

(12) DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITÉ DE COOPÉRATION
EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)

(19) Organisation Mondiale de la Propriété
Intellectuelle
Bureau international



(43) Date de la publication internationale
26 juin 2008 (26.06.2008)

PCT

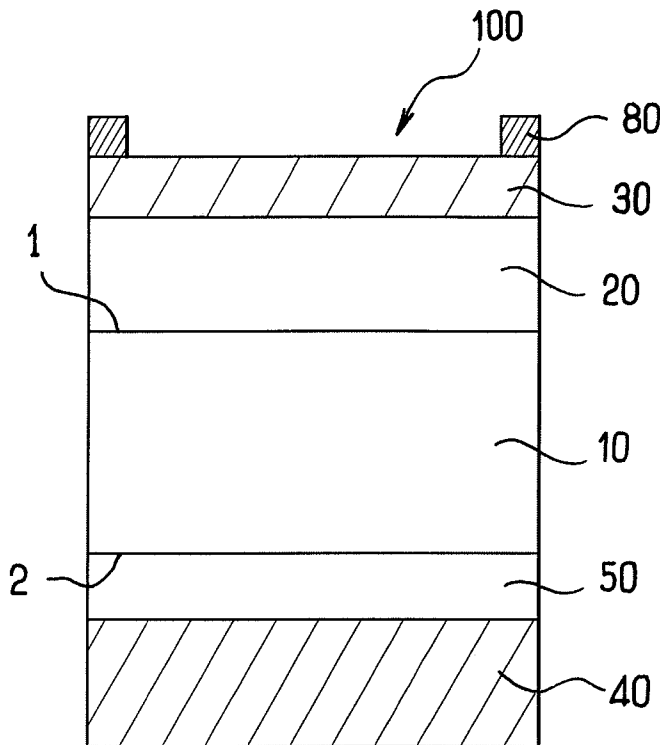
(10) Numéro de publication internationale
WO 2008/074875 A2

- (51) Classification internationale des brevets :
H01L 31/072 (2006.01) *H01L 31/18* (2006.01)
H01L 31/075 (2006.01)
- (21) Numéro de la demande internationale :
PCT/EP2007/064373
- (22) Date de dépôt international :
20 décembre 2007 (20.12.2007)
- (25) Langue de dépôt : français
- (26) Langue de publication : français
- (30) Données relatives à la priorité :
0655711 20 décembre 2006 (20.12.2006) FR
- (71) Déposants (pour tous les États désignés sauf US) :
CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE (CNRS) [FR/FR]; 3, rue Michel Ange,
- (72) Inventeurs; et
(75) Inventeurs/Déposants (pour US seulement) : **ROCA I CABARROCAS, Pere** [FR/FR]; 13bis rue Girardot, F-91140 Villebon Sur Yvette (FR). **DAMON-LACOSTE, Jérôme** [FR/FR]; 29, rue Jean Mermoz, F-92340 Bourg La Reine (FR).
- (74) Mandataire : **WARCOIN, AHNER, TEXIER, LE FORESTIER, CALLON DE LAMARCK, COLLIN, TETAZ**; Cabinet Regimbeau, 20, rue de Chazelles, F-75847 Paris Cedex 17 (FR).
- (81) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de protection nationale disponible) : AE, AG, AL, AM, AT,

[Suite sur la page suivante]

(54) Title: HETEROJUNCTION WITH INTRINSICALLY AMORPHOUS INTERFACE

(54) Titre : HETEROJONCTION A INTERFACE INTRINSEQUEMENT AMORPHE



(57) Abstract: The invention relates to a structure (100) for photovoltaic applications including: a first layer (10) of a crystalline semiconductor material having a front face (1) for receiving and/or emitting photons and a back face (2); a back contact (40) of a conductive material provided on the side of the back face (2); characterised in that it further comprises a second layer (50) of hydrogenated amorphous silicon-germanium (a-SiGe:H) between the back face (2) of the first layer (10) and the back contact (40). The invention also relates to a method for realising said structure (100).

(57) Abrégé : L'invention concerne une structure (100) pour applications photovoltaïques, comprenant : une première couche (10) en matériau semiconducteur cristallin présentant une face avant (1) pour recevoir et/ou émettre des photons et une face arrière (2); un contact arrière (40) en matériau conducteur situé du côté de la face arrière (2); caractérisée en ce qu'elle comprend en outre une deuxième couche (50) en silicium-germanium amorphe hydrogéné (a-SiGe:H) entre la face arrière (2) de la première couche (10) et le contact arrière (40).

L'invention concerne aussi un procédé pour réaliser

[Suite sur la page suivante]

WO 2008/074875 A2



AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, SV, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) **États désignés** (sauf indication contraire, pour tout titre de protection régionale disponible) : ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM,

ZW), eurasienn (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), européen (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MT, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Déclaration en vertu de la règle 4.17 :

— *relative à la qualité d'inventeur (règle 4.17.iv)*

Publiée :

— *sans rapport de recherche internationale, sera republiée dès réception de ce rapport*

HETEROJONCTION A INTERFACE INTRINSEQUEMENT AMORPHE :

L'invention concerne le domaine des cellules photovoltaïques, et plus particulièrement celui des cellules photovoltaïques utilisant des hétérojonctions.

Cette invention peut en particulier concerner des cellules comprenant :

- une couche centrale en silicium cristallin (c-Si) dopé pour recevoir et/ou émettre des photons en face avant ;
- éventuellement, une couche en silicium amorphe (a-Si) dopé située sur la face avant ; et
- une couche de contact arrière, en matériau électriquement conducteur, située en face arrière de la couche centrale.

La couche de contact peut être par exemple en un matériau métallique ou en oxyde conducteur transparent – tel l'ITO (acronyme anglo-saxon de « Indium Tin Oxide » pour Oxyde d'Etain et d'Indium).

Ce type de structure comprend une hétérojonction constituée de la couche centrale et de la couche de contact arrière.

Une telle hétérojonction normalement ou fortement dopée souffre d'une mauvaise qualité d'interface liée à une mauvaise passivation de la couche de c-Si, ainsi que d'une trop grande barrière de potentiel à l'interface, ayant pour conséquence une mauvaise collecte des porteurs.

Un effet néfaste est une perte importante du signal entre la couche centrale et la couche de contact arrière, qui limite le rendement de la cellule.

Afin de diminuer ce problème, il est connu d'interposer entre le c-Si et la couche de contact arrière une couche en silicium amorphe hydrogéné (a-Si:H).

Cependant, l'amélioration de la qualité d'interface reste insuffisante.

Des problèmes de diffusion d'éléments métalliques de la couche de contact avant et arrière de la cellule peuvent en outre apparaître lors de la formation de la couche de a-Si:H.

Un objectif de l'invention est d'apporter de nouvelles solutions au problème de la qualité de l'interface entre le c-Si et la couche de contact arrière, en face arrière de la couche de c-Si.

Un autre objectif est d'augmenter la faisabilité de la face arrière.

5 Un autre objectif de l'invention est d'augmenter le rendement de cellules photovoltaïques à hétérojonctions, de baisser les coûts, et/ou d'augmenter le rapport rendement de conversion/coût des modules photovoltaïques.

10 Un autre objectif de l'invention est de limiter la température de réalisation de la cellule.

Afin d'atteindre ces objectifs, l'invention propose, selon un premier aspect, une structure pour applications photovoltaïques, comprenant :

- une première couche en matériau semiconducteur cristallin présentant une face avant pour recevoir et/ou émettre des photons et une face arrière ;
- 15 – un contact arrière en matériau conducteur situé du côté de la face arrière ;

caractérisée en ce qu'elle comprend en outre :

- une deuxième couche en silicium-germanium amorphe hydrogéné (a-SiGe:H) entre la face arrière de la première couche et le contact arrière.

20 D'autres caractéristiques optionnelles de cette structure selon l'invention sont les suivantes :

- la deuxième couche est dopée ou intrinsèque ;
- ledit matériau semiconducteur cristallin est du silicium (Si) mono, poly ou multicristallin, et, optionnellement, le Si est dopé p et le a-SiGe:H est dopé p,
- 25 ou le Si est dopé n et le a-SiGe:H est dopé n ;
- la deuxième couche comprend en outre du carbone ;
- la couche de contact arrière est en un matériau métallique ou en un oxyde conducteur transparent, tel l'ITO ;

- la concentration en Ge dans la deuxième couche varie progressivement dans l'épaisseur de celle-ci ; la concentration en Ge dans la deuxième couche peut varier progressivement dans l'épaisseur de celle-ci de sorte à être plus importante du côté de la couche de contact arrière et moins importante du côté de la première couche ;
- la structure comprend en outre une troisième couche en matériau semiconducteur amorphe ou polymorphe, éventuellement dopée, sur la face avant de la première couche ; la troisième couche est éventuellement en Si amorphe hydrogéné ou en SiGe amorphe hydrogéné ; la troisième couche est éventuellement dopée n si la première couche est dopée p, ou la troisième couche est dopée p si la première couche est dopée n ; la structure peut comprendre en outre une couche de contact avant en matériau électriquement conducteur et transparent sur la troisième couche, le matériau conducteur pouvant être un oxyde conducteur transparent tel l'ITO ;
- la deuxième couche présente une bande interdite entre environ 1,2 et 1,7 eV, et plus particulièrement de l'ordre de 1,5 eV ;

Selon un deuxième aspect, l'invention propose un procédé pour réaliser une structure pour applications photovoltaïques, comprenant les étapes suivantes :

- (a) fournir une première couche en matériau semiconducteur cristallin ayant une face avant pour recevoir et/ou émettre des photons et une face arrière ;
- (b) former une deuxième couche par dépôt de silicium-germanium amorphe hydrogéné (a-SiGe:H) sur la face arrière de la première couche ;
- (c) former une couche de contact arrière en un matériau électriquement conducteur sur la deuxième couche.

D'autres caractéristiques optionnelles de ce procédé selon l'invention sont les suivantes :

- l'étape (a) et/ou (b) comprend en outre une implantation d'éléments dopants;
 - l'étape (b) est mise en œuvre à une température inférieure ou similaire à 250°C ;
- 5 – l'étape (b) est mise en œuvre de sorte que la concentration en Ge dans la deuxième couche varie progressivement dans l'épaisseur de celle-ci ; la concentration en Ge dans la deuxième couche peut en particulier augmenter progressivement à partir de la première couche ;
- le procédé comprend en outre une sélection de la concentration
- 10 d'hydrogène dans la deuxième couche afin d'ajuster les bandes de valence et de conduction de sorte à obtenir, respectivement, des discontinuités de bandes de valence et de bandes de conduction déterminées à l'interface avec la première couche ; la deuxième couche peut être dopée n, la discontinuité de bande de valence est suffisamment forte pour réaliser une
- 15 barrière de potentiel apte à venir repousser des trous de l'interface et éviter ainsi une recombinaison à l'interface, et la discontinuité de bandes de conduction est suffisamment faible pour minimiser le blocage des électrons à l'interface ; alternativement, la deuxième couche peut être dopée p, la discontinuité de bandes de valence est suffisamment faible pour minimiser le
- 20 blocage des trous à l'interface, et la discontinuité de bandes de conduction est suffisamment forte pour repousser les électrons de l'interface et éviter ainsi une recombinaison à l'interface ; le procédé comprend en outre une sélection de la concentration de germanium dans la deuxième couche afin que la bande interdite du matériau de la partie arrière de la deuxième couche
- 25 ait une largeur déterminée ;
- le procédé comprend en outre la formation d'une troisième couche en matériau amorphe hydrogéné, éventuellement dopé, sur la face avant de la première couche, la troisième couche étant en un matériau semiconducteur amorphe ou polymorphe ; éventuellement, le procédé comprend la formation

d'une couche de contact électrique en matériau électriquement conducteur et transparent aux photons, sur la troisième couche.

D'autres caractéristiques, buts et avantages de cette invention se comprendront mieux à la lecture de la description qui suit, non limitative, illustrée par la figure unique suivante :

La figure 1 représente une vue schématique en coupe transversale d'une structure à hétérojonctions, pour application photovoltaïque, selon l'invention.

La figure 2 représente un exemple de diagramme de bandes de la face arrière d'une hétérojonction c-Si de type P / a-SiGe de type P.

Une structure à hétérojonction 100, telle que, par exemple, une cellule photoélectrique, comporte une couche active ou substrat 10 cristallin (e.g. monocristallin, polycristallin ou multicristallin) dopé et une couche en matériau amorphe dopé 20 présentant une différence de valeurs de bandes interdites et donc des discontinuités de bandes entre elles.

De préférence, soit la couche active 10 est dopée n et la couche amorphe 20 est dopée p soit la couche active 10 est dopée p et la couche amorphe 20 est dopée n.

On pourra par exemple choisir le silicium et/ou le SiGe pour constituer ces deux couches 10 et 20.

Cette hétérojonction amorphe/cristallin est réalisée de sorte à permettre d'obtenir une tension en face avant déterminée.

La couche active 10 peut avoir une épaisseur de plusieurs micromètres voire de plusieurs centaines de micromètres.

Sa résistivité peut être inférieure à 20, à 10 ohms ou plus particulièrement autour de 5 ohms ou moins.

La couche active 10 comporte une face avant 1 et une face arrière 2.

La face avant 1 est destinée à recevoir les photons (et/ou à émettre ceux-ci).

La face arrière 2 est destinée à être raccordée à un contact électrique arrière.

La couche amorphe dopée 20 se situe du côté de la face avant 1.

Une couche de contact avant 30 en matériau métallique, ou en oxyde conducteur transparent tel que l'ITO (acronyme anglo-saxon de « Indium Tin Oxide » pour Oxyde d'Etain et d'Indium), peut être prévue sur la couche amorphe 20. Eventuellement, on peut trouver des motifs en métal sérigraphiés 80 sur cette couche de contact avant 30.

Une couche de contact arrière 40 en matériau métallique, ou en un oxyde conducteur transparent tel que l'ITO, est par ailleurs prévue du côté de la face arrière 2 de la couche active 10.

Selon l'invention, une couche de transition 50 en a-SiGe:H est interposée entre la couche active 10 et cette couche de contact arrière 40.

En alternative, cette couche de silicium-germanium peut être en matériau polymorphe donc de type pmSiGe :H.

Pour fabriquer une telle couche de transition 50, un dépôt, par exemple par PECVD, du matériau amorphe ou polymorphe est alors effectué en face arrière 2 de la couche active 10. Plus de précisions sur une ou plusieurs techniques de dépôt pourront par exemple être trouvées dans « Hydrogenated amorphous silicon deposition processes » de Werner Luft et Y. Simon Tsuo (Copyright 1993 de Marcel Dekker Inc. ISBN 0-8247-9146-0).

Une telle couche de transition 50 selon l'invention permet de très bien passiver la surface du silicium cristallin, le silicium-germanium amorphe ou polymorphe ayant des propriétés adaptés pour diminuer la présence de défauts d'interface avec, par exemple, une couche active 10 en c-Si.

Un autre avantage d'une telle couche de transition 50 est que les alliages de silicium-germanium amorphes en face arrière de cellules à hétérojonctions ont une largeur de bande interdite (« gap ») moindre que le silicium amorphe, et donc plus proche de la bande interdite du c-Si de la couche active 10. On aura ainsi typiquement, dans le cas où la couche active

10 est en c-Si, une couche de transition 50 en a-SiGe:H ayant une barrière de potentiel inférieure à du a-Si:H, pour des dépôts et des épaisseurs équivalents.

Avec une couche de transition 50 en a-SiGe:H, on peut donc :

- 5 - aussi bien, voire mieux, passiver la face arrière 2 de la couche active 10,
- tout en se rapprochant davantage des propriétés électriques de la couche active 10, facilitant ainsi le transport des porteurs de la couche active 10 vers la couche de contact arrière 40,

10 qu'une couche de transition 50 en a-Si:H.

Une couche de transition 50 en a-SiGe:H permet donc d'améliorer le contact en face arrière réalisé pour extraire les porteurs de la structure 100.

La structure ou cellule 100 gagne donc en rendement et en précision.

Un autre intérêt de l'invention réside dans la possibilité de faire varier
15 facilement le gap de la couche de transition 50.

En effet, la couche de transition 50 comprend trois éléments (Si, Ge et H) dont les concentrations respectives déterminent le gap, ainsi que le profil des bandes de valence et de conduction.

En particulier, une augmentation du contenu en germanium des
20 couches d'a-SiGe:H diminue la valeur du gap.

Or, il peut être très utile de pouvoir ainsi contrôler précisément ce gap.

On pourra ainsi faire en sorte d'obtenir des valeurs médianes entre les propriétés électriques de la couche active 10 et de la couche de contact arrière 40.

25 Optionnellement, on pourra faire en sorte de faire varier progressivement la concentration en Ge dans l'épaisseur de la couche de transition 50. Cette variation de concentration peut être continue en faisant varier continûment le dosage des précurseurs du Ge par rapport aux précurseurs du Si au fur et à mesure du dépôt, ou par paliers en déposant
30 successivement des couches qui ont des concentrations en Ge étant

constantes dans chacune d'elles mais variant d'une couche à une autre. Ainsi, dans certaines conditions il pourra être avantageux que la concentration en Ge dans la couche de transition 50 varie de sorte à être plus importante du côté de la couche de contact arrière 40 et moins importante du côté de la couche active 10, afin de réduire progressivement le gap de la couche de transition 50 entre le gap de la couche active 10 et celui de la couche de contact arrière 40.

De plus, la variation du contenu en hydrogène du matériau peut modifier la répartition des discontinuités de bande de valence et de conduction à l'interface, sans pour autant que la valeur du gap en soit nécessairement modifiée.

En référence à la figure 2, illustrant les discontinuités de bande de valence ΔE_v et de bandes de conduction ΔE_c existant à l'interface entre le c-Si d'une part (partie gauche du diagramme de bandes) et le a-SiGe:H d'autre part (partie droite), on peut se rendre compte qu'il est effectivement possible de faire varier la valeur du ΔE_v et la valeur du ΔE_c sans pour autant modifier la différence de gap entre les deux matériaux (cette différence étant égale à la somme de ΔE_v et de ΔE_c).

En particulier, une augmentation de la concentration d'hydrogène dans la couche de transition 50 pourra permettre d'augmenter ΔE_v tout en diminuant ΔE_c et, à l'inverse, une diminution de la concentration d'hydrogène dans la couche de transition 50 pourra permettre de diminuer ΔE_v tout en augmentant ΔE_c .

Une sélection préalable de la concentration d'hydrogène dans la couche de transition 50 est donc avantageusement faite de façon appropriée selon l'invention, de sorte à ajuster les bandes de valence et de conduction de la couche de transition 50 pour obtenir, respectivement, des discontinuités de bandes de valence et de conduction déterminées à l'interface avec la couche active 10.

En particulier, on peut choisir une concentration d'hydrogène pour :

- si la couche de transition 50 est dopée n, obtenir un ΔE_v suffisamment fort pour réaliser une barrière de potentiel apte à repousser les trous de l'interface suffisamment pour éviter qu'ils s'y recombinent, et un ΔE_c suffisamment faible pour limiter le blocage des électrons à l'interface ; ou

- si la couche de transition 50 est dopée p, obtenir un ΔE_v suffisamment faible pour minimiser la barrière de potentiel à l'interface et faciliter ainsi le déplacement des trous vers le contact arrière 40, et un ΔE_c suffisamment fort pour réaliser une barrière de potentiel apte à repousser les électrons de l'interface suffisamment pour éviter qu'ils s'y recombinent.

Plus de précisions concernant l'influence du taux d'hydrogène sur la répartition des discontinuités de bandes pourront par exemple être trouvées dans la publication de Chris G. Van de Walle intitulée « Band discontinuities at heterojunctions between crystalline and amorphous silicon » (Journal of Vacuum Science & Technology B, Vol.13, p.1635-1638 (1995)).

On peut donc, selon l'invention, optimiser la qualité électrique d'interface en face arrière de la cellule 100 en jouant sur les paramètres de dépôt de la couche de transition 50, et en particulier en sélectionnant les compositions respectives en Ge et en H particulières.

L'invention offre donc un degré de liberté supplémentaire dans l'ingénierie de bandes des faces arrière des cellules à hétérojonctions.

De plus, la variation du contenu en germanium et/ou en hydrogène selon l'invention permet de changer la nature et les propriétés du matériau amorphe tout en ne modifiant pas la température du dépôt.

Cet ajustement de paramètres du dépôt n'est donc en rien contraignant d'un point de vue temps (de montée en température), énergie et gestion.

L'invention permet par exemple d'obtenir de faibles largeurs de bande interdite pour le semiconducteur amorphe (entre 1,1 et 1,7 eV, et plus particulièrement de l'ordre de 1,5 eV) et/ou une qualité du matériau amorphe

déposé en face arrière sans trop augmenter la température (de l'ordre de 250° C).

Un autre intérêt de l'invention est que, pour obtenir une même valeur de gap prédéterminée, la température de dépôt d'une couche en a-SiGe:H (qui est typiquement similaire ou inférieure à 250°C) est inférieure à la température de dépôt d'une couche en a-Si:H.

Pour illustration, le tableau donne des correspondances entre gaps et températures, pour différentes concentrations de Ge :

Gap (eV)	a-Si:H	a-Si _{0,95} Ge _{0,05} :H	a-Si _{0,9} Ge _{0,1} :H
1,39	-	-	200°C
1,48	300°C	-	-
1,51	-	200°C	-
1,58	-	150°C	-
1,60	250°C	-	-
1,67	200°C	-	-
1,74	150°C	-	-

Par conséquent, la formation d'une telle couche de a-SiGe:H est plus économique en temps et en énergie que la formation d'une couche de a-Si:H.

Le budget thermique à prévoir est donc plus simple à gérer et moins coûteux.

De plus, cette diminution en température par rapport au a-Si:H permet de diminuer les risques de diffusion dans les semiconducteurs des couches 10, 20, 50 d'éléments conducteurs (par exemple métalliques) provenant des couches de contact 30-40, qui nuiraient clairement au fonctionnement de la cellule 100.

Eventuellement, la couche de transition 50 est de plus dopée p ou n.

La structure 100 peut par exemple comprendre une couche active 10 en silicium cristallin de type p, une couche 20 de type n en a-Si:H en face avant 1 et une couche 50 de type p en a-SiGe:H en face arrière 2. Le ou les éléments dopants peuvent être choisis parmi : P, B, As, Zn, Al.

5 Alternativement, la structure 100 peut par exemple comprendre une couche active 10 en silicium cristallin de type n, une couche 20 de type p en a-Si:H en face avant 1 et une couche 50 de type n en a-SiGe:H en face arrière 2. Le ou les éléments dopants peuvent être choisis parmi : P, B, As, Zn, Al.

10 La réalisation en face arrière 2 d'une couche 50 en a-SiGe:H ayant un dopage du même type que celui de la couche active 10 en c-Si permet de diminuer encore les recombinaisons de porteurs avant la couche de contact arrière 40.

15 Les autres couches 40, 20, 50 de la structure 100 sont déposées par des techniques connues en soi, telles que des techniques de dépôt en phase vapeur ou autres.

20 Un domaine d'application de cette invention utilisant du silicium-germanium amorphe concerne le secteur énergétique, et en particulier : les cellules 100 peuvent être utilisées pour la conversion d'énergie solaire en énergie électrique.

Comme expliqué auparavant, les cellules 100 selon l'invention sont réalisées à moindre coût tout en ayant un rendement plus grand.

REVENDEICATIONS

1. Structure (100) pour applications photovoltaïques, comprenant :
- une première couche (10) en matériau semiconducteur cristallin présentant une face avant (1) pour recevoir et/ou émettre des photons et une
5 face arrière (2) ;
 - un contact arrière (40) en matériau conducteur situé du côté de la face arrière (2) ;
- caractérisée en ce qu'elle comprend en outre :
- une deuxième couche (50) unique en silicium-germanium amorphe
10 hydrogéné (a-SiGe:H) entre la face arrière (2) de la première couche (10) et le contact arrière (40).
2. Structure (100) selon la revendication précédente, caractérisée en ce que la deuxième couche (50) est dopée ou intrinsèque.
3. Structure (100) selon l'une des revendications précédentes,
15 caractérisée en ce que ledit matériau semiconducteur cristallin est du silicium (Si) mono, poly ou multicristallin.
4. Structure (100) selon la revendication précédente, caractérisée en ce que le Si est dopé p et le a-SiGe:H est dopé p, ou le Si est dopé n et le a-SiGe:H est dopé n.
- 20 5. Structure (100) selon l'une des revendications précédentes, caractérisée en ce que la deuxième couche (50) comprend en outre du carbone.
6. Structure (100) selon l'une des revendications précédentes, caractérisée en ce que la couche de contact arrière (40) est en un matériau
25 métallique ou en un oxyde conducteur transparent, tel l'ITO.
7. Structure (100) selon l'une des revendications précédentes, caractérisée en ce que la concentration en Ge dans la deuxième couche (50) varie progressivement dans l'épaisseur de celle-ci.

8. Structure (100) selon l'une des revendications 5 et 6 combinée avec la revendication 7, caractérisée en ce que la concentration en Ge dans la deuxième couche (50) varie progressivement dans l'épaisseur de celle-ci de sorte à être plus importante du côté de la couche de contact arrière (30) et moins importante du côté de la première couche (10).

9. Structure (100) selon l'une des revendications précédentes, caractérisée en ce qu'elle comprend en outre une troisième couche (20) en matériau semiconducteur amorphe ou polymorphe, éventuellement dopée, sur la face avant de la première couche.

10. Structure (100) selon la revendication précédente, caractérisée en ce que la troisième couche (20) est en Si amorphe hydrogéné ou en SiGe amorphe hydrogéné.

11. Structure (100) selon la revendication 4 combinée à la revendication 10, caractérisée en ce que la troisième couche (20) est dopée n si la première couche (10) est dopée p, ou la troisième couche (20) est dopée p si la première couche (10) est dopée n.

12. Structure (100) selon l'une des trois revendications précédentes, caractérisée en ce qu'elle comprend en outre une couche de contact avant (30) en matériau électriquement conducteur et transparent sur la troisième couche (20).

13. Structure (100) selon la revendication précédente, caractérisée en ce que la couche de contact avant (30) est en un oxyde conducteur transparent, tel l'ITO.

14. Structure (100) selon l'une des revendications précédentes, caractérisée en ce que la deuxième couche (50) présente une bande interdite entre environ 1,2 et 1,7 eV, et plus particulièrement de l'ordre de 1,5 eV.

15. Procédé pour réaliser une structure (100) pour applications photovoltaïques, comprenant les étapes suivantes :

(a) fournir une première couche (10) en matériau semiconducteur cristallin ayant une face avant (1) pour recevoir et/ou émettre des photons et une face arrière (2) ;

(b) former une deuxième couche (50) par dépôt de silicium-germanium amorphe hydrogéné (a-SiGe:H) sur la face arrière (2) de la première couche (10) ;

(c) former une couche de contact arrière (40) en un matériau électriquement conducteur sur la deuxième couche (50).

16. Procédé selon la revendication précédente, caractérisé en ce que l'étape (a) et/ou (b) comprend en outre une implantation d'éléments dopants.

17. Procédé selon l'une des deux revendications précédentes, caractérisé en ce que l'étape (b) est mise en œuvre à une température inférieure ou similaire à 250°C.

18. Procédé selon l'une des trois revendications précédentes, caractérisé en ce que l'étape (b) est mise en œuvre de sorte que la concentration en Ge dans la deuxième couche (50) varie progressivement dans l'épaisseur de celle-ci.

19. Procédé selon la revendication précédente, caractérisé en ce que la concentration en Ge dans la deuxième couche (50) augmente progressivement à partir de la première couche (10).

20. Procédé selon l'une des cinq revendications précédentes, caractérisé en ce qu'il comprend en outre une sélection de la concentration d'hydrogène dans la deuxième couche (50) afin d'ajuster les bandes de valence et de conduction de sorte à obtenir, respectivement, des discontinuités de bandes de valence et de bandes de conduction déterminées à l'interface avec la première couche (10).

21. Procédé selon la revendication précédente, caractérisé en ce que :

- la deuxième couche (50) est dopée n, en ce que la discontinuité de bandes de valence est suffisamment forte pour réaliser une barrière de potentiel apte à venir repousser des trous de l'interface et éviter ainsi une

recombinaison à l'interface, et en ce que la discontinuité de bandes de conduction est suffisamment faible pour minimiser le blocage des électrons à l'interface ;

- la deuxième couche (50) est dopée p, en ce que la discontinuité de bandes de valence est suffisamment faible pour minimiser le blocage des trous à l'interface, et en ce que la discontinuité de bandes de conduction est suffisamment forte pour repousser les électrons de l'interface et éviter ainsi une recombinaison à l'interface.

22. Procédé selon l'une des revendications 15 à 21, caractérisé en ce qu'il comprend en outre une sélection de la concentration de germanium dans la deuxième couche (50) afin que la bande interdite du matériau constituant la partie arrière de la deuxième couche (50) ait une largeur déterminée.

23. Procédé selon l'une des revendications 15 à 22, caractérisé en ce qu'il comprend en outre la formation d'une troisième couche (30) en matériau amorphe hydrogéné, éventuellement dopé, sur la face avant (1) de la première couche (10), la troisième couche (30) étant en un matériau semiconducteur amorphe ou polymorphe.

24. Procédé selon la revendication précédente, caractérisé en ce qu'il comprend la formation d'une couche de contact électrique (30) en matériau électriquement conducteur et transparent aux photons, sur la troisième couche (20).

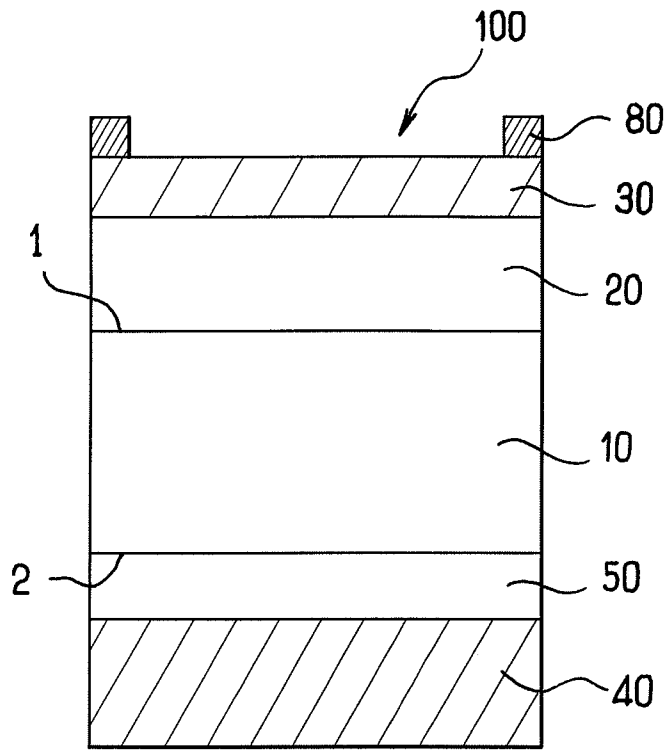


FIG.1

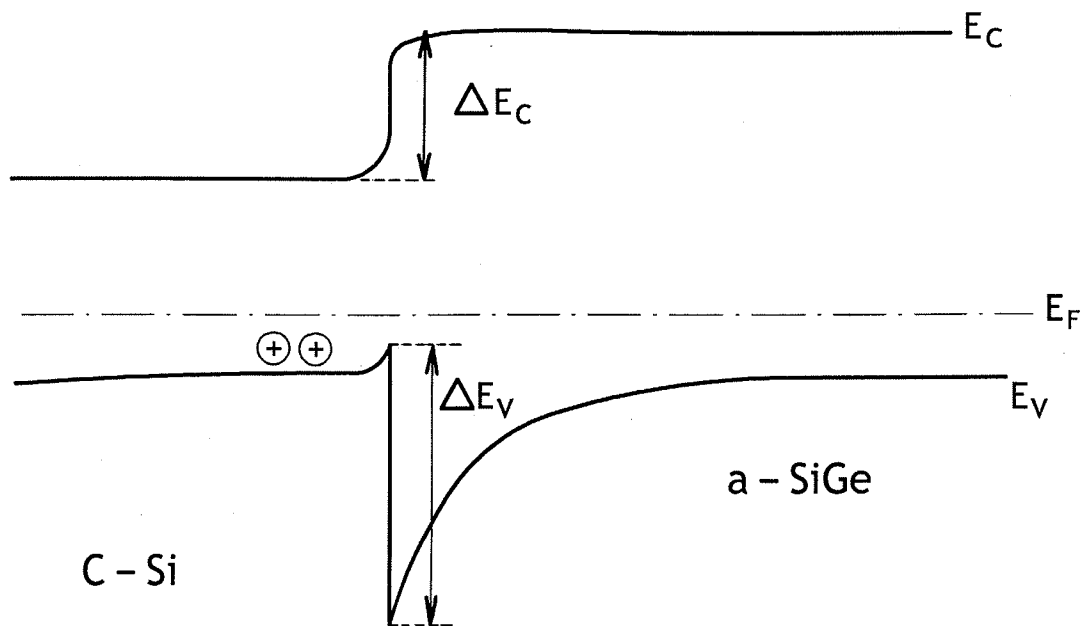


FIG.2