

Les panneaux photovoltaïques à couche mince de silicium d'Inventux: Une alternative intéressante pour les pays du Maghreb

STANZEL Jörg, DAVID Clément et THOMAS Nadjia

Inventux Technologies AG

E-mail: joerg.stanzel@inventux.com

En raison d'un ensoleillement favorable, l'utilisation de la technologie photovoltaïque comme moyen de production d'électricité convient remarquablement bien aux pays du Maghreb. La forte baisse des prix des modules photovoltaïques, ces dernières années permet dès maintenant une production d'électricité compétitive sur place. Nombreuses technologies photovoltaïques sont disponibles aujourd'hui. Les plus connues sont probablement les modules à base de silicium polycristallin, qui occupent aujourd'hui encore la plus grande partie de marché photovoltaïque. Moins connus sont les modules à couche mince, qui sont souvent décrits comme des modules photovoltaïques de deuxième génération. La société allemande 'Inventux Technologies AG' est un fournisseur de systèmes photovoltaïques avec sa propre production. L'entreprise créée en 2007 a mis en service la première chaîne de production des modules photovoltaïques à couche mince micromorphes en Europe.

La technologie utilisée par Inventux offre plusieurs avantages:

- Les panneaux ne contiennent pas de matériaux toxiques ou nuisibles à la santé.
- L'absence de matières premières rares évite des coûts de production menacés par des pénuries de matériaux sur les marchés.
- Même une capacité de production annuelle réduite permet d'obtenir des coûts de production compétitifs.
- Le plus grand potentiel de réduction des coûts via un accroissement de la capacité de production annuelle.
- La facilité d'installation et de maintenance d'une chaîne de production avec une intégration verticale élevée.
- La production peut être réalisée avec un nombre d'étapes de production réduit

En raison de ces avantages, la technologie photovoltaïque à couche mince de silicium maîtrisée par 'Inventux' est très intéressante pour les pays du Maghreb, qui suivent des plans ambitieux pour le renforcement des énergies renouvelables.

Par la suite, nous vous donnons un aperçu de cette technologie et des étapes de production des panneaux solaires.

Propriété des modules d'Inventux

La figure 1 montre un module photovoltaïque de la série X d'Inventux. Le module est constitué essentiellement d'un verre feuilleté (comparable au verre de sécurité feuilleté). Cette encapsulation garantit une longue durée de vie et rend inutile l'utilisation d'un cadre. L'absence de cadre a pour avantage une diminution significative de la surface d'attaque de la neige, la poussière ou du sable.



Figure 1 . module photovoltaïque de la série X d'Inventux

Les couches actives nécessaires à la conversion de la lumière en énergie électrique sont directement déposées sur le verre avant. L'intégration coûteuse de cellules photovoltaïques à base de wafer de silicium comme dans le cas des modules cristallins n'est plus nécessaire. Il est ainsi possible de réaliser des modules avec design attractif et une apparence homogène.

Les couches semi-conductrices actives des modules micromorphes d'Inventux sont une structure tandem de silicium amorphe et microcristallin (Figure 2). Cette combinaison permet d'utiliser une plus grande partie du spectre solaire, que dans le cas des panneaux photovoltaïques, qui comportent seulement une couche de silicium amorphe.

Quelques paramètres électriques des panneaux d'Inventux déterminés dans les conditions de tests standards (ensoleillement 1000 W/m², AM1.5 et température 25 °C) sont présentés dans le Tableau 1.

Tableau 1: Paramètres caractéristiques des modules de la série X d'Inventux

			X3-125	X3-130
Puissance maximale (-0/+5 Wp)	Pmax	[Wp]	125	130
Tension à Pmax	Vmpp	[V]	124	125
Courant à Pmax	Impp	[A]	1.01	1.04

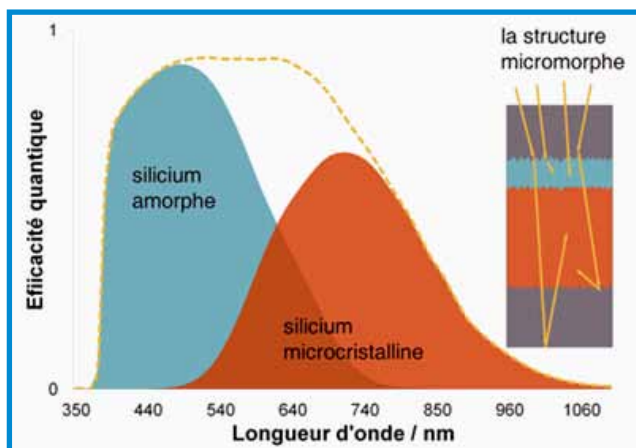
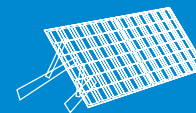


Figure 2 . A gauche- Efficacité quantique en fonction de la longueur d'onde. En utilisant une structure tandem avec une cellule amorphe et une cellule microcristalline, on peut profiter d'une plus grande partie du spectre solaire. A droite- Piégeage de la lumière dans l'électrode avant et arrière

Les conditions environnementales du lieu de l'installation ont une influence non-négligeable sur le rendement annuel des panneaux. Ce rendement est généralement indiqué en kWh par kWp de puissance installée. Un effet, qui peut avoir des conséquences avantageuses sur le rendement annuel dans des conditions climatiques chaudes, est l'effet dit Staebler-Wronski:

La puissance du module se réduit d'environ 8 à 10% pendant les 100-200 premières heures d'opération, suite à son exposition à la lumière avant de se stabiliser. La baisse de la puissance est causée par la création des liaisons de silicium pendantes (non hydrogénées) sous l'action de la lumière dans la couche amorphe. Ces liaisons pendantes agissent comme des défauts ponctuels qui limitent le transport des charges dans le matériau. Lorsque le fournisseur mentionne la puissance des panneaux, cet effet est déjà pris en considération. C'est pourquoi il n'y a aucun désavantage pour le client.

Au contraire, au début de l'opération les modules livrés ne sont pas encore stabilisés et génèrent une puissance initiale plus élevée que celle indiquée sur l'étiquette. En plus, l'effet Staebler Wronski peut être renversé à partir de températures avoisinant les 50-60 °C. Les nombres de liaisons pendantes se réduit et le panneau photovoltaïque peut alors retrouver une grande partie de la puissance initiale.

Des études effectuées en Suisse ont montré que le rendement annuel peut être augmenté d'approximativement 5% pour un fonctionnement en Suisse. Dans les pays du Maghreb, l'effet peut alors se répercuter encore plus fortement sur le rendement. Inventux est actuellement en train de planifier un projet pilote ayant pour but de démontrer le rendement de la technologie micromorphe sur place en Algérie.

Etapes de production

Chez Inventux, la production des modules à couche mince est réalisée en relativement peu d'étapes de production. Toute la chaîne de production se trouve de fait sur un seul site et en comparaison avec les autres technologies, il faut donc très peu d'espace.

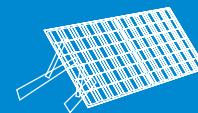
Dans la partie 'frontend', la chaîne de production commence avec les verres avant d'une dimension de 1100 x 1300 mm, qui sont mis sur la chaîne de transport pour être acheminés vers les machines de production. Après le nettoyage des verres, l'électrode avant est déposée en utilisant la technologie LPCVD (dépôt chimique réalisé à basse pression, 'low pressure chemical vapour deposition'). Il faut achever en même temps une transparence élevée et aussi une bonne conductivité pour éviter les pertes par effet joule.

Le matériau ZnO (Oxyde de Zinc) répond parfaitement à ces critères. Formé à partir de vapeur de diethylzinc et d'eau à une température d'environ 200 °C sous vide, il est nécessaire de doper la couche de ZnO au Bore en ajoutant le gaz diborane, lors de la déposition pour atteindre une conductivité suffisamment élevée. Les propriétés du matériel peuvent facilement être optimisées en variant la température et les flux des gaz de processus. Il est aussi possible de contrôler les propriétés de diffusion de la lumière par l'ajustement des paramètres du processus de dépôt. En optimisant la diffusion de la lumière à des grands angles le trajet de la lumière dans le matériel absorbant est allongé (Fig. 2).

La cellule photovoltaïque avant se compose de silicium amorphe déposé après l'électrode avant. Celle-ci est fabriquée par méthode PECVD (dépôt chimique en phase vapeur assisté de plasma, 'plasma enhanced chemical vapour deposition'). En utilisant un plasma, le gaz précurseur silane (SiH4) est décomposé. Le silicium amorphe se comporte comme un semi-conducteur indirect avec une bande interdite d'environ 1.7 eV. L'absorption de la lumière se déroule principalement dans la partie bleue du spectre solaire. En déposant une cellule microcristalline additionnelle avec une bande interdite d'environ 1.1 eV, on peut profiter en plus de la partie rouge.

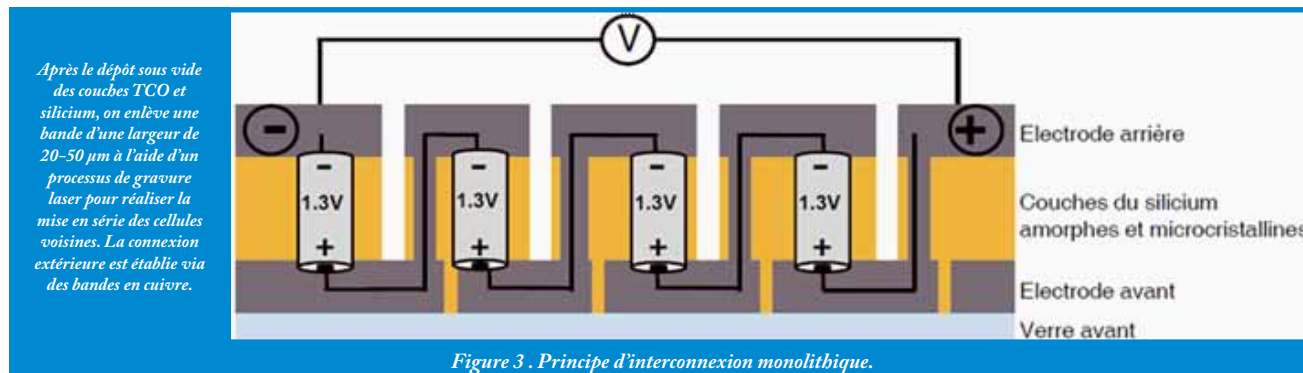
Le silicium microcristallin se comporte comme un semi-conducteur indirect. Les propriétés optiques de l'électrode avant et arrière jouent un rôle très important sur l'efficacité du panneau. On peut réduire l'épaisseur des couches de silicium en optimisant la réflexion de lumière au niveau de l'électrode arrière. On parle aussi du piégeage de la lumière. L'électrode arrière consiste en une couche de ZnO déposé avec la méthode LPCVD, pareil que l'électrode avant.

Pour réduire les pertes par effet joule, il faut diviser le module photovoltaïque en cellules et les mettre en séries. Ainsi, le courant du module est diminué et la tension augmenté. En



utilisant la technologie de structuration Laser, 125 cellules sont mises en série (Figure 3).

production d'électricité dans les pays du Maghreb. Grâce à leur structure relativement simple, les modules sont ro-



La partie de la production 'backend' comportent la pose des bandes de contact, l'élimination des bords à l'aide de Laser, la pose du verre arrière, l'encapsulation, l'ajout des boîtes de jonction et finalement la fixation des profils de sous-construction. Normalement, dans cette partie de production le taux d'automation est plus faible que dans la partie 'front-end'. Il faut donc un nombre plus important d'employés pour exécuter ces tâches.

bustes et bien appropriés au fonctionnement dans les climats chauds.

En comparaison avec la production des panneaux polycristallins, ils peuvent être produits avec un nombre d'étapes relativement faible. Une petite chaîne de production peut fabriquer des panneaux compétitifs. La mise en place d'une chaîne de production sur place présente donc un très grand intérêt.

Bilan

Les modules photovoltaïques à couche mince de silicium d'Inventux proposent une alternative intéressante pour la



Installation d'Inventux