



# L'usinage du silicium cristallin destiné aux cellules photovoltaïques

Jean Michel PALLAS (LY GPM 79)

Test and Prototyping Manager – R&D center – Applied Materials Switzerland



## AMAT

Applied Materials (AMAT) est le leader mondial dans la fourniture d'équipements à fort contenu innovant, permettant la fabrication de semi-conducteurs, des écrans plats et les produits solaires photovoltaïques. Nos technologies permettent d'innover constamment pour obtenir des panneaux solaires plus abordables et accessibles aux consommateurs et aux entreprises du monde entier.

## L'INDUSTRIE SOLAIRE

Le marché du solaire connaît une croissance record dans tous les segments de marché et les estimations actuelles indiquent une capacité installée de 40-45 GW en 2011 et une croissance des capacités de production vers 30-60GW au cours des 3 prochaines années. AMAT, qui reste le premier fournisseur d'équipements solaires, a connu une année record de ses ventes malgré la crise économique mondiale. Deux principales tendances sont apparentes dans le marché du solaire :

- 1) les coûts ont baissé de façon spectaculaire, ce coût moyen actualisé de l'électricité approche 15c/kwh dans de nombreux marchés.
- 2) Il y a eu un transfert des fabrications en Chine pour atteindre ces objectifs de coût.

L'avenir d'une usine solaire à base de silicium cristallin (c-Si) est déterminé par quatre éléments clés : un rendement de fabrication et d'utilisation de matière plus élevé (des wafers plus fins), une plus grande efficacité des cellules, et une automatisation de pointe.

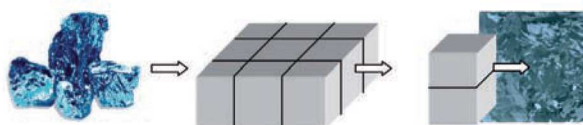
## LE BESOIN

L'adoption du photovoltaïque (PV) est largement déterminée par la capacité de l'industrie à faire baisser le coût par watt. Pour les cellules c Si, le lingot cristallisé de matières premières de silicium et le coût de découpe en plaquettes (wafers) réunis représentent au total plus d'un tiers du coût total du module photoélectrique. De ce fait la réduction des coûts de production par une meilleure utilisation des matières premières est une préoccupation majeure pour les fabricants de systèmes photovoltaïques. En outre, en raison de la croissance rapide du

marché, la quantité de silicium utilisé pour les cellules photovoltaïques a maintenant dépassé celle de la production de circuits intégrés, avec une prépondérance de la matière première et de la réduction de coûts. Par conséquent, le développement de technologies pour la découpe de plaquettes plus minces - à la fois pour minimiser la quantité de silicium utilisée par plaquette ainsi que le silicium perdu lors de la découpe des plaquettes, est essentielle pour faire baisser le coût du watt solaire.

## LE PROCESSUS DE REALISATION DES CELLULES

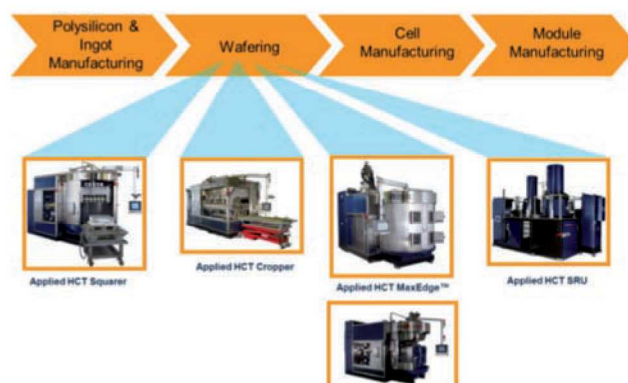
Après la cristallisation du silicium sous forme de lingots, le débitage et le tranchage des lingots en briques sont les étapes de fabrication des substrats (« wafer ») pour la fabrication des cellules solaires dans l'industrie photovoltaïque.



Silicium cristallin Lingot de silicium Brique de silicium Plaquettes (wafers)  
Principales étapes de la fabrication des plaques minces de silicium multi-cristallin

Cette étape de la fabrication est décisive, puisque l'on doit découper des milliers de plaques minces (quelques centaines de microns d'épaisseur) avec un bon état de surface.

Les problèmes de fabrication sont complexes, principalement en raison des exigences minimum de perte de matière pendant le tranchage, un minimum de dommages à la surface des plaquettes (microfissures), des défauts de géométrie minimum (épaisseur, variation d'épaisseur), les taux de production élevés et les rendements, et les impacts sur les processus d'usinage minimum en aval. Actuellement, la technique du Multi-Wire Slurry Saw (MWSS) est la technologie de pointe pour l'usinage de haute précision de fines plaquettes de grande section.





## LA TECHNOLOGIE DU SCIAGE A FIL

Le principe de cette technique consiste à utiliser un fil d'acier de diamètre compris typiquement entre 120 et 140 microns, fourni par une bobine émettrice et enroulé plusieurs centaines de fois sur quatre rouleaux (guide fils) dont la surface est gravée de sillons permettant le guidage des fils formant ainsi une nappe horizontale de fils parallèles. Ce fil, entraîné par les guide fils à une vitesse d'une dizaine de mètres par seconde sert de véhicule à une barbotine abrasive (appelée « slurry ») déversé sur la nappe qui coupe et rode le bloc de silicium qui est forcé à travers la nappe. La figure suivante illustre le principe du procédé, montrant les quatre guide-fil supportant la nappe, les bobines émettrice et réceptrice de fil, et une brique de silicium traversant cette nappe.

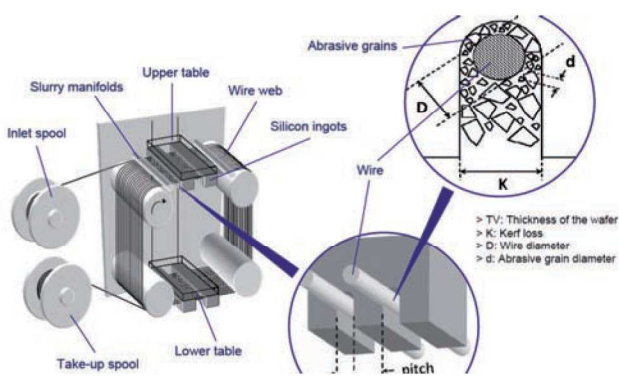
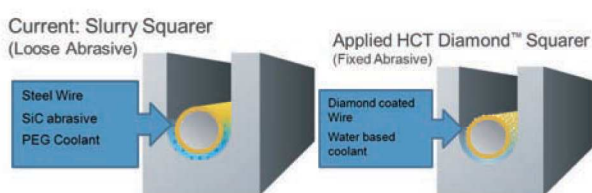


Schéma de principe de la découpe dans une scie à fil

Les grains d'abrasif (carbure de silicium) sont emprisonnés entre le fil et le bloc de silicium, ils enlèvent ainsi des fragments de matière par abrasion, les fragments étant évacués ensuite par le slurry. L'épaisseur des plaques est déterminée par le pas des guide-fils de la nappe.

Ce procédé permet d'obtenir des milliers de plaques en une seule opération avec un très bon état de surface et une perte de matière due aux traits de découpe minimisée.



## L'EVOLUTION ET LES PERSPECTIVES DE DEVELOPPEMENT

L'idée de la découpe des matériaux avec un fil en mouvement ou le câble humidifié avec une solution abrasive est au moins aussi vieille que les anciens Egyptiens, il y a 4000 ans. Dans le milieu des années 80, l'industrie photovoltaïque a été confrontée à la nécessité de produire des plaquettes avec un minimum de pertes de matières premières et une cadence augmentée. En 1983, la technologie de découpe des plaquettes pour 200 microns d'épaisseur des plaquettes était en cours d'élaboration, mais les lignes de production wafering à cette époque n'étaient pas prêtes pour ces tranches de silicium minces.

Les premières machines pour des applications de fabrication de wafers MWSS PV ont été introduites sur le marché dès le milieu des années 1980, par la société HCT Shaping Systems

Suisse (rachetée récemment par AMAT). Actuellement, la totalité de la découpe du silicium pour les secteurs PV et semi-conducteurs est réalisée au moyen de la technologie MWSS.

Au cours des 10-15 dernières années, l'épaisseur de la tranche pour les cellules PV a été réduite d'environ 50%, à partir de 330 microns à aujourd'hui 180-220 microns d'épaisseur. Durant la même période de temps, le diamètre du fil a été réduit de 180 à 120 microns. De plus, la productivité des outils MWSS ont été grandement améliorées par un facteur de 2-5 fois atteignant 500 wafers de 156X156 mm<sup>2</sup> par heure.

Par ailleurs des recherches et essais sont en cours pour utiliser un abrasif fixé au fil (et non libre comme dans le cas de la barbotine abrasive) et de l'eau comme liquide de coupe. Ceci permettra d'atteindre des vitesses de coupe encore supérieures.



## CONCLUSION

Aujourd'hui le MWSS est une technologie mature pour le tranchage haute précision de matériaux durs comme le silicium utilisé pour la fabrication des cellules PV. L'introduction de la MWSS au milieu des années 1980 a fortement contribué à l'essor du marché photovoltaïque en permettant d'une part de réduire les pertes de matière première dues au sciage (trait de scie) et d'autre part la production à haute cadence des substrats de cellules PV.

La technologie MWSS, en diminuant la quantité de matière première nécessaire pour produire de l'électricité solaire, en augmentant la productivité, permet aujourd'hui d'entrevoir la parité avec les prix de l'électricité conventionnelle dans un avenir très proche. ■