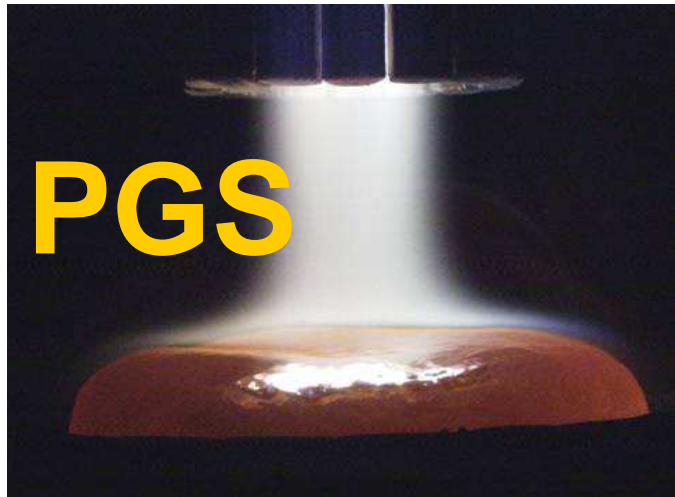


Silicium PGS

Vers la révolution des panneaux solaires



Avant toute utilisation, le silicium doit être épuré. Or, les méthodes divergent

Fabriquer un silicium précisément adapté aux capteurs photovoltaïques : tel est l'exploit d'un procédé qui promet de réduire leur prix... d'un tiers. De quoi relancer la filière !

Inépuisable, vertueuse, propre, durable : l'électricité solaire possédait jusqu'à présent toutes les qualités... sauf une : son prix. De 40 à 60 centimes d'euro, le kilowattheure solaire restait dix fois plus cher que son équivalent nucléaire. Certes, les pouvoirs publics peuvent encourager, par des subventions, l'achat de panneaux. Il n'empêche ! La compétitivité des capteurs photovoltaïques chargés de convertir la lumière solaire en courant demeure, jusqu'ici, faible. Or, cette époque est peut-être révolue. Car une équipe de chercheurs et d'industriels (1) vient de mettre au point PhotoSil, un tout nouveau procédé de fabrication du silicium, le matériau semi-conducteur à la base des panneaux solaires. Celui-ci pourrait diviser par trois les coûts de production du silicium et ainsi réduire d'un tiers le prix final des panneaux. Pas de quoi rivaliser avec le nucléaire, mais assez pour envisager une électricité solaire accessible sans subvention.

Tout est parti d'un constat assez simple : "Si l'électricité solaire est chère, c'est d'abord parce que les industriels ne disposent pas d'une filière de production appropriée : ils exploitent une matière première destinée à l'électronique, résume Robert de Franclieu, fondateur de la société lyonnaise Apollon Solar à l'origine du projet. Or, les électroniciens exigent un silicium dit 'EGS' (ou EG-Si, Electronic Grade Silicon) pur à 99,99999 %, alors que le solaire se

contente de 99,999 %. Et cette différence de raffinage d'apparence infime coûte en réalité un prix exorbitant !"

En fait, tout allait bien jusqu'en 2000, tant que l'industrie du solaire s'approvisionnait dans les rebuts des électroniciens (voir courbes ci-contre). Mais ces rebuts sont devenus trop limités pour alimenter un marché du solaire en pleine croissance et les fabricants de panneaux ont donc été contraints d'acheter du silicium EGS au prix fort. D'où l'intérêt d'une filière autonome capable de produire à moindre coût du silicium à pureté intermédiaire dont le rendement, certes légèrement dégradé, serait contrebalancé par des coûts de production très bas. Et c'est bien cette voie qu'Apollon Solar et ses partenaires comptent ouvrir avec le procédé PhotoSil, via un nouveau genre de silicium dit "PGS" (Photovoltaic Grade Silicon).

La différence avec la filière EGS ? En fait, toutes deux partent du silicium métallurgique (ou MGS, Metallurgic Grade Silicon), fabriqué par des sidérurgistes comme le norvégien Elkem ou le français Invensil en cuisant à environ 2 200 °C

La solution pour un prix réduit ? Fabriquer un silicium pur

de la silice (le composant principal du sable) et du carbone dans des fours à arc. Destinés principalement à l'élaboration des alliages (acier, aluminium, cuivre...), les lingots de MGS contiennent encore entre 0,5 % et 2 % d'impuretés : des métaux (fer, cuivre, tungstène, titane, aluminium...), mais aussi et surtout du phosphore et du bore, deux éléments dont la

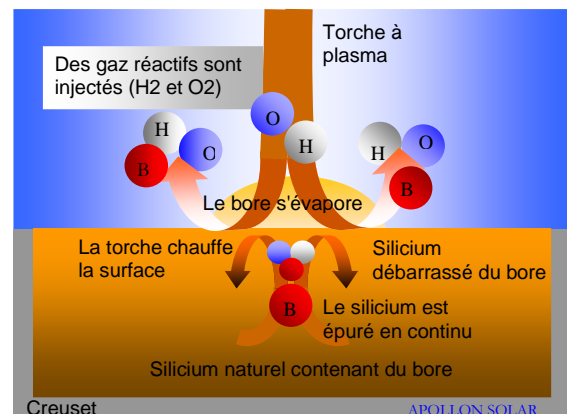
présence surnuméraire empoisonne les propriétés semi-conductrices du silicium. Dès lors, tout l'enjeu consiste dans l'élimination de ces impuretés. Jusqu'à quel point ? C'est là que les voies menant à l'EGS et au PGS divergent radicalement.

Pour atteindre la pureté de l'EGS, du silicium en poudre est combiné à 900 °C avec de l'acide chlorhydrique gazeux afin d'obtenir un gaz, le chlorosilane (SiHCl_3). "Il est ensuite refroidi pour repasser en phase liquide, puis purifié par distillations successives, exactement comme on prépare l'eau de vie, les impuretés restant au fond de la cornue", explique Olivier Bonnaud, du Centre commun de microélectronique de l'Ouest (CCMO-Supelec) à Rennes. Long, car il exige de nombreuses répétitions et coûteux en énergie en raison des températures requises, le processus exige, de plus, la manipulation d'acides très corrosifs.

Deux phases très simplifiées

Et le silicium purifié n'est même pas utilisable ! Il doit encore être chauffé à 1 400 °C pour épouser sa forme définitive. Le tout dans une atmosphère de pureté absolue et sur un laps de temps fort long : il faut en effet trois jours pour produire un lingot de 70 kg, dont la moitié disparaîtra en coupes et préparations diverses. Rien d'aussi compliqué dans le procédé PhotoSil. Ici, l'astuce consiste à se concentrer sur deux phases relativement simples. La première dérive d'un procédé déjà connu, qu'il a fallu adapter à la nouvelle filière : les impuretés métalliques contenues dans le silicium métallurgique sont d'abord éliminées par "solidification directionnelle", en solidifiant progressivement du MGS en fusion dans une cuve, du bas vers le haut. "Parce qu'elles sont plus solubles dans la phase liquide, les impuretés migrent peu à peu vers la surface, où elles se retrouvent concentrées. Il suffit ensuite de couper le haut du lingot pour les éliminer", décrit Christian Trassy, responsable du projet PhotoSil au laboratoire "élaboration par procédés magnétiques" (CNRS) de Grenoble. Mais la grande avancée du nouveau procédé se situe surtout à l'étape suivante : l'élimination des impuretés résiduelles, notamment le phosphore et le bore. A ce problème, personne n'avait jusqu'ici trouvé de réponse. Mais Christian Trassy et son équipe ont eu l'idée, en 1997, d'explorer une piste inédite : celle de l'évaporation des impuretés à très haute température (voir encadré). Perfectionnée au fil des années, cette technique consiste à fondre le

Comment se débarrasser du bore



Pour débarrasser le silicium de ses impuretés les plus gênantes – bore (B) et phosphore -, il est fondu par induction électromagnétique dans un creuset à environ 1 500 °C. Sa surface est soumise à une torche à plasma, obtenue en chauffant (là encore par induction) de l'argon à plus de 10 000 °C. Ce gaz réactif à base d'oxygène (H) est alors injecté au centre de la torche. Avec la chaleur, les atomes d'impuretés forment avec le réactif des molécules très volatiles, qui s'évaporent et sont évacuées par aspiration. L'induction électromagnétique assurant le brassage du silicium en fusion, tout le volume contenu dans le creuset se trouve peu à peu exposé à la torche et épuré. Deux heures suffisent pour atteindre la pureté recherchée, un temps que les chercheurs pensent pouvoir améliorer.

silicium par induction électromagnétique dans un creuset, à environ 1 500 °C. La surface du métal en fusion est alors exposée à une torche à plasma dans laquelle est injecté un gaz réactif à base d'hydrogène et d'oxygène. "Avec la chaleur, les atomes d'impuretés se combinent au réactif pour former des molécules très volatiles, qui s'évaporent et sont aspirées", explique Christian

Un prototype dès Janvier 2006

Trassy.

Il ne reste plus qu'à découper le lingot obtenu en refroidissant le contenu du creuset, avant de recommencer l'opération pour obtenir la pureté de 99,999 % recherchée – et pas une décimale de plus. Certes, le silicium PGS ne peut prétendre égaler les performances photovoltaïques de l'EGS : "Les premiers échantillons obtenus avec notre procédé affichent un rendement [une capacité de transformation de l'énergie solaire en énergie électrique, Ndlr] d'environ 12 %, quand les capteurs EGS montent, eux, à 16 %, précise

Robert de Franclieu. Il s'agit cependant de résultats de laboratoire encourageants mais qu'il faut confirmer et surtout répliquer à une autre échelle dans un processus de fabrication industrielle." De l'avis des fabricants de panneaux (voir "Trois questions à..."), un rendement de 13 % et un prix de 15 dollars le kilogramme assureraient le succès de la purification plasma. Et les défenseurs du projet y croient : dès janvier 2006, une ligne de production prototype entrera en service. On saura alors si le soleil brille vraiment sur les ambitions d'Apollon Solar et de ses partenaires.

- (1) Le sidérurgiste Invensil (Chambéry), le laboratoire Tecsen de l'université d'Aix-Marseille, le laboratoire "élaboration par procédés magnétiques" (CNRS, Grenoble) et la plate-forme technologique Restaure (CEA-Ademe, Grenoble).

TROIS QUESTIONS À



Eric Laborde,
PDG de Photowatt, premier fabricant français de panneaux solaires

Que représente pour vous la création d'une filière de production du silicium photovoltaïque ?

L'industrie photovoltaïque est en crise et toute solution pour nous en sortir est évidemment bienvenue. Paradoxalement, la crise vient de la croissance : le marché a progressé de 30 % par an depuis 4 ans. En fait, on pourrait vendre encore beaucoup plus ! Tout le problème est que nous ne savons plus comment répondre à la demande car le silicium de qualité photovoltaïque manque. L'industrie de l'électronique a opéré une reprise et les prix flambent : ils sont passés de 20 dollars le kilo il y a 2 ans à 60 dollars aujourd'hui et même à ce prix, nous avons du mal à en trouver.

Qu'attendez-vous de Photosil ?

Nous attendons les premiers échantillons de pré production avec impatience.

Mais même s'ils répondent aux attentes, la partie n'est pas encore gagnée :

adapter les méthodes de laboratoire à l'échelle industriel est une affaire complexe.

Quel niveau de performance attendez-vous de Photosil ?

Ça va se jouer à quelques points de rendement : avec 13 %, Photosil serait un succès. A 12 %, le procédé est encore acceptable. Mais à 11 %, la partie ne sera pas jouable.