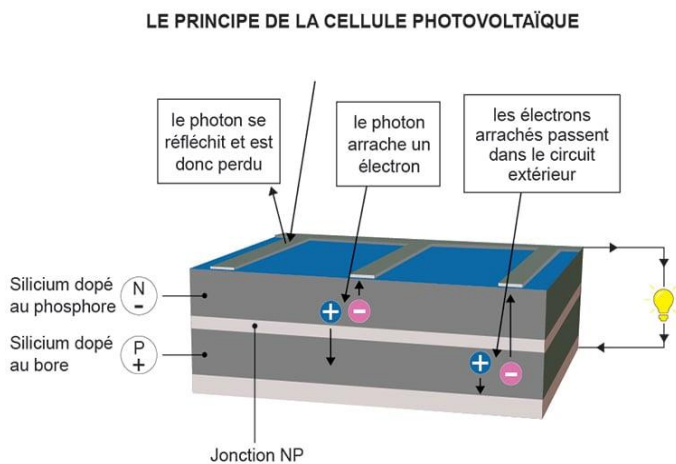
Cellule solaire également connue sous le nom de photovoltaïque (PV), qui signifie « lumière-électricité » est un dispositif électronique qui convertit la lumière du soleil en énergie électrique. Elle est constituée de plusieurs couches de matériaux semi-conducteurs, chacune ayant une fonction spécifique dans la conversion de la lumière en électricité. La couche supérieure, appelée couche antireflet, est conçue pour absorber la lumière et la canaliser vers la couche suivante, qui est la couche active. La couche active contient une jonction PN, qui est la zone où les électrons sont excités et produisent de l'électricité. Les couches suivantes, appelées couches de contact, sont conçues pour collecter l'électricité produite par la cellule solaire et la transférer à l'extérieur du dispositif.



Figure(I.4): Structure le cellule solaire.

I.6. Principe général du fonctionnement d'une cellule solaire :

Lorsque la lumière frappe la cellule solaire, elle excite les électrons dans la couche supérieure, qui se déplacent vers la couche inférieure pour remplir les trous laissés par les électrons manquants. Ce mouvement des électrons crée un courant électrique qui peut être collecté par des fils métalliques attachés aux deux couches.



Figure(I.5) :Cellule photovoltaïque – Principe de fonctionnement.

I.7. Paramètre des cellules photovoltaïques

Les performances d'une cellule photovoltaïque dépendent de plusieurs paramètres, notamment:

I.7.1. La tension de circuit ouvert (V_{oc})

Tension de circuit ouvert, ou V_{oc} , est la tension aux bornes de la cellule photovoltaïque lorsque la sortie est en circuit ouvert, c'est-à-dire lorsqu'il n'y a pas de courant qui circule à travers la cellule. Elle représente la différence de potentiel entre les deux bornes de la cellule et est mesurée en millivolts [24].

La tension de circuit ouvert dépend principalement de deux facteurs : la différence de travaux de sortie des électrodes et la résistance shunt de la cellule. La différence de travaux de sortie des électrodes dépend des matériaux utilisés pour les contacts métalliques de la cellule, tandis que la résistance shunt est une mesure de la résistance électrique qui se produit en parallèle avec la jonction PN de la cellule.

➤ Pour une cellule solaire idéale la tension de circuit ouvert est donnée par :

$$V_{oc} = Q U_t \ln \left(\frac{I_{ph}}{I_s} + 1 \right)$$

En outre, la tension de circuit ouvert diminue avec l'augmentation de la température de la cellule, car la résistance shunt augmente avec la température. Elle varie également avec l'intensité lumineuse, car plus il y a de photons qui frappent la cellule, plus il y a de porteurs de charge qui sont générés, ce qui peut affecter la différence de travaux de sortie des électrodes.

I.7.2. Courant de court-circuit (I_{cc})

Courant de court-circuit, ou ICC, est en effet le courant qui circule dans une cellule photovoltaïque lorsque sa sortie est court-circuitée, c'est-à-dire lorsqu'elle est connectée directement à un circuit sans résistance externe [25]. Ce courant est produit par les porteurs de charge (électrons et trous) qui sont générés par l'irradiation solaire et qui sont collectés par les contacts métalliques de la cellule.

$$I_{cc} = I_{ph} / [1 + (R_s / R_{sh})]$$

I.7.3. Facteur de forme FF

Souvent pour qualifier la qualité d'une cellule photovoltaïque [26]. Il représente le rapport entre la puissance maximale que peut délivrer la cellule et la puissance formée par le rectangle ICC.VCO, Il est défini par la relation suivante :

$$FF = \frac{P_{max}}{V_{oc} I_{sc}} = \frac{V_m I_m}{V_{oc} I_{sc}}$$

I.7.4. Puissance maximale (P_{MAX})

C'est la puissance maximale produite par la cellule photovoltaïque lorsque la charge connectée à la cellule correspond à sa résistance de charge optimale. Elle est obtenue en multipliant la tension et le courant à ce point de fonctionnement.

- La puissance débitée par une cellule solaire est maximum quand le produit ($V \cdot I$) est maximum P

$$P_{max} (V \cdot I)_{max} = V_m I_m$$

- Dans le cas d'une cellule idéale, la puissance maximale correspondrait à la tension de circuit ouvert multipliée par le courant de court-circuit, comme suit :

$$\frac{P_{max}}{P_{idale}} = V_{oc} I_{sc}$$

I.7.5. Rendement électrique

Il désigne le rendement de conversion en puissance. Il est défini comme étant le rapport entre la puissance maximale délivrée par la cellule et la puissance lumineuse incidente. Ce dernier est fortement dépendant du lieu géographique, la couverture nuageuse, le moment dans l'année [27]

$$\eta = \frac{P_{max}}{P_{in}} = \frac{FF V_m I_m}{P_{in}} = \frac{FF V_{oc} I_{sc}}{P_{in}}$$

Le rendement des cellules solaires varie en fonction du type de matériau semi-conducteur utilisé, de la conception de la cellule solaire, de la qualité de la fabrication, de la température et de l'intensité de la lumière incidente.

I.8. Les cellules solaires à base de silicium amorphe

Les cellules solaires à base de silicium amorphe sont des cellules solaires en couches minces qui utilisent une fine couche de silicium amorphe pour convertir la lumière solaire en électricité. Contrairement au silicium cristallin utilisé dans les cellules solaires traditionnelles, le silicium amorphe n'a pas une structure cristalline régulière et est plutôt désordonné [28].

Les cellules solaires à base de silicium amorphe sont produites en déposant une fine couche de silicium amorphe sur un substrat, généralement du verre ou du plastique. Cette couche est ensuite divisée en différentes régions pour créer des jonctions p-n qui permettent la conversion de l'énergie lumineuse en électricité.

Les cellules solaires à base de silicium amorphe ont un coût de production inférieur à celui des cellules solaires traditionnelles en silicium cristallin, car elles nécessitent moins de matériaux pour produire la même quantité d'énergie. Elles peuvent également être plus légères et plus flexibles, ce qui les rend plus adaptées à une gamme d'applications différentes.

Cependant, les cellules solaires à base de silicium amorphe ont généralement une efficacité énergétique inférieure à celle des cellules solaires traditionnelles, ce qui peut limiter leur utilisation dans certains contextes. Néanmoins, des améliorations constantes dans la technologie des cellules solaires à base de silicium amorphe ont conduit à des améliorations significatives de leur efficacité énergétique ces dernières années.

I.9. Les cellules solaires à base de silicium nanocristallin

Les cellules solaires à base de silicium nanocristallin sont une variante de cellules solaires en couches minces qui utilisent des matériaux semi-conducteurs contenant du silicium à la fois amorphe et cristallin. Les grains cristallins dans ces matériaux ont une taille de l'ordre du nanomètre, d'où le nom de silicium nanocristallin.

Les cellules solaires à base de silicium nanocristallin ont des propriétés électriques et optiques différentes de celles des cellules solaires à base de silicium amorphe ou cristallin. Les propriétés optiques du silicium nanocristallin lui permettent d'absorber plus efficacement la lumière du soleil sur une plage plus large de longueurs d'onde que les cellules solaires à base de silicium amorphe ou cristallin.

Les cellules solaires à base de silicium nanocristallin peuvent être produites par plusieurs techniques, notamment le dépôt en phase vapeur, le dépôt chimique en phase vapeur et le dépôt en solution. Les cellules solaires à base de silicium nanocristallin produites par ces techniques ont généralement des rendements de conversion d'énergie supérieurs à ceux des cellules solaires à base de silicium amorphe ou cristallin.

Cependant, la production de cellules solaires à base de silicium nanocristallin est encore en développement et les coûts de production sont actuellement plus élevés que ceux des cellules solaires à base de silicium amorphe ou cristallin. Néanmoins, les recherches et développements continus dans cette technologie pourraient réduire les coûts de production à l'avenir et améliorer leur efficacité énergétique, ce qui pourrait conduire à une utilisation accrue des cellules solaires à base de silicium nanocristallin dans le futur.

I.10. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons donné un aperçu sur le domaine de photovoltaïque, en présentant les notions nécessaires pour comprendre ce domaine. Nous avons commencé par définir les semi-conducteur, le dopage, la jonction...ect .On termine ce chapitre par décrire le principe de fonctionnement et les paramètres d'une cellule solaire photovoltaïque.

Chapitre 2 :

Simulation de la cellule solaire nc-Si:H(p) / a-Si:H(n)

II.1 Introduction

L'un des principaux avantages de la technologie photovoltaïque est qu'elle ne produit aucune émission de gaz à effet de serre ou d'autres polluants tout en produisant de l'énergie, ce qui en fait une source d'énergie propre et durable.

Le silicium et d'autres matériaux semi-conducteurs, qui peuvent absorber des photons de lumière et libérer des électrons pour produire un courant électrique, sont utilisés pour fabriquer des cellules solaires. Un module photovoltaïque, souvent appelé panneau solaire, est une collection de plusieurs cellules solaires qui peuvent être utilisées pour produire de l'énergie à partir de la lumière du soleil [29].

Dans ce chapitre, l'attention est portée sur l'étude de deux cellules solaires :

Cellule 01 : (nc-Si:H(p) / a-Si:H(n).

Cellule 02 : (nc-Si:H(p) / SnS / a-Si:H(n).

La simulation est fait par le logiciel SCAPS (Solar Cell Capacitance Simulator), les résultats aboutis seront discutés et interprétés.

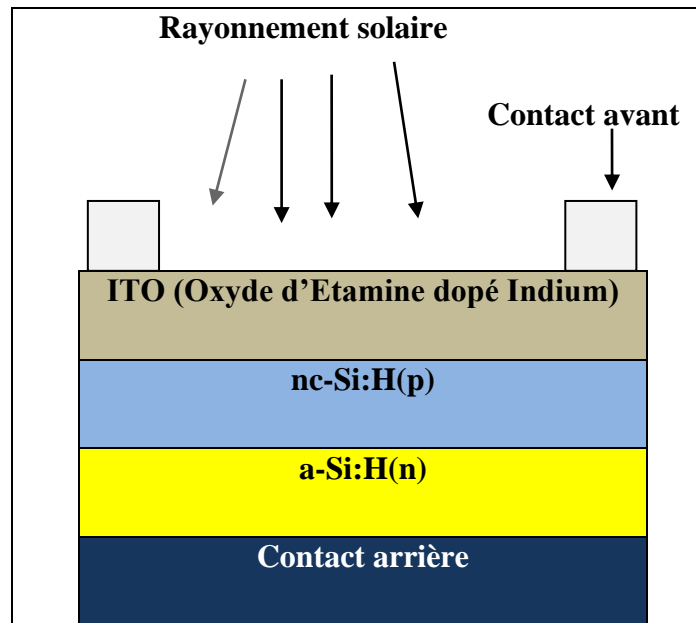
II.2 Logiciel SCAPS

SCAPS (Solar Cell Capacitance Simulator) est un logiciel spécialement conçu pour simuler et analyser les performances des cellules solaires. L'objectif principal de SCAPS est de fournir une plate-forme complète pour simuler et étudier les processus physiques se produisant dans les cellules solaires. En saisissant divers paramètres, les utilisateurs peuvent simuler le comportement des cellules solaires dans différentes conditions et analyser leurs performances en termes d'efficacité, de courant-tension et d'autres mesures pertinentes.

Au fil du temps, plusieurs extensions ont été ajoutées à SCAPS pour améliorer ses capacités et le rendre applicable à d'autres technologies de cellules solaires. Ainsi, il peut être utilisé pour simuler des cellules solaires cristallines comme le silicium (Si) et l'arséniure de gallium (GaAs), ainsi que des cellules solaires amorphes comme le silicium amorphe (a-Si) et le silicium micro amorphe [30-32].

II.2.1. Structures de la cellule solaire simulée nc-Si:H(p) / a-Si:H(n)

La figure ci-dessus présente la structure de notre cellule étudiée.



Figure(II.1): Schéma représentatif de la cellule simulée nc-Si:H(p) / a-Si:H(n)

II.2.2 Paramètres physiques utilisés dans la simulation

Les paramètres physiques du silicium nanocristallin hydrogéné nc-Si:H et les paramètres physiques du silicium amorphe hydrogéné utilisés dans cette étude.

Tableau (II-1) : Les paramètres physiques d'entrée pour les matériaux des couches nc-Si :H(n) / SnS(p) / a-Si :H(n)

Couche Propriété	nc-Si-H(P)[33]	SnS(p)[34]	a-Si-H(n)[33]
Permittivité diélectrique	11.9	11.9	11.9
Epaisseur(nm)	15	55	25
Bande de gap(eV)	2	1.8	1.72
Affinité électronique(eV)	3.7	3.9	3.8
Densité des états effective dans la BC(NC(cm-3))	2.80x10 ¹⁹	1x10 ²⁰	2.50x10 ²⁰
Densité des états effective dans la BV(NV(cm-3))	1.04x10 ¹⁹	1x10 ²⁰	2.50x10 ²⁰
Mobilité d'électron μ_n (cm ² /V.S)	2	20	10
Mobilité du trou μ_p (cm ² /V.S)	0.2	5	01
Densité du donneur ND (cm-3)	0	1x10 ⁶	0
Densité de l'accepteur Na(cm ⁻³)	3x10 ¹⁹	1x10 ¹⁷	0

II.2.3 Simulation de la cellule solaire nc-Si:H(p) / a-Si:H(n)

Dans cette étude, nous allons utiliser le logiciel SCAPS pour simuler une cellule solaire à hétéro jonction avec la structure nc-Si:H(p) / a-Si:H(n).la simulation sera réalisée en prenant en compte les conditions suivantes :

- ✓ Température de fonctionnement : La simulation sera effectuée à une température de 300 K, ce qui correspond à la température ambiante habituelle.
- ✓ Rayonnement AM 1,5
- ✓ Densité de puissance incidente : Une densité de puissance incidente de 100 mW/cm² sera utilisée dans la simulation. Cela signifie que chaque centimètre carré de la surface de la cellule solaire sera exposé à une puissance lumineuse de 100 milliwatts.

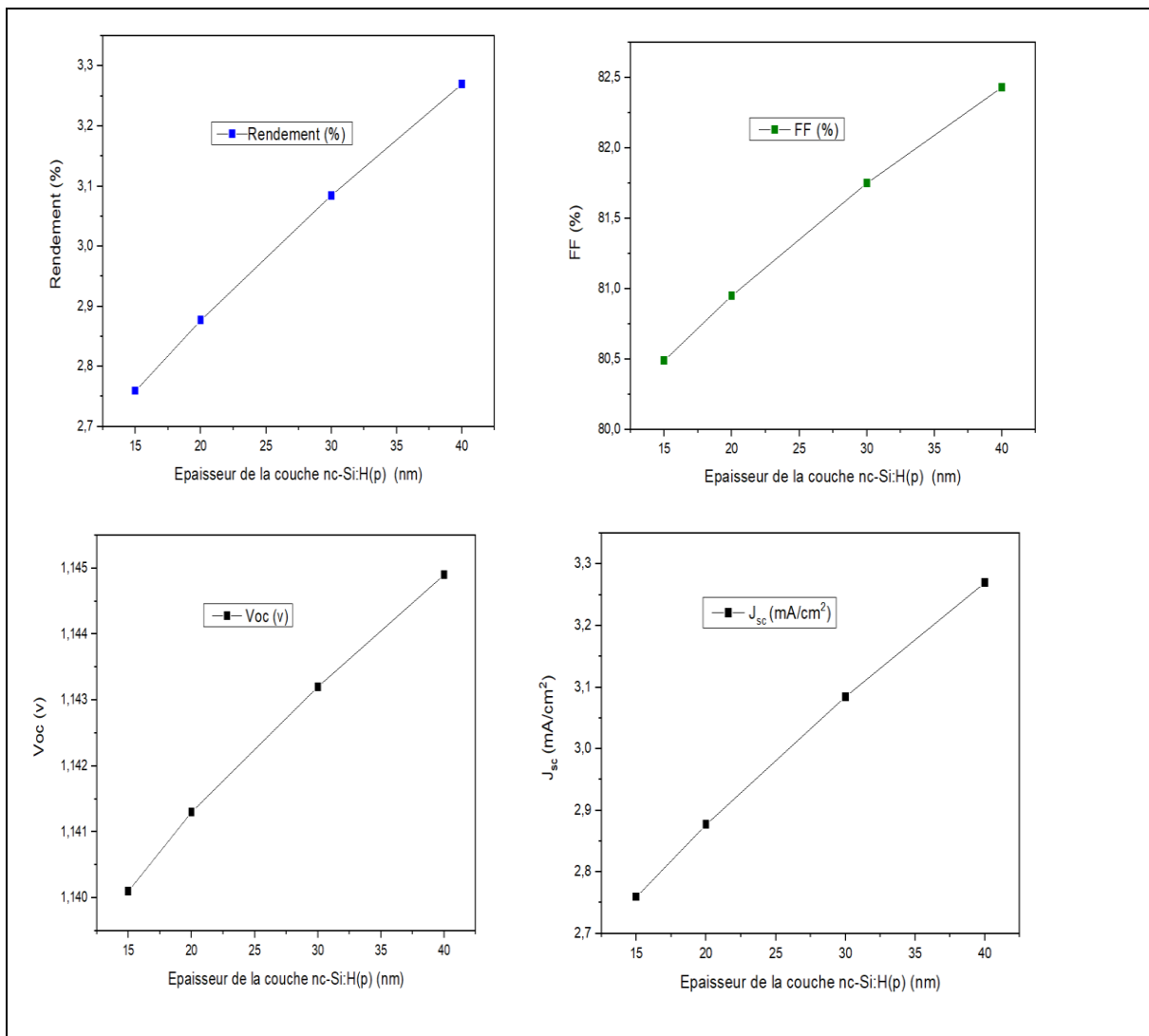
En utilisant ces paramètres, la simulation permettra d'étudier les performances de la cellule solaire à base de silicium nanocristallin hydrogéné (nc-Si:H) et silicium amorphe en analysant des caractéristiques telles que le courant électrique généré JSC, la tension de sortie VOC, l'efficacité de conversion η et le facteur de forme FF

II.3 Résultats et discussions

II.3.1 L'impact de l'épaisseur de la couche nc-Si:H(p) sur l'efficacité de la cellule

Pour étudier l'impact de l'épaisseur de la couche nc-Si:H(P) sur l'efficacité de la cellule solaire nc-Si:H(p) / a-Si:H(n) nous avons gardé l'épaisseur de couche a-Si:H(n) fixe à 25nm et nous avons varié l'épaisseur de la couche. nc-Si:H(p) de 15nm à 40nm .

La figure (II.2) illustre l'effet de la variation de l'épaisseur la couche nc-Si :H(p) sur JSC , VOC, FF et le rendement η .



Figure(II.2) : variation des paramètres photovoltaïque fonction d'épaisseur de la couche nc-Si:H(p)

D'après la figure (II.2) nous constatons que la densité du courant JSC, la tension VOC, le facteur de forme FF et le rendement η nous augmentent avec l'accroissement de

l'épaisseur de la couche nc-Si:H(p) Une augmentation de l'épaisseur de la couche (p) peut permettre une meilleure absorption de la lumière, ce qui est conduit à l'augmentation de nombre des porteurs de charge électrons et des trous générés dans la couche absorbante. Notre couche (p) est constituée à partir du silicium nanocristallin, un matériau de très haute pureté, ce qui réduit le taux de recombinaison électron trou.

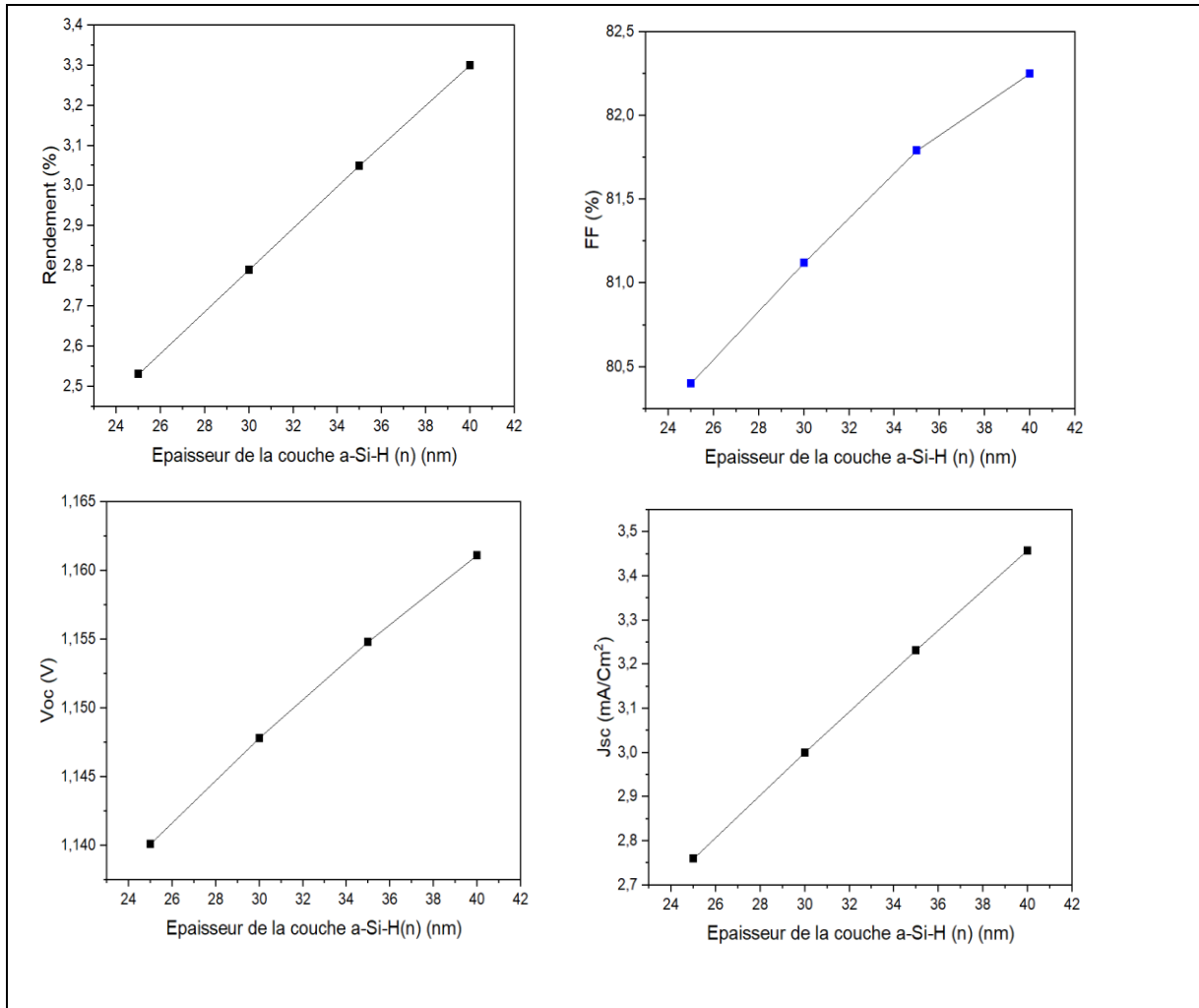
Tableau (II-2) variations de la couche nc-si:H(p)

e (nm) x	Voc y	Jsc y	FF y	N y
15	1.1401	2.759524	80.49	2.53
20	1.1413	2.876640	80.95	2.66
30	1.1432	3.084491	81.75	2.88
40	1.1449	3.269675	82.43	3.09

II.3.2 L'impact de l'épaisseur de la couche a-Si :H (n) sur l'efficacité de la cellule

Nous faisons varier la valeur de l'épaisseur de la couche intrinsèque a-Si:H(n) de 25 jusqu'à 40 nm, tandis qu'en gardant l'épaisseur des couches nc-Si:H(p) fixe à 15 nm.

La Figure (II.3) présente la variation des paramètres Voc ; Jsc ; FF ; η de la cellule nc-Si:H(p)/a-Si-H (n)



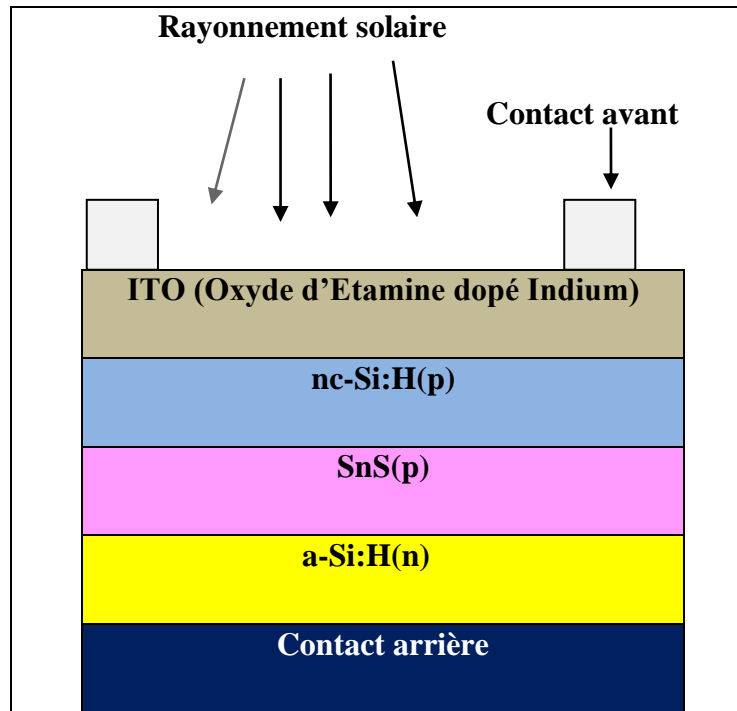
Figure(II.3) : variation des paramètres photovoltaïque fonction d'épaisseur de la couche a-Si:H(n).

D'après la figure (II.3) nous constatons que la densité du courant J_{sc} , la tension V_{oc} le facteur de forme FF et le rendement η tous augment avec l'accroissement de l'épaisseur de la couche a-si :H(n) . Une augmentation de l'épaisseur de la couche a-si :H(n) peut permettre une meilleure absorption de la lumière , ce qui est conduit à l'augmentation de nombre des porteurs de charge les électrons et les trous générés dans la couche absorbante .

II.4 structures de la cellule solaire simulées de nc-Si:H(p)/SnS(p) /a-Si :H(n)

Dans le but d'améliorer le rendement de la première cellule nous allons examiner l'effet d'insérer une couche de SnS (sulfure d'étain).

Le mono sulfure d'étain SnS est un semi-conducteur absorbant très intéressant dans le domaine des cellules solaires, en raison de ses excellentes performances électriques et propriétés optiques, faible toxicité, abondance sur terre, rentabilité et bonne stabilité [35]

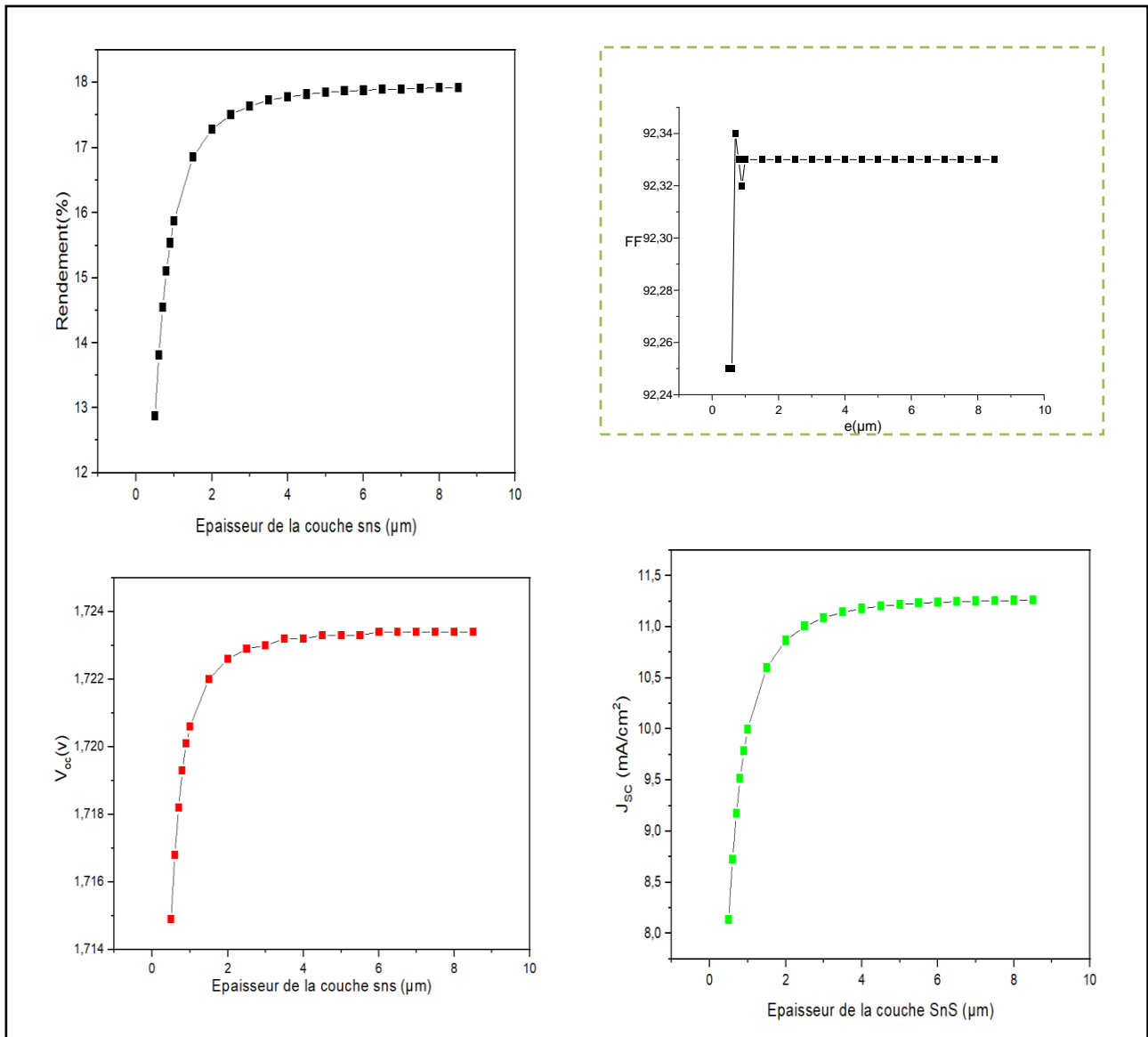


Figure(II.1): Schéma représentatif de la cellule simulée nc-Si:H(p) / SnS / a-Si:H(n)

II.4.1 L'impact de l'épaisseur de la couche SnS sur l'efficacité des cellules

Nous faisons varier l'épaisseur de la couche SnS de 0.55 jusqu'à 10 μm , tandis qu'en gardant les épaisseurs des couches nc-Si:H(p) et a-Si:H(n) fixées à 15 et 10 nm respectivement.

La Figure (II.4) représente la variation de tension en circuit ouvert V_{OC} ; courant de court-circuit J_{SC} ; facteur de forme FF et rendement η de la cellule (nc-Si:H(p) / SnS / a-Si:H(n)) en fonction de l'épaisseur de la couche SnS.



Figure(II.5) : variation des paramètres photovoltaïques fonction d'épaisseur de la couche SnS.

D'après la figure (II.5) on observe que la tension Voc, 1.7234eV augmentent en fonction de l'épaisseur de la couche SnS. Cette augmentation peut-être interpréter par l'excellente absorbance de SnS (coefficient d'absorption 10^5), et a la bande interdite direct $E_g=1.3eV$ [13].

Le Rendement η atteint son maximum a une épaisseur de 6 μm

Tableau (II-3) variations de l couche SnS

e(μm)	Voc	Jsc	FF	n
0.5	1.7149	8.136478	92.25	12.87
0.6	1.7168	8.724588	92.25	13.82
0.7	1.7182	9.171500	92.34	14.55
0.8	1.7193	9.515931	92.33	15.11
0.9	1.7201	9.785165	92.32	15.54
1	1.7206	9.998591	92.33	15.88
1.5	1.7220	10.601919	92.33	16.86
2	1.7226	10.865685	92.33	17.28
2.5	1.7229	11.005964	92.33	17.51
3	1.7230	11.089471	92.33	17.64
3.5	1.7232	11.142526	92.33	17.73
4	1.7232	11.177649	92.33	17.78
4.5	1.7233	11.201610	92.33	17.82
5	1.7233	11.218383	92.33	17.85
5.5	1.7233	11.230427	92.33	17.87
6	1.7234	11.239314	92.33	17.88
6.5	1.7234	11.246065	92.33	17.90
7	1.7234	11.251357	92.33	17.90
7.5	1.7234	11.255641	92.33	17.91
8	1.7234	11.259217	92.33	17.92
8.5	1.7234	11.262292	92.33	17.92

II .5Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons utilisé le logiciel SCAPS pour simuler les cellules solaires :

(nc-Si:H(p) / a-Si:H(n), (nc-Si:H(p) / SnS /a-Si:H(n)).Nous avons étudié l'impact de la variation de l'épaisseur des différentes couche (nc-Si:H(p) / a-Si:H(n) /SnS) sur les paramètres de la cellule solaire, la densité du courant JSC , la tension VOC. le facteur de forme FF et le rendementη.Les résultats aboutis ont été discutés et interprétés.

Conclusion générale

Conclusion générale

Le travail présenté dans ce mémoire a été structuré en deux chapitres, dans le premier nous avons présenté des généralités sur le domaine de la conversion photovoltaïque ainsi que le principe de fonctionnement des cellules solaires.

Lors du deuxième chapitre nous avons simulé deux cellules solaires avec les structures suivantes : nc-Si:H(p) / a-Si:H(n) , nc-Si:H(p) / SnS /a-Si:H(n) en utilisant le logiciel SCAPS (Solar Cell Capacitance Simulator). La température de fonctionnement est réglée initialement à 300 K , le rayonnement AM 1,5 avec une densité de puissance incidente de 1000w/m².

Premièrement, nous avons étudié l'impact de la variation de l'épaisseur de la couche nc-Si - H(P) dans un intervalle allant de 15nm jusqu'à 40 nm sur l'efficacité de la cellule photovoltaïque nc-Si:H(p) / a-Si:H(n). Nous avons trouvé que les paramètres de la cellule photovoltaïque tels que la densité du courant Jsc, la tension Voc, le facteur de forme FF et le rendement η ont augmenté avec l'accroissement de l'épaisseur de cette couche . Donc une augmentation de l'épaisseur de la couche nc-Si :H(p)peut permettre une meilleure absorption de la lumière, ce qui conduit à l'augmentation de nombre des porteurs de charge électrons et des trous générés dans la couche absorbante. En plus notre couche nc-Si :H(p)est constituée à partir du silicium nano-cristallin, un matériau de très haute pureté, ce qui réduit le taux de recombinaison électron-trou Ensuite, l'épaisseur de la couche a-Si-H (n) a été variée de 25nmjusqu'à40nm. Cette variation a été accompagné par un accroissement dans les valeurs des paramètres de la cellule photovoltaïque nc-Si:H(p) / a-Si:H(n).

En second lieu, une couche de mono sulfure d'étain SnS (P) a été insérer entre les deux premières couches les résultats montrent que le rendement a été bien amélioré en comparant avec le rendement de la première cellule. Le mono sulfure d'étain SnS (P) un excellent absorbant(coefficient d'absorption 10^5),Le Rendement η atteint son maximum17.92.% a une épaisseur de 6 μm .

Les références bibliographiques

- [1] S.Martin. (2012). A-si :H/c-Si hetrojunction solar cells : back side assessment and improvement. Thèse de Doctorat, Université Paris-Sud.
- [2] Mohammed Ikbal Kabir, Seyed A. Shahahmadi, et al. (2012). Amorphous Silicon Single-Junction Thin-Film Solar Cell Exceeding 10%Efficiency by Design Optimization. International Journal of Photoenergy Volume 2012, Article ID 460919, 7 pages doi:10.1155/2012/460919
- [3] Shahzad Hussain et al. (2014) Nanocrystalline Silicon (nc-Si:H) and Amorphous Silicon (a-Si:H) Based Thin-Film Multijunction Solar Cell. Sains Malaysiana 43(6)(2014): 895–898
- [4] Bendjebbar et al. (2020). Numerical analysis of metal-semiconductor junctions ITO/p-a-Si:H and n-c-Si/Al on silicon heterojunction solar cells. Optik - International Journal for Light and Electron Optics 212 (2020) 164741
- [5] Le Zhu. (2012). Development of Metal Oxide Solar Cells through Numerical Modelling. Thèse de Doctorat, Institute for Renewable Energy and Environment Technologies, University of Bolton
- [6] Manuel d'utilisation de SCAPS, Version: 8-4-2021
- [7] I.M. Dharmadasa, Advances in Thin-Film Solar Cells (Pan Stanford, Singapore, 2013).
- [8] S. Benamrache, « Elaboration et caractérisation des couches minces de ZnO dopées cobalt et indium », thèse de Doctorat, Université Mohamed Khider –Biskra, (2012).
- [9] J. Garnier, Elaboration de couches minces d'oxydes transparents et conducteurs par spray CVD assisté par radiation infrarouge pour applications photovoltaïques, Thèse de Doctorat, École Nationale Supérieure d'Arts et Métiers, Paris, France (2009)..
- [10] Saouli Sara ,Étude Des Caractéristiques Courant Tension d'une cellule de silicium, Mémoire de Master, Université Mohamed El Bachir Elibrahimi –Bordj Bou Arreridj 01/07/2018
- [11] Ü. Özgür, Y. I. Alivov, C. Liu, et al, J. Appl. Phys. 98 (2005).
- [12] Saouli Sara ,Étude Des Caractéristiques Courant Tension d'une cellule de silicium, Mémoire de Master, Université Mohamed El Bachir Elibrahimi –Bordj Bou Arreridj 01/07/2018
- [13] Melle Arras Aida, Caractérisation des cellules photovoltaïques à base d'hétérojonction de silicium a-Si/c-Si, Master en physique , Université Abou-bekr belkaid – tlemcen 25 /06/2018 .
- [14] K.L. Chopra, P.D. Paulson, V. Dutta, Thin-film solar cells: an overview. Prog. Photovolt. Res.Appl. 12, 69–92 (2004). <https://doi.org/10.1002/pip.541>
- [15] H using nitrate precursor for applications in solar cells. J. Mater. Sci. Mater. Electron. 26, 3119–3128 (2015). <https://doi.org/10.1007/s10854-01>.I. Salim, V. Patel, a. Abbas, J.M. Walls, I.M. Dharmadasa, Electrodeposition of CdTe thin films [5-2805-x](#)

- [16] N.A. Abdul-Manaf, H.I. Salim, M.L. Madugu, O.I. Olusola, I.M. Dharmadasa, Electroplating and characterisation of CdTe thin films using CdCl₂ as the cadmium source. *Energies* 8, 10883–10903 (2015). <https://doi.org/10.3390/en81010883>
- [17] S. Bonilla, E.A. Dalchiele, Electrochemical deposition and characterization of CdTe polycrystalline thin films. *Thin Solid Films* 204, 397–403 (1991). [https://doi.org/10.1016/0040-6090\(91\)90078-C](https://doi.org/10.1016/0040-6090(91)90078-C)
- [18] C.G. Morris, *Academic Press Dictionary of Science and Technology* (Academic, San Diego, 1991)
- [19] K. Zanio, *Semiconductors and Semimetals* (Academic, New York, 1978). http://shu.summon.serialssolutions.com/2.0.0/link/0/eLvHCXMwdV3JCsIwEB1cEAQPrrgV-gNKmyZNPYvFu94l6bQ3K1j_HydDXXA5Zg7DJJB5me0FIBLrYPXhE8LEUZ8IRggjsgBlgBuptSqw0Chzrsy80Rg848ZXCuObQZ_iCKmCyN3HJjQJON2LqOaiYzdM7pnQiml0hCaUCiNVM-481sn7lwYMKGkfWm7IYACNvBxCh9sws2o
- [20] K.L. Chopra, P.D. Paulson, V. Dutta, Thin-film solar cells: an overview. *Prog. Photovolt. Res. Appl.* 12, 69–92 (2004). <https://doi.org/10.1002/pip.541>
- [21] V. Petr, *Electrochemical Series*, CRC Handbook of Chemistry and Physics, 87th edn. (CRC Press, Boca Raton, 2005), pp. 1–10. <https://doi.org/10.1136/oem.53.7.504>
- [22] S. Bonilla, E.A. Dalchiele, Electrochemical deposition and characterization of CdTe polycrystalline thin films. *Thin Solid Films* 204, 397–403 (1991). [https://doi.org/10.1016/0040-6090\(91\)90078-C](https://doi.org/10.1016/0040-6090(91)90078-C)
- [23] T.L. Chu, S.S. Chu, F. Firszt, H.a. Naseem, R. Stawski, Deposition and characterization of p-type cadmium telluride films. *J. Appl. Phys.* 58, 1349–1355 (1985). <https://doi.org/10.1063/1.336106>
- [24] Melle Arras Aida, Caractérisation des cellules photovoltaïques à base d'hétérojonction de silicium a-Si/c-Si, Master en physique , Université Abou-bekr belkaid – tlemcen 25 /06/2018 .
- [25] Melle Arras Aida, Caractérisation des cellules photovoltaïques à base d'hétérojonction de silicium a-Si/c-Si, Master en physique , Université Abou-bekr belkaid – tlemcen 25 /06/2018 .
- [26] David Reaux. Cellules photovoltaïques à hétérojonctions de silicium (a-Si/c-Si) : modélisation des défauts et de la recombinaison à l'interface. *Science des matériaux* [cond mat.mtrl-sci]. Université Paris-Saclay, 2017. Français. <NNT : 2017SACLS174>. <tel 01613084>. Disponible à l'adresse suivante : <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01613084>.
- [27] David Reaux. Cellules photovoltaïques à hétérojonctions de silicium (a-Si/c-Si) : modélisation des défauts et de la recombinaison à l'interface. *Science des matériaux* [cond

Les références bibliographiques

mat.mtrl-sci]. Université Paris-Saclay, 2017. Français. <NNT : 2017SACLS174>. <tel 01613084>. Disponible à l'adresse suivante : <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01613084>.

[28] Bensaad Radja, Nasri Maria, Simulation des cellules solaires à base de silicium amorphe, Mémoire de Master, Université Amar Thelidji- Laghouat, Juin 2022

[29] D. E. Carlson and C. R. Wronski, "Amorphous silicon solar cell," *Applied Physics Letters*, vol. 28, no. 11, pp. 671–673, 1976.

[30] U. Kroll, C. Bucher, S. Benagli et al., "High-efficiency p-i-n a-Si:H solar cells with low boron cross-contamination prepared in a large-area single-chamber PECVD reactor," *Thin Solid Films*, vol. 451-452, pp. 525–530, 2004.

[31] M. I. Kabir, Z. Ibarahim, K. Sopian, and N. Amin, "A review on progress of amorphous and microcrystalline silicon thin-film solar cells," *Recent Patents on Electrical Engineering*, vol. 4, no. 1, pp. 50–62, 2011.

[32] R. C. Chittick, J. H. Alexander, and H. F. Sterling, "The preparation and properties of amorphous silicon," *Journal of the Electrochemical Society*, vol. 116, no. 1, pp. 77–81, 1969

[33] A. Belfar, H. Aït-Kaci, Effect of incorporating p-type hydrogenated nanocrystalline silicon buffer layer on amorphous silicon n-i-p solar cell performances, *Thin Solid Films*, Volume 525, 2012, Pages 167-171.

[34] B.Sutapa,C.Das.(2020), "Numerical simulations on a-Si:H/SnS/ZnSe based solar cells".Department of Oelectrical and Electronics Engineering,B.M.S College of Engineering,Bengaluru,India.

[35] Namgue Lee et al,(2021), "Effet H2 annealing on SnS thin films grown by thermal and their transfer characteristics with Ti,W, and Mo electrodes ". Department of Nanoscale Semiconductor Engineering, Hanyang University,04763,Republic of Korea b Division of MaterialsScience and Engineering,Hanyang University,Seoul04763,Republic of Kore .

Résumé

Résumé

Titre du mémoire : Etude des cellules solaires à base de silicium nanocristallin

Nom : KHANFAR **prénom :** Maroua

Encadreur: HANNACHI Manelle

TELLI

Ikram

Résumé :

Dans cette présente étude, nous avons simulé la cellule solaire nc-Si:H(p) / a-Si:H(n) en examinant l'effet de la variation de l'épaisseur des couches nc-Si:H(p), a-Si:H(n) sur les paramètres de cellule photovoltaïque, la tension V_{OC} , la densité du courant J_{SC} , le facteur de forme FF et le rendement η . Nous avons aussi simulé une deuxième cellule nc-Si:H(p) / SnS / a-Si:H(n) en étudiant l'effet de la variation de l'épaisseur de la couche SnS. Cette la simulation a été réalisée en utilisant le logiciel SCAPS (Solar Cell Capacitance Simulator), avec une température de fonctionnement 300 K, et un rayonnement AM 1,5 avec une densité de puissance incidente de 1000w/m^2 .

Mots clés : Silicium, Amorphe, Nanocristallin, Simulation, SCAPS.

Dissertation title: study of nanocrystalline silicon solar cells

Name : KHANFAR **First name :** Maroua

Directed by: HANNACHI Manelle

TELLI

Ikram

Abstract:

In this study, we simulated the solar cell nc - If: H (p) / a If: H (n) by examining the effect of the variation in the thickness of the layers nc - If: H (p) , a -If: H (n) on the photovoltaic cell parameters Voc voltage, Jsc current density, FF form factor and efficiency η . We also simulated a second cell nc - If: H (p) / SnS / a - If: H (n) by studying the effect of the variation of the thickness of the SnS layer. This simulation was carried out using the SCAPS software (Solar Cell Capacitance Simulator) , with operating temperature 300 K , and 1.5 AM radiation with an incident power density of 1000w/m^2 .

Keywords: Silicon, Amorphous, Nanocrystalline, Simulation, SCAPS

عنوان المذكرة : دراسة خلايا الطاقة الشمسية المصنوعة من السيليكون النانوبلوري.

المؤطر: حناشي منال

الاسم: مروة

اللقب : خنفار

اكرام

تلي

الملخص :

في هذه الدراسة ، قمنا بمحاكاة الخلية الشمسية nc-Si: H (p) / a-Si: H (n) ، حيث قمنا بدراسة تأثير التغيير في سمك الطبقات nc-Si: H (p) ، a-Si: H (n) على خصائص الخلية الكهروضوئية: جهد V_{OC} ، وكثافة تيار J_{sc} ، وعامل شكل FF والكفاءة η . قمنا أيضًا بمحاكاة خلية شمسية ثنائية nc-Si: H (p) / SnS / a-Si: H (n) ، حيث قمنا بدراسة تأثير سمك طبقة SnS باستخدام برنامج SCAPS (Solar Cell Capacitance Simulator) ، بدرجة حرارة تشغيل 300 كلفن ، وإشعاع AM 1.5 بكثافة طاقة تبلغ 1000 وات / م² .

الكلمات الرئيسية: السيليكون، غير المتبلور ، المحاكاة، SCAPS.