

Etude Caractéristique Des Hétérostructures De Types ZnO/Si Et ZnO/CuO/Si Déposées Par Pulvérisation Cathodique DC : Application Pour Les Cellules Solaires

L. Chabane¹, N. Zebbar¹, S. Tata¹ M. Kechouane¹

¹Laboratoire de Physique des Matériaux, Equipe: Couches Minces et Semi-conducteurs
Département Matériaux et Composants, Faculté de Physique, USTHB
BP 32 El Alia, 16111 Bab-Ezzouar, Alger, Algérie

lchabane@usthb.dz

Résumé— Dans ce travail nous avons déposé des films minces de ZnO sur des substrats de Si et de CuO/Si par pulvérisation cathodique dc, à 100°C, sous atmosphère contrôlée d'Ar et O₂ et à différents débits d'Ar (0.5 - 2.5 sccm). Les résultats de caractérisations des hétérojonctions ZnO/p-Si ont montré que pour des faibles débits d'Ar (1.5 sccm) les hétérojonctions présentaient un effet photovoltaïque non négligeable ($V_{OC} = 0.45$ V et $I_{CC} = 1.6$ mA/cm²). L'introduction d'une couche de CuO, de caractéristiques bien définies, induit une amélioration de l'effet photovoltaïque des hétérojonctions ZnO/p-Si pour des débits d'Ar plus faibles (0.5 - 1 sccm).

Mots clés— films mince de ZnO, hétérojonctions, pulvérisation cathodique dc, débit d'Ar, cellule solaire.

I. INTRODUCTION

Durant ces dernières décennies, la technologie et l'industrie des cellules solaires ont franchi un énorme pas de développement, en basculant de la technologie à base de Si, de Ge ou de GaAs vers une technologie à base de matériaux de moindre coût de production. Parmi les matériaux les plus fréquemment utilisés, les sulfures [1] et les oxydes métalliques (opaques et transparents (TCO)) [2, 3, 4] qui bénéficient d'une grande attention des équipes de recherche dans le monde scientifique.

Dans la littérature, plusieurs travaux portant sur l'étude des hétérojonctions à base de TCO, particulièrement le ZnO, destinées aux applications photovoltaïques ont été publiés [5, 6, 7]. Cependant le problème que peut rencontrer ce type de dispositifs, en utilisant le ZnO comme couche active, est le faible rendement. A cet effet plusieurs alternatives ont été proposé, comme l'introduction de couche buffer [8] afin d'améliorer la réponse du dispositif sous éclairnement.

Suite à des travaux antérieurs [9, 10], nous étudions dans le présent travail, l'influence du débit d'Ar sur les propriétés des hétérostructures de type ZnO/p-Si et ZnO/CuO/p-Si déposées par pulvérisation cathodique dc et destinées à des applications photovoltaïques.

II. DETAILS EXPERIMENTAUX

Des films minces de ZnO ont été déposés par pulvérisation cathodique dc, en utilisant une cible de Zn (de pureté 99.99%), sur des substrats de Corning, de p-Si et de CuO/p-Si.

Le nettoyage des substrats a été effectué suivant un protocole classique : Le silicium a été, dans un premier temps, lavé à l'acétone pour supprimer les traces de graisse se trouvant éventuellement à la surface, ensuite trempé dans l'acide fluorhydrique (HF) pour décaper la couche d'oxyde natif SiO₂, enfin trempé dans le méthanol pour supprimer tout résidu de la surface. Il est important de noter qu'après chaque étape de nettoyage, un rinçage à l'eau distillée est indispensable pour éviter la contamination rapide par les solutions de nettoyage.

Pour les substrats de verre et de CuO/p-Si, nous avons suivi la même procédure en évitant bien sur, le trempage dans l'acide HF.

Les dépôts se sont fait sous atmosphère contrôlée d'Ar et d'O₂, à 100°C pendant 1h de temps et selon un protocole de dépôt par couches successives. Nous avons fait varier le débit d'Ar entre 0.5 et 2.5 sccm.

Les films élaborés ont été caractérisées par la diffraction des rayons X, la spectrophotométrie UV-visible et des mesures de courant-tension. D'autre part, nous avons caractérisé les hétérojonctions par des mesures courant-tension-température sous obscurité et sous lumière.

III. RESULTATS ET DISCUSSIONS

Dans ce qui suit, nous présentons les résultats de caractérisations des films et hétérostructures élaborés.

A. Propriétés des films de ZnO

Nous récapitulons dans le Tableau 1 l'ensembles des paramètres caractéristiques des films minces de ZnO déposés sur verre corning.

Remarquons que dans les conditions de dépôt utilisées, l'épaisseur e des films ne dépasse pas l'ordre de 200 nm. En fonction du débit d'Ar la structure cristalline (taille des grains D) et le gap optique sont légèrement influencés. Cependant la résistivité électrique augmente considérablement avec la diminution du débit. L'énergie d'activation augmente également.

TABLEAU I
PARAMETRES CARACTERISTIQUES DES FILMS DE ZNO DEPOSES SUR VERRE: (E) EPAISSEUR, (D) TAILLE DES GRAINS, (EG) BANDE INTERDITE, (ρ) RESISTIVITE ET (EA) ENERGIE D'ACTIVATION.

Débit (sccm)	e (nm)	D (nm)	Eg (eV)	ρ ($\Omega.m$)	E_a (eV)
2.5	200	25	3.3	3	0.21
2.0	134	20	3.2	2	0.24
1.5	97	18	3.19	50	0.29
1.0	77	15	3.19	100	0.30
0.5	60	10	3.18	$6 \cdot 10^2$	0.39

B. Propriétés des hétérostructures ZnO/Si et ZnO/CuO/Si

Les caractéristiques courant-tension-température, sous obscurité, des hétérojunctions élaborées ont montré un comportement redresseur pour la plus part des échantillons (de type ZnO/Si (ZSi) et ZnO/CuO/Si (ZCSi)). Les paramètres caractéristiques des hétérojunctions sont résumés dans le TABLEAU 2.

Les résultats obtenus montrent que pour des débits d'Ar relativement élevés (**2 - 2,5 sccm**), les deux types d'hétérojunctions se comportent de manière similaire, ayant le même ordre de grandeurs des différents paramètres (n , η , V_s ...etc.). On note un meilleur redressement pour un débit de **2 sccm**. Dans ce domaine, le comportement électrique des

hétérojunctions est contrôlé par la couche de ZnO, cette dernière a une épaisseur très supérieure à celle de CuO (**50 nm**) dont l'influence demeure négligeable.

Pour des débits d'Ar plus faibles (0,5 - 1,5 sccm), les hétérojunctions de type ZnO/CuO/p-Si présentent un meilleur redressement comparé aux hétérojunctions ZnO/p-Si, essentiellement pour un débit très faible de 0.5 sccm. Pour cette valeur de débit, où les deux épaisseurs de ZnO et de CuO sont du même ordre de grandeur (60 et 50 nm respectivement), la contribution de la couche de CuO n'est pas négligeable. On remarque un redressement de 250 pour l'hétérojunction ZnO/CuO/p-Si contre 3.5 pour l'hétérojunction ZnO/p-Si.

La caractérisation des hétérojunctions sous éclairage, à la lumière blanche, a révélé un effet photovoltaïque pour quelques-unes d'entre elles. Le TABLEAU III résume les résultats obtenus.

TABLEAU III
PARAMETRES CARACTERISTIQUES DES HETEROSTRUCTURES ZNO/SI (ZSI) ET ZNO/CUO/SI (ZCSI) SOUS ECLAIREMENT.

Débit (sccm)	Courant de Court-circuit I_{CC} (mA/cm ²)		Tension de Circuit ouvert V_{OC} (V)	
	ZSi	ZCSi	ZSi	ZCSi
1.5	1.6	1.8	0.45	0.5
1.0	0.9	4	0.2	0.48
0.5	0.2	6	0.05	0.5

Ces résultats indiquent que les hétérojunctions de type ZnO/CuO/Si présentent un effet photovoltaïque plus important, comparé à celui obtenu pour les hétérojunctions de type ZnO/p-Si. Remarquons que la meilleure réponse est obtenue pour l'hétérostructure ZnO/CuO/Si déposée à 0.5 sccm. La particularité de cette dernière réside dans la faible épaisseur de la couche de ZnO (60 nm), ce qui augmente la probabilité que les porteurs de charges photo-générés atteignent l'électrode supérieur.

TABLEAU III
PARAMETRES CARACTERISTIQUES DES HETEROSTRUCTURES ZNO/SI (ZSI) ET ZNO/CUO/SI (ZCSI)

Débit (sccm)	Facteur d'idéalité n		Facteur de redressement η		Tension seuil V_s (V)		Courant de saturation I_s (A)		Energie d'activation de I_s (eV)	
	ZSi	ZCSi	ZSi	ZCSi	ZSi	ZCSi	ZSi	ZCSi	ZSi	ZCSi
2.5	4.7	4	1.5	10	2.9	3.5	$1 \cdot 10^{-6}$	$1 \cdot 10^{-7}$	0.34	0.29
2.0	4	3.5	$8 \cdot 10^3$	$7 \cdot 10^3$	3.0	3.2	$8 \cdot 10^{-7}$	$4 \cdot 10^{-7}$	0.32	0.35
1.5	4	3	88	150	5.02	3	$7 \cdot 10^{-7}$	$3 \cdot 10^{-7}$	0.30	0.33
1.0	3.5	2.9	123	200	4.30	2.7	$9 \cdot 10^{-6}$	$2 \cdot 10^{-7}$	0.44	0.50
0.5	3.1	2.7	3.5	250	4.25	2.3	$5 \cdot 10^{-7}$	$5 \cdot 10^{-7}$	0.56	0.52

IV. CONCLUSIONS

Dans cette étude, nous avons déposé des films minces de ZnO par pulvérisation cathodique dc, à plusieurs débits d'Ar. Nos résultats ont montré que l'introduction d'une couche de CuO entre le film de ZnO et le substrat de silicium induit une amélioration du comportement redresseur et la réponse sous éclairage des hétérojunctions pour des faibles débits de gaz. Ceci permet de réduire le coup énergétique de fabrication.

REFERENCES

- [1] C. McQuarrie, D. A. McQuarrie, P. A. Rock, Chimie générale, ed. Revue de boeck université, Bruxelles, (1992) 113..
- [2] S. Andreescu, M. Ornatska, J. S. Erlichman, A. Estevez, J. C. Leiter, Biomedical Applications of Metal Oxide Nanoparticles, DOI 10.1007/978-1-4614-0379-1_3. (2012).
- [3] J. Guo, X. Chen, Solar Hydrogen Generation: Transition Metal Oxides in Water Photoelectrolysis, ed. The McGraw Hill, New York 2012.
- [4] M. Akimoto, T. Toyoda, T. Okuno, S. Hayase, Q. Shen, Thin Solid Films 590 (2015) 90–97.
- [5] K. Ellmer, A. Klein, B. Rech, Transparent Conductive Zinc Oxide: Basics and Applications in Thin Film solar cells, ed. Springer Series on Material Science 104.
- [6] V. M. de Almeida, A. Mesquita, A.O. de Zevallos, N.C. Mamani, P.P. Neves, X. Gratens, V. A. Chitta, W.B. Ferraz, A.C. Doriguetto, A.C.S. Sabioni, H.B. de Carvalho, Journal of Alloys and Compounds, 655 (2016) 406-414.
- [7] M. H. Lee, Y.-C. Peng, H.-C. Wu, Journal of Alloys and Compounds 616 (2014) 122–127..
- [8] K. Borgohain, S. Mahamuni, J. Mater. Res. 17 (2002) 1220–1223..
- [9] L. Chabane, N. Zebbar, M. Lamri Zeggar, M.S. Aida, M. Kechouane, M. Trari, Materials Science in Semiconductor Processing 40 (2015) 840–847.
- [10] L. Chabane, N. Zebbar, M. Trari, M. Kechouane, Thin Solid Films 636 (2017) 419-424.,