

Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

Université Ferhat Abbas- Sétif 1

Institut : Optique et Mécanique de Précision

Département : Optique et mécanique de précision

Domaine : Sciences et Technologies

Filière : Optique et Mécanique de Précision

Spécialité : Optique et Photonique Appliquée

Etude et Réalisation d'une cellule Solaire à base des couches minces SnS

Étudié par : REKAB Hadil

Devant le jury :

(L'encadrant) : **Dr. NOURI Abdelhak**

(Co encadrant) : **Dr. ROUAG Nouari**

(Président) : **Pr. BELLOUI Bouzid**

(Eximinateur) : **Dr. Belkhir Abdelhak**

Soutenue le : 28 / 06 /2022

Table des matières

Introduction Générale	1
Chapitre I : Généralités sur les Cellules Photovoltaïques	1
Introduction	4
I.1 Rayonnement solaire	4
I.2 Le semi-conducteur	5
I.3 L'effet photovoltaïque	6
I.4 Principe de fonctionnement	7
I.5 Générateur photovoltaïque	8
I.6 Structure d'une cellule :	9
I.7 La cellule photovoltaïque	10
I.8 Matériaux destinés à la conversion photovoltaïque	11
I.9 Les Différents filières technologiques des cellules photovoltaïques	12
<i>I.9.1 La filière silicium</i>	13
<i>I.9.1.1 le silicium monocristallin</i>	14
<i>I.9.1.2 le silicium polycristallin :</i>	14
<i>I.9.2 La filière couches minces</i>	14
I.9.2.1 Couches minces de silicium (mono, poly-cristallin et amorphe)	15
I.9.2.2 Couches minces de tellurure de cadmium (CdTe)	16
I.9.2.3 Couches minces de di-séléniure de cuivre-indium (CIS/CIGS)	17
<i>I.9.3 La filière des cellules organiques</i>	18
<i>I.9.4 La filière des pérovskites</i>	19
I.10 Avantages et inconvénients de l'énergie photovoltaïque	19
<i>I.10.1 Avantages</i>	19
<i>I.10.2 Inconvénients</i>	20
I.11 Notion de couche mince	20

I.12 Principe de dépôt de couches minces	21
<i>I.12.1 Solide</i>	21
<i>I.12.2 milieu liquide</i>	21
<i>I.12.3 gaz ou vide</i>	21
I.13 Mécanismes de dépôt des couches minces	21
Chapitre II Caractéristique Courant-Tension (I-V) des cellules Solaires	2
Introduction	23
II.1 Caractéristique électrique	23
<i>II.1.1 Propriétés</i>	23
<i>II.1.2 Modèle à barrière homogène</i>	24
<i>II.1.3 Zones de fonctionnement du module photovoltaïque</i>	25
II.2 Paramètres photovoltaïques	26
<i>II.2.1 Courant de court-circuit (I_{cc})</i>	27
<i>II.2.2 Tension de circuit ouvert (V_{co})</i>	27
<i>II.2.3 Facteur de forme, FF</i>	29
<i>II.2.4 Le rendement η</i>	29
Chapitre III Résultats et discussions	31
III.1 INTRODUCTION	30
III.2 PRÉPARATION DES COUCHES MINCES	30
<i>III.2.1 La pulvérisation « SPRAY »</i>	30
<i>III.2.1.1 Description de la technique</i>	30
<i>III.2.1.2 Processus de dépôt</i>	31
<i>III.2.2 Procédures expérimentales</i>	31
<i>III.2.3 Paramètres de dépôts</i>	33
<i>III.2.3.1 Choix de la solution précurseur</i>	33
<i>III. 2.3.2 Choix de substrat</i>	33
<i>III.2.3.3 Nettoyage des substrats</i>	34
<i>III.2.3.4 Préparation des solutions de précurseurs</i>	34
<i>III.2.4 Procédure de dépôt</i>	35

III.3 Caractérisation des couches mince SnS	37
<i>III.3.1 Caractérisation structurale</i>	37
<i>III.3.1.1 La diffraction des rayons X (DRX)</i>	37
<i>III.3.2 Caractérisation optique</i>	38
<i>III.3.2.1 Le spectre de transmission optique</i>	39
<i>III.3.2.2 Le Gap optique</i>	40
<i>III.3.3 Caractérisation électrique</i>	41
III.4 Partie simulation	42
<i>III.4.1 Extraction des paramètres des cellules solaires</i>	42
<i>III.4.2 Méthode de simulation de la caractéristique courant-tension</i>	43
Conclusion Générale	47
Bibliographies	48

Introduction Générale

Depuis longtemps, l'humanité utilise différents types de sources d'énergie conventionnelles, notamment les combustibles fossiles, le charbon, le gaz naturel, les résidus agricoles et bien d'autres encore. L'utilisation de ces combustibles depuis tant d'années a entraîné de nombreux risques pour l'environnement, comme la pollution de l'eau et de l'air, ainsi que pour les espèces animales. Le réchauffement de la planète, les pluies acides et l'éruption des sols sont des effets néfastes de l'utilisation de ces sources d'énergie conventionnelles depuis tant d'années. Les réservoirs limités de ces sources d'énergie conventionnelles et leurs différents risques environnementaux nous ont poussés à opter pour des sources d'énergie durables et propres, appelées sources d'énergie non conventionnelles. Différentes sources d'énergie comme l'énergie marémotrice, l'énergie éolienne, l'énergie de la biomasse et l'énergie solaire sont sources d'énergie durables grâce auxquelles l'énergie peut être obtenue de manière répétée. L'énergie solaire est disponible dans le monde entier, ce qui en fait une alternative très souhaitable et appropriée aux combustibles fossiles. [1]

Le soleil est une grande sphère gazeuse qui, par la fusion des noyaux d'hydrogène, dégage une grande quantité d'énergie sous la forme de radiations solaires. Le soleil émet environ $6,4 \times 10^7 \text{ W/m}^2$. Sur ce total, environ 1370 W/m^2 sont émis dans l'atmosphère terrestre, sans absorption de la lumière solaire dans l'espace, et environ 980 W/m^2 atteignent la surface de la Terre. [2] L'énergie solaire est disponible sans aucun coût et peut être facilement convertie en électricité en utilisant des cellules solaires. Compte tenu de son potentiel de transposition pour répondre aux préoccupations croissantes concernant l'environnement, la pollution et l'intégration de l'énergie durable, des recherches intensives sont en cours pour développer des cellules photovoltaïques (PVC) hautement efficaces. Les PVC ont pour fonction de convertir directement l'énergie solaire en énergie électrique. En outre, le PVC a connu plusieurs générations dans le but d'optimiser son coût/watt d'électricité solaire fournie et l'efficacité de la cellule solaire. Des technologies remarquables de cellules solaires telles que les cellules solaires à couche mince, les cellules solaires à jonction multiple et les cellules solaires en pérovskite ont entraîné une évolution de l'industrie des cellules solaires.

L'énergie solaire est considérée comme la principale source d'énergie renouvelable sur terre ; et parmi elles, l'irradiation solaire possède à la fois le potentiel énergétique et la durée suffisante pour répondre aux besoins énergétiques futurs de l'humanité. Aujourd'hui, malgré

l'important potentiel de la lumière solaire pour la fourniture d'énergie, l'énergie solaire ne fournit qu'une très petite fraction (d'environ 0,5 %) de la demande énergétique mondiale. Afin d'augmenter la capacité PV installée dans le monde, les systèmes solaires photovoltaïques doivent devenir plus efficaces, plus fiables, plus compétitifs en termes de coûts et plus réactifs aux demandes actuelles du marché. Dans ce contexte, l'industrie photovoltaïque, en vue de l'adoption prochaine d'architectures plus complexes, exige l'amélioration des cellules photovoltaïques en termes de réduction du mécanisme de perte associé, en se concentrant sur l'optimisation de la conception du processus, ainsi que sur la réduction de la complexité et du coût de fabrication. Par conséquent, un choix judicieux des matériaux, une architecture et une distribution géométrique appropriées, des techniques de passivation et l'adoption d'une stratégie de simulation de modélisation numérique adéquate sont obligatoires.

Ce travail fait partie d'une activité de recherche sur certaines solutions technologiques avancées visant à améliorer le rendement de conversion des cellules solaires à base de couches minces SnS/ZnO. Les cellules solaires à couches minces sont intéressantes en raison de leur utilisation minimale de matériaux et de leur efficacité croissante. La cellule solaire à couche mince est une technologie de deuxième génération, fabriquée en employant une ou plusieurs couches minces d'éléments PV sur un substrat en verre, en plastique ou en métal. L'épaisseur du film peut varier de plusieurs nanomètres à des dizaines de micromètres, ce qui est nettement plus fin que son adversaire, la cellule solaire c-Si traditionnelle de 1ère génération (plaquettes de $\sim 200\text{ }\mu\text{m}$ d'épaisseur). C'est la raison pour laquelle les cellules solaires à couches minces sont plus faciles à utiliser, moins massives, et présentent une résistance limitée.

Dans le premier chapitre, on présente des généralités sur les cellules photovoltaïques, en particulier leurs structures, principe de fonctionnement et leurs filières technologiques ainsi que les matériaux destinés à la conversion photovoltaïque et utilisés comme semiconducteurs dans leur fabrication. Ensuite, on décrit plus en détail la technologie des cellules solaires à base des couches minces, ainsi que les méthodes employées pour réaliser les dépôts de couches minces.

Le deuxième chapitre est consacré aux caractéristiques courant-tension (I-V) des cellules solaires. En particulier, une étude détaillée des principaux concepts liés aux mécanismes physiques tels que le processus de génération et de recombinaison, le mouvement, la collecte des porteurs de charge et le modèle à barrière homogène.

Introduction Générale

Le troisième chapitre consiste à une discussion des résultats obtenus lors de cette étude, concernant la partie expérimentale et la simulation réalisés à base du modèle à barrière homogène. Finalement, ce travail se termine par une conclusion générale.

Introduction

L'énergie solaire est en train de devenir l'une des principales sources d'énergie en remplaçant les combustibles fossiles en raison de son abondance. Les cellules solaires convertissent cette énergie solaire en énergie électrique par absorption des photons par des matériaux semi-conducteurs. Les semi-conducteurs entrant dans la fabrication de ces cellules solaires sont l'objet de multiples recherches, en vue d'améliorer le rendement de conversion de ces dispositifs.

Dans ce chapitre, nous allons expliquer le principe de fonctionnement des cellules solaires dans la mesure où celle-ci est nécessaire pour la compréhension de ce travail, ainsi que les cellules solaires à base des couches minces.

I.1 Rayonnement solaire

Le rayonnement moyen émis par le soleil est de 1,36 KW/m² hors atmosphère. Pour des conditions climatiques ainsi que pour la présence de certaines molécules dans l'atmosphère (O₃, CO₂, H₂O...) ce rayonnement subit une atténuation et une modification de son spectre.

L'intensité et la distribution spectrale qui arrive à la surface de la terre se réduit alors à 1000 W/m² avec un spectre décalé vers le rouge. Pour pouvoir comparer les performances des cellules solaires et qualifier les différents spectres solaires utilisés, la notion d'air mass (AM), ou « masse atmosphérique » a été créée. Le nombre de masse (AM) est défini par l'équation [3] :

$$AM = \frac{1}{\cos(\theta)} \quad (1.1)$$

Où θ est l'angle que fait le soleil avec son zénith (figure (I.2)). La figure (I.2) montre le spectre d'irradiance solaire hors atmosphère (AM0) et sous AM1.5 global normalisé à 100 mW/cm² [3].

Afin de standardiser les méthodes de mesure, un spectre AM1.5G (Global) a été défini comme référence internationale. Il correspond à une masse d'air de 1.5 et un angle θ de 48.2°. Précisant que Global signifie que le spectre tient compte du rayonnement direct ainsi que du rayonnement diffus. Au sol, le rayonnement solaire a au moins deux composantes : une