



Laser picoseconde hybride à haute énergie pour le traitement des cellules solaires

A. Bertrand, J.B. Lecourt, D. Lekime, Y. Hernandez

Introduction

Les dispositifs à énergie renouvelable représentent un intérêt évident, dans notre monde où les ressources fossiles s'épuisent et nuisent à l'environnement. Les modules photovoltaïques sont déjà répandus mais les recherches continuent pour améliorer leurs capacités d'intégration et leur rendement. Un module solaire est formé à partir de cellules photovoltaïques connectées en série. En outre, une cellule photovoltaïque se présente généralement sous la forme d'une fine plaque d'une dizaine de centimètres de côté, composée d'une superposition de différents matériaux déposés sur un substrat, qui peut être rigide ou flexible. Les couches conductrices sont isolées les unes des autres, mais nécessitent d'être connectées afin de récolter l'électricité produite par l'effet photovoltaïque. La figure 1 montre la coupe transverse simplifiée d'une cellule solaire de type CIGS (couche mince polycristalline).

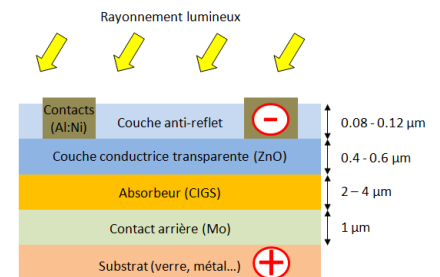


Figure 1. Cellule CIGS

Problématique des interconnexions

Les couches conductrices nécessitent d'être gravées durant la fabrication de la cellule afin de réaliser les connexions électriques permettant de récolter l'électricité produite. Trois étapes appelées P1, P2, et P3 se succèdent : P1 permet la gravure du contact arrière (Mo), ensuite la couche active CIGS est déposée puis gravée à son tour lors de l'étape P2. Enfin, la couche conductrice transparente TCO (Transparent Conductive Oxide) est déposée et gravée (P3).

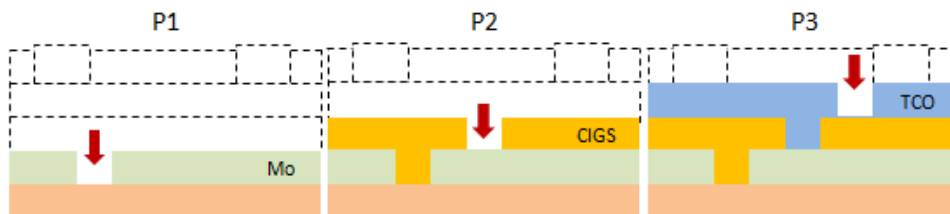


Figure 2. Etapes de réalisation des gravures (P1, P2 et P3)

Ces gravures ne contribuent pas à la production d'électricité, et doivent donc être réalisées de façon à minimiser leur impact sur l'efficacité de la cellule solaire. L'industrie solaire demande donc des gravures de haute précision (largeur de l'ordre de la dizaine de micromètres), à moindre coût, avec un fort rendement de production.

Traditionnellement, cette phase de la production fait appel à des méthodes mécaniques ou chimiques. Or, l'ablation sélective par laser impulsif permet d'atteindre de meilleurs résultats. Dans le cas d'un traitement par laser d'un composant multicouche, l'ablation sélective consiste à trouver les meilleurs paramètres laser (durée impulsion, taux de répétition, longueur d'onde...) pour enlever la matière sans dégrader la couche du dessous. Certains fabricants de cellules utilisent déjà des lasers (le plus souvent en régime nanoseconde), avec une vitesse de production maximale de 2 m/s pour P1.

Un inconvénient de la technique laser est la gestion des effets thermiques qui peuvent entraîner la dégradation de l'efficacité de la cellule finale. Ces effets thermiques sont directement liés à la durée d'impulsion du laser. L'utilisation de lasers nanoseconde entraîne l'apparition d'effets thermiques indésirables, il est alors nécessaire de considérer des impulsions plus courtes. Le laser femtoseconde apparaît comme le candidat idéal mais son coût reste l'inconvénient majeur. Le laser picoseconde apparaît alors comme un bon compromis.

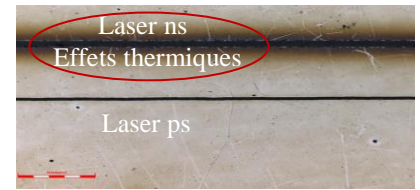


Figure 3. Effets thermiques (ns vs ps)

Le projet LASHARE

MULTITEL (centre R&D, Belgique), LASEA (concepteur de machines de production laser, Belgique), et SSE (Solar Systems & Equipment, producteur de cellules solaires, Italie) se sont associés dans le cadre du projet européen LASHARE, afin de réaliser un démonstrateur innovant d'usinage de cellules solaires sur base d'un laser picoseconde à haute énergie développé par MULTITEL. Un nouveau dispositif de scanner développé par LASEA associe une tête galvanométrique et deux platines de translation afin de traiter des cellules de 50x50 cm². Des cellules CIGS sur substrat solide (verre ou céramique) et flexible (métal Ni) sont utilisées. Les objectifs sont de réaliser une largeur de gravure de 30 µm avec une vitesse de production de 4 m/s pour P1.

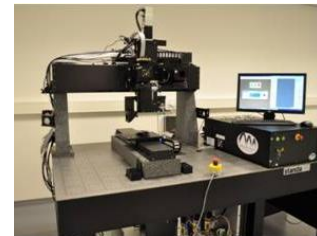
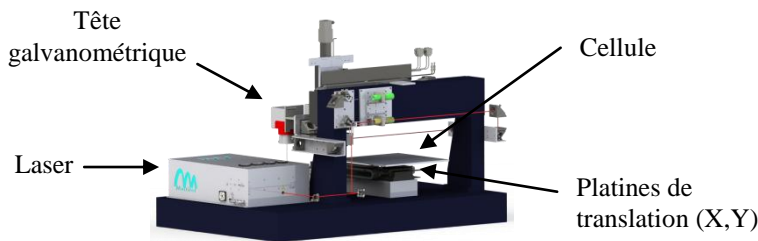


Figure 4. A droite : CAO du système final ; A gauche : installation à LASEA

Le laser est composé d'une structure MOPA (Master Oscillator Power Amplifier), dans laquelle l'oscillateur à verrouillage de modes est entièrement fibré (avantage de maintenance et compacité). Le dernier étage d'amplification est basé sur un cristal Nd:YVO₄. Le laser fonctionne dans l'infra rouge ou dans le vert (après conversion de fréquence à 532 nm), selon le matériau à ablater. L'utilisateur peut, via logiciel, choisir le taux de répétition du laser (50 kHz, 100 kHz, 150 kHz, ou 200 kHz). La durée d'impulsion est de 25 ps, avec une énergie maximale par impulsion de 114 µJ (50 kHz, 1064 nm), correspondant à une puissance crête de 4.5 MW. La sortie du laser est en espace libre ($M^2 < 1.3$), et injectée dans le système d'usinage. Les paramètres laser et d'usinage sont modifiés selon un plan d'expérience précis.

SSE fournit les cellules photovoltaïques et a défini les tests de validation fonctionnels des cellules finales à chaque étape P1, P2, et P3. La présence de dépôts est vérifiée par analyse EDX. La largeur de gravure et la résistance entre deux bords sont mesurées. Le critère de résistance doit être supérieure à 1 MΩ pour P1, inférieure à 0.1 Ω pour P2, et supérieure à 1 kΩ pour P3, tous les cm. La dernière étape consiste à valider la caractéristique I-V de la cellule finale sous simulateur solaire.

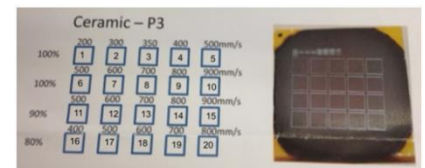


Figure 5. Exemple d'échantillon final

Conclusions et Perspectives

Quelque soit le substrat (verre, céramique, métal flexible), P1 P2 et P3 présentent une largeur d'ablation de 30 µm sans résidus. Les cellules finales ont montré des rendements équivalents à des cellules de référence. La vitesse du procédé P1 atteinte est de 5 m/s avec une résistance mesurée supérieure à 40 MΩ. Pour P2 et P3, la vitesse maximale obtenue est de 0.7 m/s. En conclusion, les objectifs du projet ont été atteints, et ont permis d'augmenter d'un facteur 2.5 la vitesse de P1 de façon reproductible. De nouvelles recherches consistent à utiliser des procédés de contrôle en ligne avec rétro action sur le laser et le système d'usinage en Z, afin d'améliorer la qualité de l'ablation de façon automatisée.

Remerciements

Les auteurs remercient le support du projet européen FP7 LASHARE (Grant agreement 609046, Laser equipment ASessment for High impAct innovation in the manufactuRing European industry, www.lashare.eu).