

Caractérisation d'hétérojonctions a-Si:H/c-Si pour cellules photovoltaïques

L. Deillon^a, C. Monachon^a, G. Pasche^a, Sara Olibet^b, C. Ballif^b, A. Hessler-Wyser^{a,*}

^a Centre Interdisciplinaire de Microscopie Electronique, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, Station 12, 1015 Lausanne, Suisse

^b Laboratoire photovoltaïque et couches minces électroniques, Institut de Microtechnique, Université de Neuchâtel, Rue A.-L. Breguet 2, 2000 Neuchâtel, Suisse

Résumé – L'utilisation d'hétérojonctions Si amorphe/Si cristallin permet l'élaboration des cellules solaires avec des taux de conversion records sur silicium allant jusqu'à 22%. La structure typique de tels dispositifs est basée sur la technologie des couches minces et la microstructuration de substrats de silicium cristallin. Afin de mieux maîtriser les propriétés électroniques de ces dispositifs, une caractérisation de la structure des couches sur substrat plan ainsi que sur substrat microstructuré est nécessaire. Ce travail propose les résultats d'observations SEM et TEM, corrélés avec des analyses par rayons X ainsi que par ellipsométrie et spectrophotométrie.

1. Introduction

L'énergie solaire est disponible partout sur terre. Notre planète reçoit 15000 fois l'énergie que l'humanité consomme. Chaque mètre carré reçoit en moyenne 2 à 3 kWh par jour en Europe du Nord, 4 à 6 kWh par jour entre les tropiques. Les variations saisonnières été/hiver sont de 20% entre les tropiques, mais sont d'un facteur 2,5 dans le nord de la France par exemple. L'exploitation de cette énergie peut se faire de trois manières : thermique, thermodynamique et photovoltaïque.

Le module photovoltaïque convertit sur place et très simplement jusqu'à 36% de cette énergie en courant électrique continu. La ressource est abondante (5% des déserts suffiraient pour alimenter la planète), mais la source (le soleil) n'est pas toujours disponible (nuit, nuages), ce qui implique un stockage, maillon faible du système. Cependant, lorsque le module est placé sur le toit d'une maison, il peut être raccordé au réseau électrique, affranchissant ainsi le système des problèmes de stockage.

L'effet photovoltaïque est obtenu par absorption des photons dans un matériau possédant au moins une transition possible entre deux niveaux d'énergie (semi-conducteur).

Pour pouvoir transférer un électron de la bande de valence à la bande de conduction, en créant un trou dans la première, une énergie par exemple de 1,1 eV pour le silicium cristallin, ou 1,7eV pour le silicium amorphe est nécessaire. Les photons absorbés d'énergie supérieure à ce gap peuvent créer une paire d'électron-trou, l'électron dans la bande de conduction et le trou dans la bande de valence. Pour obtenir un courant, on sépare l'électron et le trou en créant un champ électrique dans un semi-conducteur, une diode p-n. La zone n comporte un excès d'électrons, la zone p un excès de trous, donnant naissance à un champ électrique séparant les charges créées par l'effet photovoltaïque. Une différence de potentiel s'établit aux bornes de la cellule photovoltaïque.

De nombreuses technologies permettent l'élaboration de modules photovoltaïques, parmi lesquelles se trouve la technologie des couches minces sur wafer en silicium cristallin. En particulier, l'élaboration d'hétérojonctions par structure en multicouches silicium amorphe intrinsèque - silicium microcristallin dopé donne des résultats prometteurs. La caractérisation des différentes couches en présence ainsi que de leurs interfaces en fonction des paramètres de croissance et des paramètres du substrat est nécessaire afin de permettre l'optimisation de tels dispositifs. Elle est effectuée par microscopie électronique à balayage (SEM), à transmission (TEM), par diffraction de rayons X, ainsi que par ellipsométrie et mesures par spectrophotométrie.

2. Dispositif expérimental et résultats

Les hétérojonctions étudiées ont été élaborées selon le schéma de la figure 1. Un substrat de silicium cristallin de 250 μ m d'épaisseur est recouvert de chaque côté d'une couche de 3 à 7 nm de silicium amorphe intrinsèque, puis de 30 nm de silicium microcristallin dopé. Une couche de 80 à 90 nm d'oxyde conducteur (ITO) est ensuite déposée comme contact avant, alors que sur la face arrière il s'agit d'une couche de 110 nm d'ITO à laquelle s'ajoute une couche réfléchissante d'aluminium ou d'argent. Les couches de silicium ont été déposées par plasma à très haute fréquence alors que l'ITO et l'aluminium l'ont été par pulvérisation cathodique. Cette configuration a été déposée sur deux types de substrats: un silicium cristallin plan, puis un silicium cristallin microstructuré par attaque chimique préférentielle. La présence d'une fine couche amorphe intrinsèque entre les deux couches respectivement dopées n et p sert à passer les liaisons pendantes à la surface du silicium monocristallin. Cette passivation permet d'éviter des pertes de porteurs libres par recombinaison à l'interface. L'intérêt de la microstructuration réside dans le fait que la surface réfléchissante est réduite et la capture lumineuse augmentée par la forme de la structuration ce qui conduit à une augmentation du courant produit. Cependant, des altérations de la déposition des couches sont suspectées en raison de la morphologie du substrat.

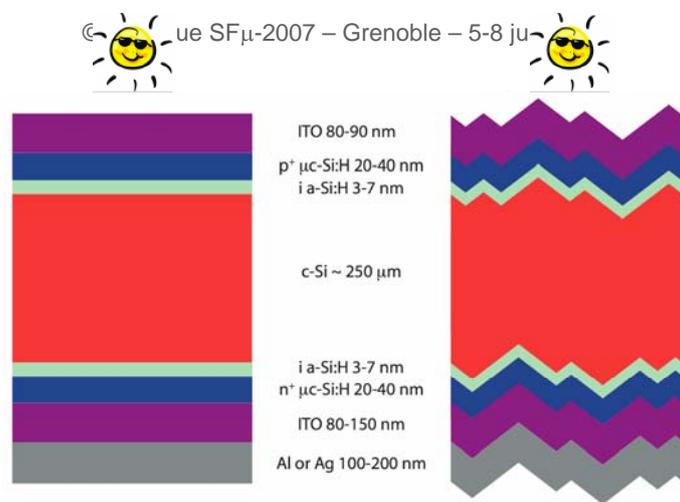


Figure 1 –Gauche: Schéma d'une cellule plane. Droite: Schéma d'une cellule microstructurée

Les deux types d'échantillons ont été observés sur un SEM Philips x130s puis sur un TEM Philips CM300 en coupe transverse. Ces dernières ont été préparées par la méthode des coins clivés pour les échantillons plans. En revanche, afin de cibler les régions d'intérêt pour les échantillons microstructurés, les lames TEM ont été préparées par faisceau d'ions focalisés (FIB).

Les observations en TEM haute résolution des cellules planes ont vérifié la structure amorphe de la couche intrinsèque, son épaisseur. Dans un cas, un début de croissance cristalline a été observé, mais n'a pu être reproduit. En effet, selon [1], la température du substrat pourrait induire une croissance épitaxiale du silicium. Néanmoins, les installations de déposition utilisées ne disposant pas de contrôle en température du substrat, un recuit additionnel à plus haute température que celle de dépôt du silicium amorphe a été effectué sans toutefois montrer un début de recristallisation.

Les analyses SEM des faciès de rupture des échantillons plans ainsi que des échantillons microstructurés montrent que la couche d'ITO présente une croissance granulaire d'abord, puis colonnaire (figure 2). De plus, la déposition des couches sur les pyramides semble d'épaisseur homogène. Cependant, les observations en haute résolution par TEM montrent que la couche d'ITO est plus épaisse au fond des vallées séparant les pyramides. Par contre, la nature de la croissance est confirmée.

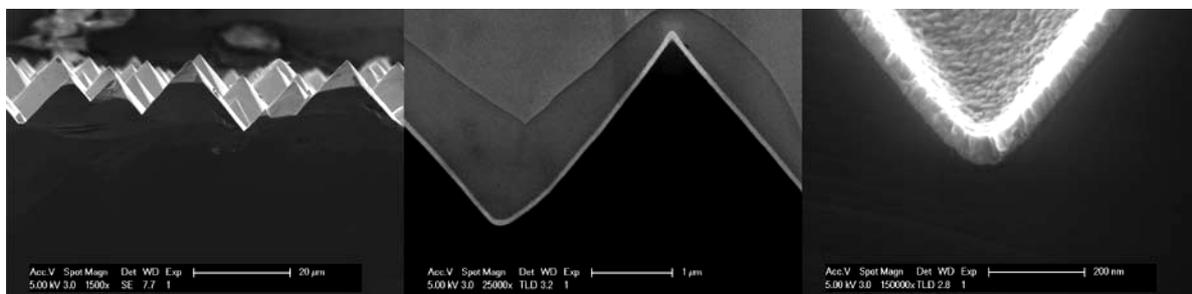


Figure 2 –Micrographies SEM de cellules microstructurées. Gauche: vue générale. Milieu: x-section découpée par FIB. Droite: Faciès de rupture.

3. Conclusion

La microstructure d'hétérojonctions Si amorphe/Si cristallin sur supports plans et microstructurés a pu être caractérisée par SEM et par HR-TEM. Les résultats montrent que la couche intrinsèque de Si amorphe a les caractéristiques attendues, de même que la couche de Si microcristallin, mais que la couche d'ITO présente d'une part une croissance différenciée en fonction de l'épaisseur, et d'autre part qu'elle n'est pas d'épaisseur homogène dans le cas de substrats microstructurés.

4. Références

- [1] Fujiwara et al, *Interface structure in a-Si:H/c-Si heterojunction solar cells characterized by optical diagnosis technique*, Proceedings of 2006 Hawaii, IEICE and SITA Joint Conference on Information Theory (2006)