

# Utilisation des plasmas froids dans les technologies photovoltaïques

Jean-Pierre Joly

CEA LITEN (INES) - Institut National de l'Energie Solaire  
50 Avenue du Lac Léman, 73375 Le Bourget du Lac, France.  
courriel : [jean-pierre.joly@cea.fr](mailto:jean-pierre.joly@cea.fr)

Les plasmas froids sont désormais indissociables des technologies photovoltaïques. Ils ont contribué et continuent à contribuer de façon significative à l'amélioration des rendements de conversion tout en satisfaisant aux critères de « manufacturabilité » de grand volume indispensables pour ce type d'industrie.

Ce sont principalement les dépôts chimiques en phase vapeur assisté par plasma (« PECVD : Plasma Enhanced Chemical Deposition ») qui sont utilisés industriellement.

La gravure du silicium par des procédés plasma pour texturer la surface (diminution de la réflectivité) a aussi été étudiée dans les laboratoires et ceci, surtout depuis une dizaine d'année, mais elle n'a pas pu à ce jour être substituée à la gravure chimique au niveau industriel.

Deux types de couches déposées par PECVD sont utilisés et ont été fortement étudiées : les nitrures de silicium pour les couches antireflet et les couches de silicium hydrogénée (silicium amorphe, silicium micromorphe ou silicium microcristallin). Il y a deux types d'utilisation pour ces dernières : couches absorbantes (couche dans laquelle s'effectue la photo-génération des porteurs) dans les cellules couche mince, ou couche d'émetteur dans les cellules sur silicium cristallin de type hétérojonction.

Dans les deux cas différents modes et différentes fréquences d'excitation ont été étudiées. Mais c'est pour l'instant la fréquence 400 kHz qui a été retenue. Elle permet une bonne maîtrise des paramètres de dépôts et d'uniformité et une bonne qualité des couches avec un bombardement faible de la surface.

Dans les deux cas la dissociation des molécules ( $\text{SiH}_4 + \text{NH}_3$  dans le premier cas et  $\text{SiH}_4$  dans le second) activent le processus d'absorption et de condensation des espèces sur la surface.

Cette technique de dépôt allie deux intérêts majeurs pour le photovoltaïque :

- Des vitesses de dépôt significatives tout en restant à basse température (entre 200 et 400°C) ;
- L'insertion d'une forte proportion d'hydrogène de façon maîtrisable dans les couches.

Cette présence d'hydrogène est essentielle du point de vue du rendement de conversion que ce soit pour le nitrure de silicium ou le silicium couche mince, car l'hydrogène a une forte affinité pour le silicium et l'azote vient donc créer une liaison N-H ou Si-H pour toutes les liaisons pendantes.

Ceci a pour effet de profondément transformer les propriétés électroniques des matériaux et des interfaces en diminuant de façon très significative la recombinaison des porteurs photo-générés.

A titre d'exemple, les dépôts de silicium amorphe déposés par PECVD sur silicium permettent d'obtenir les plus faibles recombinaisons de surface (tension de circuit ouvert record de 745 mV<sup>1</sup>) et ceci a permis récemment de battre le record de rendement des cellules silicium à 25,6% (PANASONIC, pas encore publié dans un journal scientifique).

---

<sup>1</sup> Mikio Taguchi et al, IEEE J. Photovoltaics, 4, January 2014