

①2 DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

②2 Date de dépôt : 03.02.16.

③0 Priorité :

④3 Date de mise à la disposition du public de la
demande : 04.08.17 Bulletin 17/31.

⑤6 Liste des documents cités dans le rapport de
recherche préliminaire : *Se reporter à la fin du
présent fascicule*

⑥0 Références à d'autres documents nationaux
apparentés :

○ Demande(s) d'extension :

⑦1 Demandeur(s) : SOITEC — FR et FRAUNHOFER-
GESELLSCHAFT ZUR FÖRDERUNG DER
ANGEWANDTEN FORSCHUNG E. V. — DE.

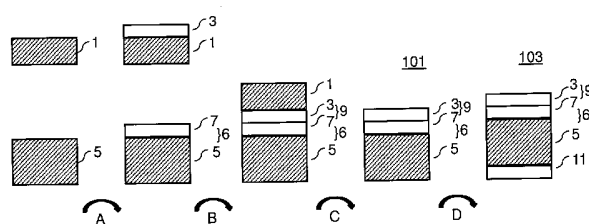
⑦2 Inventeur(s) : AULNETTE CECILE, DIMROTH
FRANK et OLIVA EDUARD.

⑦3 Titulaire(s) : SOITEC, FRAUNHOFER-GESELL-
SCHAFT ZUR FÖRDERUNG DER ANGEWANDTEN
FORSCHUNG E. V..

⑦4 Mandataire(s) : WOLFGANG NEUBECK - GRUNEC-
KER.

⑤4 SUBSTRAT AVANCÉ.

⑤7 Substrat avancé comprenant: une couche de germe constituée d'un premier matériau semi-conducteur pour la croissance d'une cellule solaire; un substrat de support comprenant une base et une couche de surface formée par croissance épitaxiale sur un premier côté de la base, la base et la couche de surface étant constituées d'un deuxième matériau semi-conducteur; une interface de liaison directe entre la couche de germe et la couche de surface; dans lequel la concentration de dopage de la couche de surface est supérieure à une valeur prédéterminée de telle sorte que la résistivité électrique au niveau de l'interface de liaison directe soit inférieure à 10 mOhm-cm², préférablement inférieure à 1 mOhm-cm²; et dans lequel la concentration de dopage de la base ainsi que l'épaisseur du substrat avancé sont telles que l'absorption du substrat avancé soit inférieure à 20 %, préférablement inférieure à 10 %, et que la résistance en série normalisée sur toute la surface du substrat avancé soit inférieure à 10 mOhm-cm², préférablement inférieure à 5 mOhm-cm².



Substrat avancé

Domaine de l'invention

La présente invention se rapporte à un substrat avancé ainsi qu'à un procédé de fabrication d'un substrat avancé.

5 Arrière-plan de l'invention

Les cellules photovoltaïques ou solaires sont conçues pour convertir le rayonnement solaire en courant électrique. Dans les applications photovoltaïques solaires à concentrateur, la lumière solaire incidente est concentrée optiquement avant d'être dirigée vers des cellules solaires. Par exemple, la lumière solaire incidente est reçue par
10 un miroir primaire qui réfléchit le rayonnement reçu vers un miroir secondaire qui, à son tour, réfléchit le rayonnement vers une cellule solaire, qui convertit le rayonnement concentré en courant électrique par la génération de paires électron-trou, par exemple dans du silicium monocristallin ou semi-conducteur III-V. La photovoltaïque à concentrateur peut, en alternative ou en outre, comprendre des optiques à lentille de
15 Fresnel pour la concentration du rayonnement solaire incident.

Étant donné que différentes compositions de matériaux semi-conducteurs montrent une absorption optimale à différentes longueurs d'onde du rayonnement solaire, des cellules MJ (multi-jonctions) ont été proposées qui comprennent, par exemple, trois cellules montrant une absorption optimale dans différentes plages de longueurs d'onde.

20 Récemment, dans le champ d'application de l'optoélectronique, par exemple cellules CPV (photovoltaïques à concentrateur), détecteurs IR (infrarouge), etc., l'intérêt a été concentré sur le recyclage de photons, la réduction de pertes de photons et la réduction de la résistivité.

L'un des problèmes liés à ces questions est l'efficacité de la cellule. Par exemple,
25 des substrats utilisés couramment tels que des substrats de GaAs doivent être dopés afin d'assurer une résistance de contact faible. Mais ce dopage induit une absorption accrue de photons.

WO2013143851 divulgue un procédé de fabrication de dispositifs de cellule solaire MJ, comprenant un transfert d'une couche de germe sur un substrat final.

Pour des cellules solaires MJ (multi-jonctions), ou plus généralement « photo-détecteurs », par exemple adaptées pour un procédé de fabrication de la cellule solaire MJ comme énoncé dans WO2013143851 qui implique une liaison directe d'au moins deux sous-cellules, c'est-à-dire que chacune est formée par croissance sur un substrat, les deux substrats ayant cependant des constantes de réseau différentes, il existe un besoin pour des substrats appropriés pour augmenter l'efficacité de la cellule solaire à base de tels substrats.

Compte tenu des problèmes mentionnés ci-dessus, un objet de la présente invention est de fournir un substrat suffisamment transparent mais électriquement conducteur avec une efficacité améliorée, pour des cellules solaires MJ.

Résumé de l'invention

La présente invention répond au besoin mentionné ci-dessus et, en conséquence, il est prévu :

Un substrat avancé comprenant : une couche de germe constituée d'un premier matériau semi-conducteur pour la croissance d'une cellule solaire ; un substrat de support comprenant une base et une couche de surface formée par croissance épitaxiale sur la base, la base et la couche de surface étant constituées d'un deuxième matériau semi-conducteur ; une interface de liaison directe entre la couche de germe et la couche de surface ; dans lequel la concentration de dopage de la couche de surface est supérieure à une valeur prédéterminée de telle sorte que la résistivité électrique au niveau de l'interface de liaison directe soit inférieure à $10 \text{ m}\Omega\cdot\text{cm}^2$, préférablement inférieure à $1 \text{ m}\Omega\cdot\text{cm}^2$; et dans lequel la concentration de dopage de la base ainsi que l'épaisseur du substrat avancé sont telles que l'absorption du substrat avancé soit inférieure à 20 %, préférablement inférieure à 10 %, et que la résistance en série normalisée sur toute la surface du substrat avancé soit inférieure à $10 \text{ m}\Omega\cdot\text{cm}^2$, préférablement inférieure à $5 \text{ m}\Omega\cdot\text{cm}^2$.

Dans le substrat avancé prévu ci-dessus l'expression base est l'abréviation de substrat de base et les deux expressions sont utilisées comme des synonymes. La base et la couche de surface forment le substrat de support qui peut également être désigné en

tant que couche de support. Le substrat de support peut également être désigné en tant que substrat récepteur. La base correspond à une partie inférieure faiblement dopée qui est appropriée pour une faible absorption et pour la fourniture en même temps de suffisamment de stabilité mécanique pour la manipulation du substrat. La partie supérieure du substrat de support correspond à la couche de surface. La couche de surface est formée par croissance épitaxiale d'une couche fortement dopée, c'est-à-dire hétéro-épitaxiale, sur la couche de base. Une faible résistance interfaciale avec la couche de germe peut ainsi être garantie, par exemple une couche de germe d'InP sur une couche de surface de GaAs formée sur un substrat de base de GaAs ou de Ge.

- 10 Pour le substrat avancé mentionné ci-dessus, le substrat est composé de deux matériaux non-appariés, par exemple de l'InP pour la couche mince supérieure, c'est-à-dire la couche de germe, et du GaAs ou du Ge pour le substrat récepteur inférieur, c'est-à-dire le substrat de support. La couche mince de couche de germe d'un premier matériau peut être obtenue par plusieurs approches incluant une liaison sur le deuxième
- 15 matériau, dont les deux sont préférablement fortement dopés à l'interface de liaison afin d'assurer une résistivité d'interface faible.

L'absorption étant inférieure à 20 % doit être compris comme que le substrat avancé doit seulement absorber moins de 20 % de la lumière incidente, alors que plus de 80 % de la lumière incidente doit être transmise à travers le substrat avancé.

- 20 La résistivité électrique est une propriété intrinsèque qui quantifie de combien un matériau donné s'oppose à la circulation d'un courant électrique. Une faible résistivité indique un matériau qui permet facilement le mouvement de charge électrique. La résistivité est couramment représentée par la lettre grecque ρ (rho). L'unité de résistivité électrique est dérivée du produit de la résistance R avec l'aire de la surface ou l'aire de la
- 25 section transversale A de la cellule solaire ou du substrat avancé, respectivement. En formule cela représente $R \cdot A = \rho \cdot l$, où l représente la longueur ou l'épaisseur qui est essentiellement perpendiculaire à la surface A . L'unité de résistivité électrique est donc l'ohm-mètre ($\Omega \cdot m$), bien que d'autres unités comme l'ohm-centimètre ($\Omega \cdot cm$) puissent être dérivées de ceci.

- 30 La résistance en série représente l'un des principaux effets résistifs dans une cellule solaire. Une résistance en série élevée peut réduire le facteur de remplissage et ainsi au bout du compte l'efficacité de la cellule solaire. Afin de rendre des valeurs comparables, les valeurs sont normalisées en surface de manière à multiplier la

résistance avec une surface, ce qui revient au même qu'utiliser la densité de courant à la place du courant dans la loi d'Ohm, obtenant ainsi une unité en $\text{Ohm}\cdot\text{cm}^2$.

Le substrat avancé peut comprendre en outre un contact métallique de côté arrière servant de miroir prévu sur un deuxième côté de la base opposé au premier côté.

5 Le contact métallique de côté arrière peut servir de miroir de côté arrière. Typiquement, il est placé juste en dessous de la base afin d'empêcher ou au moins de minimiser des pertes de photons en les renvoyant vers la base par réflexion et en outre au moins partiellement vers les couches actives de la cellule solaire. Des photons peuvent donc être recyclés par le miroir et la perte de photons est réduite. La résistance
10 en série normalisée en surface mentionnée ci-dessus du substrat avancé a l'effet supplémentaire de fournir une connexion électrique de la cellule au contact métallique de côté arrière pour collecter les électrons générés. Le contact métallique de côté arrière est typiquement fourni sous la base, c'est-à-dire sur un deuxième côté de la base opposé au premier côté de la base. En d'autres termes, un côté ou une surface de la base comprend
15 la couche de surface prévue sur celui ou celle-ci tandis que l'autre côté ou surface libre de la base peut avoir le contact métallique de côté arrière sur celui ou celle-ci.

Pour le substrat avancé, la valeur prédéterminée peut être typiquement de 10^{18} at/cm³.

La valeur prédéterminée de concentration de dopage de 10^{18} atomes/cm³ fournit
20 l'interface ayant une faible résistivité.

Dans le substrat avancé, la couche de germe peut également avoir une concentration de dopage supérieure à la valeur prédéterminée.

Pour la couche de germe, la valeur prédéterminée de concentration de dopage de 10^{18} atomes/cm³ fournit également l'interface ayant une faible résistivité.

25 Dans le substrat avancé, l'épaisseur de la couche de germe et/ou de la couche de surface peut être dans une plage allant de 150 nm jusqu'à 1 μm .

Dans le substrat avancé, l'épaisseur de la base peut être dans une plage allant de 100 μm jusqu'à 500 μm et la concentration de dopage de la base peut être dans une plage allant de 1×10^{14} à 5×10^{17} at/cm³.

Dans le substrat avancé, le premier matériau semi-conducteur peut avoir une constante de réseau dans la plage allant de 5,8 à 6 Å (0,58 nm à 0,6 nm).

Ces valeurs correspondent typiquement à la constante du réseau de l'InP. Le substrat de support est typiquement le substrat final. Dans le cas de cellules MJ directement liées, la sous-cellule formée par croissance sur ce substrat devrait avoir les écarts énergétiques les plus faibles, ce qui peut seulement être réalisé avec des matériaux ayant des constantes de réseau autour de la constante de réseau de l'InP.

Dans le substrat avancé, le premier matériau semi-conducteur peut être de l'InP ou le premier matériau semi-conducteur peut être un matériau III-V ternaire ou quaternaire ou pentenaire, par exemple InGaAs ou InGaAsP, et le deuxième matériau semi-conducteur peut être du GaAs ou du Ge.

L'invention fournit en outre une cellule solaire comprenant un substrat avancé comme décrit ci-dessus.

L'invention fournit en outre un procédé de fabrication d'un substrat avancé, comprenant les étapes de fourniture d'un premier substrat ; fourniture d'une couche de germe sur le premier substrat, la couche de germe étant constituée d'un premier matériau semi-conducteur ; fourniture d'une base ; formation, par croissance épitaxiale, d'une couche de surface sur un premier côté de la base, la base et la couche de surface étant constituées d'un deuxième matériau semi-conducteur ; liaison directe la couche de germe à la couche de surface, fournissant ainsi une interface de liaison directe, et ensuite enlèvement du premier substrat ; dans lequel la concentration de dopage de la couche de surface est supérieure à une valeur prédéterminée de telle sorte que la résistivité électrique au niveau de l'interface de liaison directe soit inférieure à 10 mOhm·cm², préférablement inférieure à 1 mOhm·cm² ; et dans lequel la concentration de dopage de la base ainsi que l'épaisseur du substrat avancé sont telles qu'à la fois l'absorption du substrat avancé soit inférieure à 20 %, préférablement inférieure à 10 %, et que la résistance en série normalisée sur toute la surface du substrat avancé soit inférieure à 10 mOhm·cm², préférablement inférieure à 5 mOhm·cm².

Le substrat avancé tel que détaillé ci-dessus peut être utilisé pour la fabrication de cellules CPV, de cellules MJ ou de tous dispositifs de détection de lumière.

Le procédé de fabrication d'un substrat avancé peut comprendre en outre l'étape de fourniture d'un contact métallique de côté arrière sur un deuxième côté de la base opposé au premier côté, servant de miroir.

Le miroir peut également être formé après la formation de la cellule MJ.

- 5 Le procédé de fabrication d'un substrat avancé peut comprendre en outre une étape d'implantation d'ions pour créer une couche d'implantation dans une partie du premier substrat et/ou de la couche de germe avant la liaison directe de la couche de germe à la couche de surface.

- 10 Le miroir de côté arrière est agencé juste en dessous de la base pour éviter des pertes en renvoyant des photons par réflexion vers la base et de plus vers les couches actives de la cellule solaire. La base comprend une partie inférieure faiblement dopée appropriée pour une faible absorption, fournissant une stabilité mécanique pour la manipulation, et une conductivité électrique suffisamment élevée pour fournir une connexion électrique de la cellule au contact métallique de côté arrière pour collecter les
- 15 électrons générés. Ce dernier sert de miroir comme indiqué précédemment. La partie supérieure du substrat récepteur est formée par croissance épitaxiale d'une couche fortement dopée, c'est-à-dire hétéro-épitaxiale, nécessaire afin de garantir une faible résistance interfaciale avec la couche de germe épitaxiale, par exemple une couche de germe d'InP sur une couche supérieure de GaAs formée sur un substrat sous-jacent de
- 20 GaAs ou de Ge.

Le substrat avancé divulgué peut être utilisé pour la fabrication de cellules CPV ou de tous dispositifs de détection de lumière.

- 25 Le substrat avancé est composé de deux matériaux non-appariés, par exemple de l'InP pour la couche supérieure mince, et du GaAs ou du Ge pour le substrat récepteur sous-jacent. La couche mince de couche de germe épitaxiale d'un premier matériau peut être obtenue par plusieurs approches incluant une liaison sur le deuxième matériau, dont les deux ont besoin d'être fortement dopés à l'interface de liaison afin d'assurer une résistivité d'interface faible.

Brève Description des Dessins

- 30 Fig. 1 Dessin schématique d'un mode de réalisation

Fig. 2 Modification du mode de réalisation représenté à la Fig. 1.

Description de l'invention

La Fig. 1 montre un exemple du procédé de fabrication d'un substrat avancé conformément à la présente invention.

5 Dans une première étape, dans la partie la plus à gauche de la Fig. 1, il est indiqué qu'un substrat de base 5, désigné en tant que base dans la suite, est fourni. En outre, un premier substrat 1 est fourni. Le premier substrat 1 sert de substrat auxiliaire qui peut toutefois être enlevé ou sacrifié avant que le substrat avancé final soit prêt.

10 Dans une étape suivante, comme indiqué par la flèche A, une couche de germe 3 est formée sur le premier substrat 1. La couche de germe 3 peut être constituée d'un premier matériau semi-conducteur. Le premier matériau semi-conducteur peut être, par exemple de l'InP ou ce peut être un matériau III-V ternaire ou quaternaire ou penternaire, par exemple InGaAs ou InGaAsP.

15 En outre, une couche de surface 7 est formée sur la base 5. La couche de surface 7 est formée par croissance épitaxiale sur un premier côté de la base 5. La base 5 et la couche de surface 7 sont constituées d'un deuxième matériau semi-conducteur. Typiquement, le deuxième matériau semi-conducteur est du GaAs ou du Ge. La base 5 et la couche de surface 7 forment ensemble un substrat de support 6.

20 Aucune corrélation dans le temps entre la formation des deux parties ou structures, c'est-à-dire la partie comprenant de la couche de germe formée sur le premier substrat et la partie comprenant la couche de surface 7 étant prévue sur la base 5 par croissance épitaxiale, n'est requise, autre que les deux soient disponibles au début de l'étape suivante qui est indiquée par une flèche B.

25 Comme illustré à la Fig. 1, dans une étape suivante indiquée par B, les deux structures sont liées l'une à l'autre. Autrement dit, la structure comprenant le premier substrat 1 et la couche de germe 3 est liée avec la deuxième structure comprenant la base 5 et la couche de surface 7, c'est-à-dire le substrat de support. La couche de germe 3 et la couche de surface 7 forment alors une interface de liaison directe 9 entre la couche de germe 3 et la couche de surface 7. Typiquement, la liaison est réalisée par liaison
30 directe des deux structures. Une liaison directe représente typiquement une adhésion

moléculaire entre les deux surfaces concernées, sans utiliser d'autres couches de liaison. Une adhésion moléculaire est typiquement effectuée sous vide partiel.

Ensuite, à l'étape C, le premier substrat 1 est enlevé / détaché du premier substrat 1, résultant en un substrat avancé 101. L'enlèvement du premier substrat peut être réalisé de plusieurs manières. Notamment, le meulage et/ou la rétro-gravure peuvent être utilisés pour enlever le premier substrat 1, exposant au bout du compte la couche de germe 3. Si ce traitement est choisi, le processus de liaison réalisé à l'étape précédente peut être effectué à des températures plus élevées, par exemple des températures dans une plage allant de 400 °C à 600 °C, ou plus préférentiellement allant de 450 °C à 550 °C. Une autre possibilité peut être d'effectuer le transfert de la première structure sur la deuxième structure avant la liaison par Smart Cut™, c'est-à-dire en introduisant une étape d'implantation d'ions avant la liaison, et ensuite une séparation / un détachement, cf. Fig. 2. Pour cette possibilité, le procédé de liaison devrait être effectué à une température plus basse, préférentiellement inférieure à 200 °C.

Ensuite, à l'étape D, un contact métallique de côté arrière supplémentaire 11 peut être fourni sur un deuxième côté de la base 5 opposé au premier côté, résultant ainsi en un substrat avancé 103. Le substrat avancé 103 peut être essentiellement le même que le substrat avancé 101, à ceci près qu'il a le contact métallique de côté arrière supplémentaire. L'étape D et donc la fourniture du contact métallique de côté arrière supplémentaire 11 sont facultatifs, mais peuvent améliorer davantage l'efficacité du substrat avancé 103 et, au bout du compte, d'une cellule solaire incluant le substrat avancé. Le contact métallique de côté arrière 11 peut servir de miroir, c'est-à-dire que son but est de réfléchir les photons qui n'ont pas encore été reconvertis vers la couche active de la cellule solaire. Le contact métallique de côté arrière 11 peut également servir pour la fourniture d'un contact électrique au côté arrière d'une cellule solaire, par exemple en contactant une plaque conductrice afin d'éviter un câblage complexe.

La Fig. 2 montre une modification du mode de réalisation de la Fig. 1, partageant cependant les mêmes étapes majeures A, B, C et l'étape facultative D. Les mêmes éléments sont désignés par les mêmes signes de référence et ne seront pas expliqués à nouveau. Dans la Fig. 2, le premier substrat de base comprend une couche de fermeture à glissière 2 (« zipper layer ») qui est prévue à la surface du premier substrat 1, représentant le contact à la couche de germe 3. Par exemple, la couche de fermeture à glissière 2 peut être fournie sous forme d'une couche fragilisée formée par l'implantation d'espèces ioniques. Les espèces ioniques peuvent être, par exemple des ions

d'hydrogène ou d'hélium. Dans ce cas, le premier substrat 1 peut être fourni sous forme d'un substrat massif, tel qu'un substrat d'InP, ensuite l'implantation à travers la surface supérieure du substrat massif forme la couche fragilisée 2. La couche fragilisée ou couche de fermeture à glissière 2 sépare donc la couche de germe 3 et le premier substrat 1, respectivement, dans la partie supérieure et la partie inférieure du substrat massif. Ensuite, le premier substrat 1 est détaché de la couche de germe 3 au moyen de la couche de fermeture à glissière 2, par exemple, le premier substrat avancé est clivé au niveau de la couche de fermeture à glissière 2 ce qui permet le détachement du premier substrat 1 de la couche de germe 3. Ensuite, le processus ultérieur de détachement du premier substrat 1 peut se produire par l'application de forces mécaniques pour délaminer au niveau de la couche affaiblie formée par des ions d'hydrogène ou d'hélium.

Les substrats avancés 101 et 103 résultants, ce dernier incluant un contact métallique de côté arrière, sont essentiellement les mêmes que sur la Fig. 1. La résistivité d'interface entre l'InP et le GaAs directement liés dépend de la concentration de dopage et de fortes concentrations de dopage sont nécessaires pour maintenir une telle résistivité faible. Des concentrations de dopage élevées pour GaAs, conduisent cependant également à une forte absorption de la lumière. Seul le substrat de GaAs devrait donc rester suffisamment transparent. Pour les deux substrats avancés 101 et 103 de chacun des modes de réalisation de la Fig. 1 ainsi que de la Fig. 2, la concentration de dopage de la couche de surface 7 est supérieure à une valeur prédéterminée de telle sorte que la résistivité électrique à l'interface de liaison directe 9 est inférieure à 10 mOhm·cm², préférablement inférieure à 1 mOhm·cm². De manière similaire, la concentration de dopage de la base 5 ainsi que l'épaisseur du substrat avancé 101, 103 sont telles que l'absorption du substrat avancé 101, 103 est inférieure à 20 %, préférablement inférieure à 10 %, et que la résistance en série normalisée sur toute la surface du substrat avancé 101, 103 est inférieure à 10 mOhm·cm², préférablement inférieure à 5 mOhm·cm². La valeur prédéterminée pour la concentration de dopage est typiquement de 10¹⁸ at/cm³. La couche de germe 3 des modes de réalisation illustrés aux Fig. 1 et 2 a une concentration de dopage supérieure à la valeur prédéterminée. L'épaisseur de la couche de germe 3 et/ou de la couche de surface 7 est typiquement dans une plage allant de 150 nm jusqu'à 1 µm. En outre, l'épaisseur de la base 5 est typiquement dans une plage allant de 100 µm jusqu'à 500 µm. La concentration de dopage de la base 5 est typiquement dans une plage allant de 1x10¹⁴ à 5x10¹⁷ at/cm³. Le premier matériau semi-conducteur a typiquement une constante de réseau dans la plage allant de 5,8 à 6 Å (0,58 nm à 0,6 nm).

Chacun des substrats avancés 101 et 103 peut être utilisé dans la formation d'une cellule solaire MJ. L'avantage est que les matériaux des différentes jonctions peuvent être ajustés afin de mieux correspondre au spectre solaire.

Revendications

1. Substrat avancé (101, 103) comprenant :

une couche de germe (3) constituée d'un premier matériau semi-conducteur pour la croissance d'une cellule solaire ;

un substrat de support comprenant une base (5) et une couche de surface (7) formée par croissance épitaxiale sur un premier côté de la base (5), la base (5) et la couche de surface (7) étant constituées d'un deuxième matériau semi-conducteur ;

une interface de liaison directe (9) entre la couche de germe (3) et la couche de surface (7) ;

dans lequel la concentration de dopage de la couche de surface (7) est supérieure à une valeur prédéterminée de telle sorte que la résistivité électrique au niveau de l'interface de liaison directe (9) soit inférieure à $10 \text{ m}\Omega\cdot\text{cm}^2$, préférablement inférieure à $1 \text{ m}\Omega\cdot\text{cm}^2$; et

dans lequel la concentration de dopage de la base (5) ainsi que l'épaisseur du substrat avancé (101, 103) sont telles que l'absorption du substrat avancé (101, 103) soit inférieure à 20 %, préférablement inférieure à 10 %, et que la résistance en série normalisée sur toute la surface du substrat avancé (101, 103) soit inférieure à $10 \text{ m}\Omega\cdot\text{cm}^2$, préférablement inférieure à $5 \text{ m}\Omega\cdot\text{cm}^2$.

2. Substrat avancé (101, 103) selon la revendication 1, comprenant en outre un contact métallique de côté arrière (11) prévu sur un deuxième côté de la base (5) opposé au premier côté, servant de miroir.
3. Substrat avancé (101, 103) selon la revendication 1 ou 2, dans lequel la valeur prédéterminée est de 10^{18} at/cm^3 .
4. Substrat avancé (101, 103) selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, dans lequel la couche de germe (3) a une concentration de dopage supérieure à la valeur prédéterminée.
5. Substrat avancé (101, 103) selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, dans lequel l'épaisseur de la couche de germe (3) et/ou de la couche de surface (7) est dans une plage allant de 150 nm jusqu'à $1 \mu\text{m}$.

6. Substrat avancé (101, 103) selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, dans lequel l'épaisseur de la base (5) est dans une plage allant de 100 μm jusqu'à 500 μm et dans lequel la concentration de dopage de la base (5) est dans une plage allant de 1×10^{14} à 5×10^{17} at/cm^3 .
7. Substrat avancé (101, 103) selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, dans lequel le premier matériau semi-conducteur a une constante de réseau dans la plage allant de 5,8 à 6 Å (0,58 nm à 0,6 nm).
8. Substrat avancé (101, 103) selon l'une quelconque des revendications 1 à 7, dans lequel le premier matériau semi-conducteur est de l'InP ou le premier matériau semi-conducteur est un matériau III-V ternaire ou quaternaire ou penternaire, par exemple InGaAs ou InGaAsP, dans lequel le deuxième matériau semi-conducteur est du GaAs ou du Ge.
9. Cellule solaire comprenant un substrat avancé (101, 103) selon l'une quelconque des revendications 1 à 8.
10. Procédé de fabrication d'un substrat avancé (101, 103), comprenant :
 - la fourniture d'un premier substrat (1) ;
 - la fourniture d'une couche de germe (3) sur le premier substrat (1), la couche de germe (3) étant constituée d'un premier matériau semi-conducteur ;
 - la fourniture d'une base (5) ;
 - la formation, par croissance épitaxiale, d'une couche de surface (7) sur un premier côté de la base (5), la base (5) et la couche de surface (7) étant constituées d'un deuxième matériau semi-conducteur ;
 - la liaison directe la couche de germe (3) à la couche de surface (7), fournissant ainsi une interface de liaison directe (9), et ensuite
 - l'enlèvement du premier substrat (1) ;
 - dans lequel la concentration de dopage de la couche de surface (7) est supérieure à une valeur prédéterminée de telle sorte que la résistivité électrique au niveau de l'interface de liaison directe (9) soit inférieure à 10 $\text{m}\Omega \cdot \text{cm}^2$, préférablement inférieure à 1 $\text{m}\Omega \cdot \text{cm}^2$; et

dans lequel la concentration de dopage de la base (5) ainsi que l'épaisseur du substrat avancé (101, 103) sont telles qu'à la fois l'absorption du substrat avancé (101, 103) soit inférieure à 20 %, préférablement inférieure à 10 %, et que la résistance en série normalisée sur toute la surface du substrat avancé (101, 103) soit inférieure à 10 mOhm·cm², préférablement inférieure à 5 mOhm·cm².

11. Procédé selon la revendication 10, comprenant en outre l'étape de fourniture d'un contact métallique de côté arrière (11) sur un deuxième côté de la base (5), servant de miroir sous la base (5).

12. Procédé selon la revendication 10 ou 11, comprenant en outre :

une étape d'implantation d'ions pour créer une couche d'implantation (2) dans une partie du premier substrat (1) et/ou de la couche de germe (3) avant la liaison directe de la couche de germe (3) à la couche de surface (7).

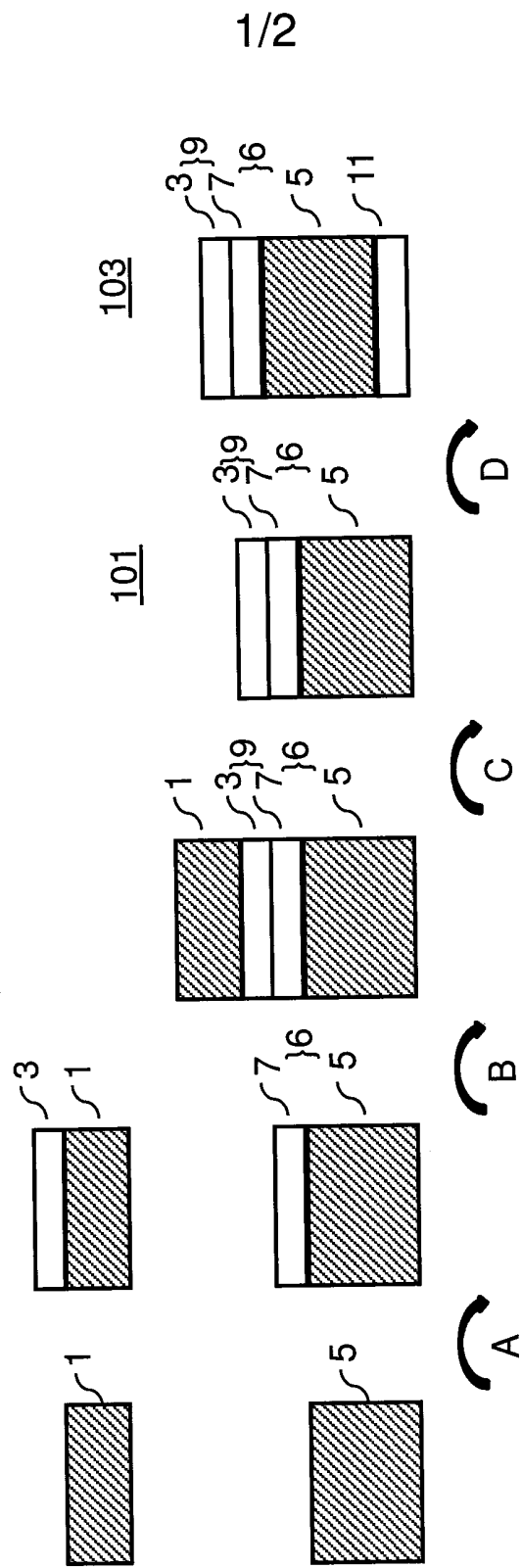


Fig. 1

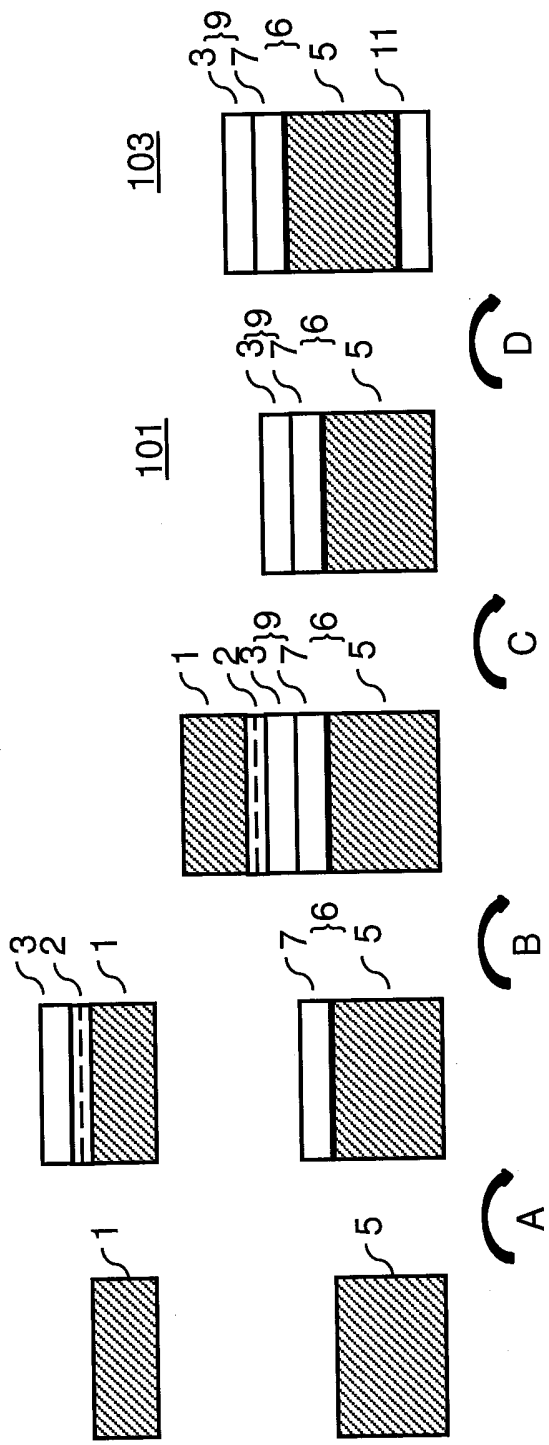


Fig. 2



RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE

établi sur la base des dernières revendications
déposées avant le commencement de la recherche

N° d'enregistrement
national

FA 825975
FR 1650861

DOCUMENTS CONSIDÉRÉS COMME PERTINENTS		Revendication(s) concernée(s)	Classement attribué à l'invention par l'INPI
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes		
X	EP 2 645 429 A1 (SOITEC SILICON ON INSULATOR [FR]; FRAUNHOFER GES FORSCHUNG [DE]) 2 octobre 2013 (2013-10-02) * alinéa [0043] - alinéa [0049]; figure 1 *	1-12	H01L21/00 H01L21/20 H01L31/042
A	----- SHARPS P R ET AL: "Wafer bonding for use in mechanically stacked multi-bandgap cells", CONFERENCE RECORD OF THE 26TH IEEE PHOTOVOLTAIC SPECIALISTS CONFERENCE - 1997. PVSC '97. ANAHEIM, CA, SEPT. 29 - OCT. 3, 1997; [IEEE PHOTOVOLTAIC SPECIALISTS CONFERENCE], NEW YORK, NY : IEEE, US, 29 septembre 1997 (1997-09-29), pages 895-898, XP010268023, DOI: 10.1109/PVSC.1997.654231 ISBN: 978-0-7803-3767-1 * abrégé; figures 2,3 *	1,10	
A	----- MELISSA J GRIGGS ET AL: "Design Approaches and Materials Processes for Ultrahigh Efficiency Lattice Mismatched Multi-Junction Solar Cells", CONFERENCE RECORD OF THE 2006 IEEE 4TH WORLD CONFERENCE ON PHOTOVOLTAIC ENERGY CONVERSION (IEEE CAT. NO.06CH37747), IEEE, 1 mai 2006 (2006-05-01), pages 857-860, XP031041755, ISBN: 978-1-4244-0016-4 * abrégé; figure 3 *	1,10	DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC) H01L
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
9 janvier 2017		Hedouin, Mathias	
CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure. D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant			

ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE**RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 1650861 FA 825975**

La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche préliminaire visé ci-dessus.

Les dits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du **09-01-2017**

Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets, ni de l'Administration française

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
EP 2645429 A1	02-10-2013	CN 104247047 A	24-12-2014
		EP 2645429 A1	02-10-2013
		EP 2831929 A1	04-02-2015
		KR 20140138340 A	03-12-2014
		US 2015083202 A1	26-03-2015
		WO 2013143854 A1	03-10-2013
