Etude d'un empilement SiO_x/SiN pour la passivation et la réflectivité de la face arrière des cellules en couches minces de silicium cristallin

Félix Gérenton[1], Fabien Mandorlo[1], Marine Le Coz[1], Krystian Cieslak[2], Alain Fave[1], Mustapha Lemiti[1]

[1]*Université de Lyon ; Institut des Nanotechnologies de Lyon INL - UMR5270, CNRS ; INSA Lyon ; Villeurbanne, F-69621, France*

[2]*Politechnika Lubelska, 20-618 Lublin, Poland*

Les cellules solaires en couches minces de silicium requièrent diverses adaptations par rapport à leurs homologues d'épaisseur standard afin de conserver un rendement de conversion élevé. Notamment, la passivation de surface et le piégeage optique sont plus critiques et se doivent d'être optimisés pour cette application. Ainsi, la face arrière de la cellule se voit contrainte à être à la fois fortement réfléchissante afin d'améliorer la photogénération via le piégeage optique, et fortement passivante, les recombinaisons de surface devenant prédominantes par rapport au volume dans une cellule dont l'épaisseur, et donc le volume, sont réduits. A ces contraintes induites par la physique de la cellule s'ajoutent des contraintes industrielles, et notamment la possibilité de réaliser des cellules de type PERC (Passivated Emitter Rear Contact) en prenant le contact en face arrière en pratiquant des ablations localisées au laser sur le miroir. Ce travail se concentre donc sur la réalisation d'un miroir en face arrière répondant à ces critères, pouvant ainsi mener à la réalisation de cellules solaires en couches minces de silicium cristallin à haut rendement de conversion.

Classiquement, le problème de la face arrière peut être résolu par un empilement de couches minces de SiO_x/SiN par PECVD [1], ou bien SiO_2 par voie thermique suivi de SiN par PECVD [2], avec dans les deux cas un dépôt de métal après ouverture pour les contacts. Cet empilement est efficace pour la réflexion et la passivation, mais pose des problèmes pour l'ablation laser : l'oxyde stœchiométrique est transparent aux différents lasers, y compris les lasers ultraviolets à 355 nm utilisés pour ce type d'opération. Ainsi, l'ablation laser ne peut se pratiquer que de manière indirecte, en induisant une pression de vapeur sur la couche d'oxyde par la chauffe du substrat silicium. Cette opération, sur un laser classique travaillant avec des impulsions de l'ordre de la nanoseconde, endommage le silicium et réduit la durée de vie des porteurs minoritaires en surface du contact [3]. Dans cette étude, ce problème est traité en remplaçant la couche d'oxyde stœchiométrique par un oxyde sub-stœchiométrique (SiO_x, $x<2$) déposé par PECVD.

Dans un premier temps, des couches de SiO_x de différents indices sont réalisées, et leurs indices optiques sont mesurés, permettant d'établir la réflectivité d'un empilement SiO_x/SiN/Al. Les couches de bas indices, proches du SiO_2 stœchiométrique, améliorent la réflectivité mais sont transparentes au laser. A l'inverse, les couches d'indice élevé permettent l'ablation directe mais sont trop peu réfléchissantes pour être intéressantes. Un indice optimal doit donc être trouvé pour satisfaire au mieux les deux critères. Ensuite, l'ablation laser est étudiée en réalisant des impacts sur des couches de SiO_x de différents indices intéressants du point de vue de la réflectivité à l'aide d'un laser nanoseconde fonctionnant à 355 nm, en mesurant la profondeur des impacts au profilomètre (Figure 1) et en réalisant la cartographie de la durée de vie des porteurs minoritaires sur la surface d'un wafer ayant subi l'ablation. L'indice le plus faible permettant l'ablation donne aussi un empilement SiO_x/SiN/Al d'une réflectivité comprise entre 85 et 95% dans tout le visible et le proche infrarouge. Finalement, le niveau de passivation est mesuré via la durée de vie des porteurs minoritaires dans un wafer float-zone passivé symétriquement par l'empilement SiO_x/SiN. Les résultats donnent des valeurs encourageantes de vitesse de recombinaison de surface, en-dessous de 50 cm/s pour le type p et 15 cm/s pour le type n.

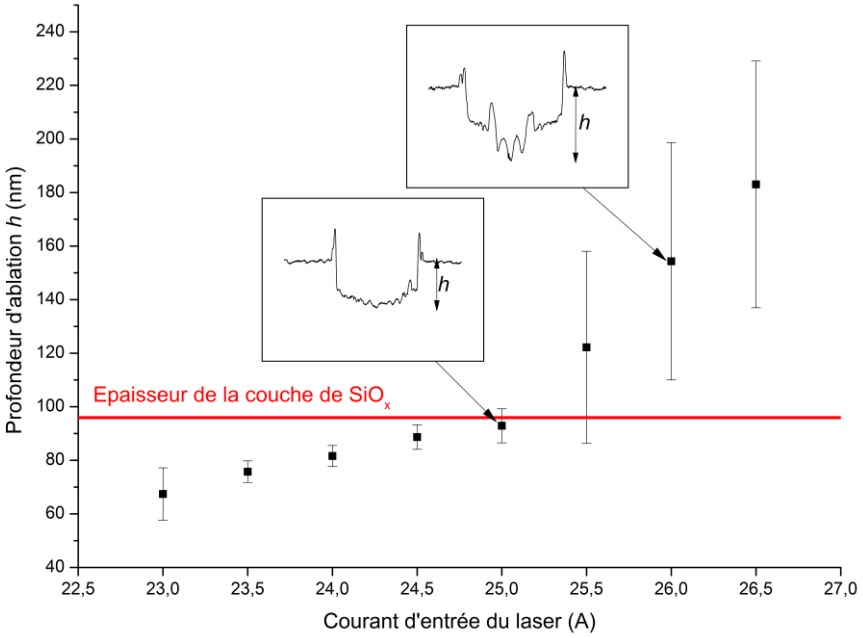

Figure 1. Profondeurs d'ablation laser mesurées au profilomètre sur une couche de SiO_x avec différents courants d'entrée du laser, avec statistique réalisée sur 10 ablations identiques. En encart : profils d'ablation correspondant à deux fluences laser différentes.

[1] G. Dingemans et al., « Effective passivation of Si surfaces by plasma deposited SiOx/a-SiNx:H stacks », Appl. Phys. Lett., vol. 98, p. 222102, 2011.

[2] J. Schmidt et al., « Surface passivation of silicon solar cells using plasma-enhanced chemical-vapour-deposited SiN films and thin thermal SiO2/plasma SiN stacks », Semicond. Sci. Technol., vol. 16, p. 164, 2001.

[3] P. Engelhart et al., « Laser ablation of SiO2 for locally contacted Si solar cells with ultra-short pulses », Prog. Photovolt: Res. Appl., vol. 15, p. 521, 2007.