



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



Université Amar Thelidji- Laghouat

FACULTE : TECHNOLOGIE

DEPARTEMENT : GÉNIE DES PROCÉDÉS

MEMOIRE DE MASTER

Présenté par : Bensaad Radja

Nasri Maria

DOMAINE : Sciences et Technologies

FILIERE : Génie des Procédés

OPTION : Génie des Procédés des matériaux

Thème

**Simulation des cellules solaires à base de silicium
amorphe**

Jury de soutenance :

Nom et Prénom	Grade	Qualité
BENDAHGANE Soumia	MAA	Président
BELHADJ Soraya	MCB	Examineur
HANNACHI Manelle	MCB	Rapporteur

Promotion : JUIN 2022



Remerciements :

La réalisation de ce mémoire a été rendue possible grâce à l'aide de plusieurs personnes à qui nous tenons à exprimer toute notre gratitude.

Nous tenons à exprimer notre gratitude à l'enseignante Hannachi Manelle pour d'être le directeur de notre mémoire. Pour sa compréhension, sa patience et le temps qu'elle nous a accordé.

Nous remercions également les membres de jury : l'enseignante Belhadj Soraya et l'enseignante Bendahgane Soumia , pour l'intérêt qu'elles ont porté à notre mémoire en acceptant d'examiner notre travail.

Nous remercions Monsieur le professeur Marc Burgelman pour la licence du logiciel SCAPS .

Nous tenons à exprimer notre gratitude aux amis, collègues et toute personne nous ayant aidé de près ou de loin à l'aboutissement de ce travail.





Dédicaces :

Je Dédie ce modeste travail à toutes les personnes qui m'ont aidé de près ou de loin à la réalisation de ce mémoire.

Mes parents :

Mon chère père Ben Saad Mohammed , qui n'a pas arrêté de sacrifier pour que je puisse franchir tout obstacle durant mes années d'études, que dieu me le garde en très bonne santé.

Le miracle de la vie nourrie par une femme qui nous a donné l'amour et le sacrifice est ma maman Nasri Halima .

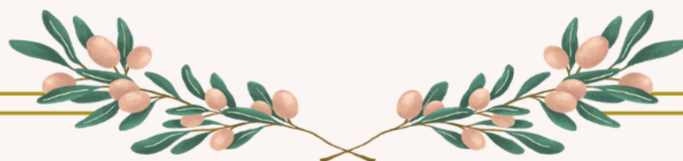
**Mes chères frères Brahim , Abd Elkarim , Adel , Oussama , Abd Elsamad.
Mes chères soeurs Nour El Houda, Youssra pour leurs encouragements permanents et leur soutien moral.**

Mon cher neveu Mohammed Gheïth .

A tous mes enseignants.

Toute ma famille.

Ben Saad Radja





Dédicaces :

Je Dédié ce travail à

Ma chère mère Nasri Mesaouda ,qui a œuvré pour ma réussite , par son amour ,son soutien ,tous les sacrifices consentis et ses précieux conseil ,pour toute son assistance et sa présence dans ma vie , je t'aime et je te souhaite une longue vie .

Mon cher père Nasri Mohammed qui n'a pas arrêté de m' encourager .

A ma grande-mère Ben Halaytam Mubaraka .

A mon grand-père Nasri Ahmed .

A mes chères sœurs, khadidja , Radja, Yousra , Souhila, Hanane, Soumia pour leurs encouragements permanents et leur soutien moral.

A toute ma famille.

A tous mes enseignants.

A tous mes amies.

Nasri Maria

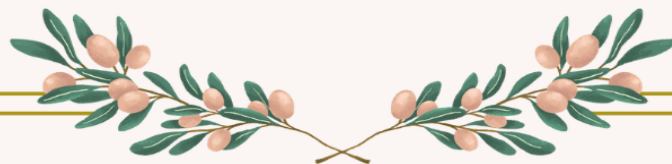


Table des matières

Table des matières	I
Liste des Figures.....	III
Liste des tableaux	III
Liste des Symboles.....	IV
Introduction générale.....	1
Chapitre I :Généralités sur les cellules photovoltaïques	4
I .1 Introduction.....	5
I .2 Rayonnement solaire.....	5
I.3 Historique du photovoltaïque.....	5
I .3.1 Effet photovoltaïque.....	6
I .4 Semi-conducteurs.....	7
I.4.1 Silicium	8
I .4.2 Silicium amorphe	8
I .4.3 Silicium amorphe hydrogéné (a-Si:H)	9
I .5 Dopage	9
I .5.2 Différents types de dopage.....	9
I.5.2.1 Dopage de type N.....	9
I.5.2.2 Dopage de type P	10
I .5.3 Méthodes de dopage	11
I.5.3.1 Diffusion	11
I.5.3.2 Croissance Epitaxiale.....	11
I.5.3.3 Bombardement ionique.....	11
I.6 Jonction P-N.....	11
I.7 Cellule photovoltaïque	12
I.7.1 Principe général du fonctionnement d'une cellule solaire	12
I.7.2 Paramètre des cellules photovoltaïques	12
I.7.2.1 Courant de court-circuit, I_{cc}	12
I.7.2.2 Tension a circuit ouvert, V_{oc}	13
I.7.2.3 Facteur de forme, ff	13
I.7.2.4 Rendement, η	14

I.8 Différentes générations des cellules photovoltaïques	14
I.8.1 Cellule photovoltaïque en silicium monocristallin	14
I.8.2 Cellules polycristallines	14
I.8.3 Cellules au silicium amorphe.....	14
I.8.4 Cellule multijonction	15
I.8.5 Cellule photovoltaïque tandem	15
I.8.6 Cellule photovoltaïque CIGS.....	15
I.8.7 Cellule en couche mince de tellurure de cadmium	15
I.9 Conclusion	16
Chapitre II	17
Simulation des performances de cellule PV à homojonction a-Si:H	17
II.1 Introduction	17
II.2 Logiciel SCAPS.....	18
II.2.1 structure de la cellule solaire a-Si:H(p)/ a-Si:H(i)/ a-Si:H(n).....	19
II.2.2 Simulation de la cellule solaire.....	19
II.2.3 Paramètres physiques utilisés dans la simulation	20
II.3 Résultats et Discussions.....	21
II.3.1 Effet de l'épaisseur de la couche a-Si-H (P) sur les performances de la cellule	21
II.3.2 Effet de l'épaisseur de la couche a-Si-H (i) sur les performances de la cellule	23
II.3.3 Effet de l'épaisseur de la couche a-Si-H (n) sur les performances de la cellule	25
II.3.4 Effet de l'énergie de la bande interdite (gap)de la couche a-Si-H (p) sur les performances de la cellule.....	26
II.3.5 Effet de la concentration des accepteurs et des donneurs sur le rendement de la cellule solaire	27
II.4 Conclusion.....	29
Conclusion générale	30
Références	
Résumé	

Liste des Figures

Figure I.1 : Principe de l'effet photovoltaïque	7
Figure I.2: Dopage de type N.....	10
Figure I.3 : Dopage de type P.....	10
Figure I.4: Jonction PN à l'équilibre thermodynamique..	12
FigureII.1.A : cellule solaire de type p-i-n.	19
Figure II.1.B: Structure basique d'une cellule solaire.....	19
FigureII.2 Variation des paramètres photovoltaïques en fonction de l'épaisseur de la couche a-Si-H (P).	22
FigureII. 3Variation des paramètres photovoltaïques en fonction de l'épaisseur de la couche a-Si-H (i).....	24
FigureII.4 Variation des paramètres photovoltaïques en fonction de l'épaisseur de la couche a-Si-H (n).....	25
FigureII.5 Variation des paramètres photovoltaïques en fonction de l'énergie de gap de la couche a-Si-H (p).	26
FigureII.6.1 Variation des paramètres photovoltaïques en fonction de la concentration des accepteurs cm^{-3}	27
Figure II.6.2 Variation des paramètres photovoltaïques en fonction de la concentration des donneurs cm^{-3}	28

Liste des tableaux

Tableau (II.1) : Les paramètres physiques d'entrée pour les matériaux des couches a-Si-H(P), a-Si-H (i), a-Si-H (n).....	20
---	----

Liste des Symboles

AM : d'air masse.

As : l'arsenic .

a-Si : silicium amorphe .

a-Si :H(i) : silicium amorphe hydrogen de la couche absorbeur .

a-Si :H(n) : silicium amorphe hydrogen de la couche collectrice .

a-Si :H(p) : silicium amorphe hydrogen de la couche fenêtre .

a-Si:H : Le silicium amorphe hydrogéné .

CdS :sulfure de cadmium .

CdTe :tellure de cadmium .

CIS : sélénure de cuivre et d'indium .

E_g :énergie interdite .

ELIS: Electronique et Systèmes d'Information.

ff : Facteur de forme .

GaAs : l'arséniure de gallium.

GaN: nitrure de gallium.

i : la couche absorbeur .

I₀ : courant de saturation.

I_{cc} :Courant de court-circuit .

I_{ph} : Photo-courant [A], proportionnel à l'irradiance F, avec correction selon T.

ITO : Oxyde d'Etain dopé Indium .

k : Constante de Boltzmann .

n : une couche collectrice .

ND-NA :La différence des densités de donneurs et d'accepteurs .

P : une couche fenêtre .

PV :photovoltaïque .

PV : photovoltaïque .

q : Charge de l'électron .

Rs : Résistance série [W].

Rsh : Résistance shunt (ou parallèle) [W].

SCAPS 1D: Solar Cell Capacitance Simulator.

Si : silicium .

Si:H :silicium hydrogen .

SiH₄ : silane

SiO₂ : dioxyde de silicium .

SW: Staebler-Wronski.

T : Température effective de la cellule .

Voc : Tension a circuit ouvert .

ZCE :zone de charge d'espace .

η : Le rendement .

Introduction générale

Introduction générale

Les énergies renouvelables sont des sources durables, peu émettrices des gaz à effet de serre, elles assurent certainement l'avenir de la terre. Parmi ces sources renouvelables, l'énergie solaire photovoltaïque où la conversion de la lumière du soleil en électricité est assurée par des matériaux semi-conducteurs tels que le silicium (Si), l'arséniure de gallium (GaAs), le nitrure de gallium (GaN).....etc [1]. La technologie des cellules solaires en couches minces à base de silicium amorphe hydrogéné (a-Si:H) présente un intérêt tout particulier pour les applications photovoltaïques. Cela est dû à son faible coût de production par rapport à des technologies plus traditionnelles contenant du silicium cristallin massif [2].

Le silicium amorphe (a-Si:H) est apparu sur la scène en 1975 pour les applications à faible puissance. Spear et LeComber ont produit, pour la première fois, du silicium amorphe dopé au bore et au phosphore, et Carlson et Wronski ont obtenu la première jonction a-Si:H. Dès le début, ce matériau a attiré un grand intérêt car il peut être déposé sur des grandes surfaces à des coûts très faibles par rapport au silicium cristallin. En fait, l'un des aspects les plus intéressants de a-Si:H est sa polyvalence et le fait qu'il peut être utilisé, outre pour des applications photovoltaïques, dans une grande variété d'appareils, y compris les transistors à couches minces, les capteurs d'image, les diodes électroluminescentes et les mémoires à accès aléatoire[3-4].

Le (a-Si:H) a un grand coefficient d'absorption optique ce qui permet d'absorber le rayonnement solaire 40 fois plus efficacement que le silicium monocristallin, de sorte qu'un film d'environ 1 μm d'épaisseur seulement peut absorber 90 % de spectre solaire [5]. Le silicium amorphe hydrogéné (a-Si:H) peut être produit à des températures plus basses et déposer sur une variété de substrats à faible coût tels que le plastique, le verre et le métal (basse température, grande surface, flexible). Il peut être allié à d'autres éléments (carbone, germanium) pour créer des structures multi-jonctions avec une grande efficacité de conversion énergétique. Une distinction importante entre le silicium amorphe et cristallin réside dans la nature de la bande interdite. Le silicium cristallin présente une bande interdite indirecte d'environ 1,1 eV, tandis que a-Si: H a une bande interdite directe comprise entre 1,1 et 3.7 eV, en fonction des conditions de croissance et de la teneur en hydrogène [6].

Cependant, a-Si:H présente également des inconvénients dus à sa structure ; en particulier, l'exposition à la lumière solaire conduit à une augmentation de la densité d'états dans la bande interdite d'énergie. Cette augmentation de la densité d'états est liée à la

Introduction générale

formation de liaisons pendantes du silicium. C'est ce qu'on appelle l'effet Staebler-Wronski (SW).

La simulation et la modélisation numérique sont devenues un outil indispensable pour concevoir une cellule solaire à très haut rendement. Elles sont de plus en plus utilisées pour mieux comprendre les détails du fonctionnement physique des cellules solaires à couches minces. L'objectif majeur de la simulation et la modélisation numérique est l'essai de la validité des cellules solaires proposées. Plusieurs outils de simulation spécifiques aux cellules solaires en couches minces au photovoltaïque ont été développés ils sont disponibles pour les chercheurs dans le domaine de photovoltaïque [7-8].

SCAPS 1D (Solar Cell Capacitance Simulator) un programme de simulation des cellules solaires unidimensionnel développé au Département d'Electronique et Systèmes d'Information (ELIS) de l'Université de Gand, Belgique, SCAPS est capable de résoudre les équations de base des semi-conducteurs, l'équation de Poisson et les équations de continuité pour les électrons et les trous. Il calcule la solution des équations de base des semi-conducteurs en 1 dimension et en régime permanent.

Le but de ce travail est consacré principalement à l'étude et la simulation avec le logiciel SCAPS d'une cellule solaire à homojonction de structure a-Si:H(p)/ a-Si:H(i)/ a-Si:H(n), en utilisant le silicium amorphe (a-Si:H) comme matériaux absorbant.

Le manuscrit est structuré comme suit:

Dans le premier chapitre, nous présentons des généralités sur les cellules photovoltaïques, ainsi que le principe de fonctionnement , les caractéristiques électriques d'une cellule et les filières des cellules photovoltaïques.

Le deuxième chapitre a été réservé aux résultats de simulation de la cellule solaire et à la discussion et l'interprétations des différents résultats obtenus. Nous terminerons notre travail par une conclusion générale qui récapitule les différents résultats trouvés.

Chapitre I

Généralités sur les cellules photovoltaïques

Chapitre I : Généralités sur les cellules photovoltaïques

I.1 Introduction

L'énergie solaire est l'énergie transmise par le Soleil sous la forme de lumière et de chaleur. L'énergie solaire offre une alternative aux énergies traditionnelles. C'est une énergie peu coûteuse, propre et respectueuse de l'environnement. [9].

L'énergie solaire est l'une des sources d'énergie renouvelable les plus importantes, c'est-à-dire l'énergie résultant de la conversion de la lumière du soleil en électricité en utilisant des cellules solaires photovoltaïques pour produire de l'électricité directement ou en utilisant des capteurs thermiques qui captent la chaleur du soleil et la convertissent en électricité.

Nous aborderons ainsi en premier lieu quelques notions sur la source d'énergie, nous décrirons ensuite les rayonnements solaires, l'effet photovoltaïque, la modélisation d'une cellule photovoltaïque, la jonction p-n.

I.2 Rayonnement solaire

Le soleil est la principale source de lumière sur notre planète. Cette lumière est une onde électromagnétique qui se propage dans le vide à une vitesse de 3×10^8 m/s. Rappelez-vous que les ondes lumineuses comprennent les rayons visibles, ultraviolets et infrarouges, et c'est le spectre solaire.

Le soleil émet un rayonnement électromagnétique dans la gamme de longueurs d'onde de $0,22 \mu\text{m}$ à $10 \mu\text{m}$. représente la variation de la répartition spectrale énergétique [10].

L'énergie associée à ce rayonnement solaire se décompose approximativement à :

- 9% dans la bande des ultraviolets ($<0,4 \mu\text{m}$),
- 47% dans la bande visible ($0,4$ à $0,8 \mu\text{m}$),
- 44% dans la bande des infrarouges ($>0,8 \mu\text{m}$)

I.3 Historique du photovoltaïque

Le préfixe Photo vient du mot grec « phos » qui signifie lumière. « Volt » vient de Titre d'Alessandro Volta (1745-1827), physicien qui a contribué à la recherche sur l'électricité. Photovoltaïque (PV) signifie donc littéralement électricité lumineuse.

Le terme "photoélectrique" fait référence au processus physique de conversion l'énergie lumineuse en énergie électrique en transférant l'énergie des photons à électrons de matière. Le principe de l'énergie photoélectrique a été découvert par un physicien le

Chapitre I : Généralités sur les cellules photovoltaïques

français Alexandre Edmond Becquerel. en 1839 et précisé par Albert Einstein en 1905 (c'est pour cette interprétation est qu'il a reçu le prix Nobel de physique en 1921) [11].

1839 le physicien français « Antoine Becquerel » découvre l'effet Photovoltaïque, comportement électrique d'électrodes immergées dans un liquide modifié par l'éclairage.

1875 l'inventeur allemand « Werner Von Siemens » à exposé devant l'académie des sciences de Berlin un article sur l'effet Photovoltaïque dans les semi-conducteurs.

1886 l'effet photoélectrique a été compris et présenté par le physicien Allemande Heinrich Rudolf Hertz » une plaque de métal étant soumis à une lumière émettra des électrons.

1905 le physicien américain d'origine allemande « Albert Einstein explique le phénomène photoélectrique en introduisant la notion du photon.

1883 l'américain « Charles Fritts » parvient à produire la première cellule Photovoltaïque une de sélénium (matériau semi-conducteur) recouverte par de très fines couches d'or.

1958 une cellule Photovoltaïque avec un rendement de 09% est mise au point, les premiers satellites vanguard alimentés par des cellules Photovoltaïque sont envoyés dans l'espace.

Le solaire PV est issu de la transformation directe de une partie du rayonnement solaire en énergie électrique. C'est la conversion d'énergie elle est réalisée par la cellule dite photovoltaïque, basée sur le phénomène l'effet physique photoélectrique formé dans la production d'un courant lorsque la surface de cette cellule a été exposée à la lumière [12].

I .3.1 Effet photovoltaïque

Ce phénomène dépend du comportement des matériaux semi-conducteurs lorsqu'ils reçoivent le rayonnement solaire. En effet, lorsque les photons de la lumière solaire entrent en contact avec ces matériaux particuliers, ils transfèrent leur énergie aux électrons du semi-conducteur qui génèrent alors un potentiel électrique [13].

Ce principe est basé sur l'interaction lumière-matière dans les semi-conducteurs. En effet, lorsqu'un matériau semi-conducteur est exposé à la lumière, les photons d'énergie égale ou supérieure à la largeur de la bande interdite sont absorbés créant ainsi des paires

Chapitre I : Généralités sur les cellules photovoltaïques

électron-trou par le passage des électrons de la bande de valence vers la bande de conduction. Si ces paires électron-trou ne sont pas séparées, leur recombinaison se fait très rapidement en libérant un phonon, selon l'énergie absorbée, et un photon [14].

Une des solutions couramment utilisées, pour extraire sélectivement les électrons les trous sont destinés à créer un champ électrique permanent dans le matériau au moyen d'une Jonction entre une couche semi-conductrice dopée P et une autre couche dopée N (jonction PN).

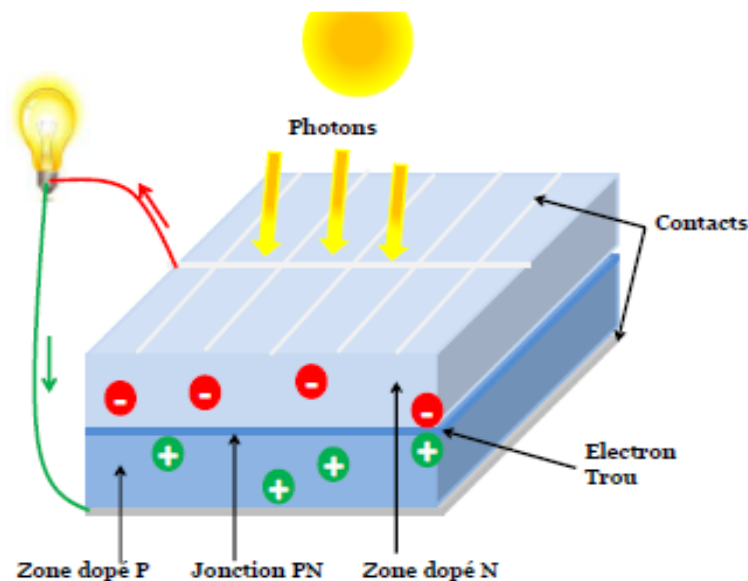


Figure I.1 : Principe de l'effet photovoltaïque

I.4 Semi-conducteurs

Un semi-conducteur est un matériau qui a les propriétés électriques d'un isolant, mais la probabilité qu'un électron contribue à un courant électrique, bien que faible, est suffisamment grande. En d'autres termes, la conductivité électrique d'un semi-conducteur est intermédiaire entre celle des métaux et celle des isolants au sens strict du terme.

Le comportement électrique d'un semi-conducteur est généralement modélisé à l'aide de la théorie des bandes d'énergie, selon laquelle un matériau semi-conducteur a une bande interdite suffisamment petite pour que les électrons de la bande de valence rejoignent facilement la bande de conduction. Si une tension électrique est appliquée à ses bornes, un faible courant électrique apparaît, provoqué à la fois par le déplacement de ces électrons et les « trous » qu'ils laissent dans la bande de valence.

Chapitre I : Généralités sur les cellules photovoltaïques

La conductivité électrique des semi-conducteurs peut être contrôlée par dopage, en introduisant une petite quantité d'impuretés dans le matériau pour produire un excès d'électrons ou un déficit. Les semi-conducteurs dopés peuvent être connectés de différentes manières pour créer des jonctions, contrôlant la direction et la quantité de courant circulant dans l'assemblage. Cette propriété est à la base du travail des composants électroniques modernes : diodes, transistors, etc.

Le silicium est le matériau semi-conducteur le plus utilisé commercialement, en raison de ses bonnes propriétés et de son abondance naturelle ; Il existe également des dizaines d'autres semi-conducteurs utilisés, tels que le germanium, l'arséniure de gallium ou le carbure de silicium [15].

I.4.1 Silicium

Le silicium est le deuxième élément le plus répandu dans la croûte terrestre, le silicium sous forme de silice (SiO_2) que l'on trouve dans le sable ou le quartz, il possède un oxyde naturel SiO_2 avec d'excellentes propriétés électroniques, les techniques de production sont aujourd'hui matures et sa fabrication ne pose aucun problème de difficulté. Le silicium a été sélectionné pour la production de cellules solaires photovoltaïques pour ses propriétés électroniques. Il se caractérise par la présence de quatre électrons sur sa couche environnante [12].

Enfin, il est aisé de modifier les propriétés électriques du silicium en introduisant dans la matrice cristalline des atomes dopants tels que le bore (dopage de type P) ou le phosphore (dopage de type N). Le silicium se présente sous de nombreuses formes différentes, les plus courantes étant le silicium poly cristallin, le silicium monocristallin et le silicium amorphe [16].

I .4.2 Silicium amorphe

Le silicium amorphe, généralement abrégé a-Si, est un type allotropique de silicium, ce qui signifie que les atomes ne sont pas disposés de manière régulière qui détermine la structure cristalline. Le silicium amorphe peut être déposé en couches minces à basse température sur un grand nombre de substrats, permettant d'envisager une variété d'applications en microélectronique. Ce matériau semi-conducteur est couramment utilisé dans la fabrication de certains panneaux solaires photovoltaïques [17].

Chapitre I : Généralités sur les cellules photovoltaïques

I .4.3 Silicium amorphe hydrogéné (a-Si:H)

Le silicium amorphe hydrogéné (a-Si:H) est également un matériau semi-conducteur. Il a été découvert dans les années soixante. Initialement, ce matériau n'était pas utilisable en raison de sa forte densité de défauts. A la fin des années 1960, Chittick découvre que 99,9% des défauts sont saturés en hydrogène, si du silicium amorphe est déposé par plasma silane (SiH_4). Cela a permis d'utiliser ce matériau. Depuis cette découverte, a-Si:H a fait l'objet de recherches approfondies pour de nouvelles ressources énergétiques et de nouvelles applications [18].

Le silicium hydrogéné (Si:H) est un matériau important et largement étudié pour le photovoltaïque à couches minces. (PV) parce qu'il est non toxique, peu coûteux et abondant sur terre.

I .5 Dopage

Le dopage est une méthode permettant de réaliser la jonction P-N. Cela consiste à introduire des impuretés dans un cristal intrinsèque pour modifier ces propriétés électriques. Le semi-conducteur dopé est alors appelé "semi-conducteur extrinsèque".

Il existe deux types de dopage : le type N et le type P.

Le dopage de silicium permet de :

- Réduit la résistivité,
- Augmente la concentration des porteurs libres,
- Améliore la mobilité des porteurs (améliore la conductivité) [12].

I .5.2 Différents types de dopage

I.5.2.1 Dopage de type N

Le dopage de type N consiste à ajouter un atome de phosphore au sein de la structure cristalline du silicium (Figure I.2). Un phosphore avec 5 électrons sur sa couche d'électrons externe se liera à quatre atomes de silicium, laissant ainsi un électron libre. Cet ajout a pour effet de conférer à la structure cristalline une charge globalement négative, c'est-à-dire un excès d'électrons [12].

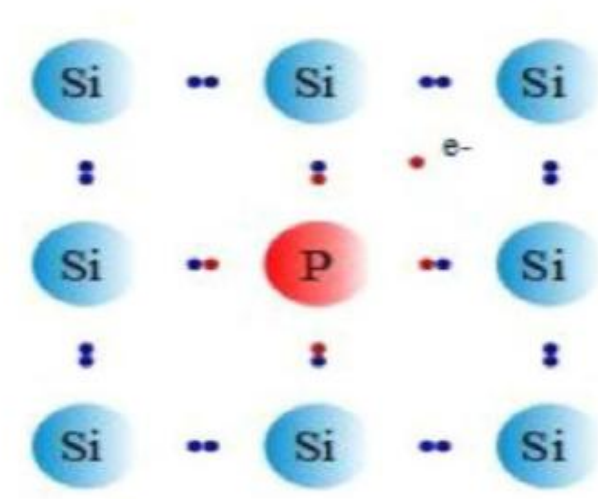


Figure I.2: Dopage de type N.

I.5.2.2 Dopage de type P

Le dopage de type P consiste en l'ajout d'un atome de bore dans la structure cristalline du silicium (Figure I.3). Le bore avec 3 électrons sur sa couche électronique externe va se lier à 4 atomes de silicium, laissant ainsi un trou vide : cet ajout a pour effet de donner à la structure cristalline une charge globale positive c'est-à-dire. Un excès de trous (déficit électronique) [12].

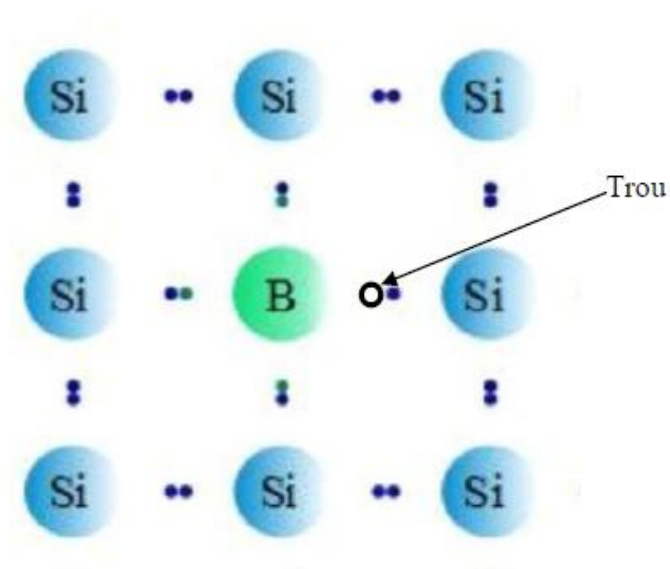


Figure I.3 : Dopage de type P.

I .5.3 Méthodes de dopage

Il existe trois méthodes de dopages :

I.5.3.1 Diffusion

Un four est utilisé dans lequel des gaz sont injectés avec une solution de silicium activé. Avec la chaleur, le dopant a suffisamment d'énergie pour pénétrer dans la tranche de silicium. Cette méthode est très ancienne et nécessite une température uniforme dans le four [12].

I.5.3.2 Croissance Epitaxiale

Cette méthode utilise toujours un four, mais cette fois-ci les atomes du dopant sont déposés sur le silicium qui se présente sous la forme d'une plaquette. On a ainsi un dépôt en surface et non pas une insertion comme pour la méthode de dopage par diffusion. La température du four doit avoisiner les 1 200 °C [12].

I.5.3.3 Bombardement ionique

La source (appelée faisceau d'ions actifs) produit des ions, qui sont ensuite accélérés et, grâce à un contrôle très précis, placeront ces ions sur la puce. L'avantage de ce principe est que le procédé se déroule à température ambiante. L'inconvénient de cette technique est qu'elle peut endommager le silicium entraînant un réarrangement indésirable de sa structure cristalline, nécessitant une recristallisation ultérieure.

I.6 Jonction P-N

Une jonction PN est le contact entre un semi-conducteur de type N et un semi-conducteur de type P. La figure I.4 permet de mieux comprendre l'effet du rapprochement des deux semi-conducteurs sur le bilan électronique de la jonction.

La mise en contact d'un semi-conducteur dopé P et d'un semi-conducteur dopé N fait apparaître un phénomène de diffusion dans la jonction. Les électrons majoritaires dans la couche N diffusent vers le côté P et les trous majoritaires dans la couche P diffusent vers le côté N. A la jonction, les porteurs de charge (électrons et trous) se recombinent créant une zone dépourvue de porteurs mobiles, appelée zone de charge d'espace (ZCE). Il apparaît alors une différence de potentiel et donc un champ électrique orienté de la région N vers P. lorsqu'on éclaire la jonction, les photons d'énergie égale ou supérieure à l'énergie de la bande d'énergie interdite (E_g) du matériau sont absorbés des paires électron-trou sont ensuite créées par le passage des électrons de la bande de valence à la bande de conduction. Le champ électrique interne créé dans la ZCE va séparer

Chapitre I : Généralités sur les cellules photovoltaïques

spatialement les porteurs Photo-générés : les électrons sont dirigés vers la couche N et les trous vers la couche P [14].

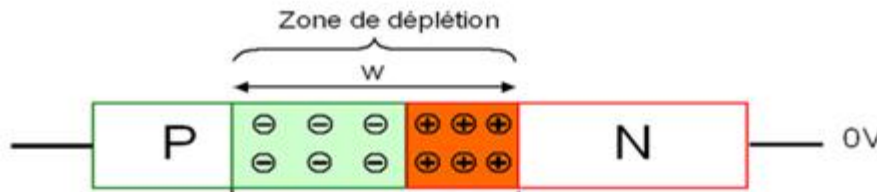


Figure I.4: Jonction PN à l'équilibre thermodynamique.

I.7 Cellule photovoltaïque

Une cellule photovoltaïque, ou cellule solaire, est un composant électronique qui produit de l'électricité lorsqu'il est exposé à la lumière, grâce à l'effet photovoltaïque. La puissance électrique obtenue est proportionnelle à la puissance lumineuse incidente. La cellule photovoltaïque délivre une tension et un courant continu.

I.7.1 Principe général du fonctionnement d'une cellule solaire

Le fonctionnement de la cellule photovoltaïque est fondé sur les propriétés de semi-conducteurs qui, percutés par les photons, mettent en mouvement un flux d'électrons. Lorsque les photons frappent un élément semi-conducteur comme le silicium, ils arrachent des électrons à ses atomes. Ces électrons se mettent en mouvement, de façon désordonnée, à la recherche d'autres « trous » où se repositionner.

Mais pour qu'il y ait un courant électrique, il faut que ces mouvements d'électrons aillent tous dans le même sens. Les électrons vont migrer vers la zone N grâce au champ électrique, tandis que les « trous » vont vers la zone P. Ils sont récupérés par des contacts électriques déposés à la surface des deux zones avant d'aller dans le circuit extérieur sous forme d'énergie électrique. Un courant continu se crée [19].

I.7.2 Paramètre des cellules photovoltaïques

I.7.2.1 Courant de court-circuit, I_{cc}

Il s'agit du courant qui traverse la cellule photovoltaïque lorsque celle-ci est court-circuit, c'est-à-dire lorsque le pôle + est relié au pôle - (la tension à ses bornes est alors nulle). Dans ce cas, la puissance fournie par la cellule $P = V \times I$ est nulle [13].

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

Où :

I_{ph} : Photo-courant [A], proportionnel à l'irradiance F, avec correction selon T.

R_s : Résistance série [W].

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

I.7.2.2 Tension a circuit ouvert, V_{oc}

Il s'agit de la tension aux bornes de la cellule lorsque celle-ci est en circuit ouvert, c'est-à-dire lorsque le + et l'électrode sont isolés électriquement de tout autre circuit (le courant traversant auquel est nul). Dans ce cas, l'énergie fournie par la cellule $P = V \times I$ est nulle. [13]

Dans le cas idéal, elle est déterminée à partir de l'équation de la caractéristique courant-tension d'une cellule photovoltaïque par l'expression :

$$V_{co} = \frac{kt}{q} \ln \left[\frac{I_{cc}}{I_0} + 1 \right] \dots\dots\dots 2$$

Avec :

q : Charge de l'électron = $1,602 \cdot 10^{-19}$ Coulomb.

k : Constante de Boltzmann = $1,38 \cdot 10^{-23}$ J/K.

T : Température effective de la cellule [Kelvin].

I_0 : courant de saturation.

I.7.2.3 Facteur de forme, ff

Un paramètre important de la propriété $J(v)$ est souvent utilisé pour qualifier la qualité d'une cellule ou d'un générateur : c'est le facteur de forme ou facteur de remplissage (FF).

Le facteur de forme est défini par la relation suivante :

$$FF = \frac{P_{max}}{I_{cc} \cdot V_{oc}} \dots\dots\dots 3$$

Chapitre I : Généralités sur les cellules photovoltaïques

I.7.2.4 Rendement, η

Elle est le rapport de la puissance électrique maximale pouvant être extraite, à la puissance de rayonnement incident sur la surface X de la cellule.

$$\eta = \frac{p_{out}}{p_{in}} = \frac{p_{max}}{p_{in}} = \frac{I_{mpp} \cdot V_{mpp}}{S \cdot G_a} = \frac{V_{oc} \cdot I_{sc} \cdot FF}{P_{in}} \dots\dots\dots 4$$

Où X est la surface de la cellule, I est l'ensoleillement ambiant et FF est le facteur de forme [20].

I.8 Différentes générations des cellules photovoltaïques

I.8.1 Cellule photovoltaïque en silicium monocristallin

La cellule monocristalline est la cellule la plus proche du modèle théorique. Cette cellule est en fait composée d'un monocristal divisé en deux couches. Les cellules monocristallines autorisent d'obtenir de hauts rendements, de l'ordre de 15 à 22 % [21].

I.8.2 Cellules polycristallines

C'est une substance composée de cristaux adjacents obtenus par moulage [10].

Les cellules polycristallines ont les caractéristiques suivantes :

- 13% et jusqu'à 20% de rendement en laboratoire.
- Faible coût de production.
- Nécessite moins d'énergie[21].

I.8.3 Cellules au silicium amorphe

Elles ont un faible rendement, mais ne nécessitent qu'une très faible épaisseur de silicium. Ils sont utilisés dans les petits produits de consommation tels que les calculatrices solaires ou les montres. [10]

Le silicium amorphe a une structure atomique désordonnée et amorphe, mais son coefficient d'absorption est supérieur à celui du silicium cristallin.

- Fonctionne sous très faible éclaircissement.
- Coût de production plus faible.
- Rendement de seulement 5 % par module et de 14 % au laboratoire.

Chapitre I : Généralités sur les cellules photovoltaïques

- Grâce à la technologie des nouveaux matériaux le tellurure de cadmium (CdTe), l'arséniure de gallium (GaAs) ainsi que le di séléniure de cuivre et d'indium (CIS) ont permis d'obtenir des photopiles ayant des rendements de 38 % au laboratoire [21].

I.8.4 Cellule multijonction

Les cellules multi-jonction sont composées de différentes couches qui permettent de convertir différentes parties du spectre solaire et ainsi d'obtenir les meilleurs rendements de conversion [22].

I.8.5 Cellule photovoltaïque tandem

La cellule photovoltaïque tandem est quant à elle conçue à partir de deux couches semi-conductrices simples. Cela peut être une couche de silicium amorphe et une autre de silicium cristallin (mono ou poly) par exemple. Elle montre tout son intérêt pour une utilisation industrielle [23].

I.8.6 Cellule photovoltaïque CIGS

Ce type de cellule photovoltaïque utilise un matériau semi-conducteur fait d'un alliage de cuivre, d'indium, de sélénium et de gallium. Ce mélange est disposé en couche très fine sur un support [23].

I.8.7 Cellule en couche mince de tellurure de cadmium

Ce modèle de cellule photovoltaïque est composé lui aussi à partir d'un matériau autre que le silicium. Ici, c'est du tellurure de cadmium qui est employé en une seule couche scellée entre deux plaques de verre [23].

Chapitre I : Généralités sur les cellules photovoltaïques

I.9 Conclusion

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. Nous avons donné, dans un premier temps, quelques notions de base liées au soleil, la principale source d'énergie dans ce domaine. nous avons, par la suite décrit les principaux processus physiques, mis en jeux dans un semi-conducteur, Puis nous avons étudié et l'effet photovoltaïque et le dopage et jonction P-N .

Le principe de fonctionnement des structures photovoltaïques, leur composition p-n et p-i-n est décrit. Nous avons également expliqué les avantages configuration p-i-n pour la fabrication de cellules solaires à base de silicium amorphe en couches minces.

Lois phénoménologiques des changements de tension de courant dans ces cas les procès-verbaux sont enregistrés. Ces lois permettent de comprendre le comportement I-V de la cellule solaire et de conclure quant à ces performances, après extraction de ses figures de mérites, en particulier J_{sc} , V_{oc} , FF et η .

Toutes ces notions, extrêmement utiles, ont permis une bonne utilisation du code de simulation [18].

Chapitre II

Simulation des performances de cellule PV à homojonction a-Si:H

II.1 Introduction

Les performances d'une cellule solaire photovoltaïque dépendent de sa conception, les propriétés des matériaux utilisés dans la construction et sa technologie de fabrication.

Le développement des cellules solaires en silicium amorphe hydrogéné (a-Si:H) a commencé à partir de l'invention du premier Schottky junction avec une efficacité de 2.4%. Le rendement de conversion des cellules solaire en couche mince à homo-jonction à base de silicium amorphe hydrogénés (a-Si:H) a été progressivement améliorée de 2,4 % [24] à 10,1 % [25].

Les chercheurs dans le domaine du photovoltaïque trouvent que le rendement des cellules solaire s'améliorera au fil du temps, bien que le processus soit plutôt complexe, coûteux et long. La simulation Numérique est le meilleur outil qui leur permet de trouver une structure optimisée avec un bon ajustement des paramètres. En conséquence, cela modérer la complexité de fabrication et réduit considérablement les coûts et le temps [26-27].

Dans ce chapitre, on s'intéresse à l'étude et à la simulation d'une cellule solaire pin à homo-jonction à base de silicium amorphe hydrogéné (a-Si:H) en utilisant le logiciel SCAPS (Solar Cell Capacitance Simulator) , on s'intéresse plus particulièrement à étudier l'effet de l'épaisseur des couches a-Si:H(p) , a-Si:H(i) et a-Si:H(n) , l'effet de l'énergie de gap de la couche a-Si:H(p) et la concentration des accepteurs et donneurs des couches a-Si:H(p) , a-Si:H(n) sur les performances de la cellule solaire.

II.2 Logiciel SCAPS

SCAPS (Solar Cell Capacitance Simulator) est un programme de simulation des cellules solaires unidimensionnel développé au département d'électronique et Systèmes d'Information (ELIS) de l'Université de Gand, Belgique. SCAPS est développé à l'origine pour les structures de la famille CuInSe₂ et CdTe. Plusieurs extensions ont cependant amélioré ses capacités pour qu'il soit également applicable aux cellules solaires cristallines (Si et GaAs) et cellules amorphes (a-Si et Si micromorphe).

Le programme est disponible gratuitement pour la communauté de recherche dans le domaine des énergies photovoltaïque. SCAPS est capable de résoudre les équations de base des semi-conducteurs, l'équation de Poisson et les équations de continuité pour les électrons et les trous. Il calcule la solution des équations de base des semi-conducteurs en 1 dimension et en régime permanent.

II.2.1 structure de la cellule solaire a-Si:H(p)/ a-Si:H(i)/ a-Si:H(n)

La cellule solaire a-Si:H à jonction p-i-n convertit directement l'énergie solaire en énergie électrique par l'effet photovoltaïque. Elle est composée comme suit : une fine couche de a-Si:H de type p est déposée sur ITO (Oxyde d'Etain dopé Indium) substrat en verre suivi d'une couche épaisse intrinsèque(i) de a-Si:H. Enfin, une fine couche de a-Si:H de type n est déposée sur la couche i suivie d'un contact métallique en argent (Ag). La figure (II.1) montre le schéma la cellule solaire a-Si:H à jonctions p-i-n.

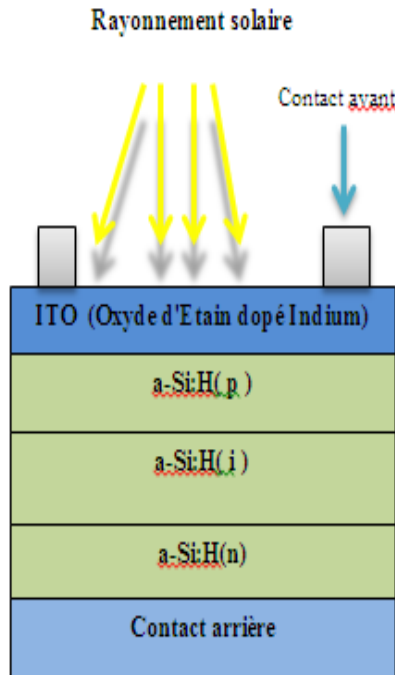


Figure II.1.A : cellule solaire de type p-i-n

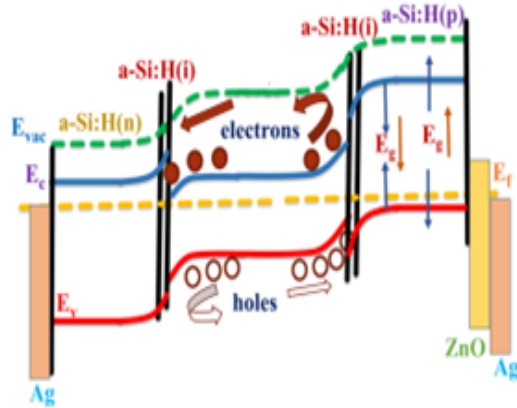


Figure II.1 B: Structure basique d'une cellule solaire.

II.2.2 Simulation de la cellule solaire

Dans cette étude, nous allons utiliser le logiciel SCAPS pour étudier une cellule solaire à homo-jonction avec la structure a-Si:H(p) / a-Si:H(i) / a-Si:H(n) . La température de fonctionnement est réglée initialement à 300 K , le rayonnement AM 1,5 avec une densité de puissance incidente de 100 mW/cm² est utilisé comme source d'éclairage dans cette simulation.

Dans l'étude des cellules solaires, les paramètres importants à discuter sont la tension en circuit ouvert (Voc), courant de court-circuit (Jsc), facteur de forme (FF) et le rendement (η).

Parmi les divers facteurs qui ont une grande influence sur l'efficacité de la cellule solaire, on cite, l'énergie de la bandes interdites, les épaisseurs et le dopage des couches p, i et n.

II.2.3 Paramètres physiques utilisés dans la simulation

Les paramètres physiques du silicium amorphe hydrogéné a-Si:H définis dans l'interface du logiciel SCAPS sont présentés dans le tableau (II.).

Tableau (II.1) : Les paramètres physiques d'entrée pour les matériaux des couches a-Si-H (P), a-Si-H (i), a-Si-H (n).

Couche Propriété	a-Si-H (P)	a-Si-H (i)	a-Si-H (n)
Permittivité diélectrique	7.8	11.9	11.9
Epaisseur (nm)	10	100-600	10
Bande de gap (eV)	1.75	1.78	1.9
Affinité électronique(eV)	3.9	4	3.99
Densité des états effective dans la BC (N_c (cm ⁻³)) $\times 10^{20}$	1	1	1
Densité des états effective dans la BV (N_v (cm ⁻³)) $\times 10^{20}$	1	1	1
Mobilité d'électron μ_n (cm ² /V.s) $\times 10^1$	2	2	2
Mobilité du trou μ_p (cm ² /V.s)	5	5	5
Densité du donneur N_d (cm ⁻³)	1×10^6	1×10^6	1×10^{17}
Densité de l'accepteurNa (cm ⁻³)	1×10^{17}	1×10^6	1×10^6

II.3 Résultats et Discussions

II.3.1 Effet de l'épaisseur de la couche a-Si-H (P) sur les performances de la cellule

Dans les cellules solaires p-i-n, la couche **p** agit comme une couche fenêtre, la couche **i** agit comme la couche absorbeur et la couche **n** agit comme une couche collectrice. La lumière tombe sur la cellule du côté de la couche **p** et presque toute la lumière est absorbée dans la couche **i**, entraînant la génération des paires d'électron-trous (e-h). Immédiatement après la génération, ces paires (e-h) sont séparées par un champ électrique de jonction. Par conséquent, les trous se déplacent vers la couche **p** et les électrons sont déplacés vers la couche **n**. Il en résulte un flux de photo-courant dans la cellule.

La figure (II.2) illustre l'effet de la variation de l'épaisseur de la couche a-Si:H(p) sur J_{sc} , Cov , FF et le rendement η .

L'épaisseur de la couche a-Si:H(p) est variée de 25nm à 200 nm, en gardant les épaisseurs des couches a-Si:H(i), a-Si:H(n) fixes 600nm et 10nm respectivement.

D'après cette figure nous constatons que la densité du courant J_{sc} atteint son maximum de 13.91 (mA/cm²) pour une épaisseur de 50 nm où la tension Cov arrive à un maximum de 3.69 (V) pour une épaisseur de 25 nm. Le FF croît avec l'accroissement de l'épaisseur de la couche a-Si:H(p).

Le rendement η diminue aussi lorsque l'épaisseur de la couche fenêtre a-Si:H(p) croît cela est due à la réduction de quantité de lumière qui atteint la couche active a-Si:H(i) et entraîne une baisse valeurs J_{sc} . Il devient également difficile pour le champ intégré de séparer la paire électron-trou si l'épaisseur de la couche **p** est très grande.

Donc, dans la cellule solaire à jonction simple p-i-n, la couche **p** doit être aussi mince que possible pour permettre un maximum de lumière passe aux couches a-Si:H(i) et a-Si:H(n).

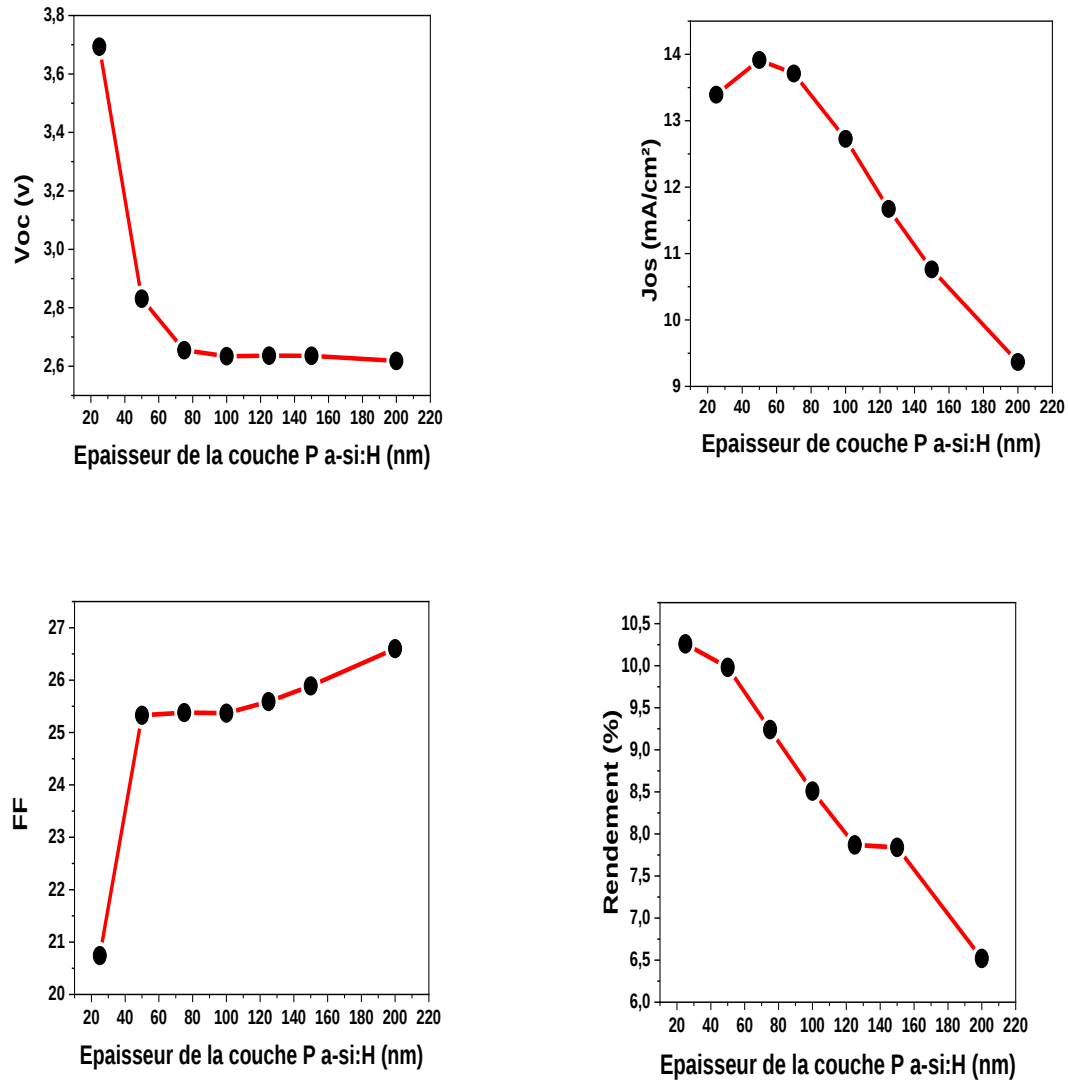


Figure II.2 : Variation des paramètres photovoltaïques en fonction de l'épaisseur de la couche a-Si-H (P).

II.3.2 Effet de l'épaisseur de la couche a-Si-H (i) sur les performances de la cellule

Nous faisons varier la valeur de l'épaisseur de la couche intrinsèque a-Si:H(i) de 100 jusqu'à 1000 nm, tandis qu'en gardant l'épaisseur des couches a-Si:H(p) et a-Si:H(n) fixe à 10 nm.

La Figure (II.3) présente la variation des paramètres V_{oc} ; J_{sc} ; FF ; R de la cellule de type p-i-n (a-Si:H) en fonction de l'épaisseur la couche intrinsèque (active) a-Si:H(i).

L'augmentation de l'épaisseur de la couche active (intrinsèque) s'accompagne d'une diminution progressive de la tension V_{oc} , cette diminution peut être attribuée à l'augmentation de la densité des défauts structuraux dans la couche active a-Si:H(i). Plus la densité des défauts est importante elle affecte la collecte des porteurs de charges.

On voit aussi que le facteur de forme FF augmente de manière significative avec l'augmentation de l'épaisseur de la couche a-Si:H(i).

La densité de courant de court-circuit J_{sc} croît avec l'augmentation de l'épaisseur de la couche active intrinsèque a-Si:H(i). Cette couche a-Si:H(i) est la région de l'absorption et de la photo-génération. Donc l'augmentation de l'épaisseur de la couche a-Si:H(i) signifie que plus de photons sont absorbés et plus de porteurs libres sont générés ce qui conduit à une augmentation du photo-courant.

Le rendement η de la cellule a-Si-H augmente avec l'épaisseur de la couche active a-Si:H(i) puis il décroît. Cette diminution peut être attribuée à l'augmentation de la densité des défauts structuraux dans la couche active a-Si:H(i). Plus la densité des défauts est importante elle affecte la collecte des porteurs de charges.

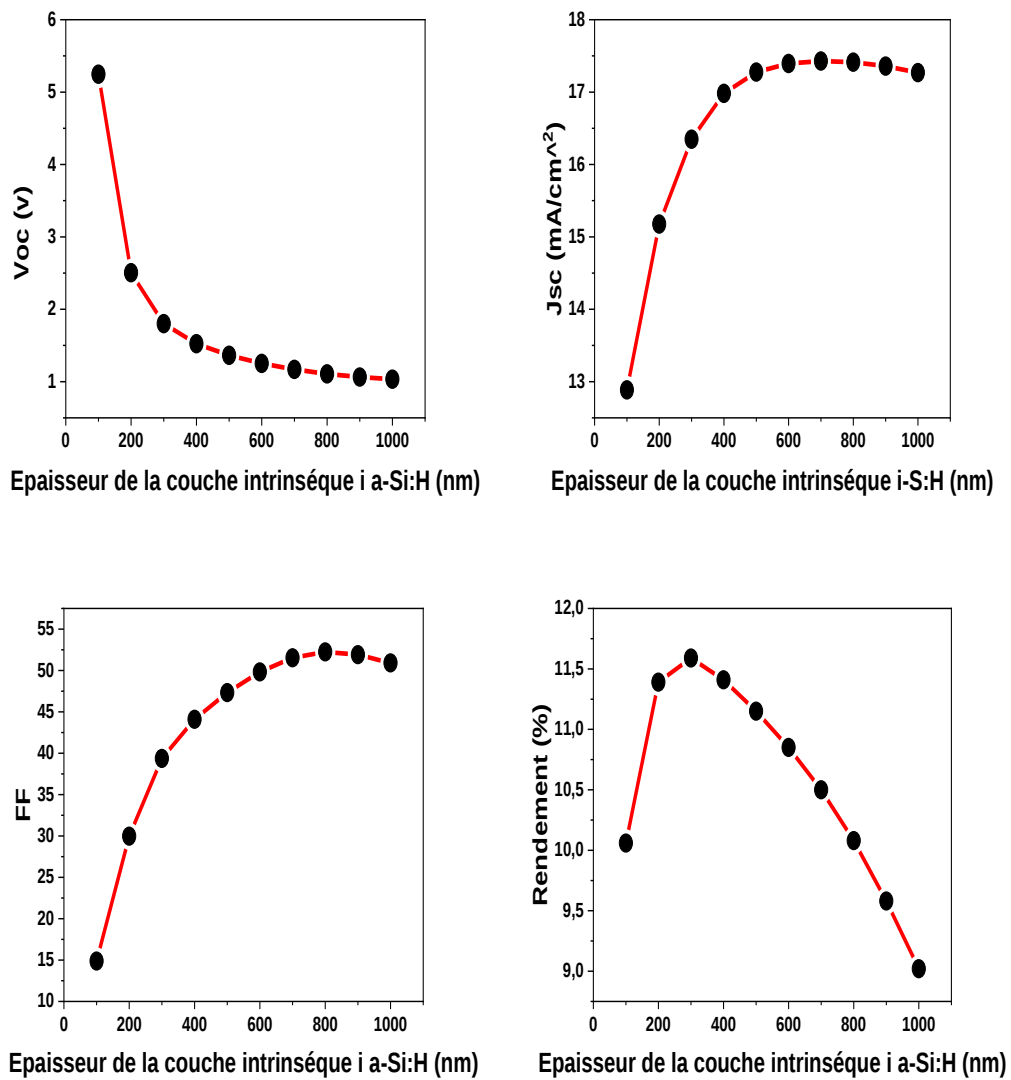


Figure II. 3: Variation des paramètres photovoltaïques en fonction de l'épaisseur de la couche a-Si-H (i).

II.3.3 Effet de l'épaisseur de la couche a-Si-H (n) sur les performances de la cellule

La couche a-Si:H(n) présente le pôle négatif de la cellule solaire. Les épaisseurs des couches a-Si:H(i), a-Si:H(n) ont été maintenues à 600nm et 10nm respectivement.

La figure (II.4) montre que la variation dans l'épaisseur de la couche a-Si:H(n) dans l'intervalle de 30nm à 180 nm, peut fournir un changement significatif dans les valeurs de la densité de courant de court-circuit J_{sc} , le facteur de forme FF et le rendement η . Tandis que les valeurs de tension de court-circuit V_{oc} s'abaissent de 3.94V à 3.55 V.

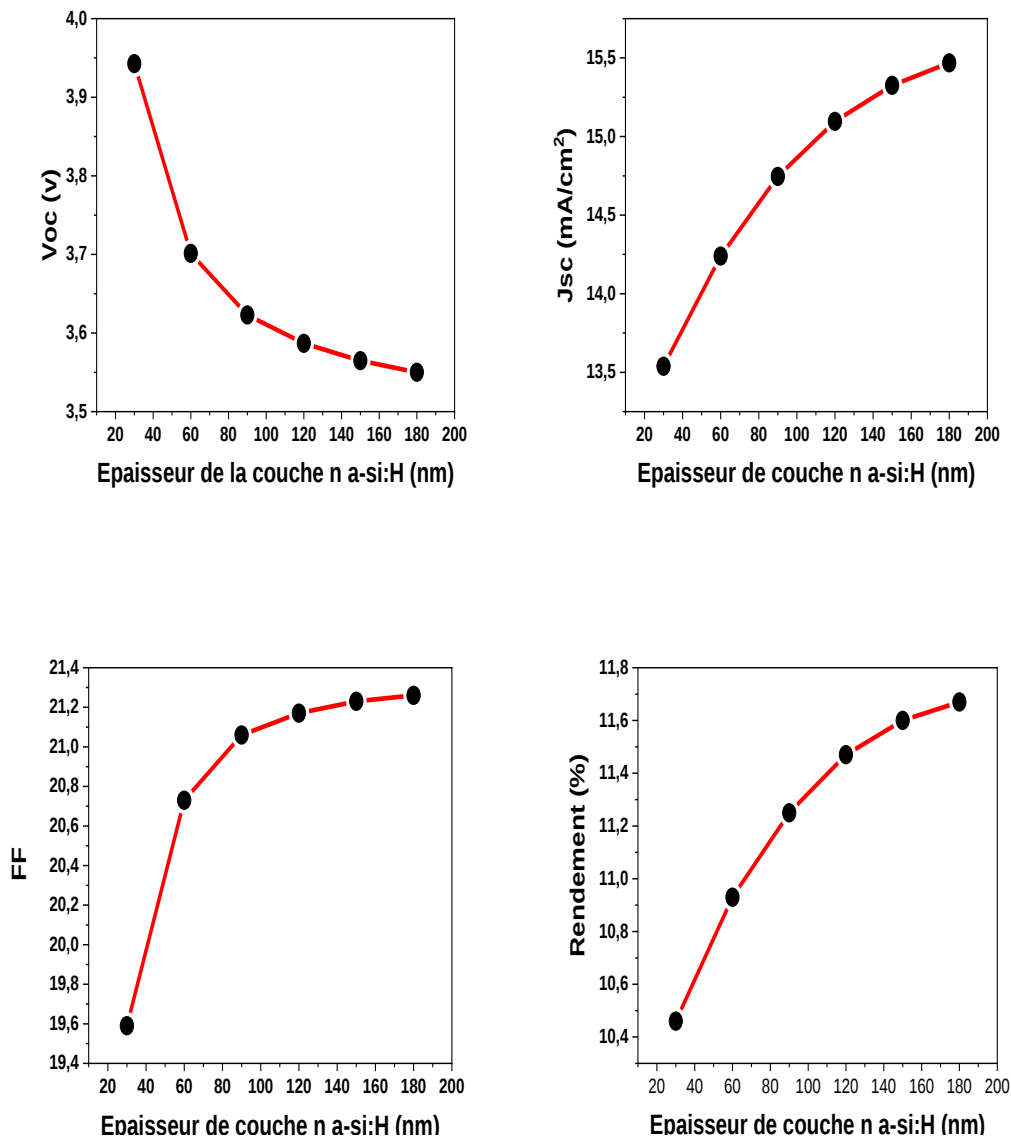


Figure II.4 : Variation des paramètres photovoltaïques en fonction de l'épaisseur de la couche a-Si-H (n).

II.3.4 Effet de l'énergie de la bande interdite (gap) de la couche a-Si-H (p) sur les performances de la cellule

On peut voir sur la figure (II.5) que J_{sc} , V_{oc} et le rendement de la cellule augmentent rapidement lorsqu'on varie l'énergie de gap de 1.7ev à 2.15ev. Le FF commence à diminuer dès 1.7ev. Le rendement atteint son maximum de 10.21 % à une énergie de gap de la couche fenêtre a-Si-H(p) qui égale à 2.15ev. Cette augmentation du rendement peut s'expliquer le taux de recombinaison qui s'abaisse avec l'augmentation de l'énergie de gap de la couche fenêtre, l'énergie de gap élevée permet aussi aux photons d'atteindre la couche absorbante a-Si-H(i) pour produire plus de courant.

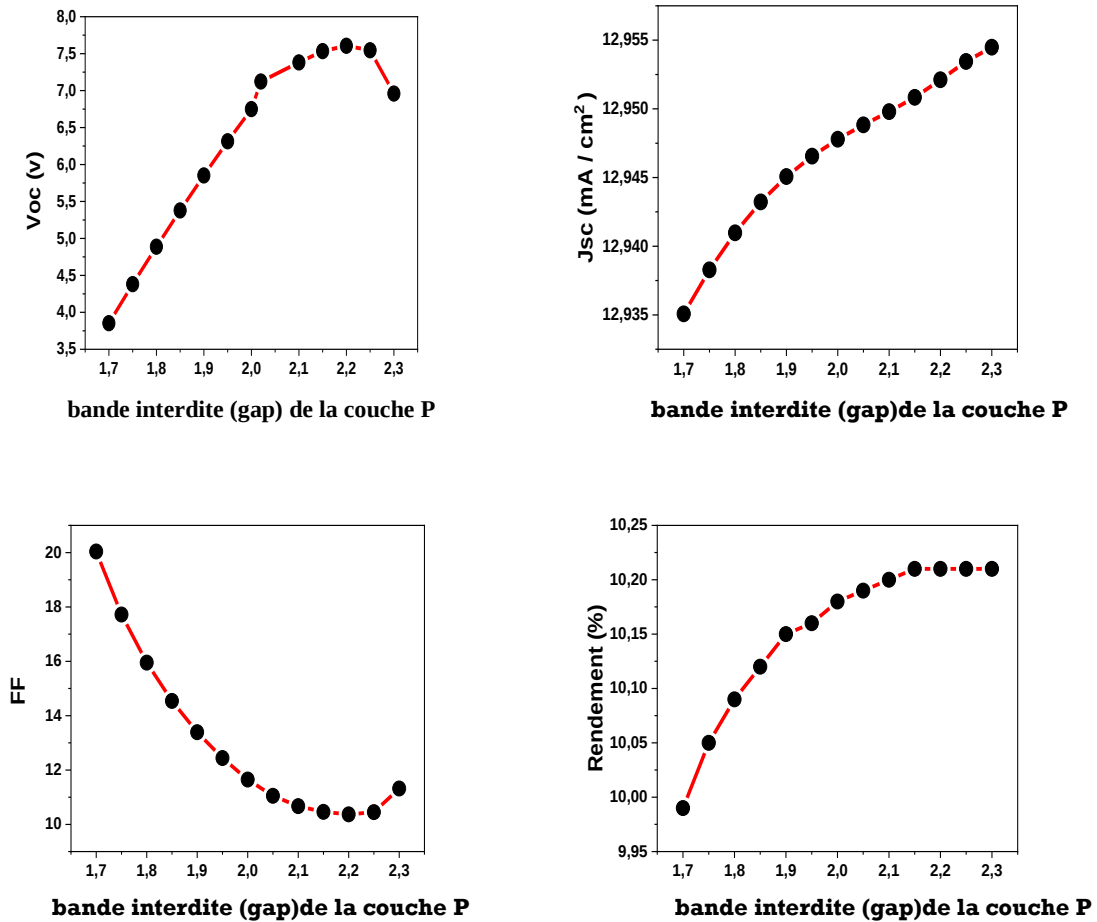


Figure II.5 : Variation des paramètres photovoltaïques en fonction de l'énergie de gap de la couche a-Si-H (p).

II.3.5 Effet de la concentration des accepteurs et des donneurs sur le rendement de la cellule solaire

Le rendement de la cellule solaire à homo-jonction a-Si:H(p)/a-Si:H(i)/ a-Si:H(n) a augmenté avec l'augmentation de la concentration des accepteurs a-Si:H(p) et la concentration des donneurs a-Si:H(n). Le rendement a atteint sa valeur la plus élevée de 9.17 % à une concentration d'accepteur de 10^{21} Cm^{-1} comme le montre la Figure (II.6). La valeur la plus élevée de 09.4 % à une concentration de donneurs de 10^{21} cm^{-3} . Une Concentration plus élevée de donneurs excite plus d'électrons vers la bande de conduction et une concentration d'accepteur plus élevée fournit plus de trous où la génération de photo-courant augmente ainsi le rendement.

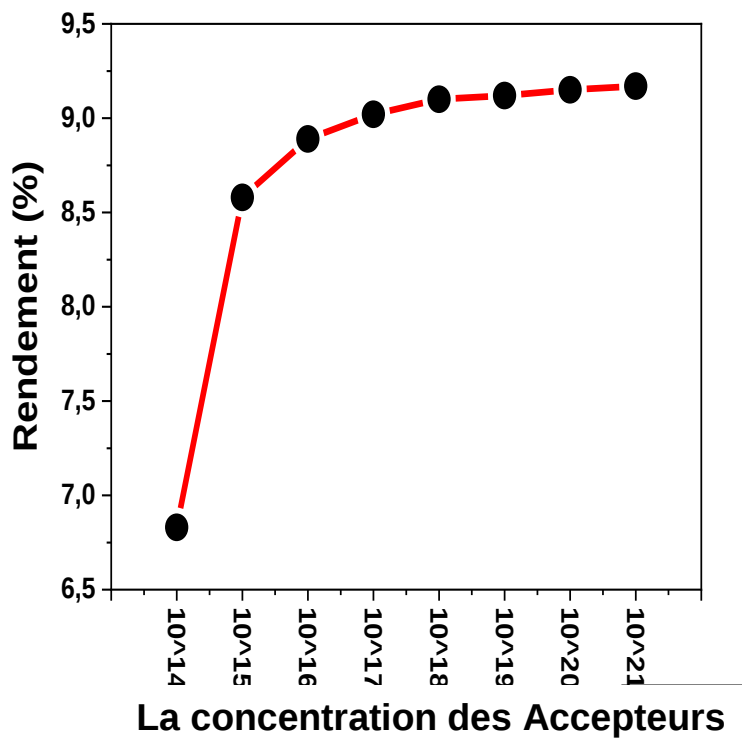


Figure II.6.1 : Variation des paramètres photovoltaïques en fonction de la concentration des accepteurs cm^{-1} .

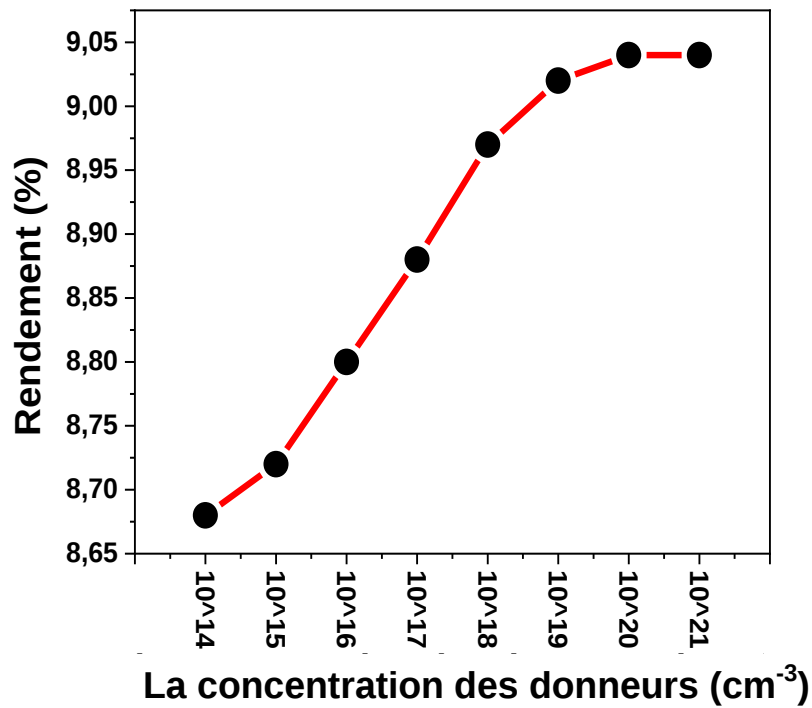


Figure II.6.2 : Variation des paramètres photovoltaïques en fonction de la concentration des donneurs cm⁻¹.

II.4 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons étudié la cellule solaire à homo-jonction avec la structure a-Si:H(p) / a-Si:H(i) / a-Si:H(n) par simulation 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 100 mW/cm² est utilisé comme source d'éclairage dans cette simulation. Les effets de La bande interdite de la couche a-Si:H(p), les effets des épaisseurs des couches p,i,n et l'influence de la concentration des donneurs et accepteurs des couches p et n ont été simulés et discutés et interprétés.

Conclusion générale

Conclusion générale

Dans le premier chapitre et dans un premier *lieu*, nous avons présenté des générales sur le domaine de la conversion photovoltaïque ainsi que le principe de fonctionnement des cellules solaires. Lors du deuxième chapitre nous avons simulé la cellule solaire à homo-jonction avec la structure a-Si:H(p) / a-Si:H(i) / 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 100 mW/cm². Nous résumons les résultats aboutis comme suit :

Nous avons trouvé que le rendement η présente des valeurs minimales pour des épaisseur de la couche fenêtre a-Si:H(p) assez grandes. Cela est due à la réduction de quantité de lumière qui atteint la couche active a-Si:H(i) et entraîne une baisse valeurs J_{SC} . Il devient également difficile pour le champ intégré de séparer la paire électron-trou si l'épaisseur de la couche p est très grande. Donc, dans la cellule solaire à jonction simple p-i-n, la couche p doit être aussi mince que possible pour permettre un maximum de lumière passe aux couches a-Si:H(i) et a-Si:H(n). La variation dans l'épaisseur de la couche a-Si:H(n) dans l'intervalle de 30nm à 180 nm, peut fournir un changement significatif dans les valeurs de rendement η .

L'abaissement dans les valeurs du rendement η de la cellule a-Si-H en fonction de l'épaisseur de la couche active a-Si:H(i) après avoir des valeurs maximales peut être attribuée à l'augmentation de la densité des défauts structuraux dans la couche active a-Si:H(i). Plus la densité des défauts est importante elle affecte la collecte des porteurs de charges.

Le rendement de la présente cellule atteint son maximum de 10.21 % à une énergie de gap de la couche fenêtre a-Si-H(p) qui égale à 2.15eV. Cette augmentation du rendement peut s'expliquer le taux de recombinaison qui s'abaisse avec l'augmentation de l'énergie de gap de la couche fenêtre, l'énergie de gap élevée permet aussi aux photons d'atteindre la couche absorbante a-Si-H(i) pour produire plus de courant.

Finalement, η a atteint sa valeur la plus élevée de 9.17 % à une concentration d'accepteur de 10^{21} Cm^{-1} . La valeur la plus élevée de 09.4 % à une concentration de donneurs de 10^{21} cm^{-3} . Une Concentration plus élevée de donneurs excite plus d'électrons vers la bande de conduction et une concentration d'accepteur plus élevée fournit plus de trous où la génération de photo-courant augmente ainsi le rendement.

Références

- [1] Madani Labeled, Nouredine Sengouga, Afak Meftah, Amjad Meftah, You Seung Rim, Study on the improvement of the open-circuit voltage of NiOx/Si heterojunction solar cell, *Optical Materials*, Volume 120, 2021.
- [2] W.E. Spear, P.G. Le Comber, *Philosophical Magazine* 33 (1976) .
- [3] M.I. Kabir, Zahari Ibrahim, Kamaruzzaman Sopian, Nowshad Amin, Effect of structural variations in amorphous silicon based single and multi-junction solar cells from numerical analysis, *Solar Energy Materials and Solar Cells*, Volume 94, Issue 9, 2010.
- [4] D.E. Carlson, C.R. Wronsky, *Applied Physics Letters* 33 (1976).
- [5] Alessandro Fantoni, Manuela Vieira, Rodrigo Martins, Simulation of hydrogenated amorphous and microcrystalline silicon optoelectronic devices, *Mathematics and Computers in Simulation*, Volume 49, Issues 4–5, 1999.
- [6] Franco Gaspari and Simone Quaranta 2.5 PV Materials, *Comprehensive Energy Systems* 117-149, 2018.
- [7] M. I. Kabir a , Zahari Ibrahim b , M. ALGHOUL b , Kamaruzzaman Sopian b , MD. Rezaul Karim c , Nowshad Amin, bandgap optimization of absorber layers in amorphous silicon single and multi-junction junction Solar Cells, Vol. 9, No. 1, January 2012.
- [8] Mohammed Iqbal Kabir, Seyed A. Shahahmadi, Victor Lim, Saleem Zaidi, Kamaruzzaman Sopian, Nowshad Amin, Amorphous Silicon Single-Junction Thin-Film Solar Cell Exceeding 10% Efficiency by Design Optimization, *International Journal of Photoenergy*, vol., Article ID 460919, 2012.
- [9] Nour Elhouda BELABAS , Prédiction des propriétés des cellules photovoltaïques à base de nouveaux matériaux semi-conducteurs, Mémoire de Master, Université Mohamed El Bachir Elibrahimi–Bordj Bou-Arréridj 2019-2020.
- [10] Boughanem djamaia, “ Influence des propriétés du silicium amorphe hydrogéné sur la performance d’une Cellule solaire HIT”, Mémoire de Master, Université Abdelhamid Ben Badis – Mostaganem , 2018.
- [11] Le photovoltaïque-Modele 3-Fonctionnement et technologies, Novembre 2010-1/10.

- [12] Saouli Sara ,Étude Des Caractéristiques Courant Tension d'une cellule de silicium, Mémoire de Master, Université Mohamed El Bachir Elibrahimi –Bordj Bou Arreridj 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 2018 .
- [14] Abdoulwahab Adaine, Optimisation numérique de cellules solaires à très haut rendement à base d'InGaN, Docteur de L'université de lorraine, Université de Lorraine et CentraleSupélec 2018.
- [15] <https://www.techno-science.net/glossaire-definition/Semi-conducteur.html>.
- [16] Mekliche Said, Etude et Simulation des paramètres électriques d'une cellule solaire photovoltaïque à base de Silicium, diplôme de Master, Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou,2016/2017.
- [17] https://fr.wikipedia.org/wiki/Silicium_amorphe .
- [18] Belfar Abbas, Modélisation et optimisation de deux cellules solaires n-i-p et n-i-p'-p à base de silicium amorphe (a-Si:H) et silicium nanocristallin (nc-Si:H) , diplôme de Doctorat , Université des sciences et de la technologie d'oran Mohamed Boudiaf, 2013.
- [19] <https://www.planete-energies.com/fr/medias/decryptages/la-cellule-photovoltaïque-comment-ca-marche#:~:text=Le%20principe%20de%20fonctionnement,et%20de%20neutrons...%20>.
- [20] Sahli Abdeslem, Filtrage actif et control de puissances : application aux systèmes photovoltaïques interconnectés au réseau, magister, Université ferhat abbas-setif- UFAS (Algerie), 2012.
- [21] Boudjadar Seyyid ali et Boulemnakhar Yasser , Simulation Des Défauts D'une Chaîne De Pompage Photovoltaïque, Mémoire de Master en Electromécanique, Université Mohamed Seddik Ben Yahia – Jijel 2021.
- [22] <https://www.ecosources.org/types-de-cellules-photovoltaïques>.

- [23] <https://www.totalenergies.fr/particuliers/nos-services/autoconsommation-solaire/fonctionnement-panneaux-photovoltaiques/differents-types-de-cellules-photovoltaiques>.
- [24] D. E. Carlson and C. R. Wronski, Amorphous silicon solar cell, *Applied Physics Letters*, vol. 28, no. 11, pp. 671–673, 1976.
- [25] U. Kroll, C. Bucher, S. Benagli et al., High-efficiency p-i-n aSi: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.
- [26] Mohammed Ikbāl Kabir, Seyed A. Shahahmadi, Victor Lim, Saleem Zaidi, Kamaruzzaman Sopian, Nowshad Amin, Amorphous Silicon Single-Junction Thin-Film Solar Cell Exceeding 10% Efficiency by Design Optimization, *International Journal of Photoenergy*, vol, Article ID 460919, 2012.
- [27] Bechane, L., Bouarissa, N., Loucif, K. Numerical Simulation and Optimization of the Performances of a Solar Cell (p-i-n) Containing Amorphous Silicon Using AMPS-1D, *Trans. Electr. Electron. Master*, 2021.

Résumé

Résumé

Dans cette étude, la cellule solaire à homo-jonction à base de silicium amorphe hydrogéné (a-Si:H) de structure a-Si:H(p)/ a-Si:H(i)/ a-Si:H(n) est simulé à l'aide du logiciel de simulation unidimensionnel SCAPS 1D (Solar Cell Capacitance Simulator) version 3.9. Sous un rayonnement solaire AM 1.5 avec une densité de puissance de 100 mW cm^{-2} et une température de 300K. L'objectif de cette présente contribution est d'étudier les effets de l'épaisseur et de la concentration de dopage des différentes couches ainsi que la bande interdite de la couche p sur les performances de la cellule solaire, à savoir le courant de court-circuit (J_{sc}), la tension de circuit ouvert (V_{oc}), le facteur de forme (FF) et le rendement (η).

Mots clés: cellule solaire, semi-conducteur, jonction PIN, homo-jonction.

Abstract

In this present study, single junction solar cells based on hydrogenated amorphous silicon (a-Si:H) solar cell structure consisting of a-Si:H(p)/ a-Si:H(i)/ a-Si:H(n) is simulated using one dimensional simulator SCAPS 1D (Solar Cell Capacitance Simulator) software version 3.9. Under AM 1.5 solar radiation with a power density of 100 mW cm^{-2} and temperature of 300K. The objective of the present contribution is to investigate the effects of thickness and doping concentration of different layers as well as the p-layer band gap on the performances of the solar cell, namely the current of short circuit (J_{sc}), the tension of open circuit (V_{oc}), the form factor (FF) and the efficiency (η).

Keywords: solar cell, semiconductor, PIN junction, homojunction.

ملخص

في هذه الدراسة قمنا بدراسة الخلية الشمسية متجانسة الوصلة القائمة على السيليكون غير المتبلور المهدرج (a-Si: H) من الطبقة a-Si:H(p)/ a-Si:H(i)/ a-Si:H(n) باستخدام برنامج المحاكاة أحادي البعد SCAPS 1D (محاكاة سعة الخلايا الشمسية) الإصدار 3.9. تحت إشعاع شمسي AM 1.5 بكثافة طاقة $100 \text{ ميغاواط سم}^{-2}$ ودرجة حرارة 300 كلفن. الهدف من هذه المساهمة الحالية هو دراسة تأثيرات سماكة وتركيز التطعيم للطبقات المختلفة وكذلك فجوة النطاق للطبقة p على أداء الخلية الشمسية ، أي تيار الدائرة المستقصرة ، تيار الدارة (V_{oc}) ، عامل الشكل (FF) و المردود (η) .

الكلمات المفتاحية: الخلية الشمسية، أشباه الموصلات، تقاطع PIN ، التقاطع المتجانس.