

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

(19) Organisation Mondiale de la Propriété Intellectuelle
Bureau international



(10) Numéro de publication internationale

WO 2011/092402 A2

PCT

(43) Date de la publication internationale
4 août 2011 (04.08.2011)

(51) Classification internationale des brevets :
H01L 31/072 (2006.01)

(21) Numéro de la demande internationale :
PCT/FR2011/000050

(22) Date de dépôt international :
26 janvier 2011 (26.01.2011)

(25) Langue de dépôt : français

(26) Langue de publication : français

(30) Données relatives à la priorité :
10 00309 27 janvier 2010 (27.01.2010) FR

(71) Déposant (pour tous les États désignés sauf US) :
COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE ET AUX ENERGIES ALTERNATIVES [FR/FR]; 25, rue Leblanc, Bâtiment "Le Ponant D", F-75015 Paris (FR).

(72) Inventeurs; et

(75) Inventeurs/Déposants (pour US seulement) : **MUR, Pierre** [FR/FR]; 26, Impasse du Bois Radier, Cidex 132A, F-38920 Crolles (FR). **MORICEAU, Hubert** [FR/FR]; 26, rue du Fournet, F-38120 Saint-Egrève (FR). **RIBEYRON, Pierre-Jean** [FR/FR]; 191, Impasse des Prés, F-38330 Saint Ismier (FR).

(74) Mandataire : **HECKE, Gérard**; Cabinet Hecke, 10, rue d'Arménie, Europole, BP 1537, F-38025 Grenoble Cedex 1 (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, RO, RS, RU, 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, 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, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Déclarations en vertu de la règle 4.17 :

- relative au droit du déposant de revendiquer la priorité de la demande antérieure (règle 4.17.iii))

Publiée :

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

[Suite sur la page suivante]

(54) Title : PHOTOVOLTAIC CELL, INCLUDING A CRYSTALLINE SILICON OXIDE PASSIVATION THIN FILM, AND METHOD FOR PRODUCING SAME

(54) Titre : CELLULE PHOTOVOLTAÏQUE COMPRENNANT UN FILM MINCE DE PASSIVATION EN OXYDE CRISTALLIN DE SILICIUM ET PROCÉDÉ DE RÉALISATION

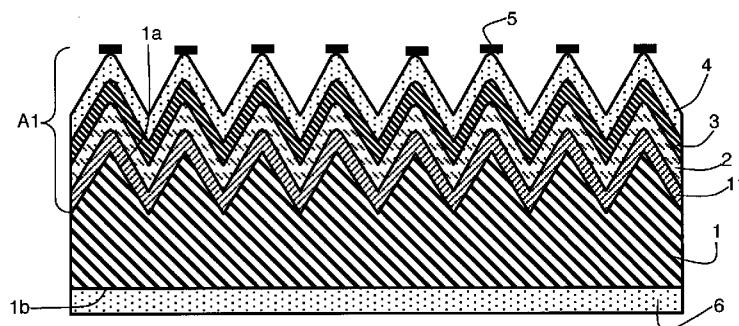


Fig. 3

(57) Abstract : A heterojunction photovoltaic cell comprises at least one crystalline silicon oxide thin film (11) that is placed directly onto one of the front or rear surfaces (1a) of a crystalline silicon substrate (1) between said substrate (1) and an amorphous or micro-crystalline silicon layer (3). The thin film (11) is intended to enable the passivation of said surface (1a) of the substrate (1). Specifically, the thin film (11) is obtained by radically oxidizing a surface portion of the substrate (1) before depositing the amorphous silicon layer (3). Additionally, an intrinsic or microdoped amorphous silicon thin layer (2) can be placed between said thin film (11) and the amorphous or micro-crystalline silicon layer.

(57) Abrégé : Une cellule photovoltaïque à hétérojonction comporte au moins un film mince (11) en oxyde cristallin

[Suite sur la page suivante]



de silicium disposé, directement, sur une des faces avant ou arrière (1a) d'un substrat (1) en silicium cristallin, entre ledit substrat (1) et une couche en silicium amorphe ou micro-cristallin (3). Le film mince (11) est destiné à permettre la passivation de ladite face (1a) du substrat (1). Le film mince (11) est, plus particulièrement, obtenu par oxydation radicalaire d'une partie superficielle du substrat (1), avant le dépôt de la couche en silicium amorphe (3). De plus, une couche mince en silicium amorphe intrinsèque ou microdopée (2) peut être disposée entre ledit film mince (11) et la couche en silicium amorphe ou microcristallin.

Cellule photovoltaïque comprenant un film mince de passivation en oxyde cristallin de silicium et procédé de réalisation.

5 **Domaine technique de l'invention**

L'invention concerne une cellule photovoltaïque à hétérojonction comprenant un substrat en silicium cristallin présentant un type de dopage donné et une couche en silicium amorphe ou micro-cristallin, ainsi qu'un procédé de 10 réalisation d'au moins une telle cellule photovoltaïque.

État de la technique

15 Une cellule photovoltaïque à hétérojonction est formée d'un empilement multicouche permettant de convertir directement les photons reçus en un signal électrique. L'hétérojonction est, en particulier, formée par un substrat en silicium cristallin d'un type de dopage (n ou p) donné et par une couche en silicium amorphe d'un type de dopage contraire ou opposé à celui du 20 substrat.

De plus, une couche intermédiaire dite de « passivation électrique » est, le plus souvent, disposée entre les deux éléments formant l'hétérojonction, afin d'améliorer les caractéristiques d'interface de l'hétérojonction et donc 25 l'efficacité de la conversion. Comme indiqué dans la demande de brevet US2001/0029978, cette couche intermédiaire est en général une couche en silicium amorphe intrinsèque.

À titre d'exemple, la figure 1 illustre un mode particulier de réalisation d'une 30 cellule photovoltaïque selon l'art antérieur, telle que décrite dans la demande de brevet US2001/0029978. La cellule photovoltaïque à hétérojonction comporte un substrat en silicium cristallin 1, par exemple dopé de type n et

comportant une face avant 1a, recouverte uniformément et successivement par :

- une couche en silicium amorphe intrinsèque 2,
- une couche en silicium amorphe 3, dopé par exemple de type p pour former l'hétérojonction avec le substrat 1,
- une électrode 4, par exemple en oxyde d'indium et d'étain (ou ITO)
- et un collecteur de courant 5 sous la forme d'un peigne.

La face avant 1a du substrat 1 est, de plus, texturée (ou structurée), afin d'augmenter le confinement optique de la cellule.

La face arrière 1b du substrat 1 est, sur la figure 1, plane et recouverte d'une électrode 6. Elle peut, cependant, dans d'autres cas, être texturée et recouverte d'un empilement multicouche comme représenté sur la figure 2.

Ainsi, dans ce mode de réalisation, la face arrière 1b du substrat 1 est recouverte uniformément et successivement par :

- une couche en silicium amorphe intrinsèque 7,
- une couche en silicium amorphe 8, très fortement dopée, par exemple, de type n,
- une électrode 9, en ITO par exemple
- et un collecteur de courant 10 sous la forme d'un peigne.

Ainsi, comme illustré sur les figures 1 et 2, les cellules photovoltaïques à hétérojonction nécessitent de déposer, de manière uniforme, une pluralité de couches très fines (de l'ordre de quelques nanomètres à quelques dizaines de nanomètres) sur un substrat dont au moins une face peut être avantageusement texturée. Par dépôt uniforme d'une couche mince, également appelé dépôt conforme d'une couche mince par certains, on entend le dépôt d'une couche mince d'une épaisseur sensiblement constante afin de suivre le relief de la face sur laquelle la couche mince est déposée.

Or, l'étape de texturation du substrat d'au moins une face, presque toujours nécessaire, ne facilite pas la bonne répartition uniforme de ces couches. En particulier, l'étape de texturation induit une augmentation importante de la surface développée. De plus, dans le domaine des cellules photovoltaïques,

5 il est courant de texturer au moins une face du substrat sous la forme de pyramides. Or, les flancs des pyramides obtenues sont souvent très rugueux et les pointes et creux des pyramides sont abruptes (rayon de courbure en général inférieur à 30 nm), ce qui est néfaste pour obtenir une parfaite uniformité d'épaisseur pour les couches successivement déposées sur la face texturée. À titre d'exemple, la demande de brevet US2001/0029978

10 propose de réaliser une gravure isotropique humide, en utilisant une solution d'acide fluorhydrique (HF) et d'acide nitrique, afin d'arrondir les zones « b » disposées entre deux pyramides. Cependant, cette gravure est trop importante, de l'ordre de 2 µm ou plus, et elle ne permet pas de lisser les

15 flancs des pyramides au niveau nanométrique.

Par ailleurs, l'étape de texturation, ainsi que des étapes de nettoyage, les étapes de gravure et les temps d'attente avant les dépôts peuvent engendrer une contamination de surface (particulaire et/ou métallique) de la face texturée du substrat, ce qui provoque une augmentation importante de la densité d'état de la surface du substrat texturé. Ainsi, ces problèmes de pollution empêchent d'obtenir une bonne passivation de la surface et donc des rendements élevés et ce, malgré l'emploi d'une couche intermédiaire de silicium amorphe intrinsèque comme couche de passivation.

25

Dans l'article « Optimization of Amorphous Silicon Oxide Buffer Layer for High-Efficiency p-Type Hydrogenated Microcrystalline Silicon Oxide/n-type Cristalline Silicon Heterojonction Solar Cell » de J. Sritharathiikhun et al. (Japanese Journal of Applied Physics, Vol 47, N°11, 2008, pp8452-8455), il est proposé d'utiliser une couche de passivation de surface, en oxyde de silicium amorphe intrinsèque (i-a-SiO_x:H) entre un substrat en silicium cristallin dopé n (n-a-Si:H) et une couche en oxyde de silicium

microcristalline dopée p (p- μ c-SiO :H). Une telle couche de passivation est déposée par une technique de dépôt chimique en phase vapeur assisté par plasma à très haute fréquence (VHF-PECVD). De plus, l'épaisseur optimale d'une telle couche est de 6nm. Cependant, la réalisation d'une telle couche de passivation provoque la formation de nombreux défauts au niveau de l'interface entre le substrat en silicium cristallin dopé n et ladite couche de passivation.

10 **Objet de l'invention**

L'invention a pour but de proposer une cellule photovoltaïque à hétérojonction présentant une bonne passivation de surface, tout en étant facile à mettre en oeuvre.

15 Selon l'invention, ce but est atteint par le fait qu'une cellule photovoltaïque à hétérojonction comprenant un substrat en silicium cristallin présentant un type de dopage donné et une couche en silicium amorphe ou microcristallin est caractérisée en ce qu'elle comporte au moins un film mince en oxyde cristallin de silicium, disposé directement sur une face du substrat, entre ledit substrat et ladite couche en silicium amorphe ou micro-cristallin.

20 Selon un développement de l'invention, le film mince en oxyde cristallin de silicium est constitué par une partie superficielle du substrat obtenue par oxydation radicalaire.

25 Selon un autre développement, le film mince en oxyde cristallin de silicium a une épaisseur inférieure ou égale à 2 nanomètres.

30 Selon l'invention, ce but est également atteint par le fait que le film mince en oxyde cristallin de silicium est réalisé, avant la formation de la couche en

silicium amorphe ou micro-cristallin, par oxydation superficielle radicalaire d'une surface du substrat.

5 Description sommaire des dessins

D'autres avantages et caractéristiques ressortiront plus clairement de la description qui va suivre de modes particuliers de réalisation de l'invention donnés à titre d'exemples non limitatifs et représentés aux dessins annexés,

10 dans lesquels :

- la figure 1 représente, schématiquement et en coupe, un mode de réalisation particulier d'une cellule photovoltaïque selon l'art antérieur.
- la figure 2 représente, schématiquement et en coupe, une variante de réalisation de la cellule photovoltaïque selon la figure 1.
- les figures 3 à 9 illustrent différents modes de réalisation de cellules photovoltaïques selon l'invention.

20 Description de modes particuliers de réalisation

La cellule photovoltaïque selon la figure 3 présente un empilement multicouche sensiblement similaire à celui de la cellule photovoltaïque représentée sur la figure 1. Cependant, sur la figure 3, un film mince 11 en oxyde cristallin de silicium est disposé entre le substrat en silicium cristallin 1 et la couche mince en silicium amorphe intrinsèque 2.

25 L'ensemble formé par le film mince 11, la couche en silicium amorphe intrinsèque 2, la couche en silicium amorphe 3 dopé p, l'électrode 4 et le collecteur de courant 5 constitue, alors, un empilement multicouche disposé sur la face avant 1a du substrat 1 et noté A1 sur la figure 3.

Plus particulièrement, le film mince 11 est disposé directement sur la face avant 1a du substrat 1 en silicium cristallin dopé n, entre ledit substrat 1 et la couche en silicium amorphe intrinsèque 2. Par conséquent, il est directement en contact avec la face avant 1a du substrat 1. De plus, il présente, avantageusement, une épaisseur inférieure ou égale à 2 nanomètres et encore avantageusement comprise entre 0,1nm et 2nm et typiquement de l'ordre de 0,5 nm.

Le film mince 11 est, plus particulièrement, un film mince obtenu en oxydant le silicium d'une partie superficielle du substrat 1, avant la formation des couches minces successives 2, 3, 4 et 5 de l'empilement A1. Par partie superficielle du substrat 1, on entend une zone du substrat 1, s'étendant depuis une surface libre du substrat 1 vers l'intérieur de celui-ci, sur une très faible épaisseur (avantageusement inférieure à 2nm). De plus, le film mince 11 est en oxyde cristallin de silicium, c'est-à-dire un oxyde sous forme cristalline. En particulier, il est supposé que la forme cristalline de l'oxyde de silicium puisse être, dans certains cas, la forme tridymite pour un substrat en silicium ayant un plan cristallographique (100).

De plus, l'oxydation est une oxydation superficielle radicalaire, c'est-à-dire une oxydation réalisée au moyen de radicaux (ou radicaux libres). De tels radicaux sont en particulier des radicaux oxygénés, par exemple obtenus à partir d'oxygène, d'ozone et/ou d'eau.

Les radicaux ainsi obtenus oxydent, alors, le silicium sur une partie superficielle du substrat 1. De plus, l'oxyde de silicium ainsi obtenu pendant l'oxydation radicalaire est au moins en partie sous une forme cristalline. Plus particulièrement, l'oxydation superficielle radicalaire du substrat en silicium est, avantageusement, contrôlée de manière à former ledit film mince cristallin sur la surface du substrat en silicium. L'oxydation superficielle radicalaire du substrat peut cependant, dans certains cas, entraîner la formation supplémentaire, sur l'oxyde cristallin de silicium, d'oxyde de

silicium sous une forme amorphe. Cependant l'oxyde cristallin de silicium formant le film mince 11 reste interposé entre le substrat 11 et l'oxyde amorphe de silicium. De plus, l'oxyde de silicium amorphe, avantageusement formé pendant l'oxydation superficielle radicalaire peut, éventuellement, être retiré par décapage, lors d'une étape intermédiaire suivant l'oxydation superficielle radicalaire et, plus particulièrement, avant la formation des autres couches de l'empilement A1.

L'oxydation est, avantageusement, assistée à l'aide d'un plasma ou bien par application de rayonnements ultraviolets sur la surface du substrat à oxyder.

Le traitement par plasma ou par rayonnements ultraviolets facilite, en particulier, la formation des radicaux libres utilisés pour oxyder le silicium du substrat 1. Ils sont, plus particulièrement, des radicaux de type O[·], O₂[·] et/ou OH[·], selon le type de traitement et sont en particulier obtenus à partir d'oxygène et/ou d'ozone et/ou d'eau.

Selon un mode particulier de réalisation, l'oxydation de la partie superficielle du substrat 1 peut être réalisée à partir d'oxygène et de rayonnements ultraviolets ayant une gamme de longueurs d'onde comprise entre 160nm et 400nm. Les longueurs d'onde des rayonnements ultraviolets utilisés sont, par exemple, d'environ 185nm et d'environ 254nm. Dans ce mode particulier de réalisation, l'oxygène, sous l'action des rayonnements ultraviolets, se dissocie en radicaux libres O[·] et en ozone. Les radicaux libres peuvent oxyder la surface du silicium.

De plus, la température pendant l'opération d'oxydation peut être comprise entre la température ambiante et environ 900°C, tandis que la pression peut être comprise entre environ 10⁻⁴ et environ 10⁵ Pa. Cependant, de manière avantageuse, la température et la pression sont respectivement la température ambiante et la pression ambiante.

Une fois le film mince 11 formé, le procédé de réalisation d'au moins une cellule photovoltaïque se poursuit par le dépôt successif de couches minces. En particulier, dans le mode de réalisation représenté sur la figure 3, la formation du film mince 11 est directement suivie des dépôts successifs suivants :

- dépôt de la couche mince 2 en silicium amorphe intrinsèque,
- dépôt de la couche mince 3 en silicium amorphe dopé p sur ledit film mince 11,
- dépôt de l'électrode 4 sur la couche mince 3,
- dépôt du collecteur de courant 5 sur l'électrode 4
- et dépôt de l'électrode 6 sur la face arrière 1b du substrat 1.

Comme mentionné ci-dessus, une étape intermédiaire pour retirer l'oxyde de silicium amorphe, éventuellement formé sur le film mince 11 lors de l'opération d'oxydation radicalaire, peut être réalisée avant le dépôt successif desdites couches minces.

Ainsi, il a été constaté que la présence d'un film mince en oxyde cristallin de silicium sur une des faces du substrat 1 et, en particulier lorsqu'il est réalisé par une oxydation radicalaire, permet d'obtenir des caractéristiques de passivation importantes, l'oxyde cristallin de silicium présentant une très bonne qualité intrinsèque. Ainsi, un tel film mince en oxyde cristallin de silicium permet d'empêcher les porteurs de charge d'être piégés en se recombinant. Il joue donc le rôle d'un oxyde tunnel en assurant une passivation de surface du substrat 1. Ainsi, il est possible d'augmenter la tension de circuit ouvert de la cellule photovoltaïque et potentiellement d'augmenter le courant de court-circuit et de faire varier le facteur de forme de la cellule sans dégrader le rendement.

De plus, cela permet de faciliter le procédé de réalisation d'une ou plusieurs cellules photovoltaïques. En effet, la surface du substrat 1 ainsi recouverte d'un film mince en oxyde est stable pendant une durée plus longue, ce qui permet d'augmenter le temps d'attente possible, avant de réaliser les étapes

suivantes du procédé de réalisation (de dépôt des autres couches minces). De plus, dans certains cas et selon les conditions de nettoyage, il n'est pas nécessaire d'enlever l'oxyde natif présent à la surface du substrat 1, avant de former le film mince en oxyde cristallin de silicium. Celui-ci peut, sous 5 certaines conditions, être transformé sous forme cristalline pendant l'étape d'oxydation radicalaire. Enfin, le fait de réaliser au moins un film mince en oxyde cristallin de silicium comme couche de passivation permet de s'affranchir d'une étape de nettoyage du substrat avec de l'acide fluorhydrique avant de déposer du silicium amorphe intrinsèque, ce qui 10 permet d'améliorer la sécurité du procédé.

Sur la figure 3, la face arrière 1b du substrat 1 est plane et elle est recouverte, comme dans le mode de réalisation selon la figure 1, d'une électrode 6. Par contre, comme illustré sur la figure 4, la face arrière 1b peut 15 être texturée et recouverte d'un empilement multicouche comme représenté sur la figure 2, c'est-à-dire uniformément et successivement par :

- une couche en silicium amorphe intrinsèque 7,
- une couche en silicium amorphe 8, très fortement dopée, par exemple, de type n,
- une électrode 9, en ITO par exemple
- et un collecteur de courant 10 sous la forme d'un peigne.

Par ailleurs, un film mince additionnel 12 peut être disposé, dans certains modes de réalisation, sur la face arrière 1b du substrat 1.

Ainsi, selon une variante de réalisation et comme représenté sur la figure 5, la cellule peut comporter une face avant 1a recouverte par le même empilement multicouche A1 que celui représenté sur les figures 3 et 4. Par contre, la face arrière 1b du substrat 1 est, comme la face avant 1a, texturée 25 et elle est, de plus, recouverte d'un film mince 12 additionnel en oxyde cristallin de silicium. Ledit film mince 12 additionnel est recouvert par un empilement multicouche formé d'une couche mince amorphe intrinsèque 7,

d'une couche mince en silicium amorphe 8 dopé n, d'une électrode 9 et d'un collecteur de courant 10, l'ensemble formant, alors, un empilement multicouche recouvrant la face arrière 1b du substrat 1 et noté B1 sur la figure 5.

5

Dans certains cas, la très bonne qualité intrinsèque de l'oxyde cristallin de silicium est suffisante pour obtenir une bonne passivation de surface et peut rendre la présence d'une couche mince de passivation en silicium amorphe intrinsèque 2 entre ledit film et la couche mince en silicium amorphe dopé inutile.

10

Alors, le film mince 11 peut être directement disposé entre le substrat 1 et la couche en silicium amorphe dopé p 3. Ainsi, dans ces modes de réalisation, il peut être envisagé de remplacer l'empilement multicouche A1 par un empilement multicouche A2 se distinguant de l'empilement A1 par la suppression de la couche mince en silicium intrinsèque 2 entre le film mince 11 et la couche mince en silicium amorphe 3 dopé p. Un tel empilement A2 pourrait alors être associé à des modes de réalisation diverses pour la face arrière 1b du substrat 1 comme illustré sur les figures 6 à 9.

15

Ainsi, ledit empilement A2 recouvrant la face avant 1a du substrat 1 est associé, sur la figure 6, à une électrode 6 recouvrant la face arrière 1b plane du substrat 1.

20

Sur la figure 7, la face arrière 1b est texturée comme la face avant 1a du substrat 1 et elle est recouverte par un empilement multicouche tel que celui représenté sur la figure 2, c'est-à-dire un empilement multicouche ne comprenant pas de film mince additionnel 12 en oxyde cristallin de silicium.

25

Sur la figure 8, la face arrière 1b du substrat 1 est aussi texturée comme la face avant 1b du substrat et elle est recouverte d'un empilement multicouche B1, c'est-à-dire un empilement comprenant un film mince additionnel 12

intercalé entre le substrat 1 et la couche mince en silicium amorphe 8 dopée de type n.

Enfin, sur la figure 9, la face arrière 1b du substrat 1 est aussi texturée comme la face avant 1a du substrat et elle est recouverte d'un empilement multicouche B2. L'empilement multicouche B2 diffère de l'empilement B1 en ce qu'il ne comprend pas de couche en silicium amorphe intrinsèque 7 disposée entre le film mince additionnel 12 et la couche en silicium amorphe 8.

10

Lorsque la cellule photovoltaïque comporte un film mince 11 disposé sur la face avant 1a du substrat 1 ainsi qu'un film mince additionnel 12 disposé sur la face arrière 1b du substrat 1, les deux films minces 11 et 12 peuvent être réalisés soit de manière simultanée, soit de manière successive.

15

Dans le cas d'une réalisation successive des deux films minces 11 et 12, la cellule photovoltaïque peut, avantageusement, être réalisée de la manière suivante :

- le film mince 11, la couche mince en silicium amorphe intrinsèque 2 éventuelle et la couche en silicium amorphe 3 dopé de type p pour former l'hétérojonction sont successivement formés sur la face avant 1a du substrat 1,
- puis, le film mince additionnel 12, la couche mince en silicium amorphe intrinsèque 7 éventuelle et la couche en silicium amorphe 8 dopé de type n sont successivement formés sur la face arrière 1b du substrat 1
- et, enfin, les électrodes 4 et 9 ainsi que les collecteurs de courant 5 et 10 respectivement associés auxdites électrodes 4 et 9 sont formés sur leur empilement respectif.

30

Les deux films minces 11 et 12 sont, avantageusement, chacun réalisés par oxydation radicalaire, au moyen de radicaux libres tels que des radicaux

oxygénés et éventuellement assisté par traitement plasma ou des rayonnements ultraviolets.

Selon une autre variante de réalisation, la cellule photovoltaïque peut aussi

5 comporter un seul film mince en oxyde cristallin de silicium, disposé non pas sur la face avant 1a du substrat 1 (cas des figures 3, 4, 6 et 7), mais sur la face arrière 1b du substrat 1. Le film mince en oxyde cristallin de silicium est, toujours avantageusement, réalisé par oxydation radicalaire, au moyen de radicaux oxygénés et éventuellement assisté par traitement plasma ou des
10 rayonnements ultraviolets. Dans ce cas, la face avant 1a est, avantageusement, recouverte par une couche mince en silicium amorphe intrinsèque 2 disposée entre le substrat 1 et la couche mince en silicium amorphe 3 dopé p. La face arrière 1b peut (ou non) comporter une couche
15 mince en silicium amorphe intrinsèque 7 entre le film mince en oxyde cristallin de silicium et la couche en silicium amorphe dopé 8.

L'invention n'est pas limitée aux modes de réalisation décrits ci-dessus, en particulier en ce qui concerne le type de dopage (n ou p) du substrat 1 et des couches en silicium amorphe dopé 3 et 8.

20

Par conséquent, l'invention n'est pas limitée aux modes de réalisation comprenant un substrat en silicium cristallin dopé n et des couches en silicium amorphe 3 et 8, respectivement dopées p et n. La couche en silicium amorphe 3 doit présenter un type de dopage (p ou n) opposé au type de dopage (n ou p) du substrat 1, afin de former l'hétérojonction et la couche en silicium amorphe 8 disposée du côté de la face arrière 1b du substrat 1 doit présenter un même type de dopage (n ou p) que celui du substrat 1 (n ou p).

25 Par ailleurs, au lieu d'être en silicium amorphe, les couches minces 3 et 8

30 peuvent aussi être en silicium micro-cristallin.

Enfin, au lieu d'utiliser du silicium amorphe intrinsèque pour les couches 2 et 7, il est possible d'utiliser du silicium amorphe faiblement dopé également appelé microdopé, le dopage étant du même type que celui de la couche en silicium amorphe 3 ou 8 destinée à être disposée sur ladite couche 2 ou 7.

5 Par silicium amorphe faiblement dopé ou microdopé, on entend un dopage sensiblement inférieur aux niveaux de dopage couramment utilisés. Ainsi, à titre d'exemple, la concentration de dopants de chacune des couches en silicium amorphe 2 et 7 peut être comprise entre 1.10^{16} et 1.10^{18} at/cm³, tandis que les couches minces en silicium amorphe 3 et 8 peuvent chacune 10 avoir une concentration de dopants comprise entre 1.10^{19} at.cm³ et 1.10^{22} at.cm³.

Le fait de remplacer le silicium amorphe intrinsèque par du silicium amorphe microdopé permet, par le faible niveau de dopage, d'obtenir une faible densité d'états localisés et donc un faible taux de recombinaison des porteurs à l'interface avec le substrat ainsi qu'une tension de circuit ouvert élevée. De plus, la couche amorphe microdopée présente une conductivité sensiblement plus élevée qu'une couche amorphe intrinsèque, ce qui réduit 15 la résistance série de la cellule et améliore sensiblement son facteur de forme.

Revendications

1. Cellule photovoltaïque à hétérojonction comprenant un substrat (1) en silicium cristallin présentant un type de dopage donné et une couche en silicium amorphe ou micro-cristallin (3, 8), caractérisée en ce qu'elle comporte au moins un film mince en oxyde cristallin de silicium (11), disposé directement sur une face (1a, 1b) du substrat (1), entre ledit substrat (1) et ladite couche en silicium amorphe ou micro-cristallin (3, 8).

10

2. Cellule selon l'une la revendication 1, caractérisée en ce que le film mince en oxyde cristallin de silicium (11) est constitué par une partie superficielle du substrat (1) oxydée par des radicaux.

15

3. Cellule selon l'une des revendications 1 et 2, caractérisé en ce que le film mince en oxyde cristallin de silicium (11) a une épaisseur inférieure ou égale à 2 nanomètres.

20

4. Cellule selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, caractérisée en ce qu'une couche mince en silicium amorphe intrinsèque ou microdopée (2, 7) est interposée entre le film mince en oxyde cristallin de silicium (11) et la couche en silicium amorphe ou micro-cristallin (3, 8).

25

5. Cellule selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, caractérisée en ce que le film mince en oxyde cristallin de silicium (11) est directement en contact avec la couche en silicium amorphe ou micro-cristallin (3, 8).

30

6. Cellule selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, caractérisée en ce que la couche en silicium amorphe ou micro-cristallin (8) présente un type de dopage identique à celui du substrat (1) en silicium cristallin.

7. Cellule selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, caractérisée en ce que la couche en silicium amorphe ou micro-cristallin (3) présente un type de dopage opposé à celui du substrat (1) en silicium cristallin.

5 **8.** Cellule selon la revendication 7, caractérisée en ce qu'elle comporte un film mince en oxyde cristallin de silicium additionnel (12), disposé directement sur une autre face (1b) du substrat (1), entre ledit substrat (1) et une couche en silicium amorphe ou micro-cristallin additionnelle (8), ladite couche en silicium amorphe ou micro-cristallin additionnelle (8) présentant un type de dopage identique à celui du substrat (1) en silicium cristallin.

10 **9.** Cellule selon la revendication 8, caractérisée en ce qu'une couche mince en silicium amorphe intrinsèque ou microdopée additionnelle (7) est interposée entre le film mince en oxyde cristallin de silicium additionnel (12) et la couche en silicium amorphe ou micro-cristallin additionnelle (8).

15 **10.** Cellule selon la revendication 8, caractérisée en ce que le film mince en oxyde cristallin de silicium additionnel (12) est directement en contact avec la couche en silicium amorphe ou micro-cristallin additionnelle (8).

20 **11.** Cellule selon l'une quelconque des revendications 1 à 10, caractérisée en ce qu'au moins une face (1a, 1b) du substrat (1) en silicium cristallin est texturée.

25 **12.** Cellule selon l'une quelconque des revendications 1 à 11, caractérisée en ce qu'une couche en oxyde amorphe de silicium est disposée directement sur le film mince en oxyde cristallin de silicium (11, 12), entre ledit film mince et la couche en silicium amorphe ou micro-cristallin (3, 8).

30 **13.** Procédé de réalisation d'au moins une cellule photovoltaïque selon l'une quelconque des revendications 1 à 12, caractérisé en ce que le film mince en oxyde cristallin de silicium (11, 12) est réalisé, avant la formation de la

couche en silicium amorphe ou micro-cristallin (3, 8), par une oxydation superficielle radicalaire d'une surface du substrat (1).

14. Procédé selon la revendication 13, caractérisé en ce que l'oxydation superficielle radicalaire est réalisée au moyen de radicaux oxygénés obtenus à partir d'oxygène et/ou d'ozone et/ou d'eau.

5 15. Procédé selon la revendication 14, caractérisé en ce que l'oxydation superficielle d'une surface du substrat (1) est assistée par application de rayonnements ultraviolets sur ladite surface.

10 16. Procédé selon la revendication 15, caractérisé en ce que les radicaux oxygénés étant obtenus au moins à partir d'oxygène, les rayonnements ultraviolets ont une gamme de longueurs d'onde comprise entre 160 nm et 15 400 nm.

20 17. Procédé selon l'une des revendications 13 et 14, caractérisé en ce que l'oxydation superficielle d'une surface du substrat (1) est assistée par plasma.

25 18. Procédé selon l'une quelconque des revendications 13 à 17, caractérisé en ce que l'oxydation superficielle radicalaire d'une surface du substrat (1) est suivie d'une étape de décapage pour retirer une partie d'oxyde de silicium formée pendant l'oxydation superficielle radicalaire, sous forme amorphe, sur la surface du film mince (11, 12).

1/5

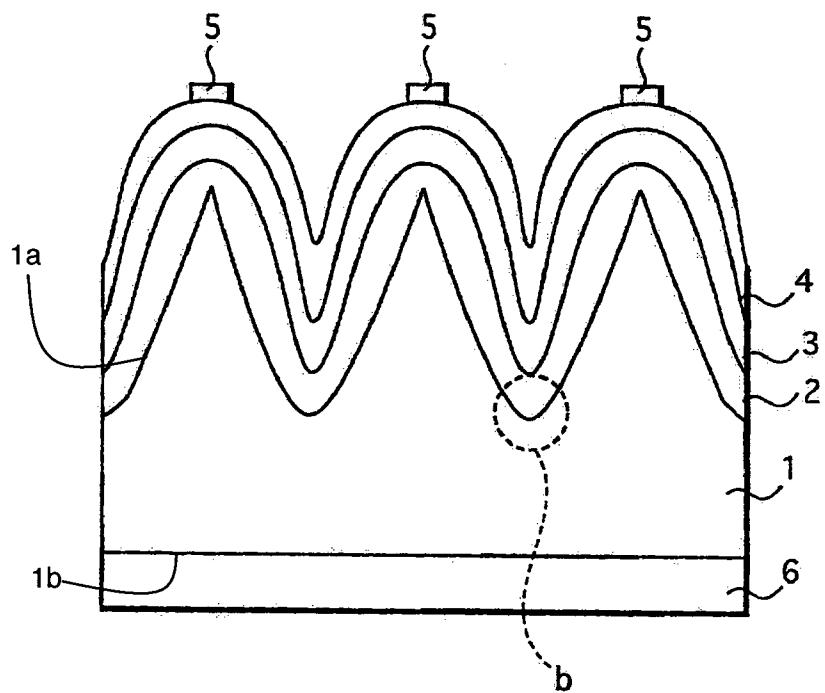


Fig. 1 (Art antérieur)

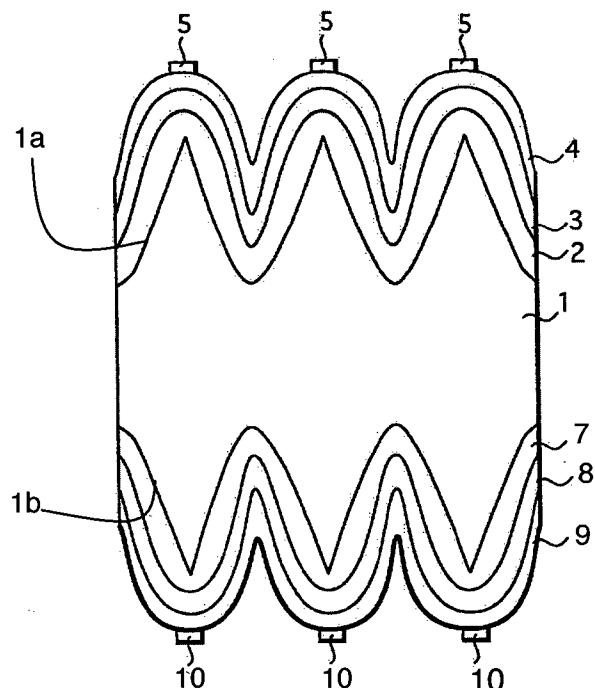
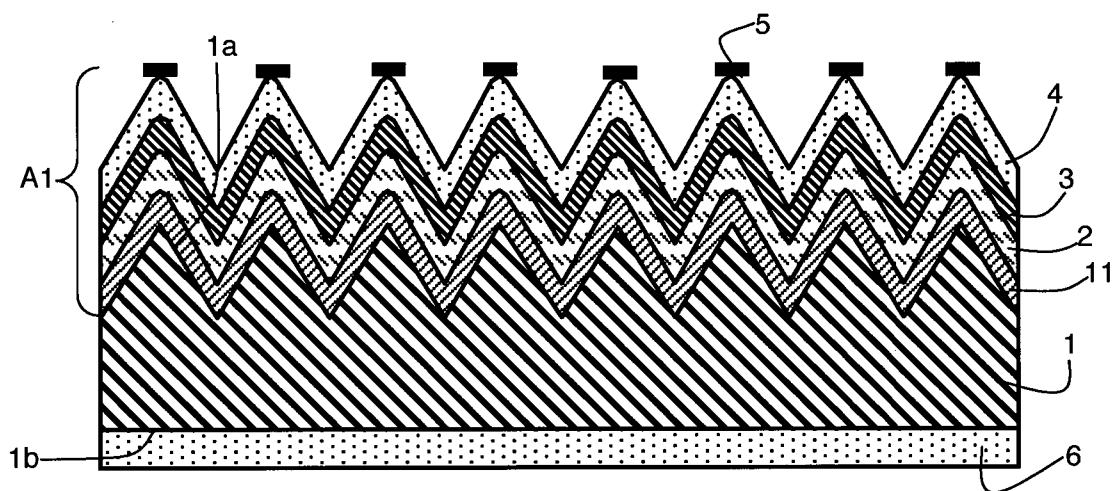
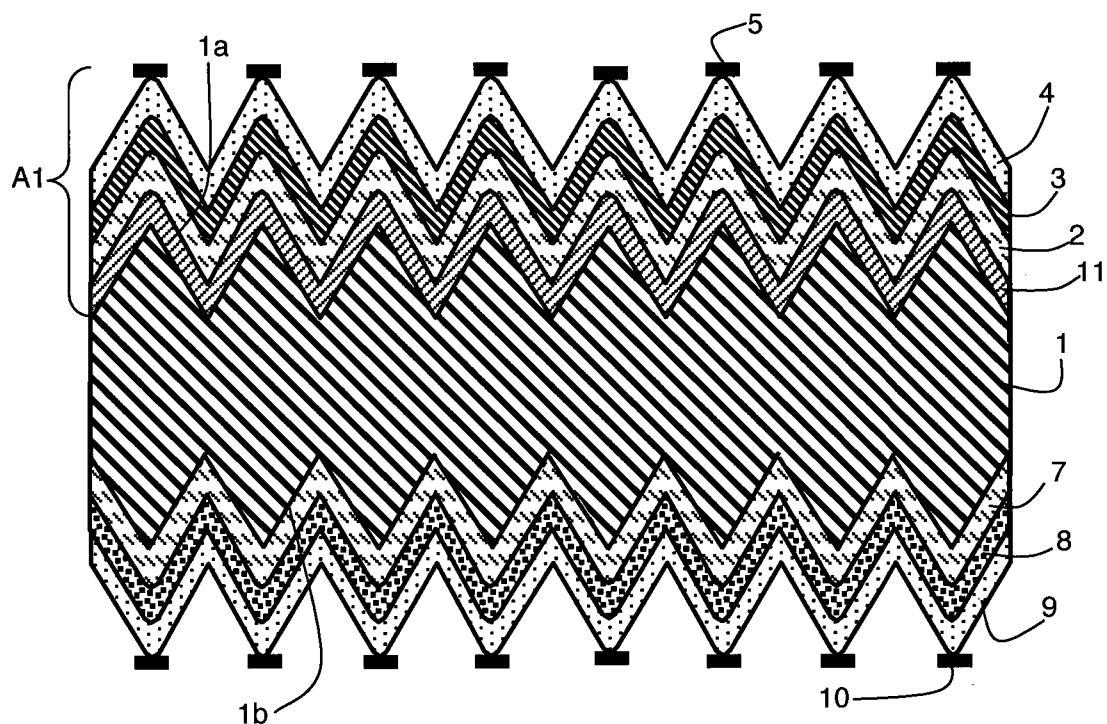


Fig. 2 (Art antérieur)

2/5

**Fig. 3****Fig. 4**

3/5

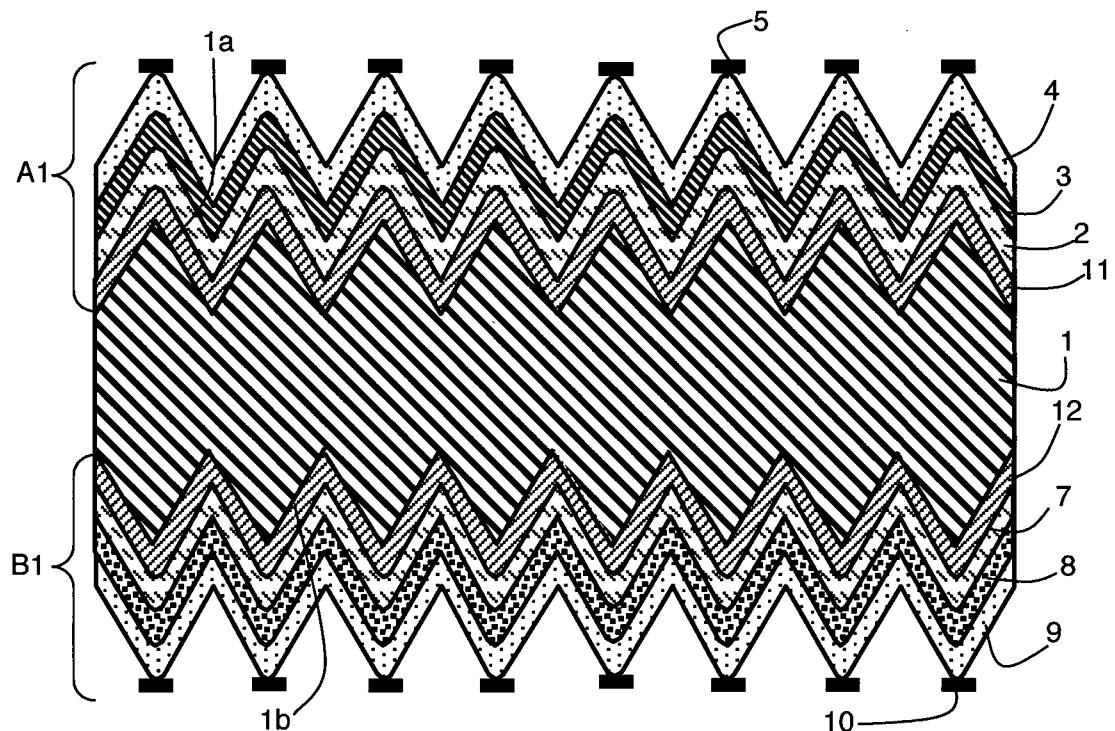


Fig. 5

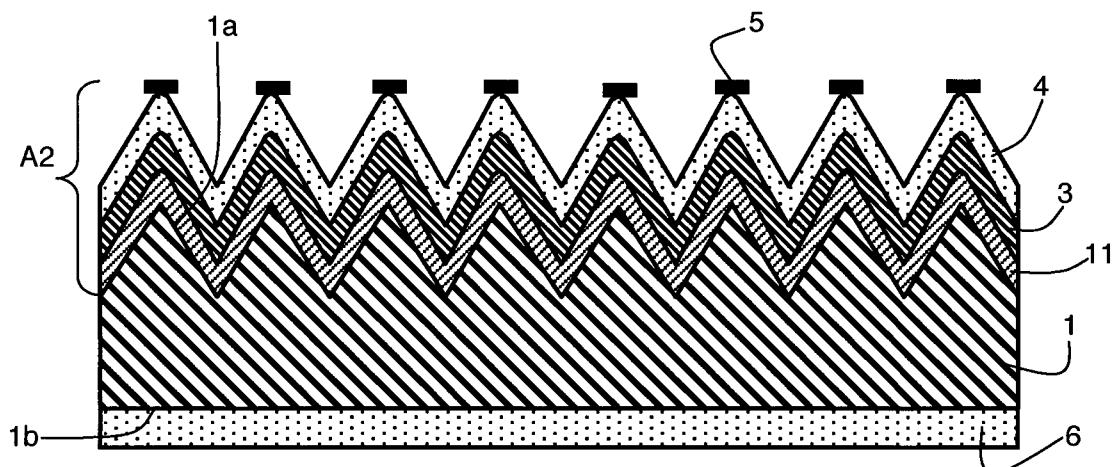


Fig. 6

4/5

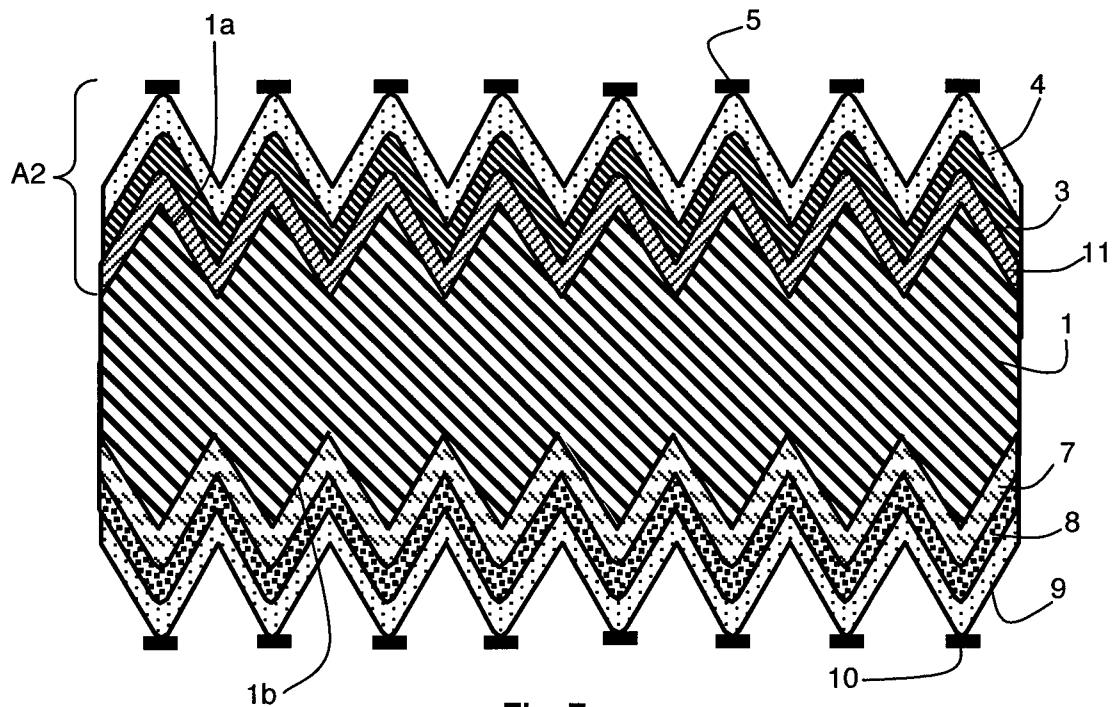


Fig. 7

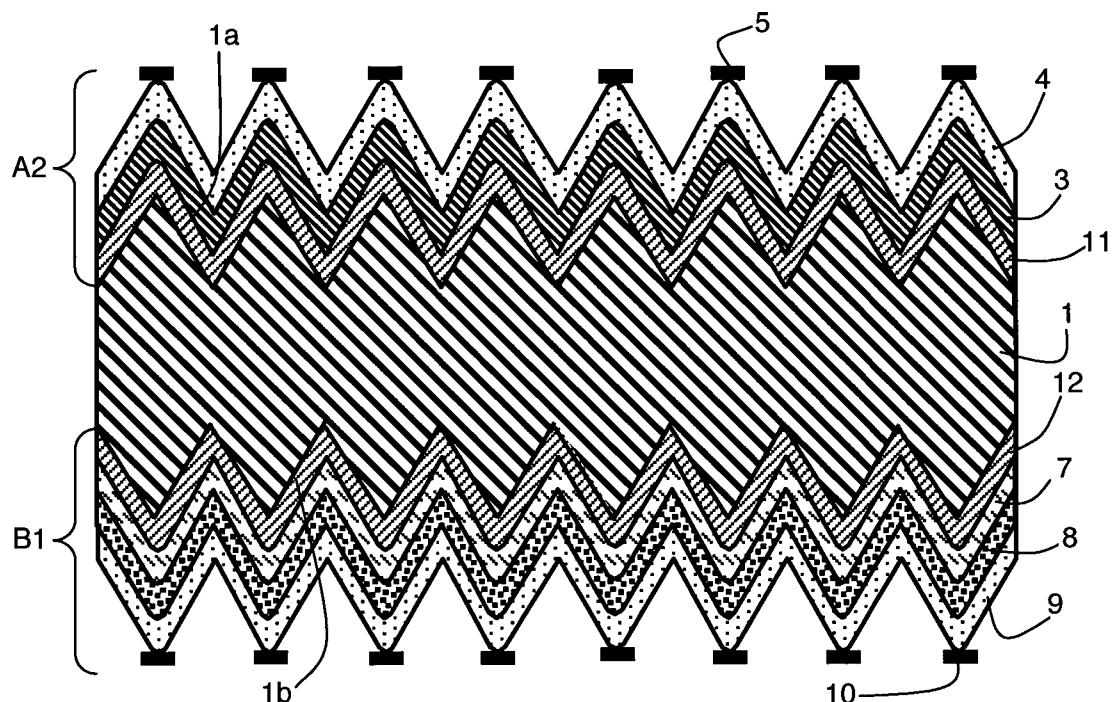


Fig. 8

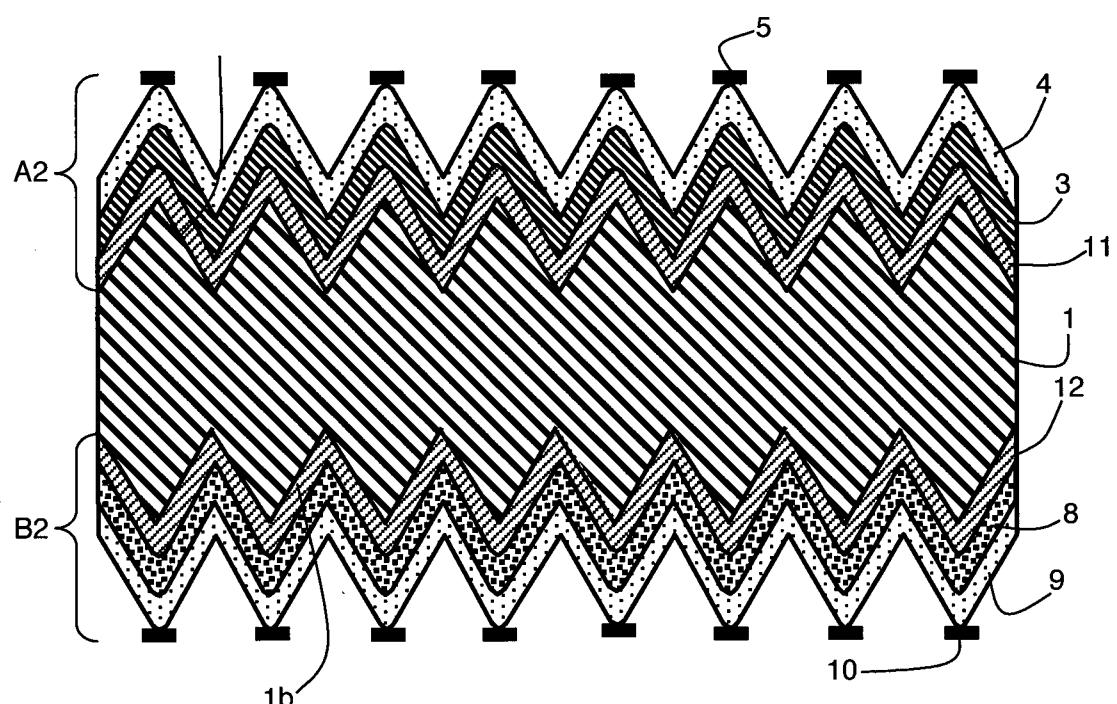


Fig. 9