

A1

**DEMANDE
DE BREVET D'INVENTION**

⑫

N° 80 18761

⑮ Pile solaire au silicium amorphe.

⑯ Classification internationale (Int. Cl.³). H 01 L 31/06; G 09 F 9/33; H 01 L 33/00.

⑰ Date de dépôt..... 29 août 1980.

⑱ ⑳ ㉑ Priorité revendiquée : *Grande-Bretagne, 30 août 1979, n° 7930141.*

㉒ Date de la mise à la disposition du
public de la demande..... B.O.P.I. — « Listes » n° 10 du 6-3-1981.

㉓ Déposant : Société dite : PLESSEY OVERSEAS LTD., résidant en Grande-Bretagne.

㉔ Invention de : Allen William Mabbitt et Ricardo Simon Sussmann.

㉕ Titulaire : *Idem* ㉗

㉘ Mandataire : Office Bernard Maulvault,
400, rue Saint-Honoré, 75001 Paris.

La présente invention concerne des structures convenant à la fabrication de piles solaires et reposant sur la mise en oeuvre d'hétérojonctions formées entre des matières amorphes ayant des bandes interdites différentes, par exemple le silicium amorphe et les alliages amorphes de silicium et de carbone.

Des documents publiés indiquent qu'on peut obtenir une amélioration des propriétés photovoltaïques par utilisation d'hétérostructures. Un exemple est un dispositif dans lequel la couche avant (couche fenêtre) est formée d'une matière ayant une bande interdite relativement large et ainsi relativement transparente aux radiations de longueurs d'onde relativement faibles. Un autre avantage de cette configuration de dispositif est la réduction du courant inverse de saturation et ainsi l'amélioration de la tension en circuit ouvert. D'autres améliorations des propriétés des dispositifs peuvent aussi être obtenues par utilisation d'une hétérojonction formée à la jonction arrière et créant un champ inverse qui augmente le rendement de collecte des porteurs. Une autre configuration est telle que la bande interdite d'une ou plusieurs des couches du dispositif varie progressivement et facilite la réduction du désaccord à l'interface de la jonction avec en outre formation d'un gradient de potentiel dans des parties de la pile, si bien que la collecte des porteurs est encore améliorée.

Les piles solaires photovoltaïques mettant en oeuvre du silicium amorphe ont été décrites en détail dans la littérature. Des dispositifs mettent en oeuvre par exemple des structures à barrière de Schottky ou à jonction p-i-n comme représenté sur les figures 1 et 2 des dessins annexés qui sont des coupes schématiques de dispositifs connus. Dans ces deux cas, un inconvénient des piles est la faible distance de diffusion qui limite la collecte des porteurs vers les

régions du dispositif ayant un champ électrique. Une autre restriction est due à la perte de radiations par absorption dans la couche supérieure p ou n dans les piles p-i-n, ou dans la couche métallique dans les piles à barrière de Schottky. Les couches de la fenêtre avant de ces dispositifs ont été réalisées sous une forme très mince, afin que ces pertes soient réduites, mais la résistance transversale est alors élevée.

L'invention remédie à ces inconvénients par mise en oeuvre de structures de dispositifs à base d'hétérojonctions de silicium amorphe et d'alliage amorphe de silicium et de carbone. Le carbure de silicium amorphe $C_{1-x}Si_x$, dans lequel x est compris entre 0 et 1, forme une série continue de solutions solidés ayant une bande interdite qui augmente lorsque x diminue, cette bande interdite atteignant au maximum 2,6 eV environ pour une valeur de x de l'ordre de 0,38. Cette matière est ainsi plus transparente à la lumière visible et du proche infrarouge que le silicium amorphe dur et convient donc bien pour la formation d'une fenêtre, lorsqu'elle est convenablement dopée ; elle forme en outre une hétérojonction de structure $C_{1-x}Si_x \alpha / Si \alpha$.

Ainsi, l'invention concerne une pile solaire au silicium amorphe ayant une première couche de type p, une couche de silicium amorphe intrinsèque, et une couche de type n, les couches de type p ou n étant formées de carbure de silicium amorphe.

L'invention concerne aussi une pile solaire au silicium amorphe, comprenant une couche supérieure de carbure de silicium $C_{1-x}Si_x$ amorphe de type p, une couche intermédiaire de silicium amorphe non dopé (intrinsèque) et une couche inférieure de silicium amorphe de type n, sur un substrat convenable.

D'autres caractéristiques et avantages de l'invention ressortiront mieux de la description qui va suivre, faite en référence aux dessins annexés sur

lesquels, les figures 1 et 2 ayant déjà été décrites :

- la figure 3 représente une première hétérostructure de pile solaire selon l'invention ; et

5 - les figures 4 à 7 représentent des structures de piles solaires selon l'invention.

Le dispositif représenté sur la figure 3 et comprenant successivement une couche de $C_{1-x}Si_x$ de type p, une couche de silicium α intrinsèque et une
10 couche de silicium α de type n sur un substrat de verre, de métal ou de matière plastique, peut être fabriqué de la manière suivante.

Un substrat convenable de verre ou de matière plastique peut être utilisé avec un revêtement conducteur appliqué par exemple par dépôt sous vide, par
15 exemple par pulvérisation cathodique ou par dépôt chimique en phase vapeur sur une structure métallique.

Une couche de silicium amorphe dopé de type n est déposée par décharge luminescente, à une température comprise entre 250 et 400°C. Une matière avantageuse de dopage est le phosphore. Dans une variante,
20 on peut aussi utiliser l'arsenic ou l'azote. L'épaisseur de la couche est de préférence inférieure à 0,1 micron. Cette couche est de préférence dopée afin que sa conductivité soit d'au moins
25 10^{-3} S/cm.

La seconde couche est formée de silicium amorphe non dopé, déposé aussi par décharge luminescente à une température comprise entre 250 et 400°C. Une épaisseur avantageuse est comprise entre 0,5 et 1 micron.
30

La couche supérieure est une couche de carbure de silicium amorphe dopé de type p. Elle est déposée par décharge luminescente avec un mélange de silène, d'un hydrocarbure tel que l'éthylène, et de diborane
35 B_2H_6 , dans une décharge dans un plasma à une température comprise, entre 250 et 400°C. D'autres matières convenables de dopage, assurant la formation d'une ma-

tière de type p, conviennent aussi. L'opération est destinée à former une couche qui est conductrice et cependant plus transparente que le silicium dopé par le bore, et aussi, étant donné la plus grande bande interdite, il se forme une hétérostructure qui accroît la tension en circuit ouvert.

Le mélange gazeux est choisi de préférence afin qu'il donne, dans le dispositif terminé, une bande interdite aussi proche que possible de la bande interdite optimale du système d'alliage de carbure de silicium, tout en étant compatible avec un dopage efficace. Une plage avantageuse de composition est telle que le paramètre x est compris entre 0,8 et 0,95, l'épaisseur de la couche étant comprise entre 100 et 1000 Å.

Un autre procédé de fabrication de la couche supérieure met en oeuvre un mélange gazeux d'un silène et d'un hydrocarbure avec du trifluorure de bore BF_3 . Le rendement de dopage est accru par introduction du fluor.

Une troisième possibilité est la croissance d'une couche de carbure de silicium non dopé par décharge luminescente et implantation d'ions bore dans la couche, avant un recuit thermique ou au laser. Dans une variante, le tétrafluorure de carbone CF_4 peut être utilisé à la place de SiH_2 pour l'introduction du fluor dans le système.

La figure 5 représente un dispositif dans lequel la couche de carbure de silicium est déposée sur une couche conductrice transparente T formée par exemple d'oxyde d'étain et d'indium déposée sur un substrat de verre ou de matière plastique. Les couches intrinsèque (silicium α intrinsèque) et de type n (n+) formées par le silicium amorphe sont déposées comme décrit précédemment sur la couche de carbure de silicium et une couche M formant une électrode métallique est déposée sur la couche de type n. Le dispositif est

sensible à la lumière traversant le substrat transparent.

Ce dispositif est avantageux parce qu'il permet la croissance de la couche de carbure de silicium de type p à une température plus élevée et le dispositif
5 terminé est protégé de façon étanche contre l'atmosphère. Le revêtement d'oxyde d'étain et d'indium peut être utilisé pour la formation d'une couche réfléchissante. Une matière plastique qui convient pour le film est le "Kapton".

10 Une variante du dispositif qui précède peut être réalisée par cristallisation de la couche déposée de carbure de silicium de type p par recuit thermique ou au laser. Dans ce mode de réalisation, la couche de carbure de silicium polycristallin peut être telle
15 que le paramètre x est de l'ordre de 1 et il peut même s'agir de silicium polycristallin pur.

La figure 6 représente un autre dispositif pour pile solaire de construction analogue à celle du dispositif de la figure 3.

20 La couche de silicium amorphe de type n est remplacée par une couche de carbure de silicium amorphe de type n placée sur la couche métallique M. De cette manière, en plus d'un certain champ inverse, le dispositif comporte une fenêtre transparente qui permet à la lumière
25 d'être réfléchiée par la couche métallique arrière M.

Une variante du dispositif de la figure 6 est telle que la transition entre la couche de carbure de silicium de type n et la couche de silicium intrinsèque a une composition variant progressivement
30 afin que la jonction soit moins concentrée et que le champ soit élargi.

En outre, on peut aussi réaliser une autre variante par combinaison progressive du carbure de silicium de type p et du silicium amorphe intrinsèque
35 afin que la jonction soit plus régulière. Des variantes analogues peuvent aussi être utilisées avec les autres dispositifs décrits.

La figure 7 représente un autre dispositif convenant à la formation d'une pile solaire. La couche inférieure, au-dessus de la couche de métallisation, est soit formée de silicium amorphe de type p, soit
5 formée de carbure de silicium amorphe de type p, et elle est suivie d'une couche intermédiaire de silicium intrinsèque puis d'une couche de silicium amorphe de type n ou elle se prolonge dans une couche de carbure de silicium amorphe de type n.

10 L'addition du carbure à la couche supérieure permet une meilleure pénétration et une augmentation du champ inverse, si bien que la collecte du courant est facilitée.

D'autres applications de l'invention con-
15 cernent des structures du type $C_{1-x}Si_x/C_{1-y}Si_y/C_{1-x}Si_x$, sur un substrat de verre, de métal ou de matière plastique, assurant une émission de lumière visible et pouvant avoir des applications dans les panneaux plats d'affichage.

REVENDEICATIONS

1. Pile solaire au silicium amorphe, caractérisée en ce qu'elle comprend une première couche de type p, une couche de silicium amorphe intrinsèque, et une
5 couche de type n, les couches de type p ou n étant formées de carbure de silicium amorphe ou de silicium polycristallin.
2. Pile selon la revendication 1, caractérisée en ce que la couche supérieure est formée de carbure de
10 silicium amorphe de type p, la couche intermédiaire est formée de silicium amorphe intrinsèque, et la couche inférieure est formée de silicium amorphe de type n déposé sur un substrat métallisé de verre ou de matière plastique.
- 15 3. Pile solaire au silicium amorphe, caractérisée en ce qu'elle comprend un substrat de verre ou de matière plastique sur lequel est montée une structure de pile solaire qui comporte une couche métallique transparente, une première couche de carbure de silicium
20 amorphe de type p, une couche intermédiaire de silicium amorphe intrinsèque, une troisième couche de silicium amorphe de type n et une couche métallique finale.
4. Pile selon la revendication 1, caractérisée en ce qu'elle comprend un substrat de verre ou de matière
25 plastique avec une couche métallisée séparant le substrat d'une première couche de carbure de silicium amorphe de type n, une seconde couche de silicium amorphe intrinsèque et une troisième couche de carbure de silicium amorphe de type p.
30
5. Pile selon la revendication 1, caractérisée en ce qu'elle comporte un substrat de verre ou de matière
plastique ayant une couche métallisée séparant le substrat d'une première couche de silicium amorphe de
35 type p ou de carbure de silicium de type p, une couche intermédiaire de silicium amorphe intrinsèque et une troisième couche de carbure de silicium amorphe de

type n.

6. Pile selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisée en ce que la transition du dopage entre deux des couches est progressive et donne un effet de gradient.
- 5 7. Pile solaire au silicium amorphe, caractérisée en ce qu'elle comprend plusieurs couches dont l'une au moins est formée de carbure de silicium amorphe afin que la lumière pénètre mieux à travers la pile.

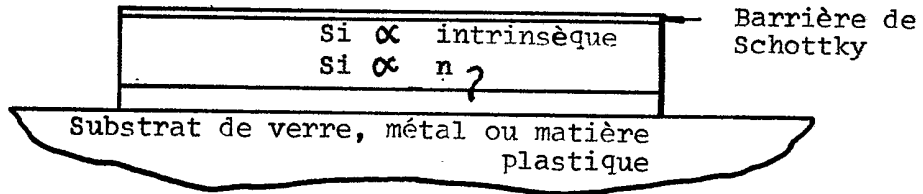


FIG.1.

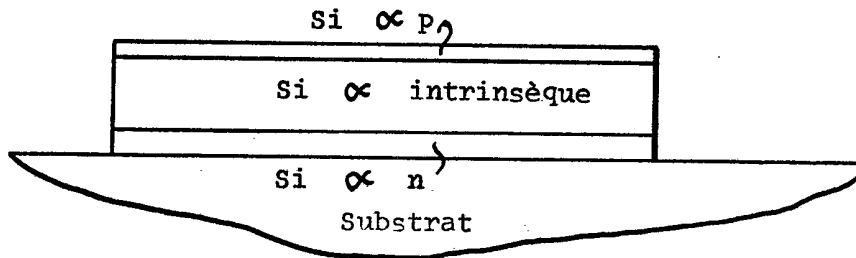


FIG.2.

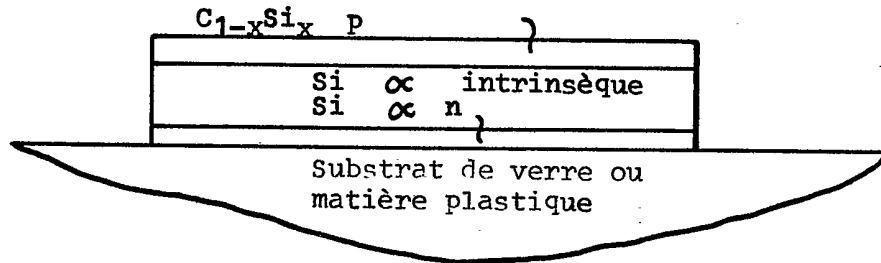


FIG.3.

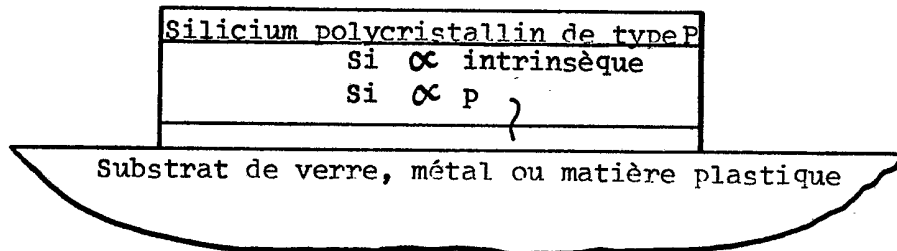


FIG.4.

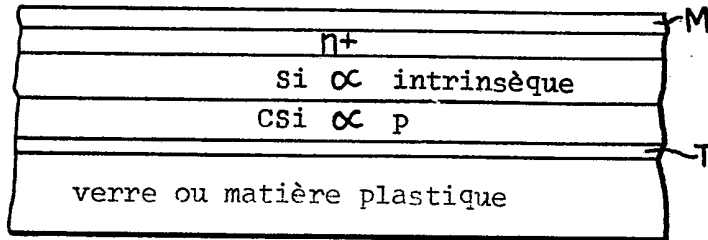


FIG. 5.

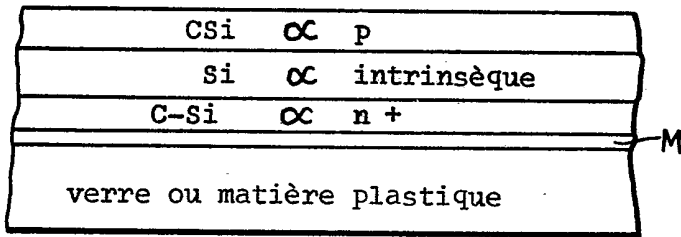


FIG. 6.

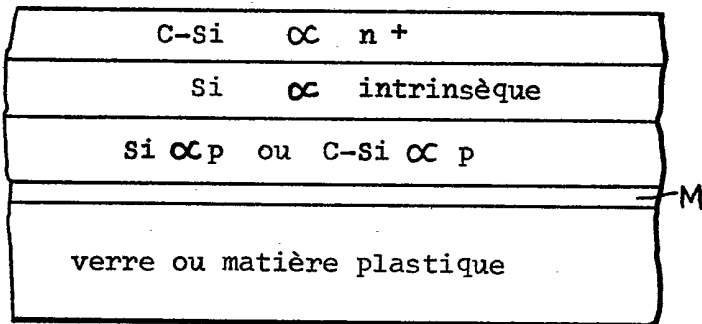


FIG. 7.