

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE M'HAMED BOUGARA-BOUMERDES



Faculté des Sciences-Département de Chimie

Mémoire de fin d'études

En vue de l'obtention du Diplôme de Master en :

Domaine : Science de la Matière

Filière : Chimie

Option : Chimie organique

Présenté par :

BELHOUARI Ibtissem

Thème

Elaboration des couches minces et études des propriétés structurelles et électro-optiques des composites SiC/Polymère/Si

Devant le Jury composé de :

Mr. ZIATI Mounir	M.C.A.	UMBB	Président
Mr. BOUNOUGHAZ Moussa	Pr.	UMBB	Examineur
M^{me} KACI Samira	M.R.A.	CRTSE	Examinatrice
M^{me} GHEBACHE Zohra	M.C.B.	USTHB	Invitée
M^{me} BENFADEL Karima	Doc.	CRTSE	Co-Promotrice
Mr. HAMIDOUCHE Fahim	M.A.B.	UMBB	Promoteur

Remerciement

Je tiens tout d'abord à remercier dieu le tout puissant et miséricordieux, qui ma donné le courage, la force, la volonté et la patience d'accomplir ce travail.

Je tiens à exprimer mes vifs remerciements et ma profonde gratitude à mon encadrent: Mr Hamidouche Fahim Pour avoir encadré ce mémoire pour tout le soutien qu'il a bien voulu m'accorder tout au long de ce travail.

J'exprime mes profondes gratitudes et respectueuse reconnaissances à Mme Benfadel Karima pour m'avoir encadrée durant la période de mon stage et pour son aide et ses explications et ses conseils judicieux qui ont amélioré la réalisation de ce mémoire.

J'adresse mes sincères remerciements à Mme KACI Samira directrice de division au sein de CRTSE pour son aide efficace et sa collaboration.

Je tiens aussi à remercier tous les membres de jury, le président de jury Mr ZIATI Mounir ainsi LE Professeur Mr BOUNOUGHIAQ, Mme KACI Samira, Mme GHEBACHE Zohra. Qui m'ont fait l'honneur de juger mon travail.

A toutes les personnes, qui ont contribué de près ou de loin, à l'aboutissement à ce travail, je les remercie tous sans oublier les équipes de CRTSE et CRNA.

Dédicaces

A Mes chers parents qui ont toujours été présents à côté de moi et continuent Sans cesse de m'aider à accomplir ce travail, à ma mère pour sa patience, son dévouement et sa gentillesse, à vous deux aucune dédicace ne saurait exprimer ma profonde gratitude et ma vive reconnaissance, et aucune dédicace ne pourra compenser les sacrifices que vous avez consentis pour mon bien être et mon bonheur.

A ma chère sœur et son mari et ses enfants qui m'ont très Encouragé pondant la durée de ce travail.

A mes très chers frères

A tous mes amis

Tables des matières

Remerciements	
Dédicaces	
Liste des figures	
Liste des tableaux	
Liste des abréviations	

Introduction générale	01
------------------------------------	-----------

Chapitre I : Généralité sur le photovoltaïque

I.1. Introduction	6
I.2. Effet photovoltaïque.....	6
I .3. Cellule photovoltaïque au silicium :	7
3.1.1. Silicium monocristallin :.....	8
3.1.2. Silicium polycristallin :.....	9
3.1.3. Silicium amorphe :.....	9
I.4. Les pertes optiques dans le silicium :.....	10
I .4.1. Pertes liées à la réflexion :.....	10
I.4.2. Pertes liées au non absorption complète du spectre solaire :.....	10
I.5. Couches minces de conversion d'ondes :.....	11
I.5.1 Matrices	12
I.5.1.1 Matrices organiques :.....	13
I.5.1.2 Matrices inorganiques.....	13
I .5.2 Particules luminescentes.....	13
I .5.2.1 Colorants Organiques.....	14
I .5.2.2 Terres rares :	15
I .5.2.3 Les nanoparticules	16
Références	18

Chapitre II : Protocoles et techniques de caractérisations

II.1. Introduction	22
----------------------------------	-----------

II.2. Protocoles expérimentales.....	22
II.2.1. Préparation des substrats.....	22
II.2.2. Préparations de la couche de conversion d'ondes.....	24
A. Préparation de la matrice organique :.....	24
B. Préparation des nanoparticules de carbure de silicium :	24
C. Préparation des mélanges matrice /nanoparticules de SiC :.....	25
D. Dépôts des mélanges sur les substrats :	27
II.3 Technique de caractérisation	28
II.3.1 La spectrophotométrie : mesure de l'absorbance.....	29
II.3.2 Le spectrophotomètre UV-Visible-PIR.....	30
II.3.3 Mesure d'angle de contact.....	32
II.3.4 Microscopie électronique à balayage (MEB).....	33
II.3.5 Rendement quantique externe (EQE).....	34
II.3.6 Tracés potentiodynamique Potentiostats VMP3.....	35
Références.....	37

Chapitre III : Résultats et discussions

II.1. Introduction	40
III.2. Absorption.....	40
III.3. Energie de gap E_g	41
III.4. Angle de contact.....	42
III.5. Propriétés morphologique (MEB).....	44
III.6. La réflexion totale (R%).....	48
III.7. Rendement quantique externe (EQE).....	52
III.8. Propriétés électriques (I-V)	55
III.8.1. Mesures (I-V) dans l'obscurité	56
III.8.3. Mesures (I-V) sous éclairage blanc.....	59
Références	61
Conclusion générale.....	64

Liste des figures et tableaux

Liste des figures

Chapitre I : Généralité sur le photovoltaïque

Figure I.1 : Schéma d'une cellule photovoltaïque	7
Figure I.2 : type de cellule monocristallin.....	8
Figure I.3 :le type de cellule poly cristalline.....	9
Figure I.4 :le type de cellule amorphe.....	10
Figure I.5 : réponse spectrale d'une cellule photovoltaïque au silicium comparée au rayonnement solaire au sol.....	11
Figure I.6 :schéma d'une cellule solaire à base de silicium	11
Figure I.7 :spectre de la lumière visible.....	14

Chapitre II: Méthodes et techniques de caractérisations

Figure II.1 : image d'une plaquette de silicium poli de deux faces.....	23
Figure II.2 : préparation de la matrice organique.....	24
Figure II.3 : Nanoparticules de carbure de silicium.....	25
Figure II.4 : préparation des mélanges matrices/nanoparticules de SiC.....	26
Figure II.5 : Dépôt des mélanges sur les substrats.....	27
Figure II.6 : image de la cellule solaire étudiée.....	28
Figure II.7 : spectrophotomètre HITACHI (U-3900H).....	30
Figure II.8 : photo d'un spectromètre UV-Visible-PIR type CARY 500 « VARIAN »	31
Figure II.9 : Dispositif expérimental de mesure de l'angle de contact.....	32

Figure II.10 : Photo d'un microscopie électronique à balayage (MEB).....	33
Figure II.11 : photo de montage pour la mesure d'EQE.....	35
Figure II.12 : Schéma d'un montage Potentiostatique VMP3.....	36
Chapitre III : Résultats et discussions	
Figure III.1 : Absorption de PVA	40
Figure III.2 : Absorption de nanoparticules de SiC.....	41
Figure III.3 : Energie de gap (Eg) des nanoparticules de SiC.....	42
Figure III.4 : Photographie d'une goutte d'eau déposée sur des différents substrats de silicium avant et après oxydation.....	43
Figure III.5 : images MEB de substrats nanofils de silicium en surface et en clivage avant et après dépôts à différents pourcentages SiC/PVA.....	45
Figure III.6 : images MEB de substrats texturés pyramides et nanofils de silicium en surface et en clivage avant et après dépôts à différents pourcentages SiC/PVA.....	47
Figure III.7 : image MEB d'une cellule solaire de types SiNx texturé en pyramides avec dépôt de 1% SiC/PVA	48
Figure III.8 : Réflectivité des couches minces composites PVA/SiC à différent pourcentage en nanoparticules de SiC déposées sur de substrats en silicium plat	49
Figure III.9 : réflectivité des différents types de substrats en silicium	50
Figure III.10 : Réflectivité des couches minces composites PVA/SiC à 1% de nanoparticules de SiC déposées sur de différents types de substrats en silicium	51
Figure III.11 : Réflectivité d'une cellule solaire de type SiNx sans et avec dépôt de la matrice PVA/SiC à 1%de nanoparticules de SiC	52
Figure III.12 : Efficacité quantique externe des substrats nanofils de silicium avec dépôt d'une couche SiC/PVA à différents pourcentages de SiC.....	53
Figure III.13 : Efficacité quantique externe des substrats nanofils de silicium avec dépôt d'une couche SiC/PVA à différents pourcentages de SiC.....	54
Figure III.14 : Efficacité quantique externe d'une cellule solaire sans dépôt et avec dépôt d'une couche à 1% SiC/PVA.....	55
Figure III.15 : Photos de deux morceaux d'une cellule solaire sans dépôt et avec dépôt d'une couche de 1% SiC/PVA.....	56
Figure III.16 : variation courant-tension de la cellule solaire en Si non revêtue sous obscurité et sous lumière U.V.....	57
Figure III.17 : courbes (I-V) d'une cellule solaire avec et sans LDS.....	58
Figure III.18 : courbe (I-V) d'une cellule solaire avec et sans dépôt (LDS) illuminé par Une lampe U.V à 254 nm.....	59

Figure III.19 : courbe (I-V) d'une cellule solaire avec dépôt (LDS) illuminé par une lampe U.V à 254 nm et à 365 nm.....59

Figure III.20 : courbe (I-V) d'une cellule solaire avec et sans dépôt (LDS) sous lumière blanche60

Liste des tableaux

Tableau I.1 : Caractéristiques du silicium.....8

Tableau II.1 : mélanges préparés.....26

Tableau II.2 : dépôt des mélanges sur les substrats.....28

Liste des abréviations

PV : photovoltaïque

UV : ultra violet

DS : Down-Shifting

PVA : poly vinyl alcohol

Si: Silicium

SiC : carbure de Silicium

Eg : énergie de gap

EP : polyéthylène

PVP : polyvinylpyrrolidone

SiO₂ : l'oxyde de silicium

ZnO : l'oxyde de zinc

TiO₂ : oxyde de titane

TR : terres rares

EDI : eau désionisée

TEOS : tétra éthyl ortho silicate

A : l'absorption

L : la longueur de la cuve

C : concentration de la solution

ε : coefficient d'absorption molaire

MEB : microscopie électronique à balayage

EQE : Rendement quantique externe (EQE)

h: Constante de Planck

c: Vitesse de la lumière

q: Charge électrique

λ: Longueur d'onde

φ(λ): Flux de photons incident

R: Coefficient de réflexion de la face d'une cellule solaire.

Introduction générale

Introduction générale

L'augmentation de la consommation énergétique mondiale, associée à l'appauvrissement des ressources fossiles et à la prise de conscience des enjeux environnementaux, poussent d'avantage les acteurs de la recherche à proposer et développer de nouvelles solutions pour produire une énergie propre et renouvelable non polluantes [1]. Dans ce contexte, l'énergie solaire c'est vu comme la solution incontournable à la problématique de production d'énergie électrique propre. Cependant, les cellules solaires « voient » seulement une partie du rayonnement solaire (qui est constitué d'un spectre bien plus large que ce que le silicium peut absorber). En effet, pour les cellules en silicium, environ 20% de l'énergie du spectre solaire est perdue, car ces dernières ne peuvent utiliser qu'une partie minime des rayonnements UV ou Infrarouge pour la production d'électricité [2,3]. Tenter de corriger cette « vision » constitue un enjeu économique primordial à satisfaire compte-tenu des pertes engendrées en photons potentiellement convertibles. De ce fait, une optimisation des cellules solaires s'avère plus qu'essentiel afin d'atteindre le plus grand gain d'efficacité. Il est aujourd'hui admis que le pouvoir le plus efficace pour assurer un rendement élevé des cellules photovoltaïques, en conditions d'usage, devrait passer d'abord par l'amélioration de leur encapsulation [4].

Les principales pertes énergétiques dans les cellules solaires sont principalement dues, pour les photons de plus haute énergie, à la thermalisation des porteurs de charges, c'est-à-dire une perte engendrée par la différence énergétique existant entre le photon absorbé et le gap énergétique du semi-conducteur considéré [5]. Ces pertes ne peuvent pas être évitées car elles sont induites par les propriétés intrinsèques au semi-conducteur utilisé (gap énergétique) [6]. Pour éviter ces pertes, certains chercheurs ont dopé au fer le verre utilisé pour leur encapsulation afin d'absorber le rayonnement de longueur d'onde inférieure à 400 nm [7]. La nouvelle tendance vise à introduire une couche minces composite qui assurerait la conversion de la lumière désirée en photon efficace, c'est ce qui est appelé l'effet « Down-Shifting » (DS) [8-11]. Ce type de modification apparait alors comme une solution pouvant limiter ces pertes d'énergie tout en exploitant plus efficacement l'ensemble du spectre solaire. La nature de la couche de conversion de lumière est déterminée sur la base des propriétés de fonctionnement des cellules solaires. Cette couche est constituée d'un matériau composite comportant d'une part, une matrice (souvent un polymère) permettant de conserver les principales caractéristiques faisant l'intérêt de la technologie photovoltaïque (transparence, rigidité et légèreté) et d'autre part, d'une charge semiconductrice inorganique optiquement active, dont le rôle est de convertir le rayonnement UV solaire en lumière visible, laquelle est

Introduction générale

bien absorbée par la cellule photovoltaïque. Le semiconducteur idéal pour le DS devrait posséder les caractéristiques suivantes [12] :

- Une large bande d'absorption, particulièrement dans le domaine où la réponse spectrale de la cellule photovoltaïque est faible ;
- Un coefficient d'absorption suffisamment grand et un rendement quantique de luminescence élevé pour que toute la lumière incidente soit convertie ;
- Une bonne transmission dans le domaine où la réponse spectrale de la cellule est importante.

Le présent travail de recherche se donne pour objectif l'étude de la faisabilité du développement d'un revêtement susceptible d'améliorer le rendement de conversion des cellules photovoltaïques. La stratégie qui sera mise en œuvre repose sur l'ajout d'une couche de conversion de la lumière au sein même de l'encapsulant, de manière à absorber le rayonnement UV solaire, puis convertir ce rayonnement en lumière visible, laquelle, étant absorbée par la cellule, peut alors contribuer à la conversion photovoltaïque.

Dans un premier temps, cette étude portera sur l'élaboration de couches minces de conversion à partir d'une matrice polymère (PVA) dopée avec une charge luminescente inorganique (poudre de SiC nanométrique). L'exploitation de ce composite dans ce type d'étude n'est pas au hasard, mais plutôt la résultante de dernières investigations [13] qui a démontré des résultats intéressants du pouvoir « down-shifting » que pourra apporter cette association de matériaux dans l'amélioration du rendement énergétique des cellules solaires. En résumé, nous allons tenter de maîtriser les propriétés luminescentes du composite PVA/SiC au service de la conversion photovoltaïque.

Le présent mémoire comporte trois chapitres :

Le chapitre I a été consacré à la revue bibliographique sur tout ce qui concerne les cellules photovoltaïques, de l'origine du matériau utilisé pour leur fabrication jusqu'à leur mise sous forme de module. Il était impératif de revoir tout ça, il était pour nous comme une feuille de route pour nos prochaines investigations, à savoir, la confection d'une cellule solaire standard et l'étude de ses performances et tenter d'apporter quelques solutions pratiques.

Le chapitre II, quant à lui, était dédié principalement à la partie expérimentale. Nous avons rapporté dans cette partie les différentes étapes rentrant dans l'élaboration de notre couche mince de conversion d'ondes à savoir, la synthèse de notre poudre de carbure de

Introduction générale

silicium de taille nanométrique jouissant de propriété de photoluminescence et la formulation de plusieurs couches minces composites en faisant varier le pourcentage des nanoparticules de SiC par rapport à la matrice organique utilisée, le polyvinyl alcool (PVA). Nous avons tenté d'apporter une solution au problème que rencontre le silicium, comme principal semiconducteur utilisé dans cette industrie, en essayant d'élargir un peu son spectre d'absorption du côté des courtes longueurs d'ondes (UV). Pour ce faire, nous avons appliqué les couches minces composites élaborées sur différent substrat de silicium

Dans le troisième chapitre, nous avons réuni les différents résultats issus des caractérisations optique structurale morphologique et électriques que nous avons discuté et optimisé afin de pouvoir étudier l'apport de l'effet « down-shifting » des couches minces composites élaborées sur les performances de la cellule photovoltaïque, mise en œuvre au sein de l'équipe MiSC-SiC₂.

Enfin, on clôturera ce mémoire par une conclusion générale, dans laquelle nous feront le point sur tout ce qui a été entrepris comme travaux lors de ce dernier.

Références

- [1] Bilan 2007 des changements climatiques : Rapport de synthèse (2007).
- [2] Y. Shang, S. Hao, C. Yang, G. Chen, « Enhancing Solar Cell Efficiency Using Photon Upconversion Materials », *Nanomater.*, 5 (2015) 782-1809.
- [3] J. C. Goldschmidt, S. Fisher, “Upconversion for Photovoltaics – a Review of Materials, Devices and Concepts for Performance Enhancement”, *Adv. Opt. Mater.*, 3 (2015) 510-535
- [4] B. Viswanathan, S. Seethamraju, P.C. Ramamurthy, G. Madras, «Materials and Processes for Solar Fuel Production», *Nano. Sci. Techn.* 174 (2014) 23-40.
- [5] B.S. Richards, «Enhancing the performance of silicon solar cells via the application of passive luminescence conversion layers», *Sol. Ener. Mater. Sol. Cell.*, 90 (2006) 2329-2337
- [6] T. Trupke, M. A. Green, P. Würfel, «Improving solar cell efficiencies by down-conversion of highenergy photons», *J. Appl. Phys.*, 92 (2002) 1668-167
- [7] A. Shalav, B.S. Richards, M.A. Green, « Luminescent layers for enhanced silicon solar cell performance: Up-conversion », *Sol. Ener. Mater. Sol. Cell.*, 91 (2007) 829-842
- [8] X. Huang, S. Han, W. Huang and X. Liu, « Enhancing solar cell efficiency: the search for luminescent materials as spectral converters », *Chem. Soc. Rev.*, 42 (2013) 173-201
- [9] B. C. Rowan, L. R. Wilson, B. S. Richards, «Advanced Material Concepts for Luminescent Solar Concentrators», *IEEE J. Selec. Top. Quant. Elect.*, 14 (2008) 1312–1322.
- [10] M. G. Debije, P. P. C. Verbunt, «Thirty years of luminescent solar concentrator research : Solar energy for the built environment», *Adv. Ener. Mater*, 2 (2012) 12-35

Introduction générale

- [11] E. Klampaftis, D. Ross, K. R. McIntosh, B. S. Richards, « Enhancing the performance of solar cells via luminescent down-shifting of the incident spectrum: A review », *Sol. Ener. Mater. Sol. Cell.*, 93 (2009) 1182-1194
- [12] F. Wang, Z. Chen, L. Xiao, B. Qu and Q. Gong, «Enhancement of the power conversion efficiency by expanding the absorption spectrum with fluorescence layers», *Opt. Expr.*, 19 (2011) A361-A368
- [13] S. Kaci, H. Mansouri, I. Bozetine, A. Keffous, L. Guerbous, Y. Siahmed, S. Aissiou,«Elaboration and characterization of luminescent porous SiC microparticles/poly vinyl alcohol thin films», *Opt. Mater.* 64 (2017) 75-81.

Chapitre I

Généralités sur le photovoltaïques

Sommaire

I.1. Introduction	6
I.2. Effet photovoltaïque	6
I.3. Cellule photovoltaïque au silicium :	7
3.1.1. Silicium monocristallin :	8
3.1.2. Silicium polycristallin :	9
3.1.3. Silicium amorphe :	9
I.4. Les pertes optiques dans le silicium :	10
I.4.1. Pertes liées à la réflexion :	10
I.4.2. Pertes liées au non absorption complète du spectre solaire :	10
I.5. Couches minces de conversion d'ondes :	11
I.5.1 Matrices.....	12
I.5.1.1 Matrices organiques :	13
I.5.1.2 Matrices inorganiques	13
I.5.2 Particules luminescentes	13
I.5.2.1 Colorants Organiques	14
I.5.2.2 Terres rares :	15
I.5.2.3 Les nanoparticules.....	16
Références	18

I.1. Introduction

La conversion de la lumière en électricité, appelée effet photovoltaïque, a été découverte par le physicien français Antoine Becquerel en 1839, Mais il a fallu presque un siècle pour les scientifiques approfondissent et exploitent ce phénomène de la physique [1]. Un panneau solaire fonctionne par l'effet photovoltaïque c'est-à-dire par la création d'une force électromotrice liée à l'absorption d'énergie lumineuse dans un solide. La conversion photovoltaïque se produit dans des matériaux semi-conducteurs. En effet dans un semi- conducteur les électrons contenus dans la matière ne peuvent circuler que si on leur apporte une énergie pour les libérer de leur atome. Quand la lumière pénètre dans un semi-conducteur, ses photons procurent une énergie aux électrons leur permettant de se libérer et de se déplacer dans la matière, il y a donc un courant électrique produit suite à l'exposition à la lumière [2].

I.2. Effet photovoltaïque

Le terme photovoltaïque vient du mot « photo du grec veut dire lumière et volt qui veut dire l'unité de tension électrique, Alors le photovoltaïque signifie littérairement la lumière électricité, appelé aussi module photovoltaïque ou PV, il permet la transformation directe de la lumière solaire en électricité par un processus appelé l'effet photovoltaïque au moyen de cellules généralement à base de silicium[3].

La cellule solaire est basée d'un semi-conducteur qui est en silicium, c'est un convertisseur instantané fournissent de l'énergie électrique s'il reçoit une énergie solaire sous forme de rayonnement. Se comporte alors comme en génération de courant continue [4]. L'effet photovoltaïque utilisé dans les cellules solaires permet de convertir directement l'énergie lumineuse des rayons solaires en électricité par le biais de la production et du transport dans un matériau semi-conducteur de charges électriques positives et négatives sous l'effet de la lumière [5]. Ce matériau comporte deux parties, l'une présentant un excès d'électrons et l'autre un déficit en électrons, dites respectivement dopée de type n et dopée de type p. Lorsque la première est mise en contact avec la seconde, les électrons en excès dans le matériau n diffusent dans le matériau p. La zone initialement dopée n devient chargée positivement, et la zone initialement dopée p chargée négativement.

Il se crée donc entre elles un champ électrique qui tend à repousser les électrons dans la zone n et les trous vers la zone p. Une jonction (dite p-n) a été formée. En ajoutant des contacts métalliques sur les zones n et p, une diode est obtenue. Lorsque la jonction est éclairée, les photons d'énergie égale ou supérieure à la largeur de la bande interdite communiquent leur énergie aux atomes, chacun fait passer un électron de la bande de valence dans la bande de conduction et laisse aussi un trou capable de se mouvoir, engendrant ainsi un paire électron - trou. Si une charge est placée aux bornes de la cellule, les électrons de la zone n rejoignent les trous de la zone p via la connexion extérieure, donnant naissance à une différence de potentiel le courant électrique circule.

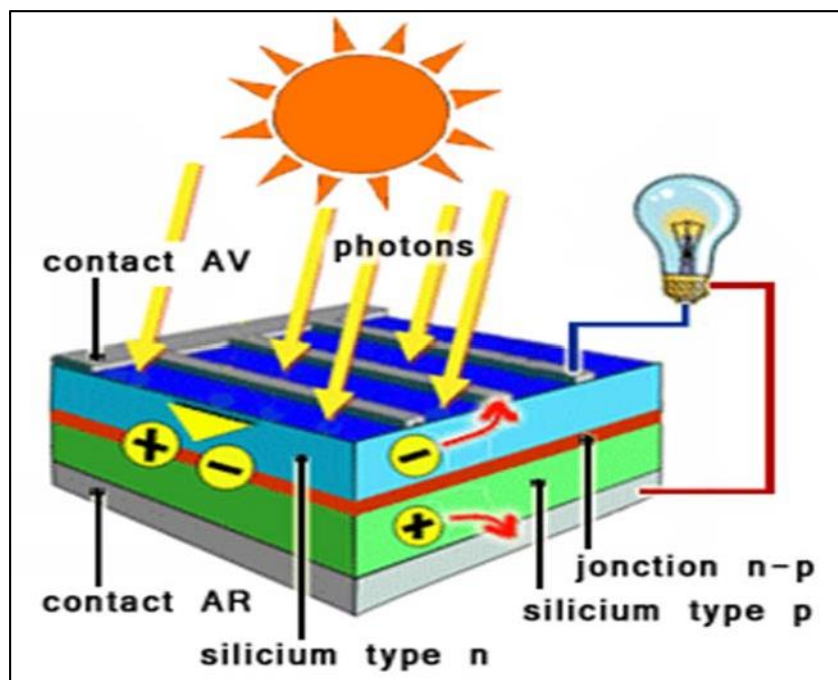


Fig. I.1: Schéma d'une cellule photovoltaïque

I.3. Cellule photovoltaïque au silicium

L'industrie photovoltaïque est concentrée à plus de 90% [6] sur l'utilisation du silicium comme matériau de base, Le silicium reste le matériau le plus utilisé dans la photovoltaïque grâce à ces avantages tels que [7] :

- Il est abondant à la surface du globe car il est extrait à partir du sable.
- Il n'est pas toxique comme certains semi-conducteurs III-V.
- Il possède un oxyde naturel (SiO_2) présentant d'excellentes propriétés diélectriques
- Il peut se doper facilement (avec le phosphore ou le bore).

Quelques-unes de ces propriétés sont données au tableau ci-dessous :

Tab. I.1 : caractéristiques du silicium [8].

Symbole	Propriété	Valeur
Si	Nombre atomique	14
	Masse atomique	28.086
	Masse volumique	2330 kg/m ³
	Température de fusion	1683 K
	Température d'ébullition	2628 K
	Coefficient de dilatation thermique	4,2.10 ⁻⁶ /k

Cependant, pour être utilisable en électronique, le silicium doit être très pur. Il suffit d'un atome d'impureté sur un million pour multiplier les porteurs de charge par dix millions. Cette pureté coûte très cher à obtenir[8]. Il existe trois types de silicium : silicium monocristallines, silicium multi cristallines, silicium amorphes

3.1.1. Silicium monocristallin

Le Silicium monocristallin a été le premier matériau de base à être utilisé dans la fabrication des cellules solaires ; Il présente deux avantages principaux, l'absence des joints de grain et la présence d'une seule orientation cristallographique, le silicium monocristallin (mono-Si), est un matériau composé d'un seul cristal parfaitement homogène.



Fig. I.2 : type de cellule monocristallin

Les cellules solaires issues de ce silicium ont une couleur caractéristique qui est généralement gris-noir métallique [9]. Pendant le refroidissement, le silicium fondu se

solidifie pour former un gros cristal. Le cristal est ensuite coupé en fines tranches donnant des cellules. Ces cellules Habituellement uniformes bleues, Les Rendements de conversion obtenue varient entre **14** et **16%**.

3.1.2. Silicium polycristallin

Il est considéré comme étant un état intermédiaire entre l'état cristallin et l'état amorphe, le silicium multi cristallin (mc-Si) est composé des plusieurs domaines cristallins de tailles variées et orientés de manière aléatoire dans le matériau[10]. Pendant le refroidissement du silicium, il se forme plusieurs cristaux. La cellule photovoltaïque est d'aspect bleuté, mais pas uniforme, on distingue des motifs créés par les différents cristaux. Les rendements de conversion industrielle qui étaient de l'ordre de **8 à 10%** avant 1980 sont actuellement de **16 à 17%**.



Fig. I.3 : le type de cellule poly cristalline

3.1.3. Silicium amorphe

Les cellules amorphes sont à base d'un matériau composé de silicium hydrogéné (état non cristallin) déposé sur un substrat de verre, elles se caractérisent par un fort coefficient d'absorption, et sont souvent utilisées dans de petits produits de consommation tel que des calculatrices solaires ou encore des montres [11]. Les cellules photovoltaïques en silicium amorphe sont fabriquées par dépôts sous vide, à partir de Plusieurs gaz, leurs rendement est assez faible **de 5% à 8%** voir jusqu'à 13% en laboratoire, mais ne nécessite que de très faibles épaisseurs de silicium et ont un coût peu élevés [12].



Fig.I.4 : le type de cellule amorphe

I.4. Les pertes optiques dans le silicium

Les pertes optiques d'une cellule solaire provoquent une chute de la densité de courant produite par le dispositif. En effet, le courant fourni dépend directement de la quantité de lumière absorbée dans la cellule.

I .4.1. Pertes liées à la réflexion

La première source de perte est liée à la réflexion de la lumière, Incidente sur la face avant de la cellule. Ces pertes optiques, parce qu'elles limitent la quantité de photons disponibles pour la photo-génération, limitent donc en pratique la densité de courant court-circuit de la cellule [13]Par ailleurs, si le substrat est mince, une partie du rayonnement peut traverser la cellule sans être absorbée par celle-ci. Dans ce cas, la réflectivité interne de la face arrière est aussi impactant. En utilisant des matériaux anti-rélecteurs efficaces et une texturation de surface, on peut ramener la réflectivité effective de 30% à 2% ce qui permet d'obtenir une densité de courant de court-circuit théorique de $41.1\text{mA}/\text{cm}^2$ [14].

I.4.2. Pertes liées au non absorption complète du spectre solaire

La première limitation vient de la longueur d'onde du rayonnement incident, qui doit être assez faible. Pour qu'un électron lié à son atome (bande de valence) devienne libre dans un semi-conducteur et participe à la conduction du courant, il faut lui fournir une énergie minimum pour qu'il puisse atteindre les niveaux énergétiques supérieurs (bande de conduction). C'est l'énergie du "band gap", E_g . Ainsi, avec un gap de 1.14 eV , le silicium monocristallin n'absorbe que les photons de longueur d'onde inférieure à 1100 nm , tous les photons de longueur d'onde supérieure à celle associée au gap du semi-conducteur ne pourront pas générer de pair électron/trou donc seront perdus[15].

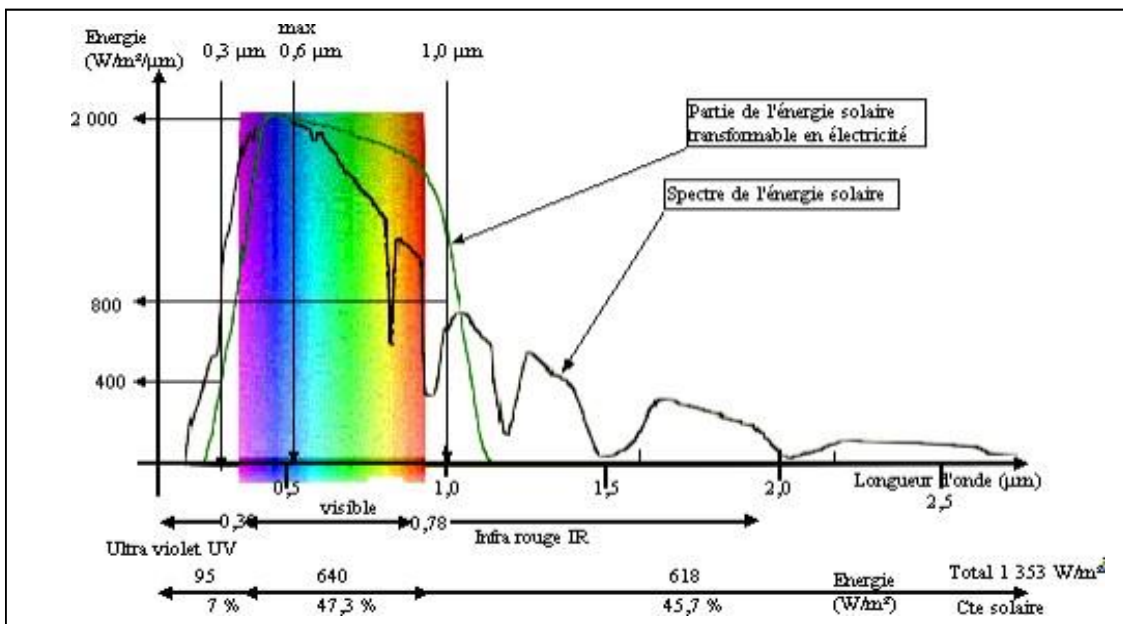


Fig. I.5 : réponse spectrale d'une cellule photovoltaïque au silicium comparée au rayonnement solaire au sol.

I.5. Couches minces de conversion d'ondes

Une couche mince ou un film mince d'un matériau donné est un élément de ce matériau dont l'épaisseur a été fortement réduite, de telle sorte qu'elle soit comprise entre quelques couches atomiques et une dizaine de micromètres.

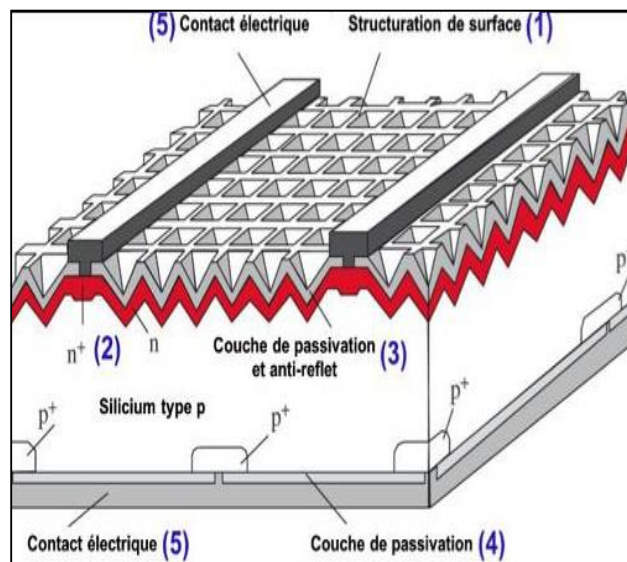


Fig. I.6 : Schéma d'une cellule solaire à base de silicium.

Cette couche, déposée sur un autre matériau appelé « substrat », a des propriétés physiques différentes par rapport à l'état massif [16]. Une couche mince de conversion

d'ondes joue le rôle de décaleur de longueurs d'ondes, absorbant les rayonnements UV, et libérant des photons dans le visible, afin d'augmenter le rendement UV de ces couches. Les cellules en silicium mono et poly cristallin, dont un schéma de structure à haut rendement est présenté sur la figure I-6, sont constituées d'un substrat de silicium dopé p sur lequel est formée une fine couche de silicium dopé n (2), formant ainsi une jonction p-n. La face avant est texturée (1) et une couche antireflet (3) y est déposée pour améliorer le piégeage optique. Les couches de passivation qui sont constituées de l'oxyde natif de silicium (SiO₂) (3) (4) permettent d'éviter les défauts d'interfaces et donc un trop grand nombre de recombinaisons. Les charges sont récupérées par les contacts électriques en face avant et arrière notées (5) sur le schéma. Les cellules en silicium monocristallin ont un rendement supérieur aux cellules en silicium polycristallin (max. 26,7% contre max. 21,3%), elles sont cependant plus chères à élaborer.

Dans cette étude nous avons employé les nanoparticules de carbure de silicium (np- SiC) pour ses propriétés de photoluminescence naturelles, avec son émission de lumière dans le bleu lorsqu'il est soumis à une excitation électrique ou photonique, ces nanoparticules sont incorporées dans une matrice de PVA, puis déposée sous sa forme de couches minces sur différents types de substrats en silicium.

On peut classer cette filière en deux catégories : les couches minces à matrices organiques et les couches minces à matrices inorganiques.

I.5.1. Matrices

La couche de conversion de longueur d'onde pour la down-conversion sera placée en face avant de la cellule solaire pour but d'absorber les rayonnements solaires avant la couche de semi-conducteur (substrat en silicium). Il existe différents types de matrices organique et inorganique chacune a des critères de choix, par conséquent un des critères les plus importants de cette couche est sa transparence dans le reste du spectre solaire. Les couches minces devront également être stables dans le temps, facile à manipuler (bonne solubilité) sur cette base nous avons choisi la matrice utilisée dans cette étude.

I.5.1.1. Matrices organiques

La matrice organique utilisée dans les couches minces de conversion d'ondes est généralement des polymères. Les polymères sont des macromolécules qui résultent de la répétition régulière d'unités élémentaires (monomères) pour former de longues chaînes de plusieurs milliers de monomères. Ils sont élaborés par des techniques supposées peu coûteuses

par exemple de type voie humide : tournette, sérigraphie. Bien que la structure des films moléculaires obtenus soit faiblement organisée, ce qui affecte la mobilité des charges, les composants polymères connaissent un fort engouement en raison de la simplicité des techniques de fabrication employées. Les polymères peuvent être classés en deux groupes suivant leurs origines, polymères naturels et synthétiques. Les polymères naturels représentent une gamme importante des matières plastiques dont on peut citer : la cellulose, l'amidon, les protéines, et le caoutchouc naturel. Alors que les polymères synthétiques sont des polymères obtenus par synthèse à partir des petites molécules, tels que le polyéthylène (PE), La polyvinylpyrrolidone (PVP) et le polypropylène, polyvinyle alcool (PVA), ce dernier occupe une place de choix dans le domaine des polymères synthétiques biodégradables en raison de ses nombreuses applications dans l'industrie tel que le domaine médical et l'emballage cette diversité d'application est due essentiellement au bon potentiel de ce polymère du point de vue propriétés physiques, chimiques, dynamiques offrant ainsi la possibilité d'utiliser comme matrice dans les matériaux composites [17].

I.5.1.2 Matrices inorganiques

Les couches minces de conversion d'ondes peuvent être composées de matrices inorganiques généralement à base d'oxydes tels que l'oxyde de silicium (SiO_2), l'oxyde de zinc (ZnO) et oxyde de titane (TiO_2) etc..... Ces matrices ont l'avantage d'être stables, homogènes et transparentes, mais il nécessite un procédé d'élaboration bien déterminé soit physique (pulvérisation cathodique par exemple) ou par voie chimique (sol-gel par exemple).

I.5.2 Particules luminescentes

La luminescence ou émission spontanée de photons dont la longueur d'onde (λ) se situe dans le domaine $\lambda = 200$ à 1200 nm, est associée à une transition électronique entre deux états dont la différence d'énergie correspond au domaine considéré : UV, visible et le proche IR.

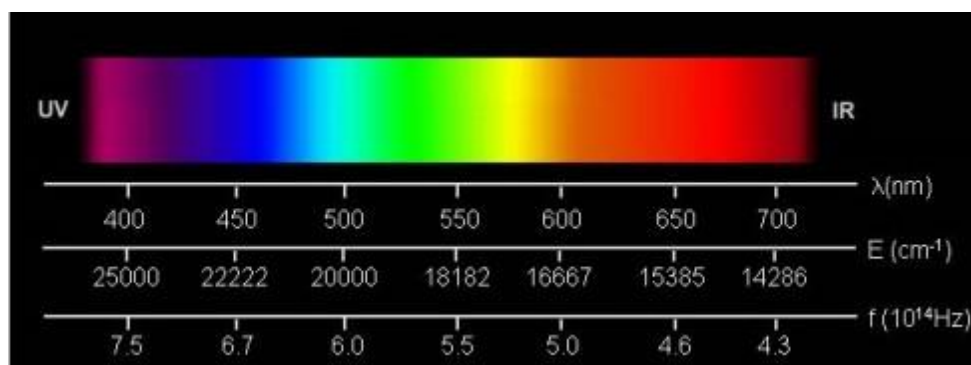


Fig. I.7 : spectre de la lumière visible

Les modèles qui permettent de représenter la structure électronique des centres luminescents sont spécifiques des matériaux considérés. Nous nous intéresserons ici à la photoluminescence (PL), c'est-à-dire à l'émission de lumière après excitation par des photons optiques. Le plus souvent les photons excitateurs sont plus énergétiques que les photons émis : on parle alors de "down-conversion". Si au contraire, les photons émis sont plus énergétiques, il s'agit "d'up-conversion". Le bilan énergétique global sera alors équilibré soit par l'absorption de plusieurs photons simultanément par le même centre luminescent, soit par le transfert d'énergie non radiatif depuis un ou plusieurs centres excités vers le centre émetteur

I.5.2.1. Colorants Organiques

Un colorant est défini comme étant un produit capable de teindre une substance d'une manière durable. Il possède des groupements qui lui confèrent la couleur appelés chromophores et des groupements qui permettent sa fixation autochrome. Les matières colorantes se caractérisent par leur capacité à absorber les rayonnements lumineux dans le spectre visible (de 380 à 750 nm). La lumière blanche est composée d'ondes lumineuses dont λ est compris dans l'intervalle 400 - 800 nm [18]. La transformation de la lumière blanche en lumière colorée par réflexion sur un corps, ou par transmission ou diffusion, résulte de l'absorption sélective d'énergie par certains groupes d'atomes appelés chromophores. La molécule colorante est un chromogène [19]. Plus le groupement chromophore donne facilement un électron, plus la couleur est intense. D'autres groupes d'atomes du chromogène peuvent intensifier ou changer la couleur due au chromophore, ils sont appelés les groupements autochromes. Les chromophores sont des systèmes à liaisons π conjuguées ou des complexes de métaux de transition. Les colorants diffèrent les uns des autres par des

combinaisons d'orbitales moléculaires. La coloration correspond aux transitions possibles après absorption du rayonnement.

lumineux entre ces niveaux d'énergie propres à chaque molécule [20]. Lorsque le rayon atteint un corps (exemple: colorant alimentaire), il peut se passer plusieurs phénomènes : si toutes les ondes lumineuses sont absorbées par le corps, celui-ci nous apparaît noir. - si elles sont réfléchies, le corps est blanc. - lorsque la lumière est partiellement absorbée indépendamment de la longueur d'onde, le corps est gris. - lorsque le corps absorbe dans une certaine longueur d'onde, le corps est coloré.

I .5.2.2. Terres rares

Les ions de terres rares (TR) sont classés par l'Union internationale de chimie pure et appliquée (IUPAC) comme comprenant les quinze lanthanides du tableau périodique (du lanthane au lutécium, les numéros atomiques Z variant de 57 à 71), plus le scandium ($Z = 21$) et l'yttrium ($Z = 39$). Ces métaux sont abondants dans la croûte terrestre, chacun en quantités variables, leur abondance individuelle diminue à mesure que leur nombre atomique augmente [20]. Les ions de TR sont des éléments chimiques uniques, couvrant un très large éventail d'applications. Ils sont utilisés pour la fabrication d'aimants permanents (principalement Nd, Pr et Dy) et sont à la base du développement d'applications révolutionnaires, tels que les véhicules électriques et les éoliennes. Les ions de TR sont également employés comme catalyseurs dans l'industrie pétrolière. À l'instar de CeO_2 , ce sont des agents de polissage couramment utilisés pour le verre. leurs propriétés de luminescence qui ont permis de nombreuses applications innovantes dans le domaine de la photonique[21]. Par exemple, les luminophores convertissent la lumière UV en lumière visible grâce aux ions Eu^{2+} (bleu), Tb^{3+} (vert) et Eu^{3+} (rouge). Les ions de TR sont particulièrement utilisés dans des amplificateurs optiques et des lasers, comme par exemple dans le YAG: Nd^{3+} qui émet à 1064 nm. Ils trouvent aussi des applications dans des verres comme dans le cas des fibres optiques amplificatrices à base de silice ou les lasers de puissance (Er^{3+} , Yb^{3+} , Tm^{3+})

Les terres rares englobent le groupe des lanthanides (notés de façon générique Ln), constitue des quinze éléments situés sur une même ligne et allant du lanthane ($Z=57$) au lutécium ($Z=71$), auxquels il faut ajouter l'yttrium ($Z=39$) et le scandium ($Z=21$). Ces deux éléments se trouvent immédiatement au-dessus du lanthane dans le tableau périodique [22]. Les terres rares forment une série présentant une remarquable homogénéité de propriétés

chimiques. Le seul paramètre significatif variant de façon monotone le long de la série est la taille de l'ion (quantifiée à l'aide des rayons ioniques). Du début à la fin de la série des lanthanides, le rayon ionique décroît régulièrement. Ces phénomènes sont appelés contraction lanthanidique et provient de l'augmentation de la charge nucléaire.

I.5.2.3. Les nanoparticules

Le carbure de silicium est un matériau synthétique qui peut exister sous sa forme semi-conductrice lorsqu'il est cristallin (mono ou polycristallin), c'est-à-dire, lorsque sa cristallinité suit un polytype précis (il en existe plus de 250 types), ou sous forme de céramique lorsqu'il est amorphe (pas de cristallinité définie). Il est composé de silicium et de carbone, qui peut être obtenu par action, à chaud, du silicium sur le carbone, ou par réduction de la silice par un excès de carbone. Le carbure de silicium est un corps thermiquement stable, dur et chimiquement inerte, l'étude des nanostructures de carbure de silicium (SiC) s'inscrit dans cet effort mené dans le domaine des nanosciences et des nanotechnologies d'optimiser et d'exploiter au mieux les potentiels des matériaux. Le SiC massif est un semi-conducteur à grand gap qui a attiré beaucoup d'attention dans le domaine de la microélectronique comme alternatif au silicium pour des applications dans des conditions difficiles telles les hautes températures, les hautes fréquences, la haute puissance ou les milieux soumis à de forts rayonnements. Ceci est dû aux propriétés physiques exceptionnelles de ce matériau (largeur de bande interdite, champs de claquage, vitesse de saturation des électrons, conductivité thermique) [23]. Les nanostructures de carbure de silicium ont reçu une attention considérable ces derniers temps à cause de leurs applications potentielles dans l'émission stable de lumière bleue ou ultraviolette. En effet, selon la théorie du confinement quantique, la réduction des dimensions du SiC à des valeurs comparables au rayon de Bohr de l'exciton devrait conduire à une forte luminescence de celui-ci au-dessus du gap du SiC massif. Cependant les études menées jusqu'ici sur les nanostructures de SiC ont difficilement pu mettre en lumière des effets de confinement quantique clairs. Les micros et nano cristaux occupent un état intermédiaire entre la molécule isolée et le solide massif. Ils sont très stables à la lumière et leurs propriétés spectroscopiques sont modulables par différents facteurs, d'où leur intérêt pour les applications en optique. On peut obtenir des microcristaux inorganiques sous forme de suspension stable par une méthode douce basée sur l'échange de solvants. Ils pourraient être à la base de matériaux luminescents pour les diodes. La préparation de nano cristaux inclus dans des films silicatés obtenus par sol-gel permet de contrôler leur taille. Des applications comme

traceurs luminescents, filtres optiques ou capteurs chimiques et biologiques sont envisagées. Quant aux nano cristaux inorganiques formés à partir de semi-conducteurs, ils ont des propriétés optiques qu'on ne retrouve ni dans le matériau massif, ni dans les fluorophores organiques : émission de fluorescence directement liée à leur taille et excellente résistance à la photo blanchiment.

Dans ce chapitre, nous avons passé en revue toutes les notions en relation avec l'objectif de notre travail. Dans ce qui suit, nous nous baserons sur la dernière catégorie de particules luminescentes pour élaborer nos couches minces de conversion, les couches minces de conversion en vue seront basées sur les nanoparticules de SiC.

Références

- [1] : M. Adouane, “Mémoire de fin d ’ étude Thème Etude et implémentation d ’ une stratégie de.”
- [2] D. BOUKHERS, “Optimisation D’Un Systeme D’Energie Photovoltaïque Applicatiou Au Pompage,” 2007.
- [3] H. A. L. Id, “Les recherches d ’ Edmond Becquerel sur la nature de la lumière entre 1839 et 1843 , histoire d ’ une interaction réussie entre science et photographie Jérôme Fatet To cite this version : HAL Id : tel-01164450,” 2015.
- [4] “Principe de fonctionnement et mesure des caractéristiques d ’ une cellule photovoltaïque Résumé :,” 2016.
- [5] M. D. E. F. I. N. De and D. Cycle, “P h o t o v o l t a ï q u e.”
- [6] S.-D. De Physique, “Magister Option : Physique Electronique et Modélisation Sur le Thème Modélisation des phénomènes de vieillissement des modules Photovoltaïques,” 2012.
- [7] E. R. Intitul, “Chapitre III : Conversion Photovoltaïque Matière : Energie Renouvelable Département de Génie Mécanique,” pp. 1–18, 2019.
- [8] D. Lincot, L. Escoubas, J. F. Guillemoles, J. Simon, and A. Slaoui, “Nanomatériaux pour la conversion photovoltaïque de l’énergie solaire,” *Les nanomatériaux leurs Appl. pour l’énergie électrique*, pp. 193–260, 2000.
- [9] Marouf adil, “création d’une entreprise de panneau photovoltaïque ” 2014.
- [10] M. Mimoune, “Étude Des Capteurs Photovoltaïques Basés Sur Les Nanotechnologies,” 2016.
- [11] Zenakhi asma “ Etude par simulation du fonctionnement d’un système photovoltaïque menu d ’ une commande MPPT” 2016.
- [12] O. Boudia, M. Megherbi, M. S. Belkaid, K. Medjnoun, and L. Chibane, “Etude de l’effet couronne sur le silicium multicristallin,” 2010.
- [13] K. Jean-paul, “hétérojonction de silicium et contacts interdigités en face arrière To cite this version : Développement de cellules photovoltaïques à hétérojonction de silicium et contacts interdigités en face arrière,” 2015.
- [14] R. Algerienne *et al* “Analyse , Modélisation et Simulation des Pertes dans un Module Photovoltaïque à Base de Silicium Monocristallin,” 2010.
- [15] G. Leila, “Présentée par En Physique Energétique et Energies renouvelables Etude des différentes techniques de caractérisation : par diffraction des rayons X , appliquées sur des cellules solaires élaborées à base de ZnO Présentée par En Physique Energétique et Ener,” pp. 2017–2018, 2018.

- [16] R. Algerienne and D. Et, “Thème Effet d ’ Agents Compatibilisants sur les Propriétés des Composites PVC / Farine de Bois.”
- R. H. Nahla and K. Zahia, chenia lynda, “ synthese et caracterisation des membranes a base de blend (polyvinylalcool/carboxymethylcellulose) pour application en adsorption des colorants cationiques”
- [17] (polyvinylalcool/carboxymethylcellulose) pour application en adsorption des colorants cationiques
- [18] “Etude De L’Elimination Du Rouge Neutre En Milieu Aqueux Par Adsorption Sur La Bentonite,” 2015.
- [19] Belazizia khawla, “ Adsorption du bleu de méthylène sur différents matériaux activés, en milieu aqueux,” 2018.
- [20] chenia lynda, “synthèse et caracterisation des membranes a base de blend (polyvinylalcool /carboxyméthyl cellulose)pour application en adsorption des colorants cationiques” 2017.
- [21] Olivier. Witschger “risques liée a les nanoparticules et nanomatériaux,.”
- [22] M. Abd and E. Hak, “Dimensionnement d ’ un système d ’ alimentation en énergie électrique par voie photovoltaïque pou r l ’ alimentation d ’ une habitation Remerciements,” pp. 2017–2018, 2018.
- [23] B. Jacques, “Synthèse de nanostructures de carbure de silicium et étude de leurs propriétés optiques,” 2008.

Chapitre II

Méthodes et techniques de caractérisations

Sommaire

II.1. Introduction.....	22
II.2. Protocoles expérimentales.....	22
II.2.1. Préparation des substrats :	22
II.2.2. Préparations de la couche de conversion d'ondes :	24
A. Préparation de la matrice organique :	24
B. Préparation des nanoparticules de carbure de silicium :	24
C. Préparation des mélanges matrice /nanoparticules de SiC :	25
D. Dépôts des mélanges sur les substrats :	27
II.3 Technique de caractérisation.....	28
II.3.1 La spectrophotométrie : mesure de l'absorbance	29
II.3.2 Le spectrophotomètre UV-Visible-PIR.....	30
II.3.3 Mesure d'angle de contact.....	32
II.3.4 Microscopie électronique à balayage (MEB).....	33
II.3.5 Rendement quantique externe (EQE).....	34
II.3.6 Tracés potentiodynamique Potentiostats VMP3.....	35
Références	37

II.1. Introduction

Cette partie est consacrée, en premier lieu, à l'élaboration des différents échantillons, à savoir la préparation des différents substrats (nettoyage et la texturisation), la préparation de la matrice organique en choisissant le poly vinyle alcool (PVA), la dispersion des nanoparticules de SiC (np-SiC) dans la matrice pour former la couche de conversion d'ondes, enfin le dépôt de cette couche sur les substrats. Ensuite, nous donnerons une description complète des différentes techniques de caractérisation utilisées.

II.2. Protocoles expérimentales

Afin de réaliser cette étude nous avons suivis plusieurs étapes dans un ordre bien défini, commençant par le choix des substrats, nous avons choisis le silicium monocristallin type (P) ainsi leurs nettoyage, la croissance des nanofils, et texturisation de ces substrats en pyramides et nanofils (ce dernier type de substrats était déjà préparés au niveau ce centre de recherche CRTSE, ces substrats ont été découpé en petits échantillons pour réaliser des variantes. En passe à la préparation de la couche de conversion d'ondes qui elle-même se décompose aux plusieurs étapes, la préparation de la matrice organique d'où nous avons choisis le polyvinylalcool (PVA), la préparation des nanoparticules de SiC, cette étapes est très difficile à réaliser et qui demande beaucoup de concentrations et matériels, pour cela nous avons utilisé une poudre de SiC déjà synthétisée par madame K. Benfadel au niveau ce centre de recherche CRTSE. La préparation des différents mélanges nécessite une méthode qui permet une bonne dispersion des nanoparticules dans la matrice de PVA, en fin nous procédons à la réalisation des dépôts. Toutes ces étapes sont bien détaillées dans la suite de ce chapitre.

II.2.1. La méthode de préparation des substrats

Trois types de substrats sont utilisés dans ce travail, les substrats en silicium de type Si (P) (100) CZ, poli deux faces, substrats en silicium de type Si (P) (100), texturé en nanofils et substrats en silicium de type Si (P) (100) CZ, texturé en pyramides et nanofils.

Etant donné que la qualité du dépôt effectué dépend de la propreté et l'état de surface du substrat, le nettoyage du substrat s'avère donc une étape importante pour éliminer toute trace de graisse et de poussière et vérifier que la surface du substrat ne comporte à l'œil nu, ni

rayures ni défauts de planéité. Ces conditions sont indispensables pour une bonne adhérence du dépôt sur les substrats, et son uniformité (épaisseur constante).

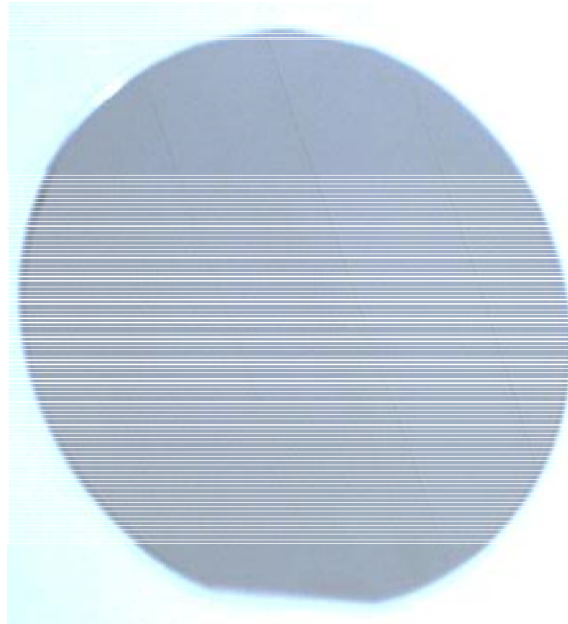


Fig.II.1: image d'une plaquette de silicium polie de deux faces.

Avant l'immersion des substrats dans la solution de dépôt, ils sont d'abord nettoyés selon le protocole suivant :

A. Nettoyage des substrats de silicium plat (poli deux faces)

- On met les substrats de silicium dans l'**acétone** pendant 15min dans un bain ultrason
- On met les substrats de silicium dans l'**éthanol** pendant 15min dans un bain ultrason
- On rince les substrats avec **EDI** (eau désionisée) très abondant, puis on fait le séchage avec le N₂.
- On met les substrats de silicium dans la solution de (H₂SO₄+H₂O₂) **piranha** à 80°C pendant 15min puis on rince avec EDI puis séché avec N₂
- On met les substrats de Si dans HF (10 %) pendant 1min puis on rince avec EDI et on fait le séchage avec N₂.

B. Croissance des nanofils par Attaque electroless :

Après avoir les substrats bien nettoyés on passe à la deuxième étape qui est consacré à la croissance des nanofils de silicium (Si).

- On met les substrats de Si bien nettoyés dans la solution de (HF/AgNO₃) pendant 1 minute
- On met les substrats dans une solution de (HF/H₂O₂) pendant 1min, puis on sèche avec l'azote et on déclenche le chronomètre pour 1H
- On rince les substrats avec EDI et on sèche avec N₂
- On met les substrats dans la solution d'acide nitrique HNO₃ pour enlever le H₂O₂.

II.2.2. Préparations de la couche de conversion d'ondes :

A. Préparation de la matrice organique :

Le (PVA) polyvinylalcool est parmi les polymères les plus utilisés pour ces propriétés intrinsèques, il est soluble dans l'eau, la transparence optique est supérieure au verre ordinaire, il est facile à manipuler à des températures approximativement basses. Il a une excellente tenue au vieillissement et à l'U.V, il a une relative rigidité de surface.

La matrice de PVA se compose de la solution de PVA c'est-à-dire la dissolution de la poudre de PVA dans l'eau.



Fig.II.2: Préparation de la matrice organique.

Dans cette étude nous avons préparé une solution de 1g de PVA dans 100 ml de l'EDI

Cette solution met sous agitation magnétique pendant 02 heures à une température de 80°C, après les 02 heures, la solution reste sous agitation à l'ambient pendant 24 heures.

B. Préparation des nanoparticules de carbure de silicium :

Les nanoparticules de SiC employées dans cette étude ont été déjà réalisées au niveau du centre de recherche CRTSE. La méthode de synthèse utilisée est la méthode sol-gel, elle est sélectionnée pour sa facilité d'utilisation et son coût économique, les matériaux utilisés pour la synthèse des nanoparticules de SiC sont le TEOS, (tétra-éthyl-ortho-silicate) $\text{Si}(\text{OC}_2\text{H}_5)_4$ comme une source de silicium et le saccharose de formule chimique $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ comme source de carbone.



Fig.II.3: Nanoparticules de carbure de silicium.

La procédure de préparation inclut la dissolution du précurseur de silicium dans un l'éthanol prévu comme solvant, suivi de l'ajout d'eau désionisée on obtient une solution transparente et légèrement visqueuse. Une fois la préparation de la solution à base de silicate soit finie, le précurseur de carbone ($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$) est introduit. Plusieurs paramètres rentrent dans la réussite de la synthèse de SiC, par exemple le rapport Si/C et l'utilisation d'un catalyseur pour accélérer l'hydrolyse du sol

La préparation du sol est effectuée sous agitation magnétique à une température ambiante pendant quelques heures, puis en fait appel à la déduction carbothermique réalisée dans un

four de recuit à 1550°C et sous une atmosphère inerte. En fin Les poudre de SiC obtenue été broyées et nettoyées.

C. Préparation des mélanges matrice /nanoparticules de SiC :

Pour la préparation des différents mélange nous avons varié le pourcentage des nanoparticules de SiC immergée dans la matrice de PVA.

Cette étape est considéré très importante au point de vue dispersion des nanoparticules dans la matrice, pour cela nous avons procédé à une méthode de dispersion par l'utilisation d'un appareil ultrason pendant 01 heure.



Fig.II.4: Préparation des mélanges matrice /nanoparticules de SiC.

Différents mélanges ont été préparé en faisant varier le pourcentage des nanoparticules de SiC, comme illustré dans suivant :

Tab II.1 : mélanges préparés.

	0.1%	0.5%	1%	1.5%
	PVA/SiC	PVA/SiC	PVA/SiC	PVA/SiC
Quantité PVA	15 g	15 g	15 g	15 g
Quantité NP-SiC	15 mg	75 mg	150 mg	225 mg

Le tableau II.1 illustre les différents mélanges élaborés, dont le choix des pourcentages de nanoparticules de SiC est fait par rapport à la littérature, en tenant compte de la finesse de nos particules, donc nous avons choisis quatre (04) pourcentages des nanoparticules tels que : 0.1% SiC, 0.5% SiC, 1% SiC et 1.5% SiC.

D. Dépôts des mélanges sur les substrats

Une dernière étape est consacrée pour la réalisation des couches composite par dépôt des différents mélanges réalisés sur trois types de substrats à savoir le silicium plat (Si Plat), les nanofils de silicium (Si nanofils), le silicium texturé pyramide et nanofils (Si pyramide nanofils).

Avant de déposer les mélanges sur les substrats nous avons couvert la face arrière et une partie de la face avant par le scotch en téflon.

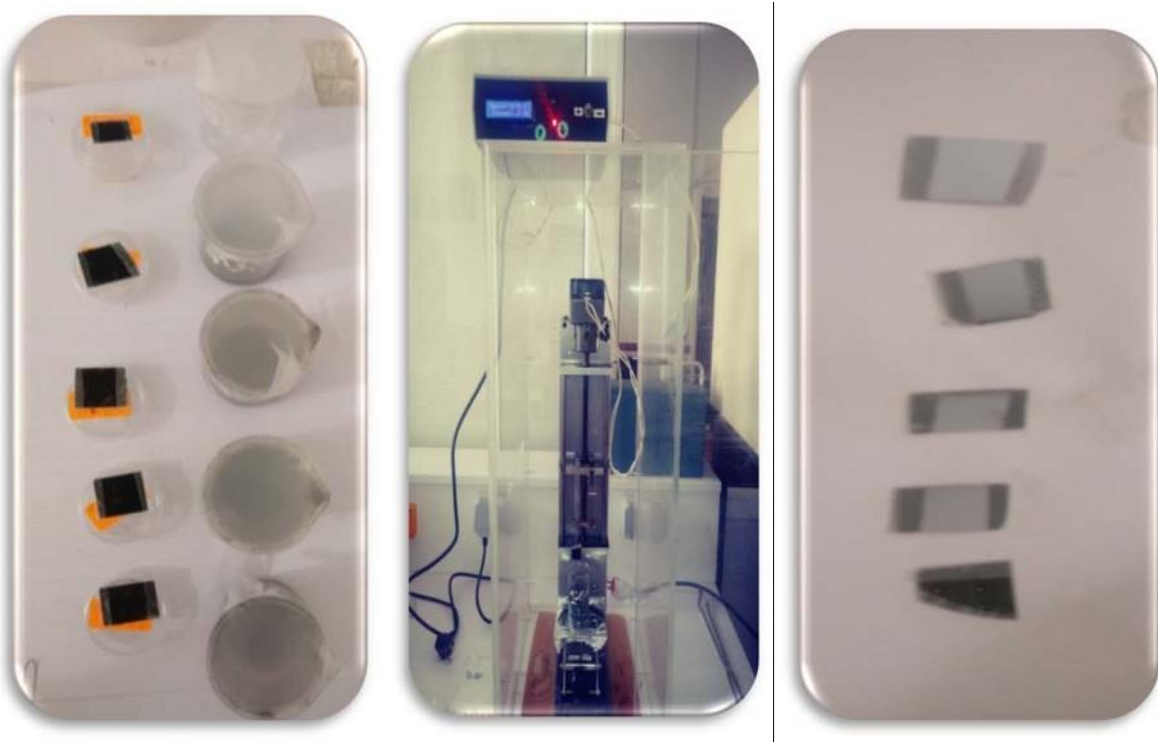


Fig.II.5: Dépôts des mélanges sur les substrats.

Le dépôt des différents mélanges est réalisé par trempage (dip-coating) sur des substrats différents, comme c'est mentionné au par avant, suivi par un séchage dans un four à moufle à 110°C pour but d'évacuer l'eau.

Pour permettre d'étudier l'effet des nanoparticules de SiC dans la couche de conversion d'ondes, nous avons gardé des substrats sans aucun dépôt et même nous avons gardé une solution de la matrice PVA sans ajout des nanoparticules de SiC, les différents dépôts réalisés sont illustrés dans le tableau ci-après.

Tab II.2 : dépôts des mélanges sur les substrats.

Matrice Substrat	0/0	PVA	PVA/0.1% SiC	PVA/0.5% SiC	PVA/ 1% SiC	PVA/ 1.5% SiC
Si Plat	Si Plat 0/0	Si Plat PVA	Si Plat PVA/0.1% SiC	Si Plat PVA/0.5% SiC	Si Plat PVA/ 1% SiC	Si Plat PVA/ 1.5% SiC
Si nanofils	Si nanofils 0/0	Si nanofils PVA	Si nanofils PVA/0.1% SiC	Si nanofils PVA/0.5% SiC	Si nanofils PVA/ 1% SiC	Si nanofils PVA/ 1.5% SiC
Si pyramide nanofils	Si nanofils 0/0	Si nanofils PVA	Si nanofils PVA/0.1% SiC	Si nanofils PVA/0.5% SiC	Si nanofils PVA/ 1% SiC	Si nanofils PVA/ 1.5% SiC

Après réalisation des différents échantillons, nous avons fait une étude sur une cellule solaire standard SiN_x Texturé pyramides avec et sans dépôt de nanoparticules de SiC.

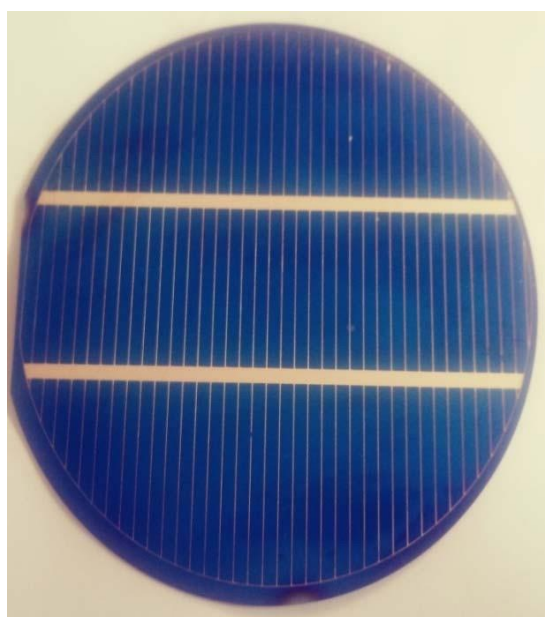


Fig.II.6: image de la cellule solaire étudiée.

Après préparation des échantillons sont étudiés par les différentes techniques de caractérisation présentés dans la suite de cette partie.

II.3. Technique de caractérisation

Dans cette section, nous présentons les techniques de caractérisation optique et électrique utilisées pour étudier les échantillons élaborés. Ces techniques sont :

- Spectrophotométrie : mesure de l'absorbance
- UV-Visible :
 - calcul de l'énergie de gap optique
 - réflexion totale
- Angle de contact
- Microscope à balayage électronique MEB
- Rendement quantique externe (EQE)
- Tracés potentiodynamique, Potentiostats VMP3 : caractérisation électrique (I-V).

II.3.1. La spectrophotométrie : mesure de l'absorbance

Un spectrophotomètre de type HITACHI (U-3900H) est un appareil qui mesure l'absorbance A_λ d'une solution colorée, pour une longueur d'onde λ donnée, (**Fig. II.7**).

Le principe de la mesure est le suivant:

Une substance colorée absorbe une partie de l'intensité lumineuse qui la traverse. La couleur d'un composé en spectrophotométrie d'absorption est le résultat de l'absorption d'une partie de la lumière visible provenant d'un faisceau de lumière blanche. Si l'absorption se fait dans un seul domaine de longueur d'onde, la couleur perçue par l'œil correspond à la couleur complémentaire de la couleur absorbée, c'est-à-dire celle qui est située à l'opposé dans le triangle des couleurs.

L'absorption d'une solution à une longueur d'onde fixée est donnée par la relation de Beer-Lambert : $A = l \cdot C \cdot \varepsilon$

- ✓ l : la longueur de la cuve (1 cm en général, avec une précision de 1 %)
- ✓ C = concentration de la solution
- ✓ ε = absorbance linéique décimale ou coefficient d'extinction spécifique (coefficient d'absorption molaire ($L \cdot mol^{-1} \cdot cm^{-1}$)), dépend de la longueur d'onde, ε varie également en fonction des forces intermoléculaires et donc du solvant utilisé.

Protocole :

- On dispose d'un spectrophotomètre à simple faisceau avec lequel il est nécessaire de mesurer l'absorbance du solvant pour chaque longueur d'onde choisie. Pour obtenir la courbe d'absorbance $A = f(\lambda)$:
- introduire une cuve en verre (quartz) contenant de l'eau dans le compartiment cuve. Pour une longueur d'onde λ fixée, régler l'absorbance à zéro ou la transmittance à 100%.
- placer ensuite la cuve contenant la substance colorée et mesurer l'absorbance A .
- modifier d'un pas de 5 nm (ou 10 nm) la longueur d'onde et répéter les opérations : faire le zéro d'absorbance avec le solvant puis mesurer l'absorbance de la solution.



Fig.II.7: spectrophotomètre HITACHI (U-3900H).

II.3.2 Le spectrophotomètre UV-Visible-PIR

La mesure du spectre optique sont réalisées à l'aide d'un Spectromètre de type CARY 500 (**Fig.II.8**), la spectroscopie UV-visible-PIR en transmission et réflexion, il est doté d'un double monochromateur en double faisceaux dont la forme spectrale s'étend de 175 nm à 3300 nm, est une technique déterminante dans l'étude optique des solutions, solides et couches minces.

Le spectrophotomètre Cary 500 est doté de deux détecteurs ; l'un est un photomultiplicateur R928 et l'autre est au sulfure de plomb (PbS) de 95 mm² de surface. Il est équipé de deux sources lumineuses; une lampe à arc au deutérium pour les UV et une lampe halogène de tungstène (Visible – PIR). Le spectrophotomètre est porté par un châssis flottant en aluminium coulé qui isole tous les éléments optiques des vibrations externes. Le compartiment échantillon de dimension 160 x 433 x 215 mm peut recevoir de grands échantillons notamment des plaquettes de silicium 100 x 100 mm, il y a une purge de l'azote dans toutes les enceintes optiques, ce balayage permet d'éliminer le bruit dans les faibles longueurs d'ondes (< 190 nm). L'appareil est piloté par un ordinateur équipé du logiciel Cary Win UV.



Fig.II.8 : Photo d'un spectromètre UV-Visible-PIR type CARY 500 « VARIAN ».

Le principe de fonctionnement de l'appareil est le suivant :

Quel que soit le spectrophotomètre utilisé, le principe de fonctionnement est le même. La lumière émise par la source est décomposée par un prisme ou un réseau. Une fente permet de sélectionner une gamme très étroite de longueurs d'onde. La lumière sélectionnée traverse une cuve dans laquelle est placée la solution à analyser (échantillon). Un détecteur permet de mesurer l'intensité lumineuse à la sortie de la cuve. Un spectrophotomètre comporte :

- un monochromateur composé d'un réseau et d'une fente qui permet de n'envoyer vers l'échantillon qu'un intervalle de longueurs d'onde très étroit $\Delta\lambda$, (de l'ordre du

nanomètre) autour d'une longueur d'onde λ . On peut faire varier la longueur d'onde λ . dans des domaines déterminés;

- un miroir qui permet d'envoyer le faisceau incident sur l'échantillon ;
- un détecteur qui mesure l'intensité lumineuse transmise par l'échantillon.

Le domaine de longueurs d'onde qui comprend entre l'ultraviolet et le proche infrarouge de 350 nm à 2500 nm, permet d'évaluer certaines grandeurs intrinsèques du matériau, tel que Le gap optique E_g .

II.3.3. Mesure d'angle de contact

La mesure de l'angle de contact rend compte de l'aptitude d'un liquide à s'étaler sur une surface par mouillabilité. La méthode consiste à mesurer l'angle de la tangente du profil d'une goutte déposée sur le substrat, avec la surface du substrat. La mesure de l'angle de contact permet la détermination de la nature polaire ou apolaire des interactions à l'interface liquide / solide. Il est ainsi possible de déduire le caractère hydrophile ou hydrophobe de l'échantillon pour assurer l'adhérence de dépôts sur les substrats. L'angle de contact dépend fortement de l'état de surface. Cette dernière se doit d'être exempte de tout contaminant. De plus, la rugosité ainsi que l'hétérogénéité chimique influe fortement sur cet angle.

D'un point de vue pratique, une goutte d'eau est déposée à l'aide d'une seringue sur la surface de l'échantillon à analyser. Ce dernier est éclairé sur le côté par un faisceau de lumière blanche afin que la caméra puisse enregistrer l'ombre de la goutte (**Fig.II.9**).

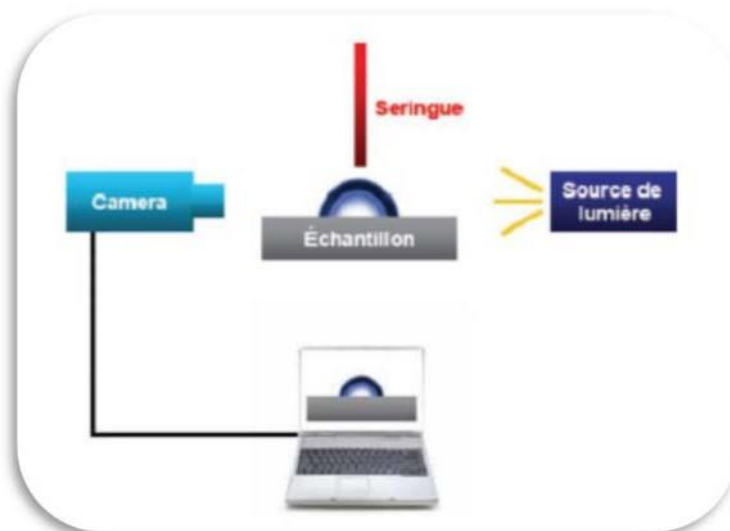


Fig.II.9: Dispositif expérimental de mesure de l'angle de contact.

La mesure de l'angle se fait à partir d'images capturées par un PC *via* une caméra. Le logiciel Visio drop permet de numériser le contour de la goutte par traitement des images. Il

détermine ensuite l'angle de contact grâce à des méthodes d'interpolation. La mesure de l'angle de contact se fait sur un appareil *DigiDrop* équipé d'une caméra USB.

II.3.4. Microscopie électronique à balayage (MEB)

Dans le but d'analyser la morphologie de la surface des échantillons élaborés, nous avons eu recours à la microscopie électronique à balayage afin de déterminer la nature des surfaces obtenues. La microscopie électronique à balayage (MEB) est une technique traditionnellement utilisée dans l'analyse des surfaces. Elle permet d'analyser la morphologie de la surface et la composition chimique de la plupart des matériaux solides.



Fig.II.10 : Photo d'un microscopie électronique à balayage (MEB).

Cette technique a la particularité d'offrir une très grande profondeur de champ (plusieurs centaines de microns) et donne des vues qualitatives des surfaces d'une grande utilité. En revanche, la mesure absolue des dimensions dans le sens de la hauteur nécessite l'analyse d'une section de l'échantillon [34].

Les échantillons ont été analysés en mode électrons secondaires dans un MEB de type Philips SEM505 (Hollande 1984), équipé d'un système d'acquisition d'images numérique type PE-DISS5 de Point Electronic-GmbH (Halle, Allemagne). Les échantillons de nature isolante même sont préalablement métallisés par le dépôt d'une très fine couches (2nm à 3 nm) d'or [35] ou de platine [36] afin d'éviter l'accumulation des charges à la surface et que les

meilleures cartographies sont obtenues pour des éléments lourds [37]. Cette technique nous permet de faire un calcul approximative de la taille des grains ainsi nous a donné un aperçu sur la qualité des dépôts.

II.3.5 Rendement quantique externe (EQE)

La technique de caractérisation Rendement quantique externe d'une cellule solaire est essentielle pour la connaissance des performances du dispositif et de son développement. L'élaboration de photopiles exige une longue suite d'opérations technologiques. Chacune de ces opérations, si elle n'est pas convenablement menée, peut conduire en bout de chaîne à un produit non fiable. C'est la raison pour laquelle, à chaque étape du procédé de fabrication, des méthodes de caractérisation ont été mises au point et développées afin de contrôler la qualité de l'opération réalisée. Le rendement quantique externe (EQE), à une longueur d'onde donnée λ , la densité de photocourant $J_{sc}(\lambda)$ générée par un dispositif fonctionnant en court-circuit, rapportée à l'unité d'éclairement et de Flux de photons incident $\phi(\lambda)$.

La relation suivante définit le rendement quantique externe. En tenant compte les photons réfléchis

$$RQ_{\text{ext}} = \frac{J_{sc}(\lambda)}{q \cdot \phi(\lambda)} = RS(\lambda) \cdot \frac{h \cdot c}{q \cdot \lambda}$$

- ✓ h: Constante de Planck
- ✓ c: Vitesse de la lumière
- ✓ q: Charge électrique
- ✓ λ : Longueur d'onde
- ✓ $\phi(\lambda)$: Flux de photons incident
- ✓ R: Coefficient de réflexion de la face d'une cellule solaire.

Montage expérimental:

Les réponses spectrales des cellules solaires sont mesurées en utilisant une source de lumière polychromatique émanant d'une lampe halogène Tungstène d'une puissance de 170 W, rendue monochromatique à l'aide d'un monochromateur à réseau H25 de Jobin Yvon. La cellule à étudier ainsi que la cellule étalon sont placées sur un support pour recevoir la lumière incidente à travers la fente de sortie du monochromateur.



Fig.II.11 : photo de montage pour la mesure d'EQE.

II.3.6. Tracés volto ampèremètre linéaire

La voltamétrie (Tracés des courbes de potentiodynamique) est une méthode potentiodynamique ou voltamétrique, le principe consiste à tracer des courbes courant-tension avec variation continue du potentiel de la cellule solaire étudié, selon une vitesse de balayage de potentiel constante et un domaine de potentiel à explorer programmé, allant d'une valeur de départ à une valeur finale de potentiel.

Le Potentiostat de type (Princeton AppliedResearch, Model 362) relié à un système d'acquisition piloté par le logiciel (LabView), qui permet de tracer les caractéristiques électriques $I(V)$, $I(t)$, $V(t)$etc. piloté par un logiciel ECLab Express a été utilisé (**Fig.II.12**).

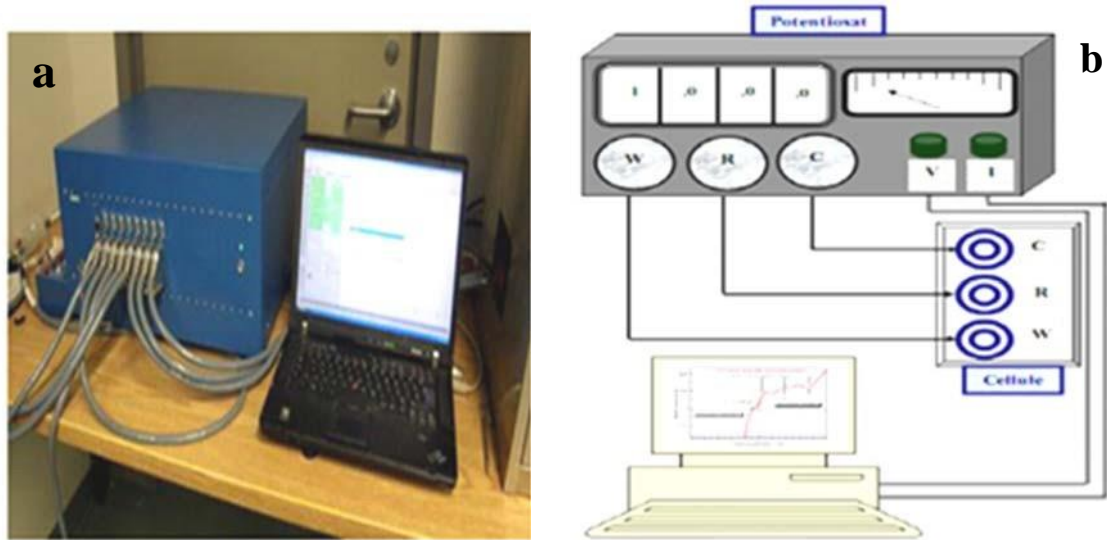


Fig.II.12 : Schéma d'un montage Potentiostatique VMP3

On distingue trois modes opératoires suivant le programme de variation imposé au potentiel

- La voltamétrie linéaire qui correspond à un balayage « aller »
- La voltamétrie triangulaire simple qui correspond à un balayage « aller » suivi d'un balayage « retour »
- La voltamétrie triangulaire cyclique qui correspond à plusieurs balayages « aller - retour » dite balayage multiple.

Dans cette étude nous avons étudié la voltamétrie linéaire à un balayage « aller » pour tracer la courbe courant-tension entre les deux faces d'une cellule solaire en silicium texturé pyramide sur laquelle on dépose une couche enté reflat PVA/1%SiC.

Références

- [1] I. Hanane and O. Yasmina, “Utilisation de la spectrophotométrie UV-visible pour l’étude de l’extraction solide-liquide du thym,” p. 91, 2014.
- [2] L. Boukemara, “Etude de l’ Adsorption des ions Phosphate sur des Oxy-hydroxydes,2009.
- [3] B. Nasma, “Mémoire,” pp. 2014–2015, 2015.
- [4] L. Schlur, “Elaboration de cellules photovoltaïques hybrides solides à base d’ oxyde de zinc nanostructuré,” 2012.
- [5] A. BENAÏSSA, “Etude de la dégradation photocatalytique d’un colorant synthétique et d’un tensioactif,” *Thèse*, p. 192, 2011.
- [6] D. E. N. Physique, “Silicium / Silicium poreux fonctionnalisé : ampérométries pour la détection des substances A la mémoire de ma mère A mon père A ma sœur : Souheyla A mes frères : Ilyes , Mohamed et Wail Abdellah,” 2016.
- [7] J. Tranchant, “Etude de couches minces déposées par pulvérisation magnétron postionisée pour l’ ingénierie de contraintes - cas du MoCr et de nano-canaux de carbone To cite this version : HAL Id : tel-00347846 ETUDE DE COUCHES MINCES DEPOSEES PAR PULVERISATION MAGNETRO,” 2008.
- [8] C. D. E. Recherche, E. N. Technologie, D. D. E. Rattachement, and E. D. E. Rattachement, “Synthèse et caractérisation de carbure de silicium élaborés par les méthodes Sol-Gel et par pulvérisation cathodique DC et RF magnétron : Etude comparative des propriétés . Remerciements Ce travail est réalisé dans le cadre de ma confirmation au sein du c.”
- [9] Merazga saloua. “Etude des propriétés des couches minces de carbure de silicium amorphe Application couche antireflet et passivation”, thèse.
- [10] Hicham Bahtoun, “Etude des différents montage et différents branchement des panneaux solaires” 2014.
- [11] I. Les, A. Mass, and A. Id, “Régions Superficie (%) Ensoleillement (h / an) Energie moyenne reçue (kWh / m / an) Littoral Hauts Plateaux Sahara,” pp. 2–32.
- [12] A. FEROUANI, “Etude par Simulation et Modélisation Electriques des Cellules Photovoltaïques en Couche Mince à base de Cu (In , Ga) Se 2 (CIGS),” pp. 2015 -16.

Chapitre III

Résultats et discussions

II.1. Introduction	40
III.2. Absorption.....	40
III.3. Energie de gap E_g	41
III.4. Angle de contact.....	42
III.5. Propriétés morphologique (MEB).....	44
III.6. La réflexion totale (R%).....	48
III.7. Rendement quantique externe (EQE).....	52
III.8. Propriétés électriques (I-V)	55
III.8.1. Mesures (I-V) dans l'obscurité	56
III.8.3. Mesures (I-V) sous éclairage blanc	59
Références	61

Sommaire

II.1. Introduction

Dans ce chapitre, nous exposerons l'essentiel des résultats de différentes caractérisations effectuées sur des échantillons étudiés à savoir, les matériaux de base utilisés (le polymère PVA et la poudre de SiC), les substrats utilisés avant et après dépôt et une étude sur une cellule ainsi une interprétation de ces résultats et discussions.

III.2. Absorption

Le teste d'absorption est effectué sur le polymère et la poudre de SiC séparément et les résultats sont représentés sur les figures III.1 et III.2 respectivement.

D'après la figure ci-dessous, nous remarquons que l'absorbance de PVA est pratiquement nulle sur une large gamme de longueur d'ondes à savoir 200-800 nm [1], donc une transparence parfaite requise pour notre application c'est-à-dire le PVA ne va pas conquérir pour absorber le rayonnement solaire [2,3].

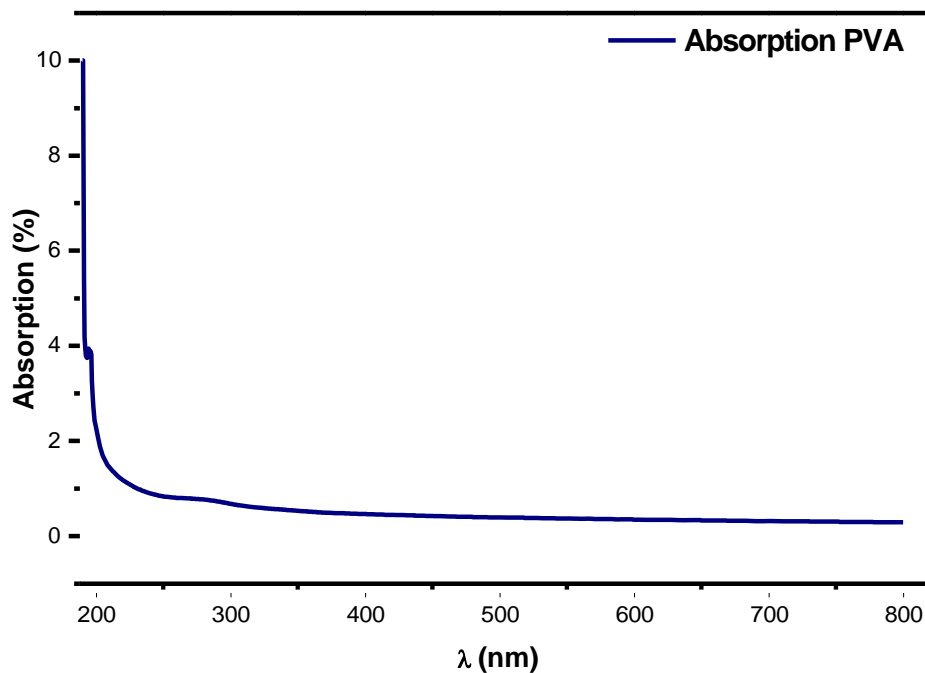


Fig. III.1 : Absorption de PVA.

Le teste d'absorbance est effectué aussi sur les nanoparticules de SiC, d'après la figure III.2, nous remarquons que l'absorbance des nanoparticules de SiC présente un maximum vers 280 nm [4], ceci peut s'avérer très utile pour l'application de ces nanoparticules comme espèces photoluminescence, car on aura certainement un décalage entre la zone d'absorption et d'émission du film composite SiC/PVA résultant.

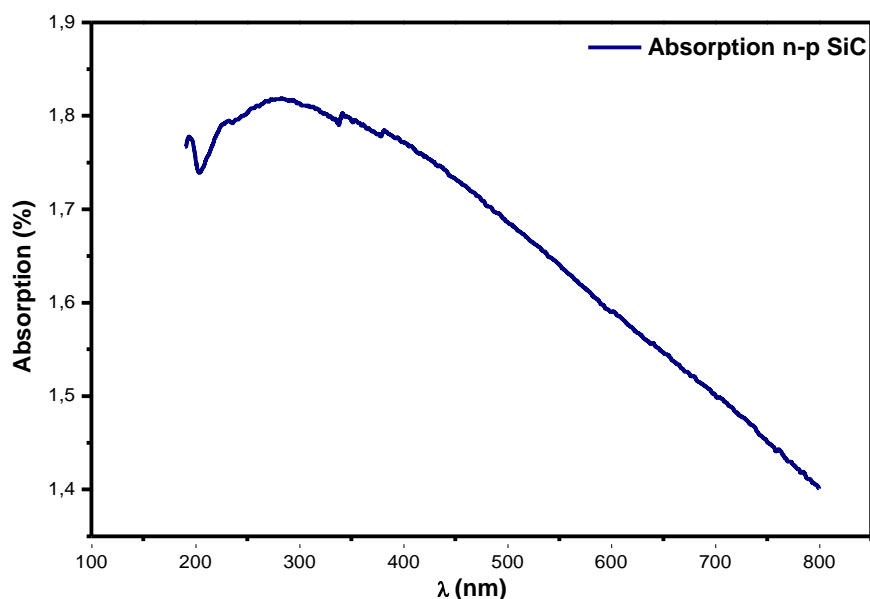


Fig.III.2 : Absorption de nanoparticules de SiC.

Donc en comparaison de ces deux figures, nous remarquons clairement la transparence du polymère pratiquement sur toute la gamme d’UV-Visible et une faible absorbance des nanoparticules dans le visible, bien que, la caractérisation des propriétés optiques du SiC permettra de confirmer le caractère absorbant du SiC dans le domaine du spectre solaire [5], qui rendent l’application de ces matériaux dans une cellule solaire est très pratique [6,7].

III.3. Energie de gap E_g des nanoparticules de SiC

La spectroscopie UV-visible en transmission et réflexion optique, permet d’évaluer un nombre de paramètres et propriétés des couches minces déposées sur de substrats, le gap optique (E_g) (gap indirect) est une propriété très importante pour les semi-conducteurs, c'est-à- dire la transition électronique de la bande de valence vers la bande de conduction [8]. Cette transition se traduit dans les spectres par une forte absorption aux longueurs d’onde inférieures à une valeur de seuil λ [nm] = 1240 / E_g . La largeur de la bande interdite apparente a été déterminée par la méthode décrite par Karvaly et Hevesi [9], en utilisant la fonction de Schuster- Kubelka-Munk, $F(R)$.

$$F(R) = \frac{(1 - R)^2}{2R} \dots\dots\dots I. 01$$

La méthode consiste à représenter $[F(R).hv]^2 = f(hv)$, puis à extrapoler la portion linéaire de la courbe obtenue jusqu’à l’absorption nulle (Fig.III.04). D’après cette figure, on

Peut calculer le gap (E_g) des nanoparticules par l'extrapolation de la partie linéaire de la courbe jusqu'à l'absorption nulle, qui donne une valeur égale à 2,05 eV.

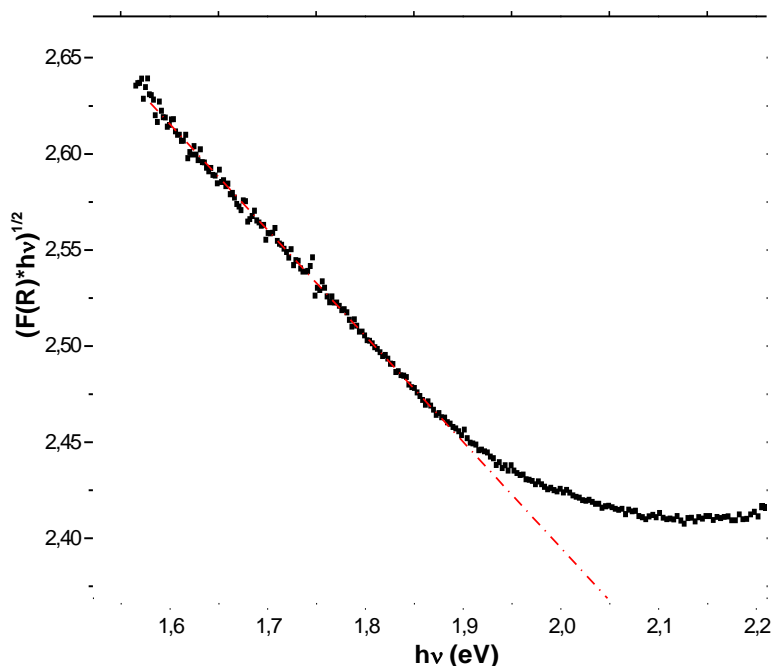


Fig.III.03 : Energie de gap (E_g) des nanoparticules de SiC.

III.4. Angle de contact

On désigne sous le terme d'angle de contact (encore nommé angle de mouillage ou angle de raccordement) l'angle que forme une goutte de liquide posée sur la surface d'un solide et la surface de ce dernier. L'ouverture de l'angle de contact entre le liquide et le solide dépend de l'interaction entre les matières au niveau de la surface de contact. Plus cette interaction est faible, plus l'angle de contact est grand [10 ,11]. La figure suivante (**Fig.III.04**) représente la mouillabilité des différents substrats utilisé avant et après oxydation.

Nous remarquons que l'angle de contact θ dans le cas des substrats nanostructuré (**Fig. III.04 A et C**) est supérieure à 90° ce qui montre le caractère hydrophobe de ces structures. Bien que le substrat nanofils de silicium (**Fig.III.04-A**), présente un angle de contact égal à 159.3° très proche de 160° qui se caractérise par le phénomène de super hydrophobicité [12], nous remarquons aussi que le même substrat mais après oxydation (**Fig.III.04-B**), présente un angle de contact inférieure à 90° ($\theta = 77^\circ$), donc une amélioration du mouillage de la surface du substrat, par conséquent une meilleure adsorption du mélange PVA/SiC à la surface des substrats, pour ce qui concerne les deux photographies (**Fig. III.04C et D**), nous observons le même comportement de substrat avant et après oxydation qui présente un angle de contact

égal à 95.6°C supérieur à 90°C qui montre le caractère hydrophobe de la surface du substrat (**Fig.III.04-C**), mais après oxydation (**Fig.III.04-D**), il présente un angle de contact inférieure à 90°C ($\theta = 42^\circ\text{C}$), qui donne une bonne mouillabilité de la surface du substrat, par conséquence une bonne adsorption du mélange PVA/SiC à la surface des substrats [13,14].

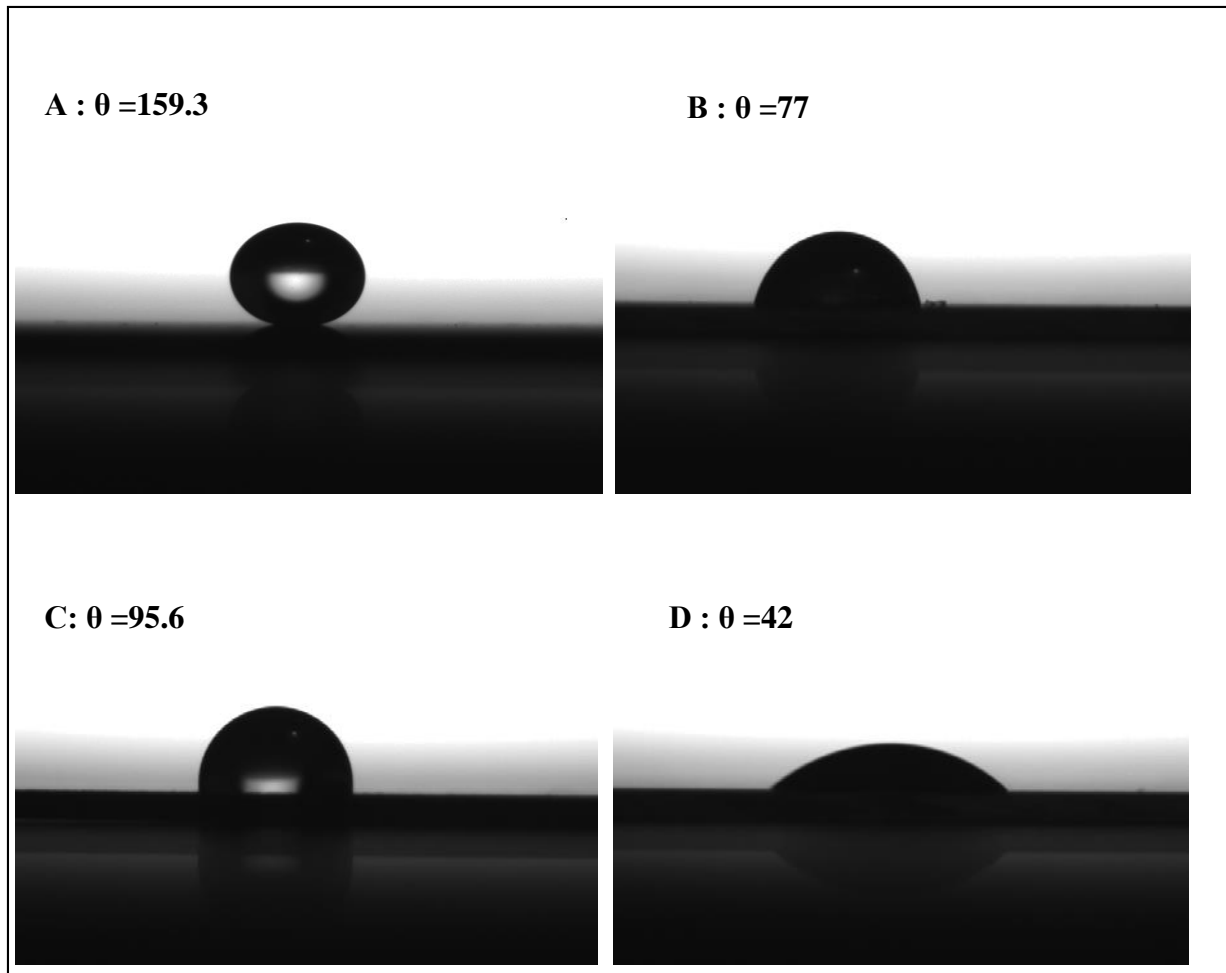


Fig.III.04 : Photographie d'une goutte d'eau déposée sur : **A**, substrat nanofils de silicium **B**, substrat nanofils de silicium après nettoyage, **C**, substrat texturé pyramidal et nanofils de silicium, **D**, Substrat texturé pyramidal et nanofils de silicium après oxydation.

Cette caractérisation nous a permis d'avoir une idée sur l'état d'adhérence de la couche à déposer sur les substrats, qui aussi bien apparaitre dans la caractérisation par microscopie électronique à balayage MEB.

III.5. Propriétés morphologique (MEB)

La caractérisation par la microscopie électronique à balayage (MEB) des différents substrats utilisés, nanofils et texturés en pyramide et nanofils en surface et en section est représentée dans les figures suivantes, **Fig.III.05** et **Fig.III.06**.

La figure (**Fig. III.05**) présente les images MEB des substrats nanofils élaborés en surface et en section avant et après dépôts, d'après ces images MEB, nous observons des morphologies différentes d'un échantillon à l'autre par apport à la charge de dépôt, la **Fig.III.05-A-1** révèle une morphologie plus au moins homogène sur toute la surface des nanofils élaboré qui ont formé la structure de paquet, sous l'effet de la force d'attraction de van der-Waals avec une distribution dense dans l'ensemble [15-17].

Les **Fig. III.05-A-2** et la **Fig. III.05-A-3** montrent la surface des substrats des nanofils élaborés avec 0.1% SiC /PVA et 1% SiC /PVA respectivement, nous observons un dépôt homogène avec apparition de la matrice PVA clairement pour le substrat à 0.1 % de SiC /PVA, sous forme d'une membrane[18], bien que pour l'échantillon à 1% de SiC /PVA, nous remarquons la charge des nanoparticules de SiC bien dispersées dans la matrice et qui enveloppent les nanofils[19,20] de 8.10 μ m de longueur.

Pour ce qui concerne la vue en section (clivage) nous remarquons que La morphologie des nanofils avant le dépôt de la matrice SiC/PVA (**Fig.III.05-A-1**) est homogène avec une taille moyenne des nanofils de l'ordre de 8.1nm qui ont la forme d'aiguille [21], après le dépôt de la matrice SiC/PVA, nous remarquons que la répartition de dépôt est non homogène ainsi il rentre pas entre les nanofils, cet inconvénient est du probablement à la méthode de dépôt (dip-coating) qui engendre la casse des nanofils [22].

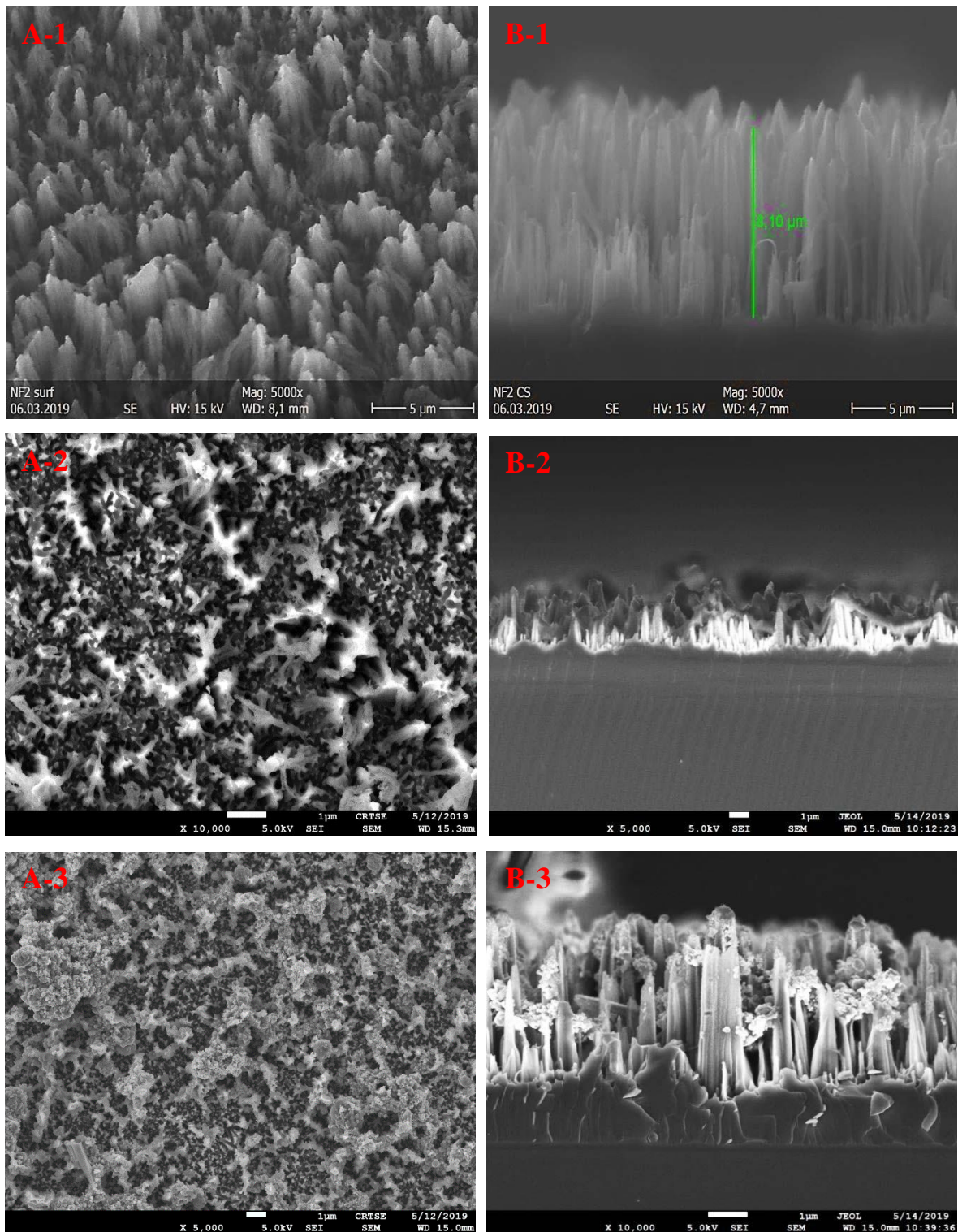


Fig.III.05 : images MEB de : substrats nanofils de silicium en surface avant et après dépôts : A-1 sans dépôts, A-2 à 0.1% SiC/PVA et A-3 à 1% SiC/PVA, substrats nanofils de silicium en clivage avant et après dépôts : B-1 sans dépôts, B-2 à 0.1% SiC/PVA et B-3 à 1% SiC/PVA.

La figure (**Fig. III.06**) présente les images MEB des substrats texturé pyramides et nanofils étudiés en surface et en section avant et après dépôts, d'après ces images MEB (**Fig.III.06-A'-1**), nous observons des pyramidales ayant une distribution aléatoire dans la taille [23] avec présence des nanofils de petite taille sur les pyramides, cette morphologie résulte les propriétés des pyramides et des nanofils [24].

Les **Fig. III.06-A'-2** et la **Fig. III.06-A'-3** montrent la surface des substrats des nanofils élaborés avec 0.1% SiC /PVA et 1% SiC /PVA respectivement, nous observons un dépôt homogène avec apparition de la matrice PVA clairement pour le substrat à 0.1 % de SiC /PVA, sous forme d'une membrane [25], bien que pour l'échantillon à 1% de SiC /PVA, nous remarquons répartition des nanoparticules de SiC sur toute la surface, qui sont bien dispersées dans la matrice [26].

La vue en section (clivage) des morphologies des substrats texturés en pyramides + nanofils avant le dépôt de la matrice SiC/PVA (**Fig.III.06-B'-1**) révèle une structure pyramidale de petites profondeurs des pyramides de l'ordre de 02 nm, de même des nanofils de courte longueur. Bien qu'après le dépôt de la matrice SiC/PVA, (**Fig.III.06-B'-2**) et (**Fig.III.06-B'-3**), nous remarquons que la répartition de dépôt n'est pas homogène le long des pyramides avec une épaisseur qui n'est pas constante. Cette morphologie présente le même inconvénient tiré dans le cas des nanofils, ce qui montre que la méthode de trempage (dip-coating) n'est pas adéquate pour ces types des substrats [27].

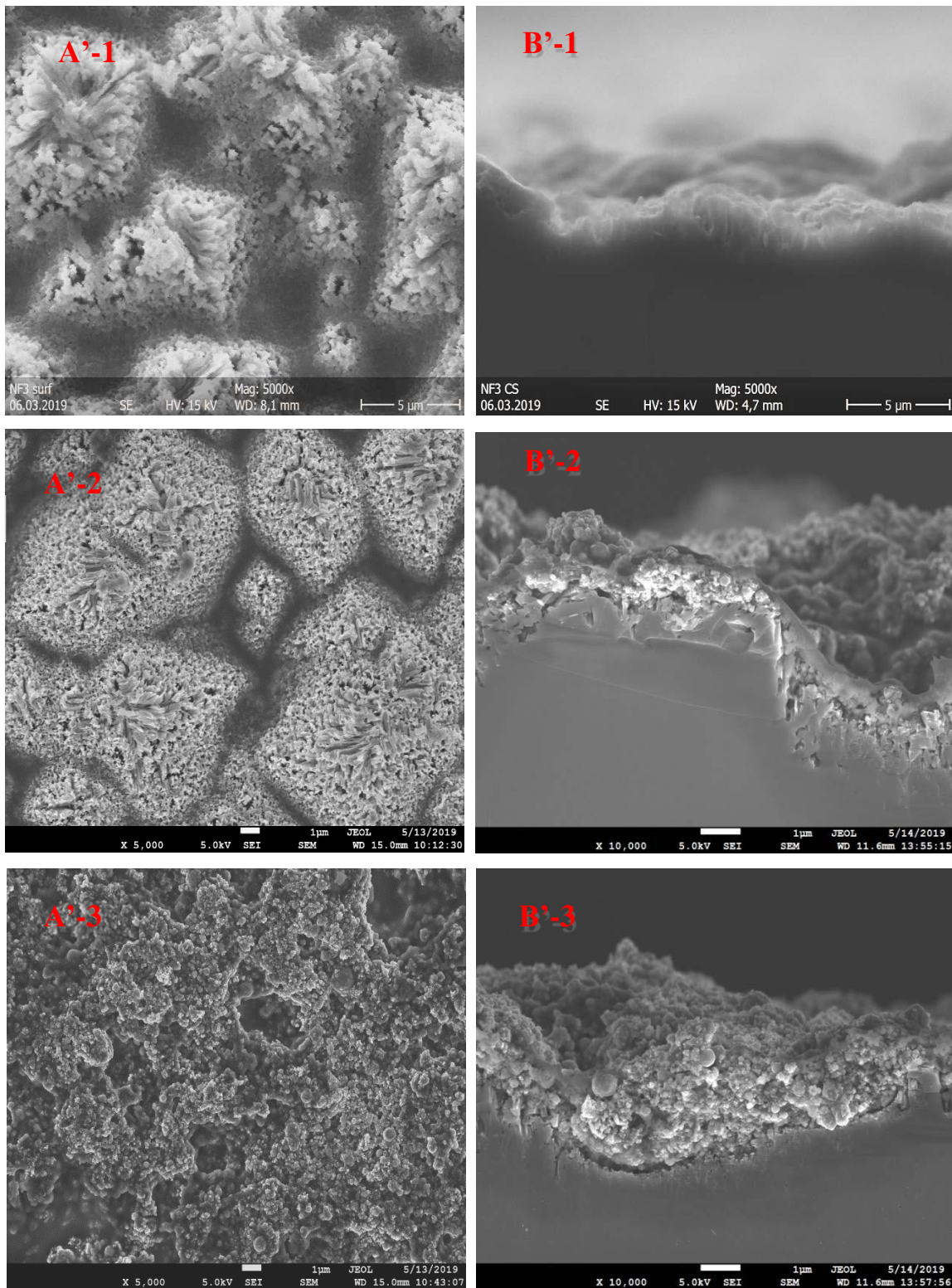


Fig.III.06 : images MEB de : substrats texturés pyramides et nanofils de silicium en surface avant et après dépôts : A'-1 sans dépôts, A'-2 à 0.1% SiC/PVA et A'-3 à 1% SiC/PVA,substrats texturés pyramides et nanofils de silicium en clivage avant et après dépôts : B'-1 sans dépôts, B'-2 à 0.1% SiC/PVA etB'-3 à 1% SiC/PVA.

Les images MEB, nous ont donné un bon aperçu sur le choix de la méthode de dépôts des couches composites sur des substrats de types nanofils et texturés en nanofils + pyramides. Pour cela nous avons procédé à une autre méthode de dépôts appelée la méthode de spin-coating (spirale) qui nous avons appliqué sur une cellule solaire de types SiN_x (**Fig. III.07**), texturée en pyramides [28,29].

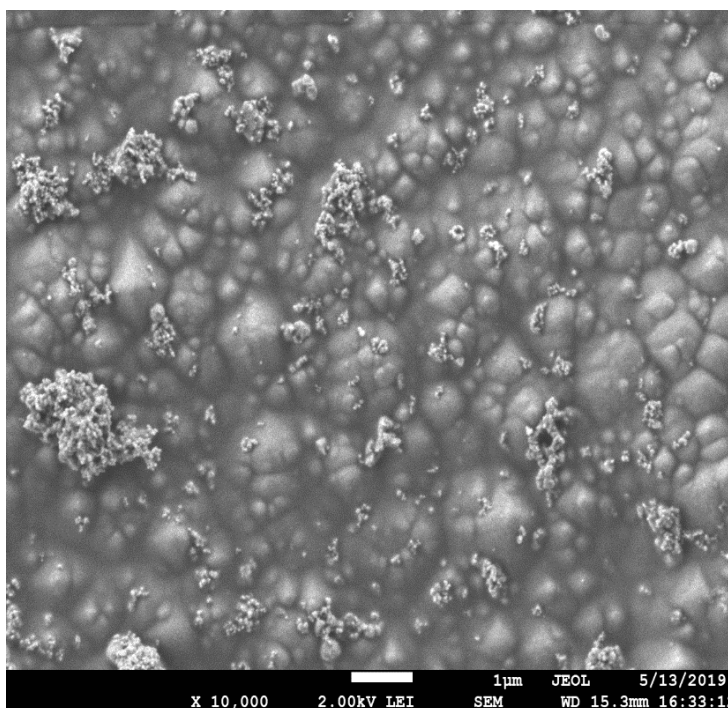


Fig.III.07 : image MEB d'une cellule solaire de types SiN_x texturé en pyramides avec dépôt de 1% SiC/PVA.

III.6. La réflexion totale (R%)

La figure (**Fig. III.08**) représente la réflectivité des couches minces composites PVA/SiC élaborées à différents pourcentage des nanoparticules de SiC déposées sur les substrats en silicium plats en fonction de la longueur d'onde λ (nm), dans notre travail nous avons préparé plusieurs substrats en silicium poli miroir de type P (Si-p), on faisant varier le pourcentage des nanoparticules des SiC (0.1%, 0.5%, 1%, 1.5%) pour but d'optimiser le pourcentage des nanoparticules à employer dans les couches minces composites PVA/SiC. D'après la figure (**Fig. III.08**) nous pouvons tirer les observations suivantes :

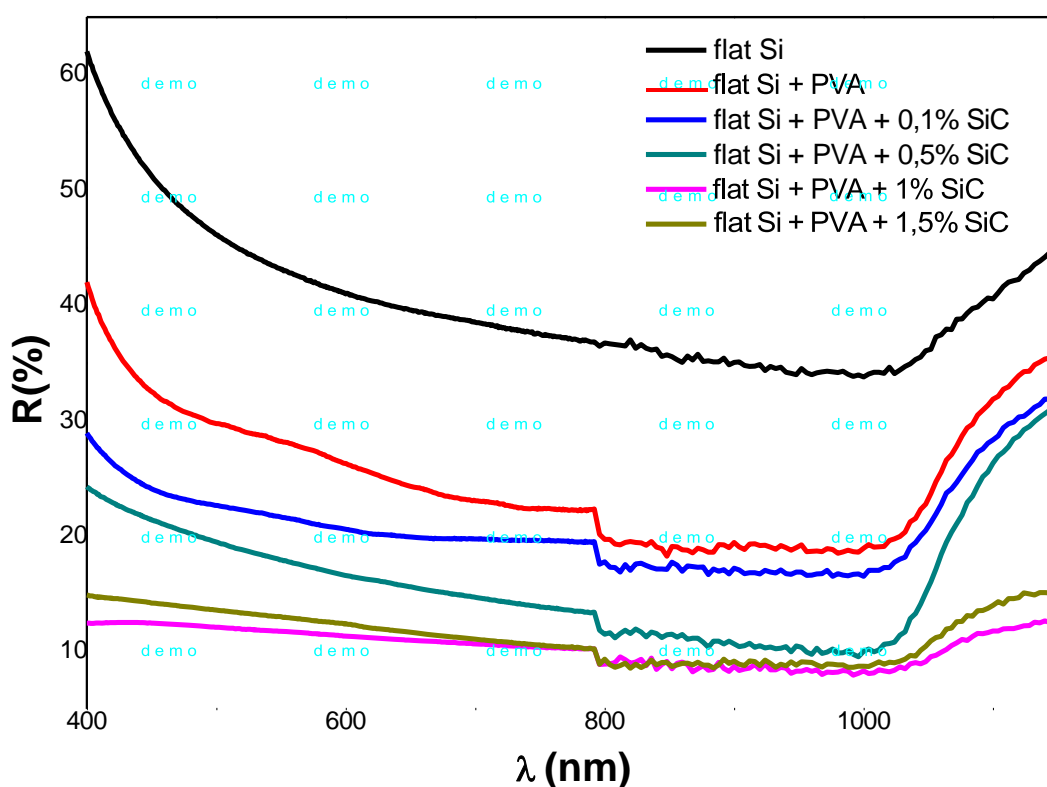


Fig. III.08: Réflectivité des couches minces composites PVA/SiC à différent pourcentage en nanoparticules de SiC déposées sur de substrats en silicium plat.

- Nous remarquons une diminution de la réflexion totale (R%) en fonction de pourcentage des nanoparticules déposés sur le substrat
- L'échantillon de 1% de np-SiC-PVA présente la meilleure réduction de la réflexion jusqu'à 12.2 % en comparaison avec l'échantillon sans dépôt des np-SiC-PVA qui présente une valeur de réflexion très élevée qui atteint les 62%
- Nous remarquons aussi que pour ce qui concerne la couche mince à 1.5% de np-SiC-PVA, la réflexion est légèrement supérieure à celle de 1%.
- On observe une réduction maximale de la réflexion de l'ordre de 9% pour les deux échantillons 1% np-SiC-PVA et 1.5% np-SiC-PVA, de même, cette diminution de la réflexion reste constante dans toute la gamme de longueur d'ondes compris entre 800 nm et 1000 nm.

La figure suivante (**Fig.III.09**) représente la réflectivité des différents types de substrats en silicium (plat, nanofils et texturés en pyramides + nanofils) en fonction de la longueur d'onde λ (nm), d'après cette figure nous pouvons citer les observations suivantes :

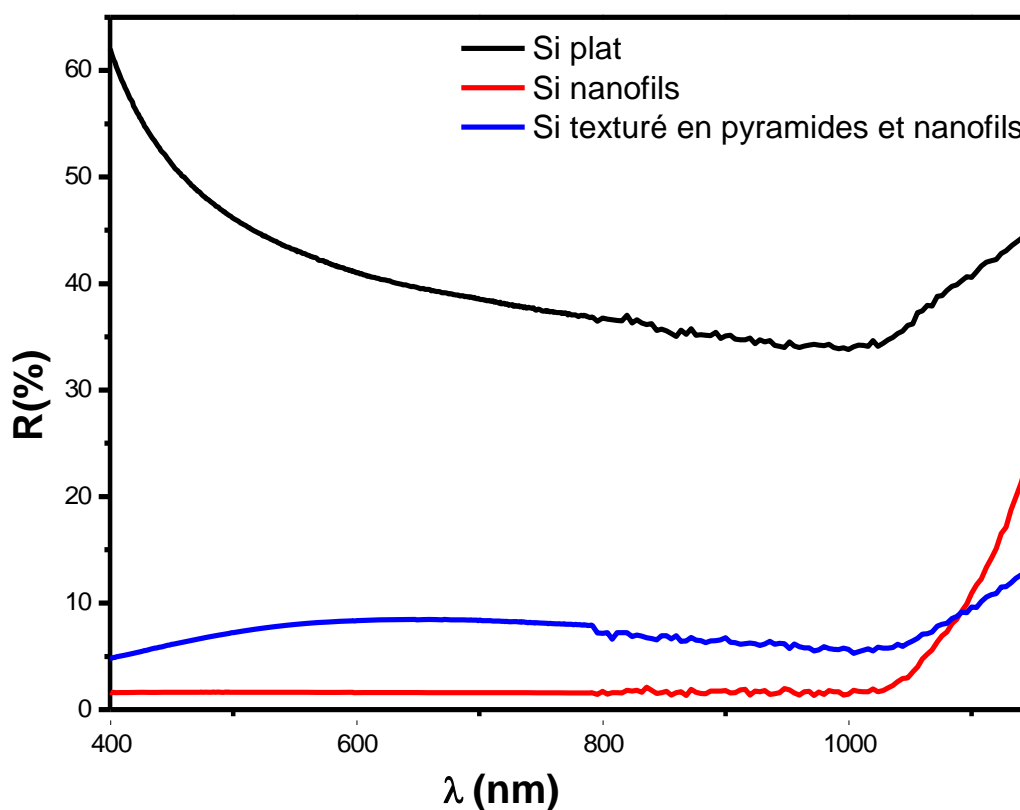


Fig.III.09: réflectivité des différents types de substrats en silicium.

- Nous remarquons une réduction minimale de la réflexion des nanofils en silicium texturé de l'ordre de 2%
- Nous observons aussi une légère augmentation de la réflexion des nanofils en silicium pyramidale à 5%
- On observe une augmentation maximale de la réflexion des nanofils en silicium plat de 62%

La figure (**Fig. III.10**) ci-après représente la réflectivité des couches minces composites PVA/SiC à 1% de nanoparticules de SiC déposées sur de différents types de substrats en silicium en fonction de la longueur d'onde compris entre 400-1000 nm.

D'après cette figure (**Fig. III.10**), nous observons une diminution maximale de la réflexion $R=5$ % des nanofils en silicium texturés à 1% de np-SiC-PVA

- On remarque une augmentation de la réflexion à l'ordre de $R=12$ % des nanofils plat à 1% de np-SiC-PVA
- On observons aussi une légère augmentation de la réflexion $R=8$ % des nanofils pyramidale à celle de la réflexion des nanofils texturés a 1% de np-SiC/PVA

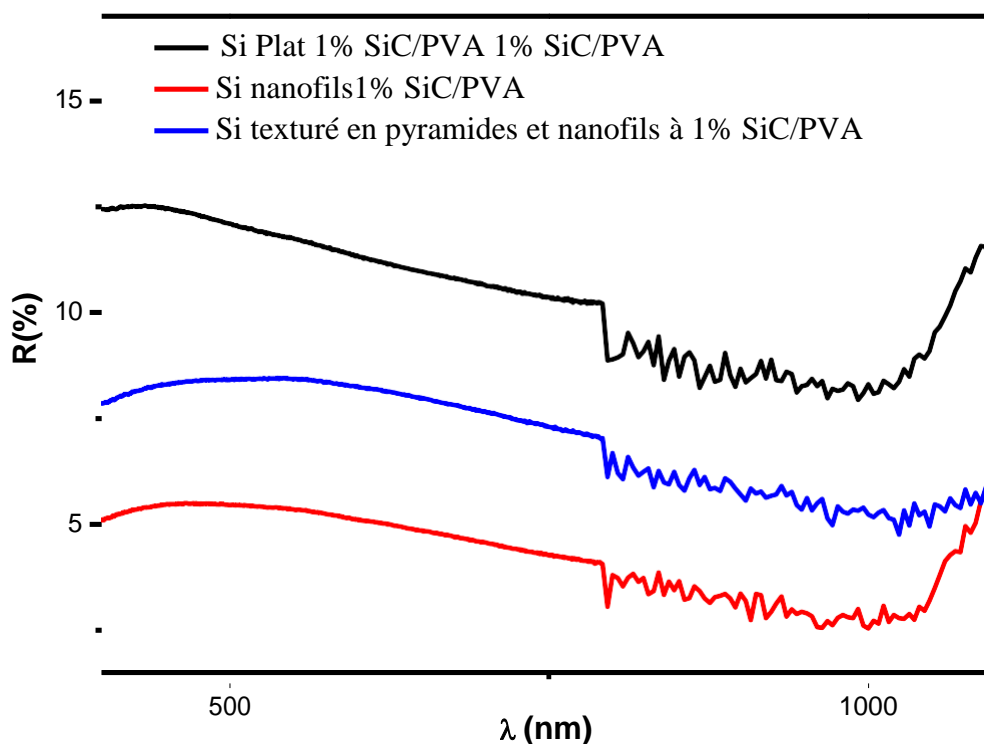


Fig. III.10: Réflectivité des couches minces composites PVA/SiC à 1% de nanoparticules de SiC déposées sur de différents types de substrats en silicium.

D'après la littérature et d'un point de vue optique, la structure à base de nanofils diminue tout d'abord les pertes liées à la réflexion en comparaison des structures de silicium plan. En effet, les nanofils présentent un indice de réfraction intermédiaire entre le matériau semiconducteur utilisé et l'air [30]. Les structures pyramidales ont aussi la propriété de réduire la réflexion de la lumière grâce à la surface rigoureuse, ceci évite une réflexion de la lumière à la surface de la cellule qui peut atteindre, dans les cellules sans couche antireflet [31]. Les nanofils ou nanopyramides sont d'ailleurs souvent utilisés comme couche antireflet dans les cellules solaires [32,33]. Cette structure permet également un « piégeage optique ». En effet, le réseau de nanofils et le réseau hybrides (nanofils + nanopyramides) permettent de créer des interférences et des réflexions multiples qui « piègent » l'onde électromagnétique et favorise donc l'absorption des photons [34].

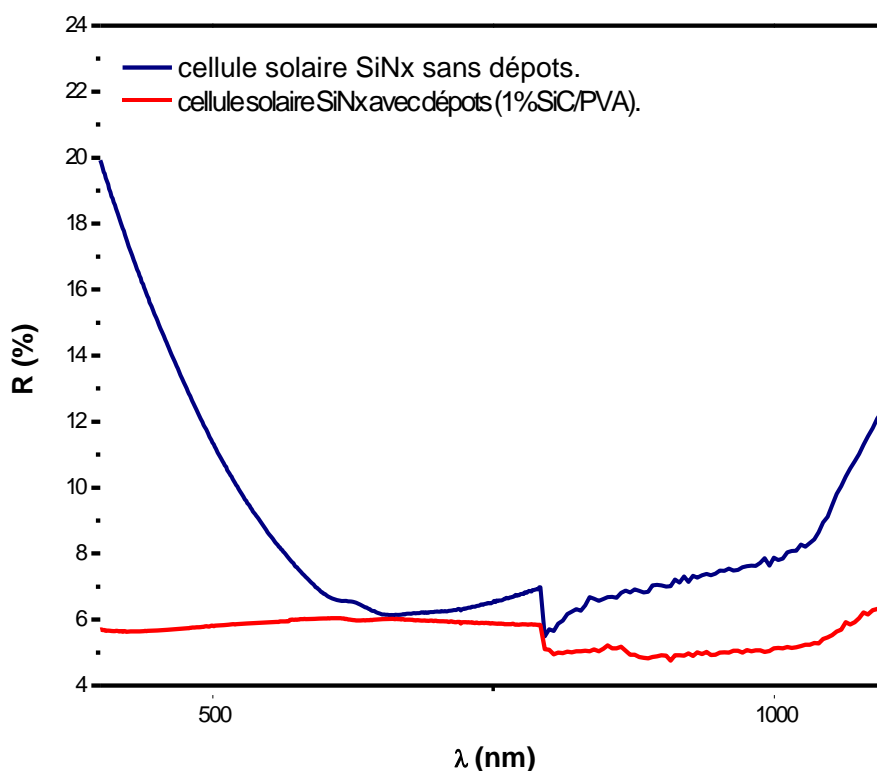


Fig. III.11: Réflectivité d'une cellule solaire de type SiNx sans et avec dépôt de la matrice PVA/SiC à 1% de nanoparticules de SiC.

Cette figure confirme les résultats de la réflectivité trouvés auparavant, nous remarquons clairement la réduction de la réflectance [35], dans le cas d'une cellule solaire en présence de la couche SiC/PVA. De plus l'utilisation de pyramides est une technique courante de piégeage de la lumière car elle peut augmenter la longueur du chemin optique de la lumière incidente jusqu'à plusieurs fois l'épaisseur d'un substrat. La longueur du chemin optique est définie comme la distance parcourue par la lumière à travers un dispositif et une augmentation de celle-ci par rapport à l'épaisseur physique du dispositif conduit à une absorption plus importante et donc à une efficacité accrue [36]. La lumière incidente est piégée par le substrat lorsque la surface coudée (rugueuse) se couplera obliquement à la lumière dans le matériau semi-conducteur et augmentera ainsi le chemin optique [37].

III.7. Rendement quantique externe (EQE)

La figure ci-dessous (fig.III.12) présente le rendement ou l'efficacité quantique externe des substrats nanofils de silicium avec dépôt de couche anti relet SiC / PVA à différents pourcentages de nanoparticules de SiC (0.5, 1 et 1.5 %). Nous remarquons que les nanofils de Silicium présentent un rendement quantique externe sur toute la gamme de longueur d'ondes

compris entre 450 nm et 1mm c'est-à-dire, il couvre tout le spectre du visible et une partie de l'infrarouge [38].

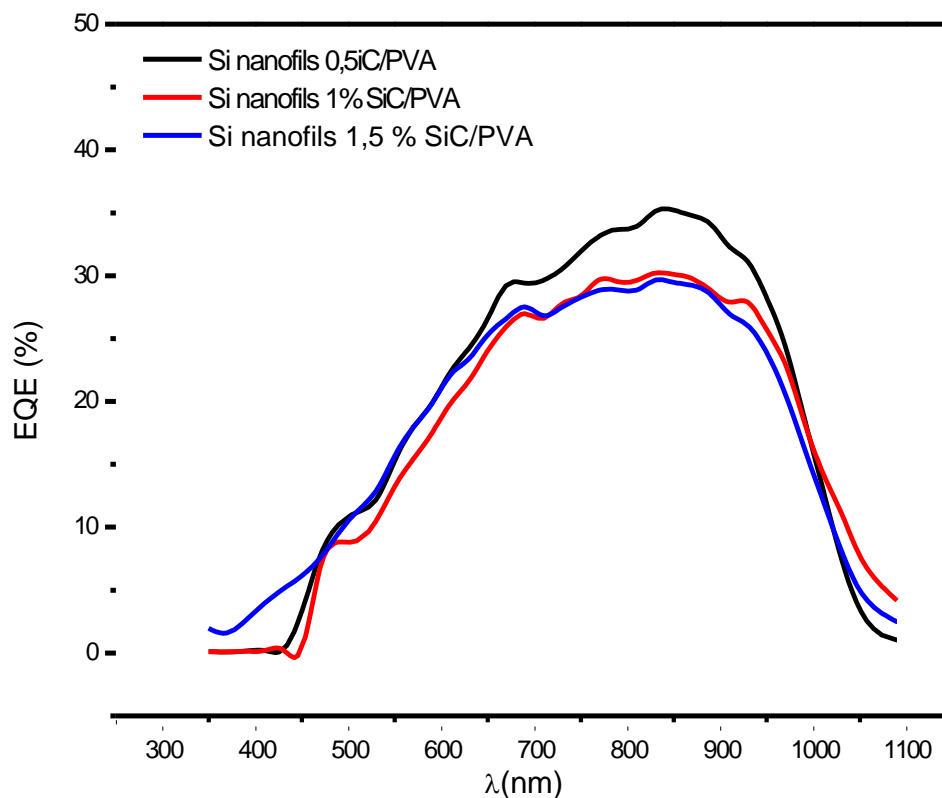


Fig.III.12 : Efficacité quantique externe des substrats nanofils de silicium avec dépôt d'une couche SiC/PVA à différents pourcentage de SiC.

Pour la couche de Si nanofils à 0.5% SiC/PVA on obtient un rendement quantique de 35.3% et de l'ordre de 30 % et 29.5% pour les couches de Si nanofils à 1% SiC/PVA et 1.5% SiC/PVA respectivement, cette réduction de rendement probablement due à l'épaisseur de la couche SiC/PVA, qui joue un rôle important pour cette caractérisation et pour toute les caractérisation électriques, d'une manière que, si l'épaisseur de la couche est petite l'électron trou peut traverser facilement substrat et le courant passe donc le rendement augmente, contrairement, si l'épaisseur de la couche est grande l'électron trou tombe donc le courant ne passe pas et par conséquent, le rendement quantique diminue [39-40]. Un autre facteur qui joue lui-même un rôle très important sur la qualité de surface de la couche [41], qui est la méthode de dépôt qu'on a utilisé (dip coating).

Les couches composites SiC/PVA déposées sur les substrats texturés en pyramides et nanofils de silicium (fig.III.13) révèle augmentation de rendement quantique externe d'environ

qui atteint 68% pour le couche à 1.5% SiC/PVA, donc en comparaison avec la couche de 1.5% SiC /PVA déposée sur des substrats nanofils de silicium, donc un gain de rendement de **38.5%**, ainsi le EQE augmente de **12.6 %**, dans le cas de dépôt de 1% SiC/PVA. Cette augmentation de rendement est due principalement de la diminution maximale de la réflexion des couches minces composites SiC/PVA à 1.5% comme on a vue précédemment les nanofils Si texturés pyramidales présentent un meilleur rendement dans les cellules solaires [42,43].

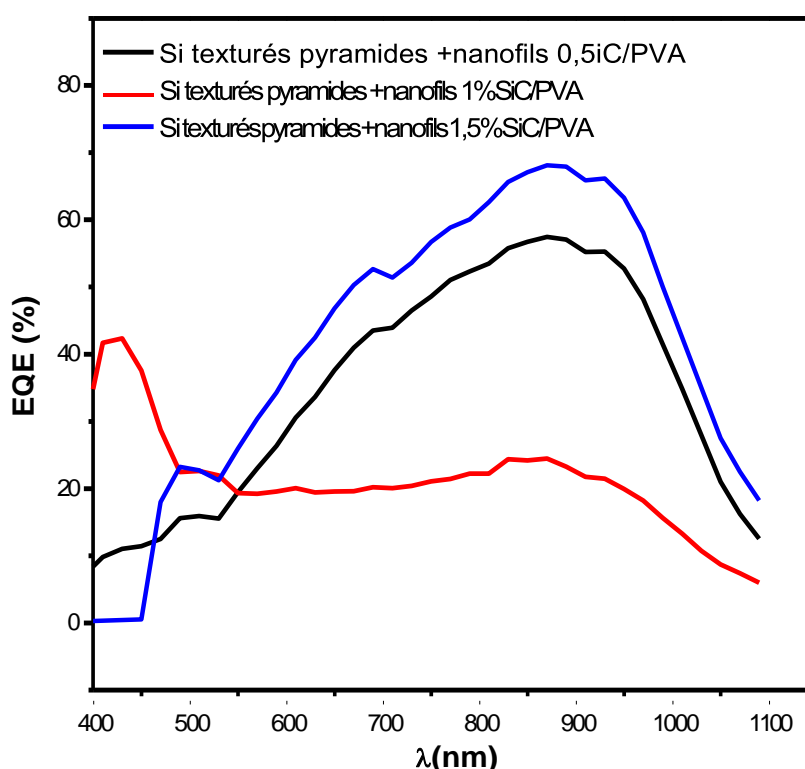


Fig.III.13 : Efficacité quantique externe des substrats nanofils de silicium avec dépôt d'une couche SiC/PVA à différents pourcentages de SiC.

L'étude de l'efficacité quantique externe est effectuée sur une cellule solaire de type SiNx texturé en pyramides sans dépôt et avec dépôt de 1% de la couche composite SiC/PVA, présentée dans la figure (Fig.III.14). Une augmentation de l'EQE a été démontrée pour le cas de la cellule solaire avec dépôt de la couche SiC/PVA à 1% de nanoparticules de SiC, par apport à celle sans dépôt, cette augmentation est de l'ordre de 12.2% qui confirme les résultats précédemment obtenus et montre aussi que l'incorporation des particules de SiC dans une couche de conversion d'ondes est très bénéfique qui peuvent améliorer les performances de notre cellule solaire [44,45].

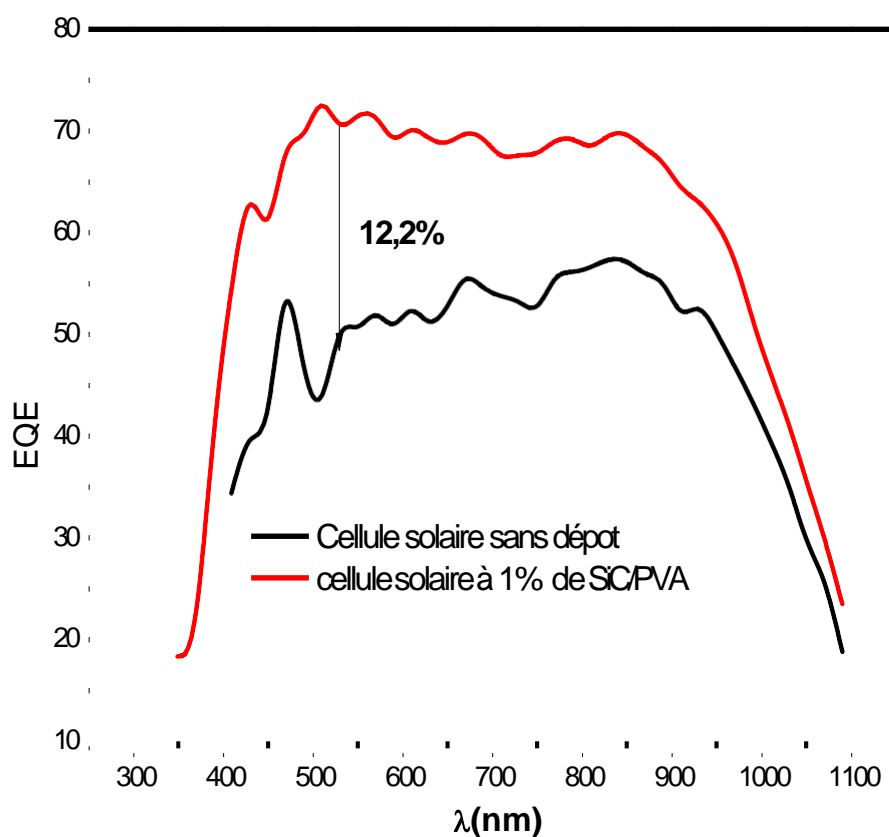


Fig.III.14: Efficacité quantique externe d'une cellule solaire sans dépôt et avec dépôt d'une couche à 1% SiC/PVA.

III.8. Propriétés électriques (I-V)

Les caractéristiques électriques des cellules photovoltaïques au silicium sont évaluées à partir de la mesure de la variation du courant en fonction de la tension ou le potentiel appliqué, nous avons étudiés la (I-V) d'une cellule sans éclairement "sous obscurité", puis sous illumination c'est-à-dire sous la lumière d'une lampe ultra-violet et finalement sous une lumière blanche, on utilise le principe de la photodiode, une Cellule photovoltaïque (aussi appelée souvent pile solaire) se comporte comme un générateur en présence de lumière [46,47].

L'étude de réponse électrique courant-tension (I-V) a été réalisée dans la gamme de potentiel [-1 ; +1], les deux morceaux de la cellule solaire étudiée ont été choisi de même géométrie (même surface) d'où un est sans dépôt et l'autre avec dépôt de la couche composite 1% SiC/PVA (Fig.III.15).

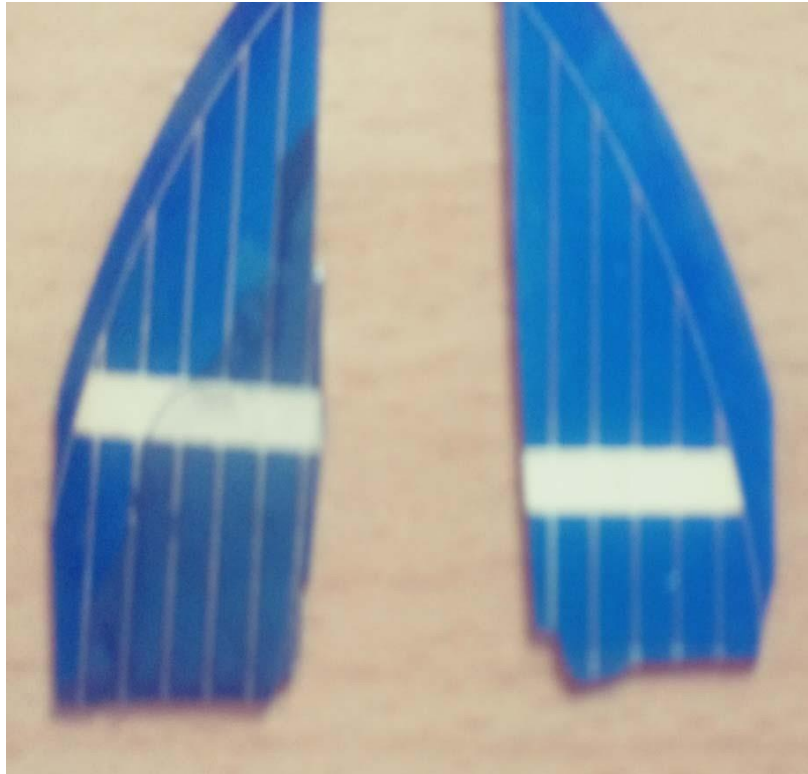


Fig.III.15: Photos de deux morceaux d'une cellule solaire sans dépôt et avec dépôt d'une couche de 1% SiC/PVA.

Les figures suivantes montrent la caractéristique courant-tension (I-V) d'une cellule solaire atypique dans l'obscurité et sous un éclairage (illumination par une lumière U.V et sous une lumière blanche).

III.8.1. Mesures (I-V) dans l'obscurité

Les caractéristiques courant-tension de la cellule solaire en Si étudiée sous obscurité sont illustrées aux figures (16, 17-A et 17-B). Nous observons sur ces figures que la courbe courant-tension obtenues correspond à un comportement non linéaire et asymétrique et que les valeurs de courant augmentent de façon exponentielle avec l'augmentation de la tension de polarisation directe [48].

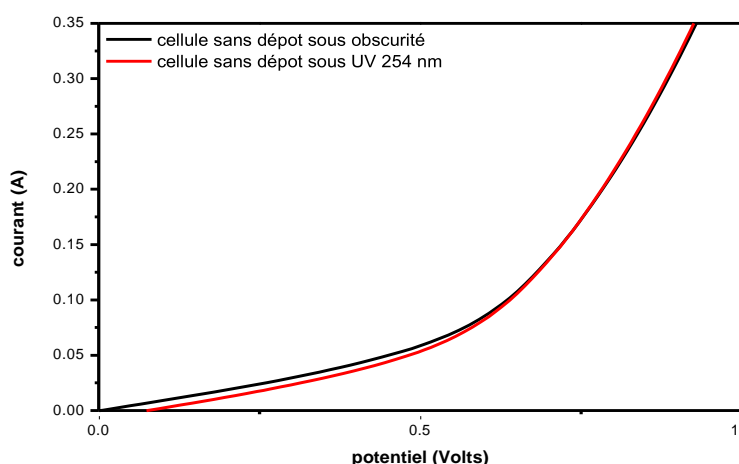


Fig.III.16 : variation courant-tension de la cellule solaire en Si non revêtue sous obscurité et sous lumière U.V.

La fig.III.16 montre le courant d'obscurité typique de la cellule solaire non revêtue, en fonction de la tension de polarisation appliquée, où la polarisation varie de -1 à +1 V, pour chaque mesure. Le courant d'obscurité passe par le zéro et la courbe (I-V) sous lumière U.V marque un petit décalage de potentiel. Les tests sont effectués à la température ambiante pour les cellules solaires sans dépôt et avec. Nous remarquons que l'éclairage de la cellule en Si non revêtu avec la lumière noire (illumination U.V) ne provoque pas une déviation de la courbe (I-V) par rapport à la cellule met sous obscurité, par contre elles sont superposées. Cela signifie que la lumière UV n'a un impact sur la cellule solaire [49,50].

La Fig. III.17-A montre les caractéristiques (I-V) d'une cellule solaire sans revêtement (sans dépôt) et revêtue de la couche antireflet (de conversion d'ondes dite LDS : couche de descente luminescent) à base de SiC dans l'obscurité. L'application de revêtements LDS à base de SiC sur la cellule solaire a entraîné une augmentation du courant d'obscurité de 0,3A pour une cellule solaire en Si non revêtu à 0,165 A pour une cellule solaire revêtue de SiC, à 1 V. L'augmentation du courant d'obscurité pour la cellule solaire fabriquée est due à la présence de couches de PVA dopées au SiC, qui est utilisée pour obtenir un rendement élevé en explorant leur effet de descente luminescent. Ces caractéristiques dans l'obscurité sont sans aucun doute directement attribuables aux propriétés du film mince composite [51].

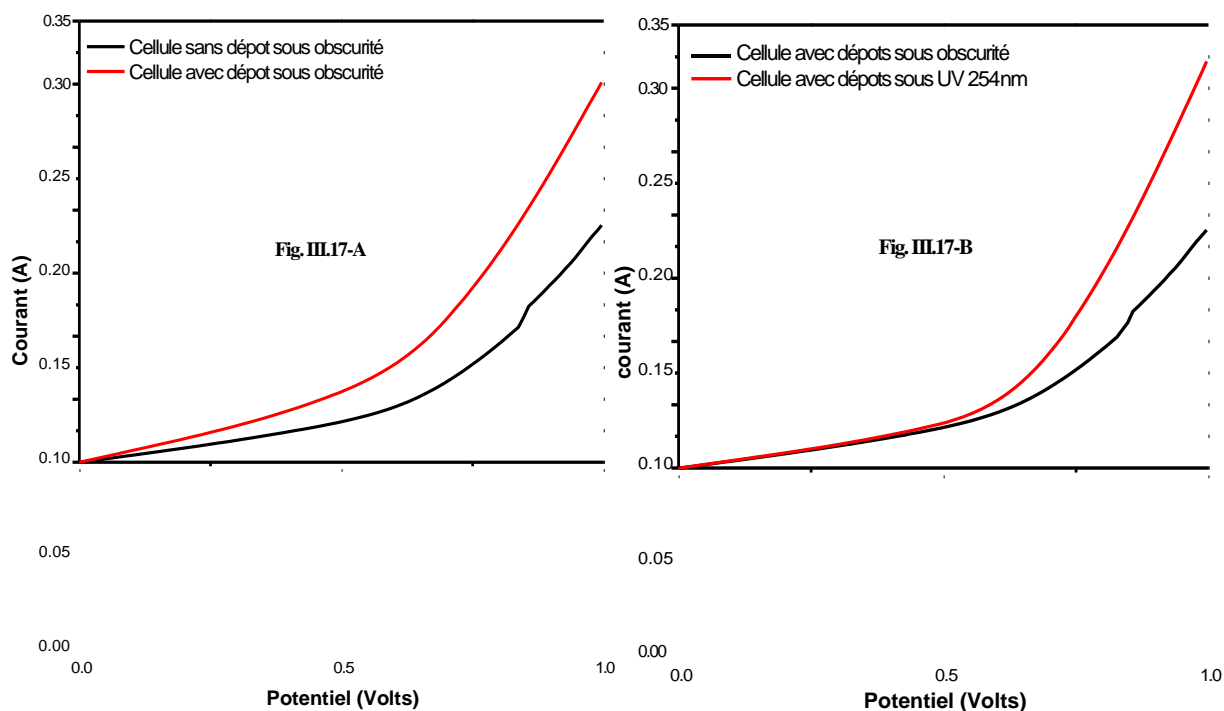


Fig.III.17 : courbes (I-V) d'une cellule solaire avec et sans LDS, **Fig.III.17-A** : cellule sous obscurité avec et sans dépôt (LDS), **Fig.III.17-B** : cellule avec dépôt (LDS) sous obscurité et sous lumière U.V

De même pour la **fig.III.17-B**, nous remarquons qu'en présence des nanoparticules de SiC le comportement de la courbe (I-V) de cellule solaire change par apport la lumière ou elle est exposée sous obscurité et sous illumination par la lumière U.V, ce qui montre la sensibilité des nanoparticules à la lumière U.V, grâce au caractère luminescent de ces nanoparticules. Le courant d'obscurité est de 0,017 A et de 0,032 A à 1 V pour les cellules solaires sous obscurité et sous illumination par la lumière U.V respectivement.

III.8.2. Mesures (I-V) sous illumination U.V

Les caractéristiques (I – V) montrent un bon comportement rectiligne et photoélectrique typique qui a été observé pour les cellules étudiées (**Fig.III.18**). Son photocourant généré sous illumination est beaucoup plus élevé. Dans des conditions de polarisation directe, le photocourant provoqué par le revêtement LDS à base de SiC sur la cellule solaire irradiée sous un éclairage par une lampe à rayons ultraviolets était manifestement supérieur pour une cellule solaire recouverte de 1%SiC / PVA, ce qui montre la réponse photocourant des nanoparticules de SiC.

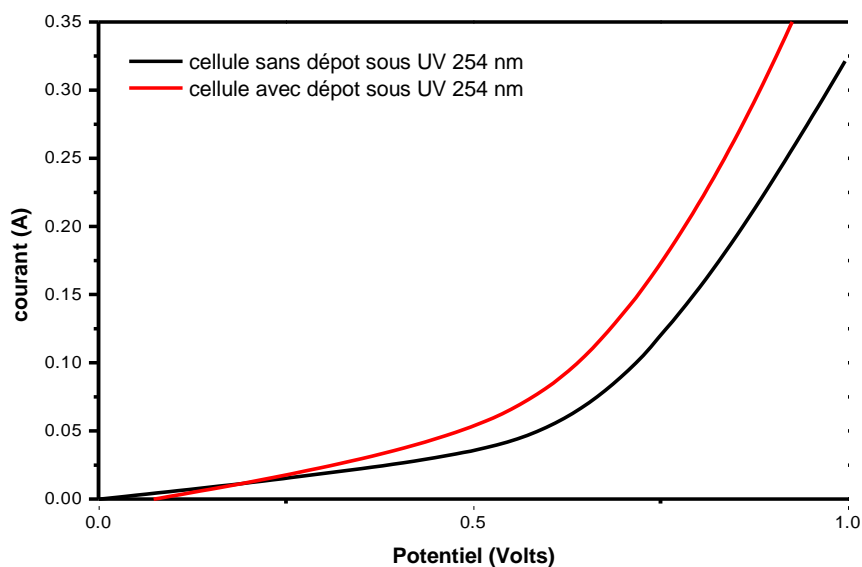


Fig.III.18 : courbe (I-V) d'une cellule solaire avec et sans dépôt (LDS) illuminé par une lampe U.V à 254 nm.

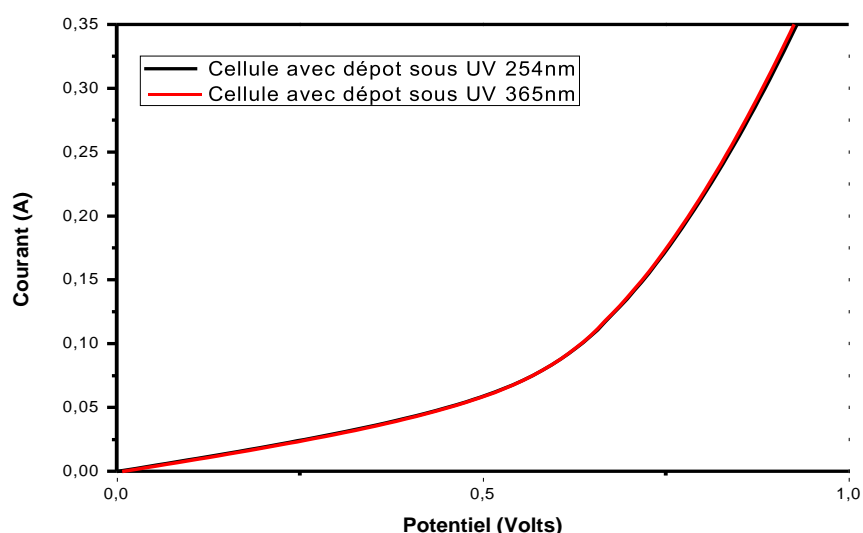


Fig.III.19 : courbe (I-V) d'une cellule solaire avec dépôt (LDS) illuminé par une lampe U.V à 254 nm et à 365 nm.

La **Fig.III.19** montre que la longueur d'onde d'excitation de la lumière UV n'influençait pas sur le comportement électrique de la cellule solaire en Si revêtue. Les deux courbes sont totalement superposées.

III.8.3. Mesures (I-V) sous éclairage blanc

La caractéristique (I – V) montrait que la cellule solaire en Si non revêtue (sans dépôt) sous un éclairage blanc présente un modeste effet photovoltaïque, la photovoltage étant égale à 0,011 V et le courant de court-circuit I_{sc} égal à 1,2 mA. L'effet photoélectrique dans la structure est renforcé en raison de la contribution de la couche de conversion d'onde LDS à base de

SiC/PVA qui a induit un renforcement de la génération d'électrons au niveau de la région d'appauvrissement de la structure.

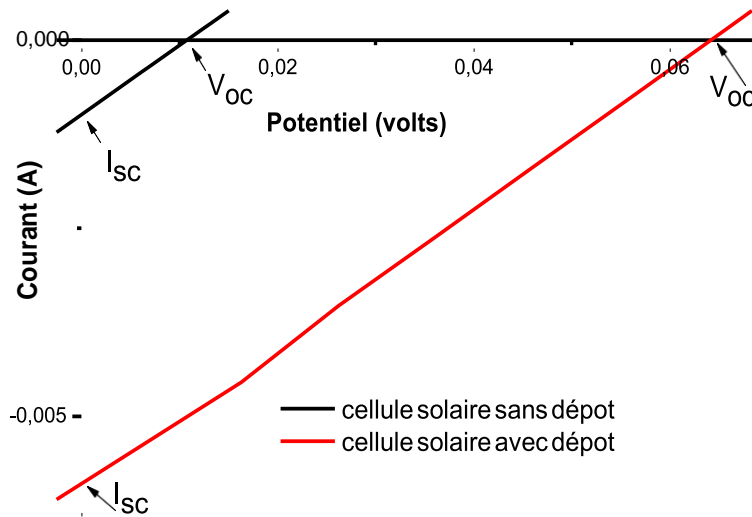


Fig. III. 20 : courbe (I-V) d'une cellule solaire avec et sans dépôt (LDS) sous lumière Blanche.

La cellule solaire en Si recouvertes de 1%SiC/PVA sous un éclairage blanc a un effet photovoltaïque important, la photovoltage étant égale à 0,065 V et le courant de court-circuit I_{sc} égal à 51,2 mA. L'effet photoélectrique dans la structure est renforcé en raison de la contribution de la couche de conversion d'onde LDS à base de SiC/PVA qui a induit un renforcement de la génération d'électrons au niveau de la région d'appauvrissement de la structure.

Après le revêtement d'une cellule en silicium, les courbes (I – V) ont montré une nette augmentation pour V_{oc} et I_{sc} . Les modifications des paramètres ont été immédiatement atteintes après le revêtement en SiC couches de PVA sur la cellule solaire [52].

Références

- [1] ShipraPandey, Shiv K. Pandey, VyomParashar, G. K. Mehrotra et Avinash C. Pandey : « Ag/PVA nanocomposites: optical and thermal dimensions » *J. Mater. Chem.*, 21 (2011), 17154–17159.
- [2] OmedGh. Abdullah, Bakhtyar K. Aziz, et Sarkawt A. Hussen : « Optical Characterization of Polyvinyl alcohol - Ammonium Nitrate Polymer Electrolytes Films » . *Chemistry and Materials Research* www.iiste.org ISSN 2224- 3224 (Print) ISSN 2225- 0956 (Online) Vol.3 No.9 (2013) 84.
- [3] R. Das, and S. Pandey : « Comparison of optical properties of bulk and nano crystalline thin films of CdS using different precursors », *International Journal of Material Science* 1(1) (2011), 35-40.
- [4] A.N. Kouamé, R. Masson, D. Robert, N. Keller, V. Keller : « β -SiC foams as a promising structured photocatalytic support for water and air detoxification », *Catal. Today*. 209 (2013). 13–20.
- [5] Jessica Mollicone : « fonctionnalisation de supports de sic par imprégnation de sols et/ou de suspensions en vue d'améliorer les rendements de conversion d'échangeurs solaires ». Thèse de doctorat de l'université de Toulouse, soutenue le 30 novembre 2015.
- [6] MehranRafiee, Subhash Chandra, Hind Ahmed, Sarah J. McCormack : « An overview of various configurations of Luminescent Solar Concentrators for photovoltaic applications », *Optical Materials* 91 (2019) 212–227
- [7] KaterinaNikolaidou, SomSarang, Christine Hoffman, BenazMendewala, Hidetaka Ishihara , Jennifer Q. Lu, Boaz Ilan, Vincent Tung et SayantaniGhosh : « Hybrid Perovskite Thin Films as Highly Efficient Luminescent Solar Concentrators ». *Advanced Optical Materials* 4 (12) (2016) 2126–2132.
- [8] Jérémy Barbé : « Fabrication et caractérisation de nanocristaux de silicium encapsulés dans des matrices siliciées amorphes : rôle des interfaces et de la matrice sur les propriétés structurales, optiques et électriques ». Thèse de doctorat de l'université de Toulouse, soutenue Le 26 septembre 2013.
- [9] Belloul Aicha Imene et Aougikhadidja « Elaboration et caractérisation de Polyaniline(PANI) dopé sur des couches minces de carbure de silicium amorphe » ; mémoire de master II à l'université de M'hamed Bougara de Boumerdes. Soutenue le 26 Juin 2016.
- [10] F. M. Ross,* J. Tersoff and M. C. Reuter: « Sawtooth Faceting in Silicon Nanowires », *PRL* 95, (2005) 146104.
- [11] Fabrice Oehler : « Stage de Master Recherche 2me année: Croissance et Caractérisation de Nanofils de Silicium » Ecole Normale Supérieure de Lyon Université Claude Bernard Lyon 1 Avril–Juillet 2007.
- [12] Thomas David : « Croissance guidée et caractérisations de nanofils de silicium latéralement organisés dans une matrice d'alumine nanoporeuse » Thèse de doctorat l'université Joseph Fourier - Grenoble 1 soutenue le jeudi 20 novembre 2008.
- [13] David Kohen : « Etude des nanofils de silicium et de leur intégration dans des systèmes de récupération d'énergie photovoltaïque » Thèse de doctorat l'université Grenoble, soutenue le 19 Septembre 2012.
- [14] May CHOUEIB : « Etude des propriétés physiques de nanofils individuels de Carbure de Silicium par émission de champ » Thèse de doctorat l'Université Claude Bernard - Lyon 1 soutenue le 24 Juillet 2009.
- [15] A.A.Druzhinin, V.Y.Yerokhou, S.I.Nichalo, O.Y.Ostapiv : « Development of anti-reflecting surfaces based on Si micropylamids and wet-chemically etched Si nanowire arrays » *1027-5495. Functional Materials*, 25, No. 4(2018), p 675-680.
- [16] Bonilla, R.S. and P.R. Wilshaw, « A technique for field effect surface passivation for silicon solar cells ». *Applied Physics Letters*, 2014. 104 (23): p. 232903.
- [17] Schmidt, M.S., J. Hübner, and A. Boisen, « Large Area Fabrication of Leaning Silicon Nanopillars for Surface Enhanced Raman Spectroscopy ». *Advanced Materials*, 2012. 24(10): p. OP11-OP18.
- [18] G Nagaraju, G T Chandrappa And Jacques Livage : « Synthesis and characterization of silver molybdate nanowires, nanorods and multipods » *Bull. Mater. Sci.*, Vol. 31, No. 3, 2008, 367–371.
- [19] Chen, Y. J., Li, J. B., Han, Y. S., & Dai, J. H: « Self assembly of Si and SiO_x nanostructures ». *Journal of Materials Science Letters*, 21(2), (2002). 175–177.

- [20] Sekhar, P. K., Ramgir, N. S., Joshi, R. K and Bhansali, S : « Selective growth of silica nanowires using an Au catalyst for optical recognition of interleukin » -10. *Nanotechnology*, 19(24) (2008), 245502.
- [21] Kirill A. Gonchar, Veronika Y. Kitaeva, George A. Zharik, Andrei A. Eliseev and Liubov A. Osminkina: «Structural and Optical Properties of Silicon Nanowire Arrays Fabricated by Metal Assisted Chemical Etching With Ammonium Fluoride» *Frontiers in Chemistry*. January 2019 6-653.
- [22] Peng, K.Q. and S.T. Lee: «Silicon nanowires for photovoltaic solar energy conversion ». *Advanced Materials*, 2011. 23(2): 198-215.
- [23] S. Kaci, R. Rahmoune, A. Boukezzata, Y. Boudiaf, and I. Bozetine: « Study of the Effect of Luminescence Down-Shifting on Silicon Solar Cells with SiC Based Composite as Optical Windows Layer » pp. 1–8, 2019.
- [24] F. A. Adeboye : « On the Effect of Surface Texture and Nanoscale Surface Oxides on the Optical and Mechanical Properties of Silicon Single Crystals and MEMS Thin films » , 2015 *Fashina Adebayo Adeboye* no. 70078.
- [25] Y. Si Ahmed, T. Hadjersi and R. Chaoui: «Fabrication of Pyramid/Nanowire Binary Structure on n-Type Silicon Using Chemical Etching » Special issue of the 2nd International Conference on Computational and Experimental Science and Engineering (ICCESEN 2015).
- [26] Hongjie Lv, Honglie Shen, Ye Jiang, Chao Gao, Han Zhao, Jiren Yuan:«Porouspyramids structured silicon surface with low reflectance over a broad band by electrochemical etching», *Applied Surface Science* 258 (2012) 5451– 5454.
- [27] F. Toor, H. M. Branz, M. R. Page, K. M. Jones, and H. C. Yuan: « Multi-scale surface texture to improve blue response of nanoporous black silicon solar cells» *Appl. Phys. Lett.* 99, (2011) 103501.
- [28] Davidsen, R.S., et al: « Angle resolved characterization of nanostructured and conventionally textured silicon solar cells ». *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 2015. 140: p. 134-140.
- [29] N. Wehkampa, A. Fella, J. Bartsch, F. Granek: « Laser Chemical Metal Deposition for Silicon Solar Cell Metallization». *Energy Procedia* 21 (2012) 47 – 57.
- [30] Sahoo KC, Li Y and Chang EY: « Numerical calculation of the reflectance of sub-wavelength structures on silicon nitride for solar cell application ». *Comput Phys Commun* 2009; 180: 1721– 1729.
- [31] Y. Larionova, M. Turcu, S. Reiter, R. Brendel, D. Tetzlaff, J. Kruegener, T. Wietler, U. Hooehne, J.-D. Kaehler, R. Peibst, «On the recombination behavior of p+-type polysilicon on oxide junctions deposited by different methods on textured and planar surfaces», *Phys. Status Solidi A* 214, 8, (2017)1700058.
- [32] N. Wöhrle, J. Greulich, C. Schwab, M. Glatthaar, S. Rein, « A predictive optical simulation model for the rear-surface roughness of passivated silicon solar cells», *IEEE Journal of Photovoltaics*, 3 (2013) 175-182.
- [33] Y. Li, Z. Li, Y. Zhao, A. Lennon, « Modelling of light trapping in acidic-textured multicrystalline silicon wafers », *International Journal of Photoenergy*, 2012 (2012).
- [34] Tasmia Rahman, Ruy S. Bonilla, Amirjan Nawabjan, Peter R. Wilshaw, Stuart A Boden: «Passivation of all-angle black surfaces for silicon solar cells». *Solar Energy Materials and Solar Cells*, Vol.160, 2017,444-453.
- [35] Baker-Finch, S.C. and K.R. McIntosh. «A freeware program for precise optical analysis of the front surface of a solar cellin Photovoltaic Specialists Conference (PVSC)», 2010 35th IEEE.
- [36] H.Y. Gong, M. Li, L. Zhou, «A study of mottling phenomenon on textured multicrystalline silicon wafers and its potential effects on solar cell performance», *Mat. Sci. Semicon, Proc.* 25 (2014) 149-154
- [37] Xiao Tan, Zhi Tao, Mingxing Yu , Hanxiao Wu and Haiwang Li: « Anti-Reflectance Optimization of Secondary Nanostructured Black Silicon Grown on Micro-Structured Arrays». *Micromachines* 2018, 9-385.
- [38] Thiyagu S, Hsueh C.C, Liu C.T, Syu H.J, Lin T.C, Lin C.F: « Hybrid organic-inorganic heterojunction solar cells with 12% efficiency by utilizing flexible film-silicon with a hierarchical surface ». *Nanoscale* 2014, 6, 3361-3366

- [39] Thomas J.P, Leung K.T: « Defect-Minimized PEDOT: PSS /Planar-Si Solar Cell with Very High Efficiency ». *Adv. Funct. Mater.* 2014, 24, 4978-4985.
- [40] Wang J, Wang H, Prakoso A. B, Togonal A. S, Hong L, Jiang C. Rusli: « High Efficiency Silicon Nanowire/organic Hybrid Solar Cells with Two-Step Surface Treatment ». *Nanoscale* 2015, 7, 4559–4565
- [41] James Bullock, Mark Hettick, Jonas Geissbühler et al: « Efficient silicon solar cells with dopant-free asymmetric heterocontacts » *nature energie* 2016 15031.
- [42] Wei Chen, Yaoping Liu, Juntao Wu, Quansheng Chen, Yan Zhao, Yan Wang and Xiaolong Du: « High-Efficient Solar Cells Textured by Cu/Ag-Cocatalyzed Chemical Etching on Diamond Wire Slicing Multicrystalline Silicon » : *ACS Appl. Mater. Interfaces* 2019, 11, 10052–10058
- [43] Kafle B, Mannan A, Freund T, Clochard L, Duffy E, Hofmann M, Rentsch J, Preu R.: « Nanotextured Multicrystalline AlBSF Solar Cells Reaching 18% Conversion Efficiency Using Industrially Viable Solar Cell Processes » . *Phys. Status Solidi RRL* 2015, 9, 448–452
- [44] Pudasaini P. R, Ruiz-Zepeda F, Sharma M, Elam D, Ponce A, Ayon A. A: « High Efficiency Hybrid Silicon Nanopillar–Polymer Solar Cells ». *ACS Appl. Mater. Interfaces* 2013, 5, 9620–9627
- [45] Wei W.R, Tsai M.L, Ho S.T, Tai S.H, Ho C.R, and al: « Above-11%-Efficiency Organic–Inorganic Hybrid Solar Cells with Omnidirectional Harvesting Characteristics by Employing Hierarchical Photon-Trapping Structures » . *Nano Lett.* 2013, 13, 3658–3663.
- [46] Shuxin Li, Zhibin Pei, Fei Zhou, Ying Liu, Haibo Hu, Shulin Ji, and Changhui Ye : « Flexible silicon/PEDOT:PSS hybrid solar cells ». *Nano Res. Just Accepted Manuscript* 2015
- [47] Sharma, Manisha, Pudasaini, Pushpa Raj, Ruiz-Zepeda, Francisco, Elam, David, Ayon, Arturo A : « Ultrathin, flexible organic–inorganic hybrid solar cells based on silicon nanowires and PEDOT:PSS». *ACS applied materials* 2014 v.6 no.6 pp. 4356-4363
- [48] R.A. Sinton, and A. Cuevas : « A Quasi-Steady-State Open-Circuit Voltage Method for Solar Cell Characterization », 16th European Photovoltaic Solar Energy Conference, 2000
- [49] Winter S, Friedrich D, Gerloff T: « Effect of the angle dependence of solar cells on the results of indoor and outdoor calibrations». *Proceeding 25th EU-PVSEC*, 2010 4304 – 4306
- [50] H. Munawaroh, L. N. M. Z. Saputri, Q. A. Hanif, R. Hidayat and S. Wahyuningsih: “The copigmentation of anthocyanin isolated from mangosteen pericarp (*Garcinia Mangostana* L.) as Natural Dye for Dye-Sensitized Solar Cells (DSSC),” In: *IOP Conference Series 2016: Materials Science and Engineering* pp. 012061.
- [51] R. Mueller, T. Behrendt, A. Hammer, A. Kemper, « A new algorithm for the satellite-based retrieval of solar surface irradiance in spectral bands », *Remote Sensing*, Volume 4, (Sep. 2012), pp. 622-647.
- [52] A. Virtuani, L. Fanni, “Seasonal power fluctuations of amorphous silicon thin-film solar modules: distinguishing between different contributions, *Progress in Photovoltaics*”: *Research and Applications*, (2012), pp. 208-217.

Conclusion générale

Conclusion générale

L'objectif principal de ce présent travail était d'élaborer des couches minces composites à base de nanoparticules de carbure de silicium incorporées dans une matrice organique, en utilisant un polymère qui est le polyvinyle alcool (PVA), ce dernier est choisit pour ces propriétés optiques intéressantes dans le domaine de la conversion d'ondes (dispositifs photovoltaïques). Il est transparent dans le visibles, facile à manipulé (soluble dans l'eau) et Il a une excellente tenue au vieillissement et à l'U.V.

Ces couches composites ont donnée faisabilité du développement d'un revêtement susceptible d'améliorer le rendement de conversion des cellules photovoltaïques, de manière à absorber le rayonnement UV solaire, puis convertir ce rayonnement en lumière visible, laquelle, étant absorbée par la cellule.

A la lumière de toutes les caractérisations et résultats obtenus, on peut conclure que :

- L'utilisation des nanoparticules de carbure de silicium joue un rôle très important dans la conversion d'ondes comme étant des nanoparticules luminescentes.
- Le polyvinyle alcool (PVA) est un choix réussi dans cette étude qui nous a permis de conserver les principales caractéristiques faisant l'intérêt de la technologie photovoltaïque (transparence, rigidité et légèreté).
- La variation de pourcentage des nanoparticules de SiC est pour but d'optimiser le meilleur dosage en nanoparticules de SiC, bien évident que le dosage de 1% de SiC a donné meilleurs résultats, donc au-delà de cette quantité de SiC on n'aura pas une grande différence dans les résultats.
- Les caractérisations par l'angle de contact nous ont donné un bon aperçu sur la qualité de surface en matière d'adsorption. D'après les résultats obtenus nous constatons que la surface des nanofils est super hydrophobe, mais cette propriété peut changer après oxydation des nanofils et formation des liaisons O-H à la surface. Cependant la structure des pyramides présente une meilleure mouillabilité des substrats.
- Les résultats obtenus à travers les images MEB ont révélé la qualité morphologique des substrats, la longueur et la densité des nanofils et pyramides avant de déposer nos couches composites, tandis qu'après dépôt cette caractérisation nous a informé sur la qualité de dépôt, d'où nous constatons que les couches déposées sont trop épaisses, ce qui rend la méthode de dépôt par trempage (dip-coating) probablement n'est pas adéquate pour ce type de revêtement.

Conclusion générale

- L'étude optique présentée par la réflexion totale montre que la structure à base de nanofils diminue tout d'abord les pertes liées à la réflexion en comparaison des structures de silicium plan. En effet Les structures pyramidales ont aussi la propriété de réduire la réflexion de la lumière grâce à la surface rigoureuse par un piégeage optique. Les nanofils ou nanopyramides sont d'ailleurs souvent utilisés comme couche antireflet dans les cellules solaires.
- L'efficacité quantique externe (EQE) des couches élaborées augmente en fonction de la quantité des nanoparticules de SiC employées et de la nature de substrats, donc on conclut que les propriétés électriques de la cellule solaire étudiée dépendent largement de la nature des nanoparticules de SiC jouant le rôle d'espèces luminescentes dans la couche de conversion d'ondes, bien que nous constatant un comportement différent de la cellule solaire sous obscurité et sous éclairage, c'est-à-dire la cellule solaire étudiée est répond dans la lumière noire que ce soit par obscurité ou par illumination.

Comme perspectives, du fait des caractéristiques obtenues, l'emploi des nanoparticules de carbures de silicium dans la matrice PVA, la conversion d'ondes très bénéfique pour améliorer le rendement photovoltaïque, néanmoins il est impérativement recommandé de changé la méthode de dépôt, bien évidemment de procéder au dépôt par spin coating au lieu de dip-coating. De plus, vu l'importance du type de substrats utilisés, une étude de l'influence de types de substrats ainsi d'une variation dans la taille des nanofils et pyramides est recommandée

Enfin, la maîtrise de l'emploi des couches antireflets pour la conversion de l'énergie fait l'objet d'une réalisation d'un prototype panneau solaire.

Résumé

L'objectif principal de ce présent travail était d'élaborer des couches minces composites à base de nanoparticules de carbure de silicium incorporées dans une matrice organique, en utilisant un polymère qui est le polyvinyle alcool (PVA). L'utilisation des nanoparticules de carbure de silicium a un effet très important dans la conversion d'ondes comme étant des nanoparticules luminescentes. Bien évidemment le dépôt de ces couches composites sur les substrats en silicium joue le rôle d'une couche antireflet de descendant luminescent (LDS), d'une part et de l'autre part la texturisation des substrats nanofils et nanopyramides réduit aussi la réflectance des rayons solaires et par conséquent une amélioration de rendement de ce type de cellules solaires est très remarquable.

Afin de confirmer cette propriété plusieurs techniques de caractérisation structurales et électro-optiques ont été effectuées que se soient sur les matériaux de basse (PVA,SiC) ou bien sur les couches composites élaborés et même sur une cellule solaire avec et sont dépôt de la matrice SiC /PVA.

Vu les résultats obtenus l'utilisation de la matrice SiC/PVA comme couche de conversion d'onde dans le domaine de photovoltaïque est considéré très bénéfiques.

Mot clés : Polyvinyle alcool, Carbure de Silicium, conversion d'ondes et cellule solaire.

Abstract

The main objective of this work was to develop composite thin films based on silicon carbide nanoparticles incorporated into an organic matrix, using a polymer that is polyvinyl alcohol (PVA). The use of silicon carbide nanoparticles has a very important effect in the conversion of waves as luminescent nanoparticles. The deposition of these composite layers on the silicon substrates acts as a luminescent layer done shifting (LDS). On the one hand, the texturization of the nanowires and nanopyramides substrates also reduces the reflectance of the solar rays and consequently an improvement in efficiency of this type of solar cells is very remarkable.

In order to confirm this property, several structural and electro-optical characterization techniques have been carried out on either the low (PVA, SiC) materials or on the elaborate composite layers and even on a solar cell with and are depositing the matrix. SiC/PVA.

Given the results obtained using the SiC/PVA matrix, as a wave conversion layer in the photovoltaic field is considered very beneficial.

Key words: Polyvinyl alcohol, Silicon carbide, wave conversion and solar cell.

الهدف الرئيسي من هذا العمل هو تطوير أغشية رقيقة مركبة تعتمد على الجسيمات النانوية من كربيد السيليكون المدمجة في مصفوفة عضوية، باستخدام بوليمر يكون كحول بولي فينيل (PVA) استخدام جسيمات كربيد السيليكون النانوية له تأثير مهم جدا على تحويل الأمواج إلى جسيمات متناهية الصغر الانارة. يعمل ترسب هذه الطبقات المركبة على ركائز السيليكون كطبقة إنارة متغيرة (LDS من ناحية، فإن تركيب ركائز أسلاك متناهية الصغر والاهرامات النانوية تقلل أيضا من انعكاس الأشعة الشمسية، وبالتالي، فإن التحسن في كفاءة هذا النوع من الخلايا الشمسية ملحوظ للغاية.

من أجل تأكيد هذه الخاصية، تم تطبيق العديد من تقنيات التوصيف الهيكلي والكهربائي البصري على مواد منخفضة PVA أو SiC، وكذلك لوضع طبقات مركبة وحتى على الخلايا الشمسية مع المصفوفة وترسبها. كربيد / بولي. بالنظر إلى النتائج التي تم الحصول عليها باستخدام مصفوفة PVA / SiC، تعتبر طبقة تحويل الموجة في المجال الكهروضوئي مفيدة للغاية.

الكلمات المفتاحية: كحول بولي فينيل، كربيد السيليكون، تحويل الموجات والخلايا الشمسية.