

Les couches minces de semi-conducteurs polycristallins pour les cellules solaires *

par Yves Pauleau

(Laboratoire de physico-chimie minérale et de thermodynamique, Université d'Angers, Faculté des Sciences, 2, boulevard Lavoisier, 49045 Angers Cedex)



Les méthodes de dépôt du silicium polycristallin et du silicium amorphe sous forme de couche mince sont présentées. L'élaboration et le fonctionnement des cellules solaires réalisées à partir des hétérojonctions CdS/Cu₂S et CdS/CdTe ainsi que les résultats concernant les cellules solaires à l'arséniure de gallium et au phosphore d'indium polycristallins sont examinés.

1. Introduction

L'élaboration du silicium monocristallin sous forme de barreau ou de ruban (1) fait appel à un appareillage coûteux et entraîne une consommation importante d'énergie et de matière première. L'utilisation de couches minces de silicium ou d'un autre semi-conducteur polycristallin, déposé sur des substrats peu coûteux par des techniques simples, devrait permettre une diminution significative du coût de fabrication des cellules solaires. Mais le rendement de conversion des cellules constituées par un semi-conducteur polycristallin n'est pas très élevé. Les joints de grains constituent des centres de recombinaison des paires électron-trou ce qui diminue la durée de vie des porteurs et le rendement de conversion des cellules (2). Les joints de grains situés dans un plan parallèle à la surface du substrat constituent des barrières infranchissables pour les porteurs ce qui interdit l'utilisation de plaquettes de semi-conducteur polycristallin découpées directement dans un lingot. L'influence des joints de grains situés dans un plan perpendiculaire à la surface du substrat est moins importante. L'épaisseur minimale de la couche de semi-conducteur dépend du coefficient d'absorption du matériau. Pour les semi-conducteurs à fort coefficient d'absorption comme l'arséniure de gallium (2), une épaisseur de 1 à 2 μm devrait être suffisante pour absorber le maximum de photons solaires alors qu'une épaisseur de 20 μm est nécessaire dans le cas du silicium. Actuellement, les recherches ont pour but la mise au point de techniques de dépôt de semi-conducteur polycristallin possédant des grains de grandes dimensions et orientés convenablement par rapport au substrat de façon à améliorer le rendement de conversion des cellules. Quelques procédés de dépôt du silicium fournissent des couches possédant des grains de 1 à 10 μm de côté, sous forme de colonne, avec des joints de grains situés dans des plans perpendiculaires au substrat. Mais ces procédés doivent être améliorés pour diminuer encore l'influence des joints de grains et obtenir des cellules solaires possédant de meilleures caractéristiques de fonctionnement.

* Extrait de la conférence intitulée « Les matériaux semi-conducteurs pour les cellules solaires », présentée à Angers, le 5 décembre 1980, au cours de la réunion de la Section de l'Ouest de la SCF.

2. Le silicium

Les couches minces de silicium, pour la fabrication de cellules solaires à faible coût, font l'objet d'un effort de recherche important. Le silicium peut être soit polycristallin, soit à l'état amorphe.

Le silicium polycristallin est déposé par réaction chimique en phase gazeuse (C.V.D. : Chemical Vapor Deposition). Le réacteur Dow Corning (figure 1) est constitué d'une enceinte réactionnelle en quartz ou en molybdène contenant un suscepteur en graphite chauffé par induction. Le silicium est déposé par réduction du trichlorosilane par l'hydrogène entre 1 000 et 1 200 °C sur un substrat de tantale dont les bords sont protégés par un masque de molybdène. Le mélange gazeux est composé de 2 % de SiHCl_3 et de 98 % d'hydrogène et le débit total est de 2,5 litres. min^{-1} . Le silicium est dopé d'abord à l'arsenic (type *n*) en introduisant de l'arsine dans le réacteur. Lorsque l'épaisseur de la couche de type *n* est suffisante, l'arsine est remplacé par du diborane pour doper le silicium au bore (type *p*) et obtenir une jonction *p-n*.

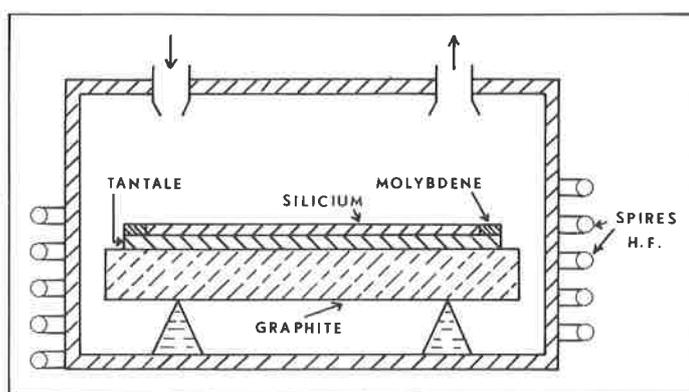


Figure 1. Réacteur C.V.D. Dow Corning pour le dépôt de silicium polycristallin [d'après (3)].

Le procédé développé par T. L. Chu et ses collaborateurs (4) pour produire des cellules au silicium polycristallin consiste à déposer, par réaction chimique en phase gazeuse, des couches minces de semi-conducteur dopé différemment pour obtenir une jonction. Différents substrats peu coûteux peuvent être utilisés comme, par exemple, du silicium polycristallin de pureté métallurgique, du graphite, de l'acier recouvert d'une couche de silice, de borosilicate, de phosphosilicate ou d'un mélange de ces composés de manière à éviter la diffusion du fer dans la couche de silicium. Le silicium de pureté métallurgique, sous forme de poudre, subit deux traitements de purification préalablement à son utilisation comme substrat. La teneur en fer et en aluminium est abaissée d'abord par un traitement à l'eau régale jusqu'à ce que le liquide surnageant soit incolore. La teneur en fer dans le silicium passe de 0,35 % à environ 600 à 800 ppm (5). Ensuite, le silicium est soumis à un traitement thermique à 1 050 °C en présence de 3 à 5 % d'oxyde de phosphore (P_2O_5) pendant 4 à 5 jours. Les impuretés contenues dans le silicium se concentrent dans une couche d'oxyde vitreux de type n^+ qui se forme en surface des grains. La concentration en fer dans le silicium atteint alors 200 à 250 ppm. Les substrats de silicium polycristallin sont obtenus en réalisant une solidification unidirectionnelle du silicium métallurgique purifié sur un substrat de graphite et sous courant d'hydrogène. La vitesse de solidification doit être faible (1 $\text{cm} \cdot \text{min}^{-1}$ ou moins) pour obtenir une surface de substrat assez plate. Les cristallites obtenus ont une forme allongée; leur longueur peut atteindre 10 cm et leur largeur plusieurs millimètres. Le dispositif expérimental, représenté sur la figure 2, permet de déposer, sur le substrat de silicium métallurgique purifié, 25 μm de silicium par réduction du trichlorosilane ou du silane par l'hydrogène et de doper le matériau par le phosphore ou le bore en introduisant de la phosphine ou du diborane dans le réacteur (4). Des cellules solaires rectangulaires de 10 cm^2 de surface, obtenues dans ces conditions expérimentales, ont un rendement de conversion qui peut atteindre 9,8 %. Avec ce type de

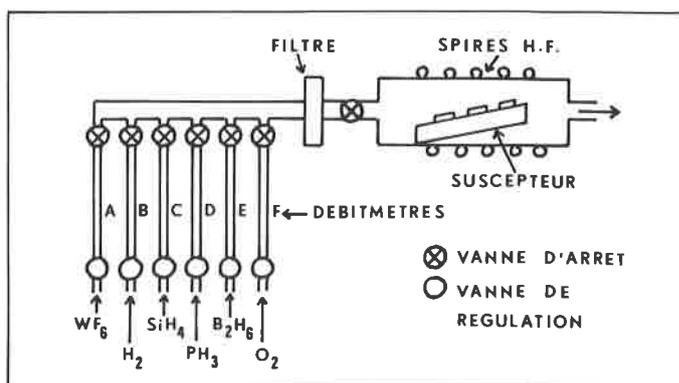


Figure 2. Réacteur C.V.D. pour déposer du silicium polycristallin (4).

cellules, les paires électron-trou doivent être collectées avant qu'elles n'atteignent un joint de grains, c'est-à-dire un centre de recombinaison. Par conséquent, les doigts de métallisation de la face avant de la cellule doivent avoir une forme permettant de réaliser un contact avec chacun des grains de silicium (figure 3).

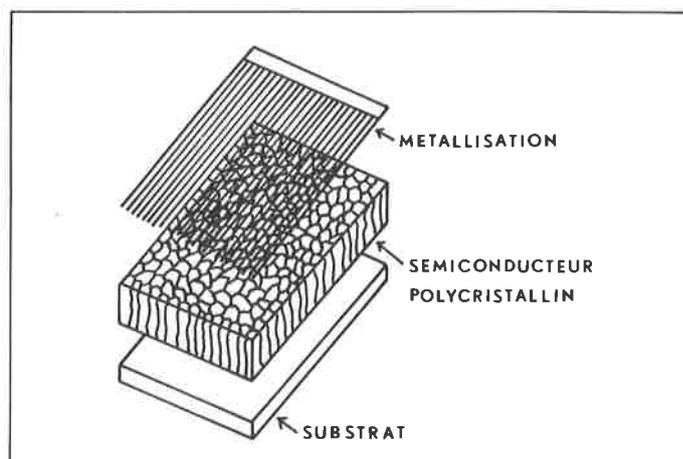


Figure 3. Contacts électriques de la face avant d'une cellule solaire [d'après (3)].

Les problèmes provenant de l'existence des joints de grains pourraient être évités en utilisant un semi-conducteur amorphe. De plus, le coefficient d'absorption du silicium amorphe est beaucoup plus grand que celui du silicium cristallisé et une épaisseur de 1 μm de silicium amorphe absorbe la plus grande partie des photons solaires alors qu'une épaisseur de silicium polycristallin de 25 à 50 μm est nécessaire pour obtenir une absorption équivalente.

Le silicium amorphe peut être déposé par pulvérisation cathodique, par réaction chimique en phase gazeuse et par réaction sous plasma. La méthode qui fournit les meilleurs résultats consiste à réaliser le dépôt par réaction chimique en phase gazeuse à basse pression en présence d'une décharge lumineuse (glow discharge). Le silicium amorphe possède des caractéristiques convenables lorsqu'il contient 2 à 10 % d'hydrogène ou de fluor. Les propriétés de ce matériau complexe ne sont pas encore très bien connues actuellement. Il semble que l'hydrogène sature les liaisons du silicium amorphe (liaisons pendantes) ce qui supprime des états d'énergie dans la bande interdite.

Le dispositif expérimental utilisé par RCA Labs (figure 4) comprend une enceinte à vide dans laquelle sont disposées une électrode métallique et une plaque chauffante. Le substrat est placé sur la plaque chauffante et une tension est appliquée entre

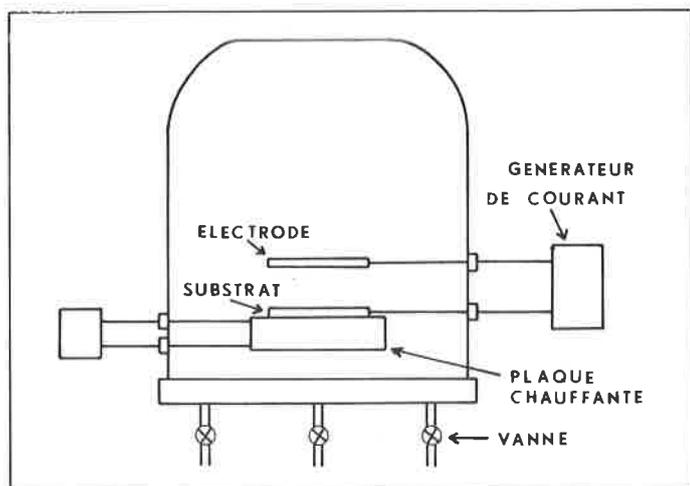


Figure 4. Dispositif expérimental pour le dépôt de silicium amorphe utilisé par RCA Labs [d'après (3)].

l'électrode et le substrat. L'alimentation électrique peut fournir soit du courant continu, soit du courant alternatif en basse fréquence (60 Hz) ou haute fréquence (mégahertz). En courant continu,

l'électrode est reliée à la borne positive et le substrat (cathode) au pôle négatif, c'est ce qu'on appelle le système cathodique. On peut réaliser un montage inverse, c'est-à-dire, utiliser le système anodique, mais les vitesses de dépôt obtenues sont plus grandes avec le système cathodique. L'uniformité d'épaisseur du dépôt est meilleure en utilisant une alimentation en courant continu ou en courant alternatif basse fréquence.

Après avoir obtenu un vide secondaire dans l'enceinte, le substrat est chauffé entre 150 et 450 °C. Le dépôt de silicium amorphe est obtenu en introduisant du silane dans l'enceinte jusqu'à une pression comprise entre 0,1 et 5 torr et en maintenant une décharge entre l'électrode et le substrat. La densité de courant à la surface du substrat doit être comprise entre 0,3 et 3 mA . cm⁻². La vitesse de dépôt du silicium amorphe croît avec l'augmentation de pression en silane et de la densité de courant. Pour une pression de silane de 1,5 torr et une densité de courant de 1 mA . cm⁻² sur le substrat chauffé à 350 °C, le dépôt de 1 µm de silicium se forme en moins d'une minute. Au cours du processus de dépôt, les électrons émis par le substrat ionisent les molécules de silane et les ions silicium et silicium hydrogéné positifs tels que SiH⁺ sont attirés par le substrat qui est la cathode.

Il se dépose sur le substrat du silicium amorphe contenant de l'hydrogène. Les cellules solaires obtenues à partir de ces dépôts ont un rendement de conversion de 3 à 4 % ; un rendement de 7 à 8 % est prévisible.

3. Les sulfures de cadmium et de cuivre, le tellure de cadmium

Le sulfure de cadmium et le sulfure cuivreux, CdS et Cu₂S, ont un plus grand coefficient d'absorption que le silicium polycristallin, par conséquent les couches de sulfures peuvent avoir une épaisseur plus faible et des grains de plus petites dimensions que les couches de silicium.

Ces couches de sulfures peuvent être déposées par évaporation sous vide, par réaction chimique en phase gazeuse ou à partir d'un aérosol (spray). Ces procédés sont simples, peu coûteux et fournissent des grains avec des dimensions suffisantes. Le principal inconvénient de ces sulfures est leur faible stabilité chimique. Les cellules se dégradent facilement et assez rapidement et il est nécessaire de recourir à des traitements supplémentaires pour améliorer la durée de vie des cellules. Ces cellules sont constituées d'une hétérojonction, c'est-à-dire d'une couche de sulfure de cuivre de type *p* déposée sur une couche de sulfure de cadmium de type *n* (figure 5). Un substrat en plastique, en cuivre ou en verre est recouvert d'une couche formant contact électrique constituée de zinc, d'oxyde d'indium et d'étain (I.T.O. Indium Tin Oxide) ou de stannate de cadmium, Cd₂SnO₄. Une couche de 20 à 25 µm de sulfure de cadmium est déposée sur le substrat, par exemple, en utilisant la technique (figure 6) qui consiste à soumettre le substrat de verre à l'action d'un aérosol (spray). La plaquette de verre flotte sur un bain d'étain en fusion ; la face arrière du substrat se trouve ainsi masquée. L'aérosol est fourni par un jet mobile qui se déplace à la surface du substrat. Cet aérosol est constitué d'une solution aqueuse de chlorure de cadmium et de thiourée. L'irradiation des cristaux de sulfure en cours de dépôt, par une lumière ultraviolette de grande intensité, améliore le procédé de croissance. Cette couche de sulfure de cadmium solidaire de son substrat est ensuite plongée dans une solution d'ions cuivreux et le déplacement du

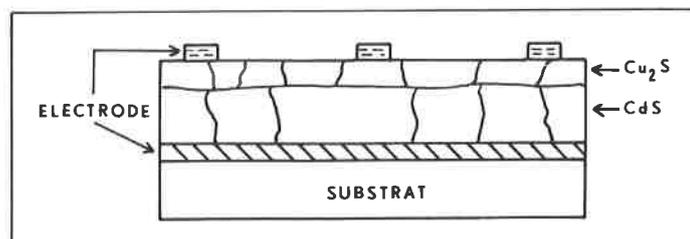


Figure 5. Structure schématique d'une cellule solaire CdS/Cu₂S [d'après (6)].

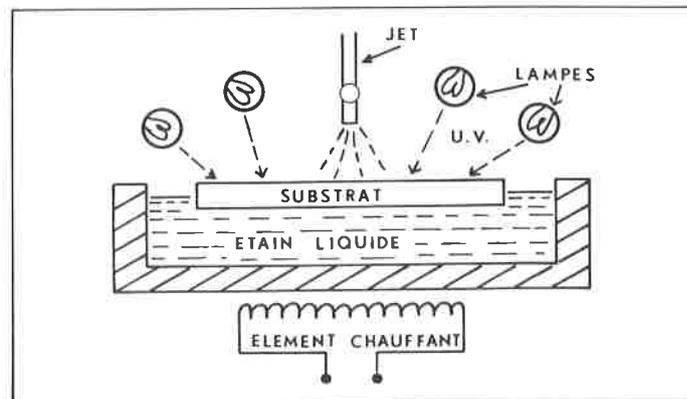


Figure 6. Technique de dépôt de sulfure de cadmium à partir d'un aérosol [d'après (3)].

cadmium par le cuivre permet d'obtenir une couche de composition, Cu_xS, de 200 à 400 nm d'épaisseur. Un traitement thermique du dépôt entre 200 et 250 °C pendant plusieurs minutes est réalisé pour améliorer les propriétés électriques. La stoechiométrie de Cu_xS nécessaire pour avoir des longueurs de diffusion des porteurs et une intensité du courant en court-circuit importantes est améliorée en déposant 10 nm de cuivre sur la couche de Cu_xS et en réalisant un traitement thermique à 180 °C pendant 10 à 20 minutes à l'air. La couche d'oxyde de cuivre, Cu₂O, qui se forme en surface, réduit la vitesse de recombinaison des porteurs en surface.

Le sulfure non stoechiométrique, Cu_xS, est attaqué très rapidement par l'oxygène et la vapeur d'eau. Le dispositif doit être placé dans un boîtier maintenu sous atmosphère inerte (azote). Les cellules solaires ainsi obtenues ont un rendement de conversion assez faible de l'ordre de 5 à 6 %.

Pour améliorer ce rendement, le sulfure de cadmium peut être remplacé par une couche de sulfure mixte, Cd_{1-x}Zn_xS, dont les paramètres de maille permettent une meilleure adaptation de la structure avec celle du sulfure cuivreux et, par conséquent, un meilleur état de l'interface. En revanche, l'utilisation de ce sulfure mixte entraîne une diffusion du zinc dans la couche de sulfure cuivreux et le rendement de conversion obtenu n'est que de 8,7 %.

L'amélioration de ce rendement peut être envisagée en remplaçant le sulfure cuivreux par une couche de tellure de cadmium (7). Le dépôt de tellure de cadmium de type *p* peut être réalisé par pulvérisation cathodique (8), par une méthode électrochimique (9), par évaporation sous vide (3, 10) ou par réaction chimique en phase gazeuse.

L'appareil de dépôt sous vide (figure 7) pour réaliser des couches de tellure de cadmium comprend une enceinte contenant des creusets de matériaux réfractaires entourés par des éléments chauffants. La température des creusets contenant les éléments à vaporiser (cadmium, tellure et dopant) est rigoureusement contrôlée. Les vapeurs de cadmium et de tellure se condensent sur le substrat qui

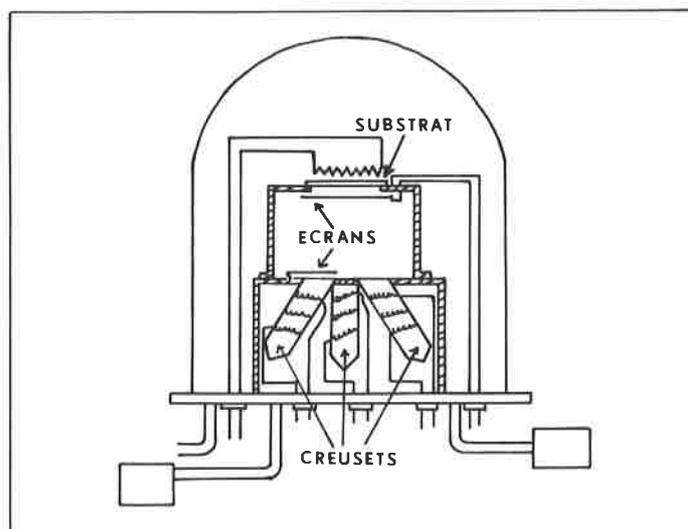


Figure 7. Dispositif expérimental pour le dépôt sous vide de couches de tellure de cadmium [d'après (3)].

est maintenu à une température comprise entre 200 et 500 °C. Le substrat est en verre ou en molybdène. Généralement, l'incorporation du dopant dans les couches de tellure de cadmium est difficile et le matériau a une résistivité élevée. La technique de « flash évaporation » qui consiste à évaporer sous vide et en continu de très faibles quantités de semi-conducteur, a permis d'obtenir des couches ayant la même résistivité que le matériau de départ (10).

Les couches de tellure de cadmium peuvent être déposées par réaction chimique en phase gazeuse à partir de cadmium élémentaire ou d'iodure de cadmium et de tellure élémentaire (11). Le dispositif expérimental (figure 8) comprend un four constitué de cinq éléments chauffants indépendants dont la température est contrôlée rigoureusement. Les creusets de cadmium, de tellure et d'indium (dopant) sont maintenus à des températures convenables pour vaporiser ces éléments et l'hydrogène est utilisé comme gaz vecteur. L'iodure de cadmium est préparé *in situ* en faisant agir l'iodure d'hydrogène sur le cadmium liquide. Le substrat en mullite ou en graphite recouvert d'un revêtement de carbone, de silicium, de tungstène ou d'indium est maintenu entre 480 et 720 °C. Le semi-conducteur est dopé à l'indium, au phosphore ou à l'iode. Les caractéristiques électriques des couches déposées sur mullite ont été étudiées. Le tellure de cadmium déposé à 580 °C sans incorporation de dopant est de type *n*, sa résistivité est de l'ordre de $(4-7) \times 10^4 \text{ ohm.cm}$; la mobilité et la concentration des porteurs sont respectivement égales à $(20-30) \text{ cm}^2 \cdot \text{V}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ et $(6-9) \times 10^{12} \text{ cm}^{-3}$. Des barrières Schottky ont été obtenues avec les couches déposées sur graphite en évaporant des contacts d'argent à la surface du tellure de cadmium. Les caractéristiques I-V font apparaître une forte résistance du semi-conducteur et un effet redresseur à l'interface substrat-semi-conducteur. Les cellules solaires à barrière de Schottky réalisées sur des substrats de graphite recouvert d'une couche de tungstène et d'une couche d'indium avaient une tension en circuit ouvert de 250 mV et une densité de courant en court-circuit de 11 mA.cm^{-2} . Les caractéristiques de fonctionnement de ces cellules pourraient être améliorées en diminuant la résistance de contact à l'interface substrat-semi-conducteur et en contrôlant mieux le type de conductivité et la résistivité du tellure de cadmium.

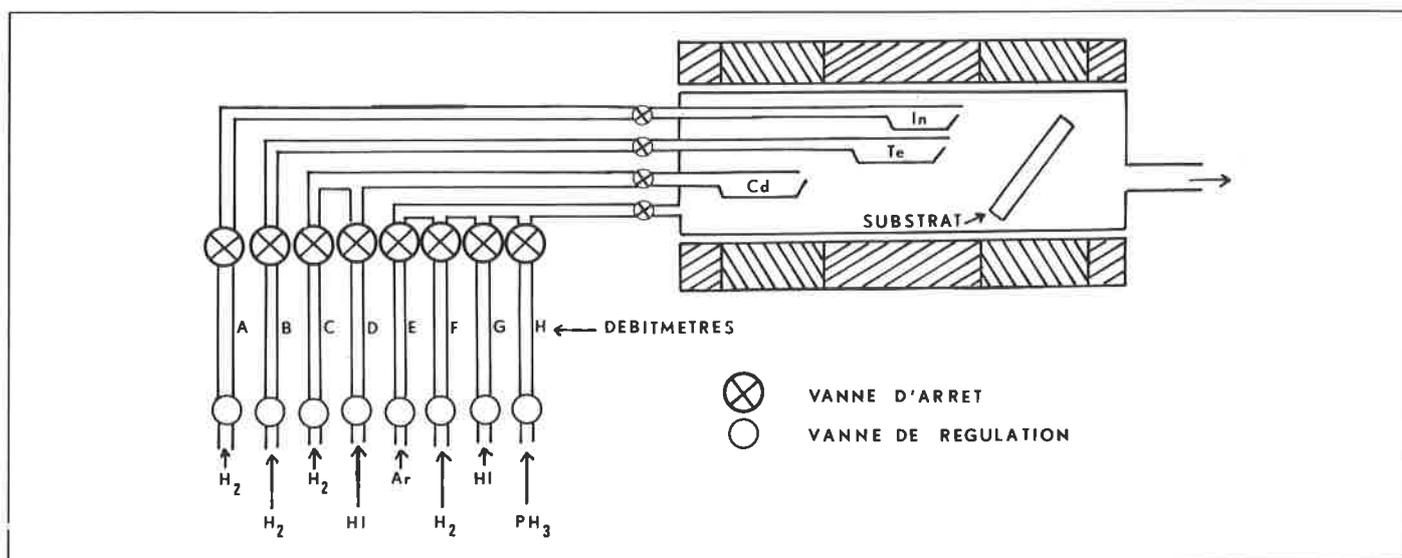


Figure 8. Réacteur C.V.D. pour le dépôt de couches de tellure de cadmium.

4. L'arséniure de gallium et le phosphore d'indium

Le silicium polycristallin ou amorphe et le sulfure ou le tellure de cadmium sont des matériaux peu coûteux pouvant être déposés sous forme de couche mince par des procédés assez simples. Mais il est nécessaire d'améliorer le rendement de conversion et la stabilité des cellules solaires fabriquées à partir de ces semi-conducteurs. La situation est inversée dans le cas des semi-conducteurs III-V. Les cellules solaires réalisées à partir de ces

matériaux devraient avoir un rendement de conversion élevé (les cellules constituées de semi-conducteurs III-V monocristallins ont un rendement égal ou supérieur à 20 %), mais ce sont des matériaux coûteux.

Le rendement de conversion idéal des cellules solaires à l'arséniure de gallium est plus élevé que celui des cellules au silicium (2) et, de

plus, il diminue beaucoup moins avec l'augmentation de la température de la cellule (12). Les cellules à l'arséniure de gallium peuvent être utilisées dans les systèmes avec concentration du rayonnement solaire. La couche de GaAs est recouverte d'une couche (ou fenêtre) de $Ga_xAl_{1-x}As$ ce qui réduit les pertes par recombinaison des porteurs à la surface de GaAs.

La plupart des cellules solaires à l'arséniure de gallium polycristallin sont fabriquées à partir de couches déposées sur molybdène, tungstène, graphite ou tantale (13-17). L'épaisseur de la couche est de 5 à 10 μm et la dimension des grains varie de 2 à 20 μm . L'arséniure de gallium est déposé par réaction chimique en phase gazeuse. Des cellules ayant un rendement de conversion de 4,8 % ont été réalisées à partir d'une couche de GaAs de 2 à 3 μm d'épaisseur obtenue par réaction entre le triméthylgallium, $Ga(CH_3)_3$, et l'arsine et déposée sur un substrat de tungstène recouvert d'une couche de germanium (15).

S. S. Chu et ses collaborateurs (13, 18-20) préparent les couches de GaAs par réaction entre le monochlorure de gallium, $GaCl$, et l'arsine. Le dispositif expérimental (figure 9) comprend un four constitué de quatre zones de chauffage indépendantes. L'hydrogène est utilisé comme gaz vecteur. Le monochlorure de gallium est obtenu par réaction *in situ* entre le chlorure d'hydrogène et le gallium élémentaire maintenu à 720-750 °C. Le substrat, constitué de graphite recouvert d'une couche de tungstène, est maintenu à 880-890 °C. Le semi-conducteur est dopé au soufre en introduisant du sulfure d'hydrogène dans le réacteur. Immédiatement après dépôt, la couche de GaAs est oxydée *in situ* dans un mélange

d'argon et d'oxygène entre 100 et 300 °C pendant 2 à 4 heures et, ensuite, l'échantillon est soumis à l'action de l'oxygène saturé en vapeur d'eau à la température ordinaire pendant 5 à 30 heures. Une couche d'or ou d'argent, de 6 à 10 nm d'épaisseur, est déposée par évaporation sous vide à la surface de l'échantillon de manière à former une structure Schottky. Les cellules solaires de 9 cm^2 , fabriquées à partir de ces couches de GaAs de 25 μm d'épaisseur, avaient un rendement de conversion de 6,5 % dans des conditions d'éclairement AM 1 (13).

Le phosphore d'indium, InP, est également un semi-conducteur III-V (largeur de bande interdite : 1,29 eV) qui peut être déposé sous forme de couche mince par réaction chimique en phase gazeuse à partir de phosphine et d'un composé organo-métallique, $In(CH_3)_3$, ou du monochlorure d'indium, $InCl$, préparé *in situ* par action du chlorure d'hydrogène sur l'indium élémentaire (21). Le dispositif expérimental utilisé est analogue à celui décrit dans le cas de l'arséniure de gallium (figure 9). La structure du phosphore d'indium s'adapte très bien à celle du sulfure de cadmium ce qui permet d'obtenir des hétérojonctions CdS/InP possédant de bonnes caractéristiques. Des cellules solaires constituées d'une hétérojonction CdS/InP monocristallins ont un rendement de conversion de 15 % (22, 23). Des couches de phosphore d'indium polycristallin de 50 μm d'épaisseur déposées sur des substrats de graphite recouverts d'une couche de GaAs ont été utilisées pour réaliser des hétérojonctions du type Cu_xSe/InP et CdS/InP. Les cellules solaires fabriquées à partir de ces hétérojonctions ont un rendement de conversion de 5,7 % (22, 24).

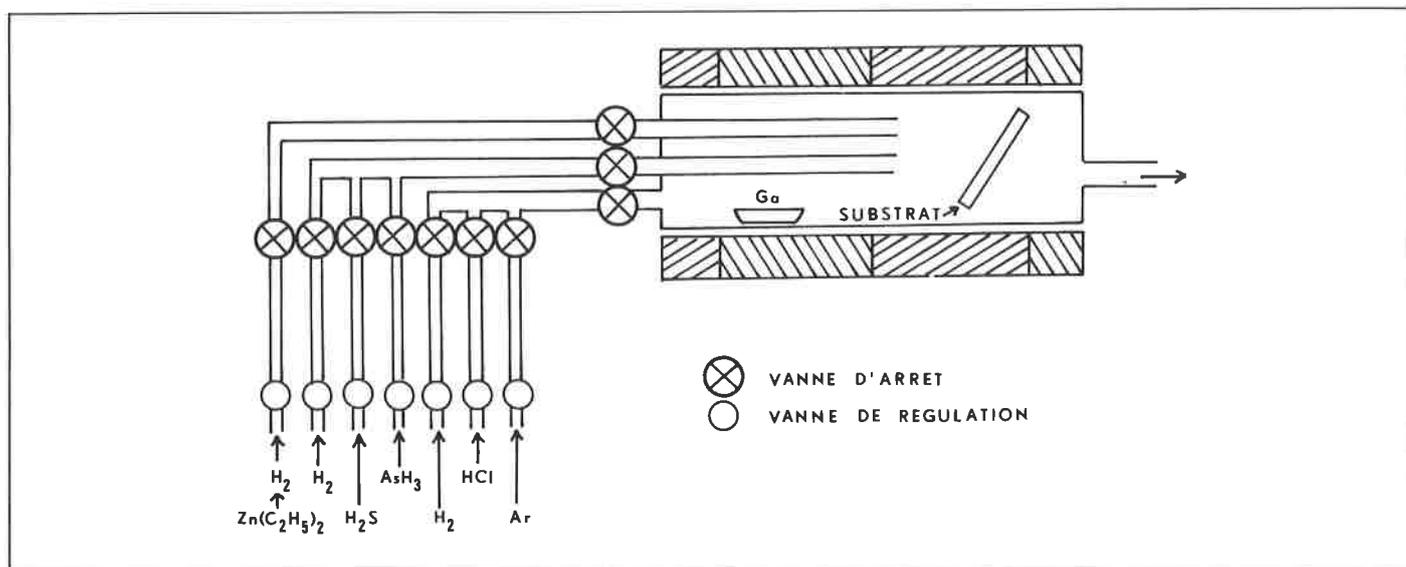


Figure 9. Réacteur C.V.D. pour le dépôt de couches d'arséniure de gallium [d'après (19)].

5. Conclusion

La première génération de capteurs photovoltaïques, fabriqués industriellement à partir de 1986, sera constituée par des panneaux plans de cellules solaires au silicium réalisées à partir de ruban de silicium monocristallin dont le rendement de conversion sera compris entre 12 et 15 %. Le coût de l'énergie fournie par ces panneaux sera d'environ 3 F le watt crête (25).

Les cellules solaires constituées de couches minces de silicium ou d'un autre semi-conducteur polycristallin devraient former une deuxième génération de dispositifs dont la mise au point interviendra vers 1995. Le rendement de conversion devrait se situer entre 10 et 14 % et le coût de l'énergie sera d'environ 1 F le watt crête.

Ces panneaux plans de cellules solaires seront assemblés en petites ou moyennes unités de production d'énergie pouvant débiter quelques dizaines à quelques centaines de kilowatts et pouvant alimenter en énergie une maison individuelle, un centre commercial ou un groupe d'immeubles. La mise au point et le développement de ces dispositifs passent par une diminution du coût du

silicium élaboré par différentes techniques (1) et par l'utilisation de couches minces de semi-conducteurs polycristallins envisagée dans cet article.

Il est possible, par ailleurs, d'améliorer le rendement des systèmes photovoltaïques et d'abaisser le coût de l'énergie en utilisant des systèmes optiques pour concentrer le rayonnement solaire et des systèmes mécaniques pour suivre le déplacement du soleil au cours de la journée afin d'orienter convenablement, à chaque instant, les cellules par rapport à la direction du rayonnement solaire. Ceci constitue un autre aspect des recherches en cours. Dans ces dispositifs, le coût des cellules solaires représente une part très faible du coût de l'ensemble et il convient alors d'utiliser des cellules possédant un fort rendement de conversion. Ces cellules solaires à fort rendement de conversion font l'objet de recherches importantes qui visent à améliorer leur conception. L'utilisation de tels dispositifs interviendrait au niveau de centrales solaires fournissant une puissance de plusieurs mégawatts. Le coût de l'énergie

fournie par ces systèmes se situe actuellement entre 5 et 8 F le watt crête. En améliorant les performances de ces centrales, le coût de l'énergie devrait se situer à environ 3 F le watt crête.

Dans tous les cas, le stockage de l'énergie fournie est une nécessité

pour exploiter cette source d'énergie dans les meilleures conditions. Ces problèmes de stockage font l'objet de programmes de recherche importants et les solutions obtenues dans ce domaine permettront un véritable développement des systèmes photovoltaïques comme source d'énergie terrestre.

Bibliographie

- (1) Y. Pauleau, *L'actualité chimique*, 1981, **9** (novembre), 17.
- (2) Y. Pauleau, *L'actualité chimique*, 1982, **2** (février), 17.
- (3) M. Sittig, « Solar Cells for Photovoltaic Generation of Electricity, Materials, Devices and Applications », Noyes Data Corp., Park Ridge, 1979.
- (4) T. L. Chu, H. C. Mollenkopf et S. S. Chu, *J. Electrochem. Soc.*, 1975, **122** (12), 1681 et *J. Electrochem. Soc.*, 1976, **123** (1), 106.
- (5) T. L. Chu, S. S. Chu et E. D. Stokes, *Solar Energy Mater.*, 1980, **2**, 265.
- (6) H. J. Hovel, *Chemtech*, 1979, mars, p. 193.
- (7) K. W. Mitchell, « Evaluation of the CdS/CdTe Heterojunction Solar Cell », Garland Publishing Inc., New York, 1979.
- (8) M. Barbé, J. Dixmier, G. Cohen Solal, C. Sella et J. C. Martin, *Le vide, Les couches minces*, « Proceedings of the 3th International Conference on Cathodic Sputtering and Applications », Suppl., 1979, n° **196**, (4-5), 219.
- (9) Z. Shkedi et R. L. Rod, 14th IEEE Photovoltaics Specialists Conf., San Diego, janvier 1980.
- (10) C. A. Menezes, *J. Electrochem. Soc.*, 1980, **127** (1), 155.
- (11) T. L. Chu, Shirley S. Chu, Y. Pauleau, E. D. Stokes, C. L. Jiang, K. Murthy and R. Abderrassoul, Conference Record of the 15th IEEE Photovoltaic Specialists Conference : 1271-6 (1981).
- (12) H. J. Hovel, « Solar Cells, Semi-conductors and Semimetals », vol. 11, A. C. Beer et R. K. Willardson Ed., Academic Press, New York, 1975.
- (13) S. S. Chu, T. L. Chu et H. T. Yang, 13th IEEE Photovoltaics Specialists Conf., 1978, p. 956.
- (14) P. D. Dapkus, R. D. Dupuis, R. D. Yingling, J. J. Yang, W. I. Simpson, L. A. Moudy, R. E. Johnson, A. G. Campbell, H. M. Manasevit et R. P. Ruth, 13th IEEE Photovoltaics Specialists Conf., 1978, p. 960.
- (15) Y. C. M. Yeh, F. P. Ernest et R. J. Stirn, 13th IEEE Photovoltaics Specialists Conf., 1978, p. 966.
- (16) K. Pande, D. Deep, A. Srivastava, S. Tinari, J. M. Borrego et S. K. Ghandi, *J. Electrochem. Soc.*, 1979, **126** (2), 300.
- (17) A. E. Blakeslee et S. M. Vernon, *Solar Cells*, 1979, **1**, 81.
- (18) S. S. Chu, T. L. Chu et H. T. Yang, *Appl. Phys. Lett.*, 1978, **32** (9), 557.
- (19) S. S. Chu, T. L. Chu, H. T. Yang et K. H. Hong, *J. Electrochem. Soc.*, 1978, **125** (10), 1668.
- (20) S. S. Chu, T. L. Chu et M. S. Lan, *J. Appl. Phys.*, 1979, **50** (9), 5805.
- (21) T. L. Chu, S. S. Chu, C. L. Lin, Y. C. Tzeng et A. B. Kuper, Abstract 592, The Electrochemical Society Extended Abstracts, Fall Meetings, Los Angeles, 1979, oct. 14-19.
- (22) M. Bettini, K. J. Bachmann, E. Buehler, J. L. Shay et S. Wagner, *J. Appl. Phys.*, 1977, **48**, 1603.
- (23) A. Yoshikawa et Y. Sakai, *Solid State Electron.*, 1977, **20**, 133.
- (24) T. Saitoh, S. Matsubara et S. Minagawa, *Japan. J. Appl. Phys.*, 1977, **16**, 807.
- (25) Le coût du watt crête est le rapport entre le coût d'un panneau de cellules solaires de 1 m² et l'énergie fournie par ce panneau lorsque le rayonnement lumineux qu'il reçoit a une puissance de 1 kW.



GILSON

**COLLECTEUR
UNIVERSEL
GILSON
modèle 201**

- collecteur à micro processeur d'une remarquable souplesse d'utilisation.
- fractionnement par temps, gouttes, pics par suivi de la pente vraie, programmation temporisée de temps de collection et d'évacuation.
- capacité de collection
 - 119 pics ou fractions de 1 ml.
 - 80 pics ou fractions de 2 ml.
 - 80 pics ou fractions de 9 ml.
 - 60 pics ou fractions de 33 ml.
 - 27 pics ou fractions d'un volume quelconque.

Collecteur pouvant être utilisé en tant que :

- collecteur classique
- collecteur pilote (asservissement d'une pompe d'éluion et d'une pompe d'injection d'échantillon Gilson) injection répétée d'un même échantillon ou collection répétée des pics recherchés.
- collecteur asservi (asservissement par micro-ordinateur)(demander notre documentation avec nos systèmes pour CL ou CLHP).



Collecteur Universel modèle 201 Gilson

GILSON France un constructeur français à votre service
72, rue Gambetta 95400 VILLIERS LE BEL Tél: (3) 990-54-41