

Les cellules Photovoltaïques au zénith

auteur : Amy Shifflette

research*eu n° 60 - Juin 2009

Les chercheurs du Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems (FhG-ISE), en Allemagne, ont réalisé leur vœu de Nouvel An plus vite que prévu. Dès janvier, ils battaient un record du monde dans le secteur des cellules photovoltaïques à jonctions multiples, avec un taux de conversion de 41,24 %. Ils pensent même pouvoir aller plus loin, grâce aux cellules solaires équipées de structures multi-jonctions métamorphiques. Le Soleil n'a donc pas dit son dernier mot.

Les cellules photovoltaïques (PV) conventionnelles à jonction simple en silicium, suffisantes pour alimenter nos montres et calculatrices, ne sont pas très efficaces pour convertir l'énergie du spectre solaire en électricité. Ces cellules PV industrielles n'en transforment efficacement que 17%, alors que d'autres types de composants vont jusqu'à 25%.

Les recherches s'axent donc sur le développement de cellules PV multi-jonctions. Grâce à une composition plurielle d'éléments, tels l'arséniure de gallium, le phosphore d'indium gallium ou le germanium, ces cellules sont capables de capturer une gamme plus large d'énergie solaire. Une structure à jonction multiple n'est en principe qu'un empilement de cellules à jonction simple, mais du fait de l'utilisation de divers semi-conducteurs, différentes portions du spectre solaire sont converties par chacune des jonctions, avec un rendement plus élevé. L'institut Fraunhofer développe, depuis une décennie, des cellules PV à multi-jonctions métamorphiques, à base de semi-conducteurs des groupes III-V, qui conviennent parfaitement à la conversion électrique de la lumière solaire.

Le point de départ de toute cellule PV réside dans l'emploi d'un semi-conducteur à jonction P-N (¹). La base pour parvenir à un meilleur taux de conversion est l'empilement successif de cellules en divers matériaux, chacun possédant sa propre jonction P-N. C'est avec une cellule composée d'un substrat de germanium, surmonté d'arséniure de gallium, puis de phosphore d'indium gallium en troisième couche, que l'institut Fraunhofer s'est emparé du record mondial en début d'armée. Selon Andreas Bett, responsable du département des cellules solaires, l'idée d'accroître l'efficacité par empilement n'est pas neuve, mais la clé est d'utiliser la bonne technologie, avec des matériaux de haute qualité.

L'astuce : la croissance cristalline métamorphique

Tous les semi-conducteurs sont des matériaux cristallins. Ces structures périodiques sont formées de couches d'atomes séparés par une distance spécifique à l'élément chimique utilisé, appelée « constante de réseau ». La couche inférieure du gâteau est ici en germanium, et si un autre matériau est déposé par-dessus, il doit en principe être compatible avec le

germanium, c'est-à-dire avoir la même constante de réseau. On obtient alors un cristal de grande qualité, qui pose peu de problèmes en matière de conversion solaire. Mais si la constante de réseau diffère, même un peu, des défaillances locales appelées « dislocations » réduisent fortement le taux de conversion.

C'est là que réside l'astuce de la croissance métamorphique de l'institut Fraunhofer, qui a mis au point une couche PV inactive spécifique, appelée couche tampon, dans laquelle sont confinées toutes les dislocations du cristal. C'est seulement par-dessus une telle couche tampon qu'est déposé chaque matériau de nouvelle constante de réseau, ce qui fournit *in fine* un cristal relativement exempt de défauts. Toutes les imperfections sont en effet concentrées dans une région électriquement inactive de la cellule solaire, laissant pures les portions actives.

La croissance cristalline métamorphique utilise un champ plus large de semi-conducteurs III-V dans les cellules PV à jonctions multiples. Pour parvenir à un rendement optimal, le spectre solaire est subdivisé en trois régions de taille équivalente par des matériaux aux propriétés d'absorption appropriées. La combinaison des matériaux métamorphiques $\text{Cr}_{0.35}\text{In}_{0.65}\text{P}$ et $\text{Ga}_{0.83}\text{In}_{0.17}\text{As/Ge}$ est parfaitement adaptée, puisque chacune des sous-cellules de la jonction triple génère la même quantité de courant électrique, ce qui est essentiel pour améliorer l'efficacité de conversion.

Relever à nouveau la barre?

Les chercheurs de l'institut Fraunhofer n'en étaient pas à leur coup d'essai. L'année dernière, ils avaient déjà élevé le record européen de conversion solaire, de 37,6% à 39,7%, en l'espace de trois mois. Le développement des cellules à jonction triple est réalisé dans le cadre du projet *FullSpectrum*, financé par le 6^{ème} programme-cadre et initié en 2003. Les scientifiques ont commencé leurs recherches avec un rendement de 32 % pour atteindre 35 à la clôture du projet, en septembre 2008.

En se basant sur ces résultats, Andreas Bett pense qu'une efficacité de 42 % à 43 % est raisonnablement accessible dans un futur proche.



«La prochaine étape est l'addition de jonctions supplémentaires. En allant jusqu'à 5 ou 6 jonctions, nous pourrions peut-être nous approcher des 50%. Mais cela requiert le développement de nouveaux matériaux, ce qui prendra encore un certain temps.» Par ailleurs, les cellules PV à jonctions multiples de semi-conducteurs III-V sont déjà en phase de production industrielle. En fait, la technologie mise au point par l'Institut Fraunhofer a été transférée à son partenaire privé,

AZUR Space SolarPower, situé à Heilborn (DE). L'entreprise, ancien participant du projet *FullSpectrum*, est sur le point de produire ces cellules PV en grande quantité.

«Nous sommes convaincus que nos cellules donneront naissance à une technologie PV à concentration plus compétitive et qu'elles permettront à l'avenir une diminution des coûts de production de l'électricité d'origine solaire», conclut Andreas Bett.

ÉNERGIES RENOUVELABLES

Un brillant avenir

Le record de conversion n'est pas la seule bonne nouvelle dans le secteur photovoltaïque. En dépit de sombres prévisions économiques, les fabricants de panneaux solaires contribuent à aider l'UE à atteindre son objectif de 20% d'énergie renouvelable à l'horizon 2020. En Allemagne, le chiffre d'affaires du secteur s'élevait, en 2007, à 5,7 milliards €, avec plus de 100 000 foyers équipés de panneaux solaires. En décembre 2008, le Photovoltaics Status Report, publié par le Centre Commun de Recherche (CCR) de la Commission, suggère que le taux de croissance annuel de production d'énergie solaire s'élève en moyenne à 40%, au cours des cinq dernières années.



Sur une production mondiale de 10 milliards de KWh d'électricité issue de systèmes PV, la moitié provient de l'Union, avec comme effet bénéfique une diminution du rejet de CO₂ de quatre millions de tonnes par an. Cependant, l'énergie solaire ne correspond, en Europe, qu'à 0,2 % de la consommation totale d'électricité. Les perspectives des technologies PV n'en restent pas moins encourageantes, surtout si elles sont accompagnées de progrès techniques et de mesures d'incitation les rendant plus rentables. En 2010, la valeur du marché devrait atteindre 40 milliards €, ce qui entraînerait une baisse des prix pour les consommateurs.

www.jrc.ec.europa.eu

À la pointe

Depuis sa création, Israël est un exemple d'intégration réussie des énergies renouvelables. Dès 1967, un foyer sur 20 voyait son eau chauffée par l'énergie solaire, et avec la crise pétrolière de 1970, ce rapport est monté à 90%. La technologie PV y concurrence réellement l'énergie fossile, d'autant plus qu'elle est maintenant obligatoire pour tout nouveau bâtiment construit dans le pays. Les économies d'échelle et la prise de conscience ont conduit à une réduction substantielle des coûts. Le retour sur investissement est d'environ trois à quatre ans. L'année dernière, l'Unité de service public israélien a fixé un tarif de rachat de l'électricité produite par les installations solaires. Dans le cadre de ce régime tarifaire, les entreprises de service public sont tenues d'acheter l'électricité renouvelable au-dessus des taux du marché établis par le gouvernement. Un meilleur prix permet ainsi de compenser les inconvénients liés au coût initial de l'installation.

Une oasis d'énergie verte... dans le désert?

Juste en dehors de l'agitation de la ville d'Abou Dhabi, dans les Émirats Arabes Unis, s'élèvera d'ici peu la ville de Masdar—«la source», en arabe. Le fonctionnement de la cité reposera entièrement sur l'énergie solaire et d'autres énergies renouvelables, avec des émissions et une production de déchets proches de zéro. Commencée en 2006, avec un coût estimé à 22 milliards de dollars, la ville couvrira 6 kilomètres carrés et abritera quelque 50 000 habitants. Parmi diverses innovations, la ville comptera une grande centrale solaire avec, sur les toits, des panneaux PV pour fournir de l'énergie supplémentaire, ainsi qu'un parc éolien situé en dehors des murs de fortification censés protéger Masdar du vent chaud du désert. Les responsables du projet, soutenus par l'organisation environnementale WWF, ont aussi l'intention de mettre à profit les possibilités d'alimentation géothermique et en hydrogène.

www.masdaruae.com/