(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
9 août 2012 (09.08.2012)

WIPO | PCT

(10) Numéro de publication internationale
WO 2012/104535 A2

(51) Classification internationale des brevets :
H01L 31/0236 (2006.01) *C23C 16/02* (2006.01)
H01L 31/0392 (2006.01) *C23C 16/24* (2006.01)
H01L 31/18 (2006.01) *H01L 31/042* (2006.01)
C22C 38/08 (2006.01)

(21) Numéro de la demande internationale :
PCT/FR2012/050195

(22) Date de dépôt international :
30 janvier 2012 (30.01.2012)

(25) Langue de dépôt : français

(26) Langue de publication : français

(30) Données relatives à la priorité :
1150718 31 janvier 2011 (31.01.2011) FR

(71) Déposants *(pour tous les États désignés sauf US)* : **INSTITUT POLYTECHNIQUE DE GRENOBLE** [FR/FR]; 46, Avenue Félix Viallet, F-38000 Grenoble (FR). **CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE** [FR/FR]; 3, Rue Michel Ange, F-75794 Paris Cedex 16 (FR).

(72) Inventeurs; et

(75) Inventeurs/Déposants *(pour US seulement)* : **CHICHIGNOUD, Guy** [FR/FR]; 20, Chemin Vieux dit Perrin, F-38100 Grenoble (FR). **BLANQUET, Elisabeth** [FR/FR]; 24, Chemin de Bellevue, F-38640 Claix (FR). **GELARD, Isabelle** [FR/FR]; 3, Rue Auguste Renoir, F-38400 Saint Martin D'heres (FR). **JIMENEZ, Carmen** [ES/FR]; 7, Rue Sergent Bobillot, F-38000 Grenoble (FR). **SARIGIANNIDOU, Eirini** [GR/FR]; 45 Bis, Rue Paviot, F-38120 Saint Egreve (FR). **ZAIDAT, Kader** [FR/FR]; 20, Rue Louise Labé, F-38400 Saint Martin D'heres (FR). **WEISS, François** [FR/FR]; 55, Chemin du Moulin, F-38330 Montbonnot (FR). **PONS, Michel** [FR/FR]; 36, Chemin Carronnerie, F-38700 La Tronche (FR).

(74) Mandataire : **CABINET BEAUMONT**; 1, Rue Champollion, F-38000 Grenoble (FR).

(81) États désignés *(sauf indication contraire, pour tout titre de protection nationale disponible)* : AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, 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, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, 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, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasien (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), européen (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK,

[Suite sur la page suivante]

(54) Title : STRUCTURE FOR FORMING SOLAR CELLS

(54) Titre : STRUCTURE ADAPTEE A LA FORMATION DE CELLULES SOLAIRES

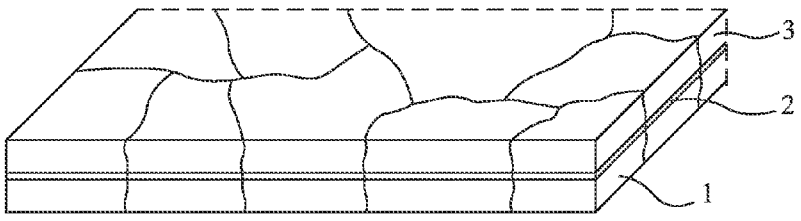


Fig 1

(57) Abstract : The invention relates to a structure adapted for the formation of solar cells, comprising the following successive elements, namely: a sheet (1) of textured metal with crystal grains having an average size greater than 50 μm, said sheet being adapted to form a rear face electrode of the cells; a diffusion barrier layer (2) having a thickness of between 0.2 and 2 μm, made from an electrically conductive material with crystal grains having an average size greater than 50 μm; and a doped multicrystalline silicon layer (3) having a thickness of between 30 and 100 μm, with crystal grains having an average size greater than 50 to 100 μm, in which the average diffusion length of the carriers is greater than 50 μm.

(57) Abrégé : L'invention concerneune structure adaptée à la forma- tion de cellules solaires comprenant successivement une feuille (1) d'un métal texturé à grains cristallins d'une dimension moyenne supérieure à 50 μm, adaptée à former une électrode de face arrière desdites cellules;une couche barrière (2) de diffusion d'une épaisseur de 0,2 à 2 μm en un matériau électri- quement conducteur, présentant des grains cristallins d'une dimension moyenne supérieure à 50 μm; etune couche de silicium multi-cristallin dopé (3) d'une épaisseur de 30 à 100 μm présentant des grains cristallins d'une dimension moyenne supérieure à 50 à 100 μm, dans laquelle la longueur de diffusion des porteurs a une valeur moyenne supérieure à 50 μm.

WO 2012/104535 A2

SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Publiée :

— *sans rapport de recherche internationale, sera republiée dès réception de ce rapport (règle 48.2.g))*

STRUCTURE ADAPTEE A LA FORMATION DE CELLULES SOLAIRES

Domaine de l'invention

La présente invention concerne une structure adaptée à la formation de cellules photovoltaïques, couramment appelées cellules solaires.

Exposé de l'art antérieur

De façon générale, les cellules solaires les plus couramment utilisées aujourd'hui sont des cellules comprenant une jonction PN formée dans du silicium.

Pour la fabrication de cellules solaires, on est notamment parti dans la technique de trois types de substrat :

- des plaquettes de silicium monocristallin ;
- des plaquettes de silicium polycristallin ;
- des dépôts de silicium sur divers substrats.

L'utilisation de plaquettes de silicium monocristallin conduit aux meilleurs rendements (rendement expérimental maximum de 23%) mais conduit également à des produits extrêmement coûteux et de telles cellules ne sont pratiquement utilisées que quand des cellules de très haute qualité sont nécessaires, par exemple dans des satellites.

L'utilisation de plaquettes de silicium polycristallin conduit à un compromis plus avantageux entre le rendement des photocellules et le coût de production, mais exige d'utiliser

des installations complexes de fabrication de lingots de silicium polycristallin. Surtout, les différentes opérations de conditionnement des lingots (éboutage, écroutage) ainsi que le sciage des plaquettes conduisent à une perte de matière importante, de près de 50 % du poids du lingot et de plus de 50% de la charge initiale en silicium.

Le dépôt d'une couche de silicium sur un substrat conducteur, par exemple métallique, constitue la solution la moins coûteuse mais, dans les techniques actuelles, cela amène à des dépôts de silicium amorphe ou microcristallisé. Or, une cellule solaire constituée à partir de silicium amorphe atteint un rendement de l'ordre de 5 % beaucoup plus faible que celui de silicium mono ou polycristallin. Dans le cas de silicium micro-cristallisé, le rendement est compris dans une gamme supérieure à celle du silicium amorphe mais limitée par un taux de défauts élevé par rapport au silicium cristallin. Ces défauts sont générés par une forte densité de joints de grains et par l'accumulation de défauts (dislocations, défauts ponctuels, impuretés,...) dans les grains eux-mêmes.

Ainsi, les procédés courants de fabrication de substrats de cellules solaires présentent divers inconvénients en ce qui concerne le compromis coût-rendement. Plusieurs approches visant à pallier ces défauts ont été proposées parmi lesquelles ont peut mentionner les trois suivantes.

1) Elaboration de silicium cristallin à basse température (T<630°C) par des techniques de dépôt physique en phase vapeur (pulvérisation cathodique assistée par ions) sur un substrat, tel que présenté dans la demande de brevet US2006/0208257. Ce document décrit essentiellement la formation de silicium cristallin sur une couche intermédiaire formée sur un support électriquement isolant et amorphe tel que du verre. En outre l'élaboration de silicium cristallin à des températures inférieures à 800°C conduit à un matériau présentant un fort taux de défauts structuraux, ce qui est

préjudiciable au rendement de conversion, et limite la vitesse de croissance.

2) Dépôt de silicium cristallisé directement sur un substrat métallique cristallographiquement optimisé, tel que décrit dans les demandes de brevet EP2031082A1 et JP201018307. Cette solution présente l'avantage de transférer des caractéristiques cristallographiques au silicium élaboré sur le substrat métallique. La réactivité à l'interface entre le silicium et le substrat n'est pas bloquée, ce qui limite les procédés d'élaboration du silicium à des techniques de dépôt chimique en phase vapeur (CVD) à basse température (T<600°C). Le matériau élaboré présente de fait les mêmes inconvénients que celui décrit précédemment, à savoir un fort taux de défauts structuraux et une vitesse de croissance très faible.

3) Dépôt de silicium sur un support métallique protégé par une couche barrière à caractère isolant électrique (silice, borosilicate, phosphosilicate), tel que décrit dans le brevet US3961997. Ceci permet de réaliser un dépôt de silicium polycristallin à plus haute température, ce qui conduit à un matériau de meilleure qualité cristalline et permet d'atteindre de plus fortes épaisseurs déposées. La réactivité entre le silicium et le substrat est traitée par la réalisation d'une couche barrière isolante électrique. Dans un tel procédé le substrat ne peut de fait pas jouer de rôle actif dans la cellule photovoltaïque et ne représente qu'un support mécanique du silicium déposé.

4) Dépôt de silicium sur un support métallique protégé par une couche barrière en un matériau semiconducteur ou métallique optiquement transparent, tel que décrit dans le brevet US4571448. La couche de silicium est déposée par voie liquide. Une texturation de surface du support est réalisée pour augmenter la réflexion de la lumière sur le support.

Ainsi, l'art antérieur suggère des dépôts de silicium sur un support métallique dans lesquels :

- ou bien le dépôt de silicium est fait à une température inférieure à 800°C, d'où il résulte une mauvaise qualité cristalline du silicium ;

- ou bien il existe une couche d'interface électriquement isolante ou optiquement transparente entre le silicium et un support métallique.

Résumé

Un objet d'un mode de réalisation de la présente invention est de prévoir une structure comprenant une couche de silicium cristallin sur une feuille métallique pour la fabrication de cellules solaires à bas coût et à rendement de conversion photovoltaïque élevé (>15%).

Un autre objet plus particulier de la présente invention est de prévoir une telle structure dans laquelle la feuille métallique puisse servir d'électrode pour les cellules solaires.

Pour atteindre ces objets ainsi que d'autres, un mode de réalisation de la présente invention prévoit une structure adaptée à la formation de cellules solaires comprenant successivement une feuille d'un métal texturé à grains cristallins d'une dimension moyenne supérieure à 50 µm, adaptée à former une électrode de face arrière desdites cellules ; une couche barrière de diffusion d'une épaisseur de 0,2 à 2 µm en un matériau électriquement conducteur à caractère métallique, choisi dans le groupe comprenant TiN, TiAlN, TaN, CrN et WSi_2, présentant des grains cristallins d'une dimension moyenne supérieure à 50 µm, la couche barrière étant formée avec une relation d'épitaxie avec la feuille ; et une couche de silicium multi-cristallin dopé d'une épaisseur de 30 à 100 µm présentant des grains cristallins d'une dimension moyenne supérieure à 50 à 100 µm, dans laquelle la longueur de diffusion des porteurs a une valeur moyenne supérieure à 50 µm, la couche de silicium multi-cristallin étant formée avec une relation d'épitaxie avec la couche barrière.

Selon un mode de réalisation de la présente invention, la feuille de métal est une feuille en un matériau choisi dans le groupe comprenant un alliage métallique à base de fer, un

alliage métallique à base de nickel, un alliage métallique à base de cuivre, un acier austénitique, un acier ferritique.

Selon un mode de réalisation de la présente invention, la dimension moyenne des grains cristallins dans la feuille de métal est supérieure à 1 mm.

Un mode de réalisation de la présente invention prévoit une cellule solaire formée dans la couche de silicium de la structure ci-dessus, dans laquelle la feuille de métal constitue l'électrode de face arrière.

Un mode de réalisation de la présente invention prévoit un procédé de fabrication d'une structure telle que ci-dessus, dans lequel la couche barrière et la couche de silicium sont déposées successivement par dépôt chimique à des températures comprises entre 800 et 1000°C.

Brève description des dessins

Ces objets, caractéristiques et avantages, ainsi que d'autres seront exposés en détail dans la description suivante de modes de réalisation particuliers faite à titre non-limitatif en relation avec les figures ci-jointes parmi lesquelles :

la figure 1 représente un exemple de réalisation d'une structure adaptée à la formation de cellules solaires selon la présente invention ;

la figure 2 est une vue en perspective, partielle et schématique, d'un exemple de réalisation d'une cellule solaire selon la présente invention comprenant la structure de la figure 1 ; et

la figure 3 est une vue en perspective, partielle et schématique, d'un autre exemple de réalisation d'une cellule solaire selon la présente invention comprenant la structure de la figure 1.

Par souci de clarté, de mêmes éléments ont été désignés par de mêmes références aux différentes figures et, de plus, comme cela est habituel dans la représentation de structures multicouches, les diverses figures ne sont pas tracées à l'échelle.

Description détaillée

Comme l'illustre la figure 1, une structure adaptée à la formation de cellules solaires selon un mode de réalisation de la présente invention comprend sur un support métallique 1, une couche barrière électriquement conductrice 2 et une couche de silicium multi-cristallin dopé de préférence de type électro-accepteur (type P) 3.

Le support 1 est une feuille métallique ayant une épaisseur suffisante pour assurer sa tenue mécanique, par exemple une épaisseur supérieure à 100 µm. Cette feuille est constituée à partir d'un métal structuré, c'est-à-dire présentant des grains cristallins de relativement grande dimension, par exemple des grains cristallins dont la dimension moyenne est supérieure à 50 µm, et peut atteindre des valeurs de l'ordre de 1 à 5 mm. Un exemple d'une telle feuille métallique est une feuille d'acier inoxydable, comprenant par exemple un pourcentage de chrome de l'ordre de 15 à 25 %. Un tel produit est couramment disponible commercialement. La face supérieure de cette feuille métallique est traitée de façon à être désoxydée en surface par exemple par un traitement par un ou plusieurs acides tel que l'acide fluorhydrique ou l'acide nitrique. Ensuite, cette surface supérieure est de préférence polie pour avoir une rugosité moyenne inférieure à 0,1 µm.

La couche barrière est en un matériau choisi parmi le groupe comprenant le nitrure de titane (TiN), le nitrure de titane aluminium (TiAlN), le nitrure de tantale (TaN), le nitrure de chrome (CrN) et le siliciure de tungstène (WSi2) ou un mélange de ces matériaux. Il existe un préjugé contre l'utilisation des matériaux TiN, TiAlN, TaN, CrN et WSi2 pour la formation de la couche barrière 2. En effet, il s'agit de matériaux qui sont connus pour ne pas être stables thermodynamiquement au contact du silicium ou au contact de l'acier (notamment en raison de la présence de fer). Il est notamment connu qu'au contact de silicium à haute température, notamment à une température supérieure à 800°C, les matériaux

TiN, TiAlN, TaN, CrN et WSi2 tendent à réagir avec le silicium pour former de nouvelles phases, ce qui modifie et dégrade l'interface entre le matériau et le silicium. A titre d'exemple, le document "Interfacial reactions in Ti/Si3N4 and TiN-Si diffusion couples" de M. Paulasto, J.K. Kivilahti et F.J. van Loo (Journal of Applied Physics volume 77, numéro 9, pages 4412-4416, 1995) décrit qu'au contact du silicium, le nitrure de titane réagit pour former une nouvelle phase de siliciure de titane. Les inventeurs ont toutefois mis en évidence que, contrairement a ce qui était attendu, les matériaux TiN, TiAlN, TaN, CrN et WSi2 peuvent être utilisés pour réaliser la couche barrière 2. En effet, les inventeurs ont mis en évidence que, notamment en raison des conditions de fabrication et d'utilisation de la structure multicouche selon l'invention, la cinétique des réactions de ces matériaux avec le silicium est suffisamment lente pour que le matériau de la couche barrière reste sensiblement stable au moins pendant la durée de vie des produits réalisés à partir de la structure selon l'invention.

La sélection d'un matériau choisi dans le groupe comprenant TiN, TiAlN, TaN, CrN et WSi_2 pour la réalisation de la couche barrière 2 permet la formation d'une couche barrière 2 ayant des propriétés avantageuses.

En effet, la couche barrière 2 a sensiblement un comportement similaire à un métal. En particulier, le matériau TiN, TiAlN, TaN, CrN et WSi_2 de la couche barrière 2 est un matériau électriquement conducteur à caractère métallique (c'est-à-dire que la conduction électrique est assurée majoritairement par des électrons libres et que la résistivité électrique du matériau est strictement inférieure à 1.10^{-5} ohm.m et de préférence strictement inférieure à 1.10^{-7} ohm.m), au moins en couche mince.

En outre, la couche barrière 2 forme un contact ohmique entre la feuille 1 et la couche de silicium multi-cristallin 3.

De plus, la couche barrière 2 réfléchit le rayonnement lumineux traversant la couche de silicium 3 dans une large gamme du spectre solaire, notamment pour des longueurs d'onde variant de 0,5 µm à 2 µm. Pour des longueurs d'onde supérieures à 2 µm, le document « Optical properties of TiN films deposited by direct current reactive sputtering » de S. Adachi et M. Takahashi (Journal of Applied Physics volume 87, numéro 3, p.1264) fait état d'une réduction de la réflectance d'un facteur supérieur à 2 pour une couche de TiN. Dans une structure dans laquelle la couche barrière est réalisée en un matériau transparent ou partiellement transparent, les photons doivent traverser la couche barrière 2 pour se réfléchir sur la feuille métallique 1. Des photons peuvent alors être absorbés dans la couche barrière 2, ce qui diminue le rendement photovoltaïque de la cellule solaire réalisée à partir de cette structure multicouche.

La couche barrière 2 a, en outre, une bonne conductivité thermique, c'est-à-dire une conductivité thermique supérieure à 10 W/(m.K). Une augmentation de température provoque généralement une diminution du rendement photovoltaïque d'une cellule solaire. Le rendement d'une cellule, établi à partir d'une procédure normalisée à température ambiante (20°C), diminue d'un facteur proche de 0,1 % par degré supplémentaire, ordre de grandeur donné par le document « The effect of temperature on the power drop in crystalline silicon solar cells » de Radziemska (Renewable Energy, Vol. 28, numéro 1, p.1-12, janvier 2003). Une cellule exposée au soleil, a fortiori si son support est isolant thermique, peut voir sa température monter à plus de 60°C, ce qui se traduit par une réduction notable d'efficacité. Pour que la cellule solaire fonctionne dans une plage optimale, il peut être nécessaire de prévoir un système de refroidissement de la cellule solaire. La bonne conductivité thermique de la couche barrière 2 permet de limiter l'échauffement de la cellule sous éclairement, voire de la

coupler à un système de refroidissement efficace par la feuille métallique 1.

Le matériau de la couche barrière 2 est, en outre, choisi pour adopter lors de son dépôt des caractéristiques cristallines sensiblement conformes à celles du support sous-jacent et à celles du silicium. En particulier, le matériau de la couche barrière 2 permet la formation de la couche barrière 2 avec une relation d'épitaxie avec la feuille 1.

Les matériaux TiN, TiAlN, TaN, CrN et WSi_2 présentent, en outre, l'avantage de ne pas réagir chimiquement avec le matériau du support 1.

Cette couche 2, qui aura un rôle de couche barrière pour éviter la diffusion de silicium de la couche déposée ultérieurement vers le métal et surtout du métal vers cette couche de silicium pourra avoir une épaisseur de l'ordre de 0,2 à 2 µm. Typiquement, cette épaisseur pourra être de l'ordre de 1 µm. Le dépôt de cette couche pourra être fait par dépôt chimique en phase vapeur, par exemple à partir de composés chlorés de titane ($TiCl_3$) et d'aluminium ($AlCl_3$) en présence d'azote ou bien à partir de précurseurs organométalliques comme le tétrakis(diméthylamino)titanium (TDMAT) ou le tétrakis(éthylméthylamido)titanium (TEMAT) en présence d'hydrogène ou ammoniac. Le dépôt pourra par exemple être effectué à une faible pression, de l'ordre de 10^3 Pa à une température de l'ordre de 800 à 1000°C. Un exemple de réalisation est décrit dans le document "LPCVD and PACVD (Ti,Al)N films: morphology and mechanical properties", de S. Anderbouhr et al. (Surf. Coat. Tech., 1999,115, 2-3, 103-110). Le dépôt de cette couche pourra aussi être aussi fait par dépôt chimique en phase liquide ou MOD pour MetalOrganic Decomposition. Un exemple de réalisation de TiN par cette méthode est décrit dans le document "Formation of TiN by nitridation of TiO_2 films deposited by ultrasonically assisted sol-gel technique" de C. Jiménez et M.Langlet (Surface and Coatings Technology, 68 - 69:249 - 252, 1994).

La couche de silicium 3 est formée par dépôt sur la couche barrière 2 dans des conditions propres à obtenir une conservation au moins partielle de texture. En particulier, le matériau de la couche barrière 2 permet la formation de la couche de silicium 3 avec une relation d'épitaxie avec la couche barrière 2. Le silicium, de structure cubique à face centrée (cfc), est élaboré avec une orientation préférentielle suivant l'axe <100> ou <111> en fonction des conditions de croissance afin de maximiser l'accord de paramètre de maille avec le matériau constitutif de la couche barrière. Ceci peut se faire par des procédés classiques de dépôts CVD de silicium en ne dépassant toutefois pas une température de 1000°C et de préférence de 800 à 900°C pour rester compatible avec la présence du métal 1 qui, comme on l'a indiqué, est par exemple de l'acier. On constate ainsi que la texture de la couche de silicium 3 est bien une texture de silicium multi-cristallin présentant des grains du même ordre de dimension que les grains du support métallique 1. En figure 1, on a représenté une continuité des limites de grain entre le support métallique 1, la couche barrière 2 et la couche de silicium multi-cristallin 3. Le transfert de structure cristallographique permet d'obtenir des dimensions finales de grain de l'ordre de 50 à 100 µm ou plus. Ces caractéristiques du silicium multi-cristallin lui permettent d'atteindre, une fois utilisé en cellule solaire, des rendements de conversion photovoltaïque supérieurs à 15 %. La méthode de dépôt proposée permet de réaliser un dopage in-situ, lors du dépôt de la couche de silicium, par exemple au bore.

La couche de silicium est dopée. Un avantage de sa formation par dépôt CVD à une température de 800 à 1000°C est que la qualité cristallographique des grains obtenus est excellente, ce qui se caractérise par le fait que la longueur de diffusion des porteurs dans cette couche atteint une valeur moyenne supérieure à 50 µm.

On pourra ensuite, de façon classique former des cellules solaires dans la couche de silicium 3 par formation de

zones dopées dans la surface supérieure de cette couche, et dépôt d'électrodes de face supérieure. La feuille métallique 1 est alors utilisée comme électrode de face arrière.

La figure 2 représente, de façon schématique, un exemple de réalisation d'une cellule solaire 10. La cellule solaire 10 comprend une structure multicouches représentée en figure 1 comportant la feuille métallique 1, la couche barrière 2 et la couche de silicium multi-cristallin 3. Une implantation de dopants de type N a été réalisée dans la couche de silicium multi-cristallin 3 qui est, à titre d'exemple, initialement dopée de type P. La couche de silicium multi-cristallin 3 comprend alors une région 12 dopée de type N recouvrant une région 13 dopée de type P, la région 13 étant au contact de la couche barrière 2. Une jonction PN est donc présente entre les régions 12, 13 dopées de type P et N, ce qui se traduit par la formation d'une zone de déplétion 14 représentée en figure 2 par des traits pointillés.

La cellule solaire 10 comprend, en outre :

une couche de protection 16 qui recouvre la feuille métallique 1 ;

une couche antireflet 18 transparente, qui recouvre la couche de silicium multi-cristallin 3 ; et

une grille métallique 20 en surface de la couche antireflet 18.

En fonctionnement, le rayonnement lumineux entraîne la formation de paires électrons/trous dans la couche de silicium multicristallin 3. Les électrons sont collectés par la grille métalliques 20.

Le choix des matériaux pour la réalisation de la feuille 1 et de la couche barrière 2 et les épaisseurs de la feuille 1, de la couche barrière 2 et de la couche de silicium 3 confèrent à la structure un caractère flexible. La structure peut donc être déformée sans que cela entraîne une dégradation des propriétés de la couche de silicium 3. La cellule solaire selon l'invention peut être déformée pour avoir une forme courbe

avec, au moins localement, un rayon de courbure supérieur ou égal à 1 cm, de préférence supérieur ou égal à 10 cm, plus préférentiellement supérieur ou égal à 50 cm. La forme de la cellule solaire peut être adaptée en fonction de l'utilisation prévue de la cellule solaire. La structure selon l'invention est donc adaptée à la réalisation d'une cellule solaire non plane ayant un rendement de conversion photovoltaïque élevé (>15%).

En outre, la couche de protection 16 ou une ou plusieurs autres couches recouvrant la couche de protection 16 peuvent avoir des propriétés adaptées à conférer à la cellule solaire une ou plusieurs fonctions supplémentaires en plus de la fonction de fourniture d'un courant électrique. A titre d'exemple, la cellule solaire peut, en outre, jouer le rôle d'un élément structurel ou d'un élément de parement, par exemple un panneau, une dalle, une tuile, etc.

La figure 3 représente un exemple de réalisation d'une cellule solaire 30 ayant la forme d'un demi-cylindre d'axe D et de rayon R. En figure 3, les différentes couches constituant la cellule solaire ne sont pas représentées. A titre d'exemple, le rayon R est supérieur ou égal à 1 cm, de préférence supérieur ou égal à 10 cm, plus préférentiellement supérieur ou égal à 50 cm. La cellule solaire 30 est adaptée à la réalisation d'une tuile.

La présente invention est susceptible de nombreuses variantes et modifications qui apparaitront à l'homme de l'art.

En ce qui concerne le matériau de la feuille de métal texturé, on pourra choisir tout matériau métallique conformable en feuille mince, et dont la structure cristalline présente un paramètre de maille compatible avec une croissance des couches barrière et de silicium cristallin. On pourra notamment choisir l'un des matériaux suivants : un alliage métallique à base de fer, un alliage métallique à base de nickel, un alliage métallique à base de cuivre, un acier austénitique, un acier ferritique.

Le choix d'une couche tampon telle que susmentionnée permet d'élaborer par voie gazeuse à température élevée

(T>800°C) directement sur un substrat électriquement conducteur une couche de silicium multi-cristallin dopé propice à l'obtention de rendements de conversion photovoltaïque élevés (>15%). Ce rendement résulte de l'élaboration d'un polycristal de silicium ayant à la fois une faible densité de joints de grains et de défauts structuraux, ce qui résulte de la formation de la couche de silicium à une température supérieure à 800°C ayant une relation d'épitaxie avec la couche barrière qui, elle-même, a une relation d'épitaxie avec la feuille métallique. Cette couche pourra avoir une épaisseur comprise entre 30 et 100 µm.

On notera que la feuille de métal décrite ici a une triple fonction :

- elle sert de support mécanique de la structure,
- elle transmet sa texturation cristallographique aux couches sus-jacentes, et
- elle est destinée à constituer l'électrode de face arrière des cellules formées à partir de la structure.

REVENDICATIONS

1. Structure adaptée à la formation de cellules solaires comprenant successivement :

une feuille (1) d'un métal texturé à grains cristallins d'une dimension moyenne supérieure à 50 µm, adaptée à former une électrode de face arrière desdites cellules ;

une couche barrière (2) de diffusion d'une épaisseur de 0,2 à 2 µm en un matériau électriquement conducteur à caractère métallique, choisi dans le groupe comprenant TiN, TiAlN, TaN, CrN et WSi_2, présentant des grains cristallins d'une dimension moyenne supérieure à 50 µm, la couche barrière étant formée avec une relation d'épitaxie avec la feuille ; et

une couche de silicium multi-cristallin dopé (3) d'une épaisseur de 30 à 100 µm présentant des grains cristallins d'une dimension moyenne supérieure à 50 à 100 µm, dans laquelle la longueur de diffusion des porteurs a une valeur moyenne supérieure à 50 µm, la couche de silicium multi-cristallin étant formée avec une relation d'épitaxie avec la couche barrière.

2. Structure selon la revendication 1, dans laquelle la feuille de métal (1) est une feuille en un matériau choisi dans le groupe comprenant un alliage métallique à base de fer, un alliage métallique à base de nickel, un alliage métallique à base de cuivre, un acier austénitique, un acier ferritique.

3. Structure selon la revendication 1 ou 2, dans laquelle la dimension moyenne des grains cristallins dans la feuille de métal (1) est supérieure à 1 mm.

4. Structure selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, dans laquelle la couche barrière (2) est réfléchissante.

5. Cellule solaire formée dans la couche de silicium de la structure selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, dans laquelle la feuille de métal (1) constitue l'électrode de face arrière.

6. Cellule solaire selon la revendication 5, comprenant au moins une zone ayant un rayon de courbure supérieur à 1 cm.

7. Procédé de fabrication d'une structure selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, dans lequel la couche barrière et la couche de silicium sont déposées successivement par dépôt chimique à des températures comprises entre 800 et 1000°C.

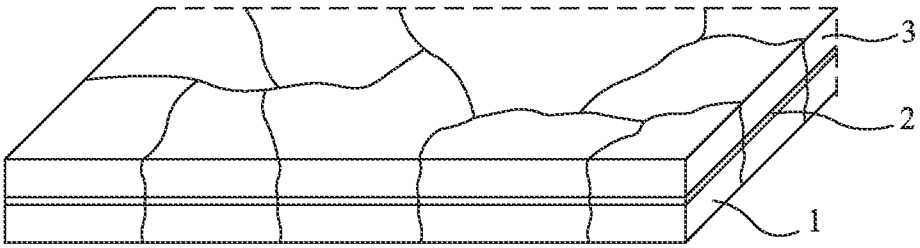


Fig 1

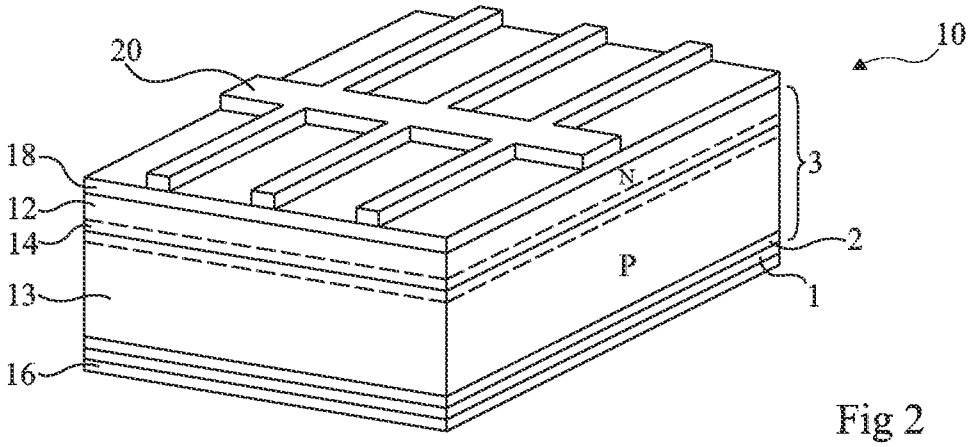


Fig 2

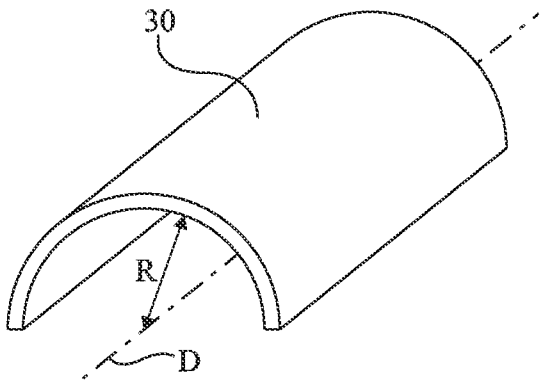


Fig 3