

12 DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

22 Date de dépôt : 04.12.15.

30 Priorité :

43 Date de mise à la disposition du public de la
demande : 09.06.17 Bulletin 17/23.

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) : CENTRE NATIONAL DE LA
RECHERCHE SCIENTIFIQUE - CNRS - Etablissement
public — FR, ECOLE SUPERIEURE D'ELECTRICITE
— FR et UNIVERSITE DE VERSAILLES SAINT-QUEN-
TIN-EN-YVELINES — FR.

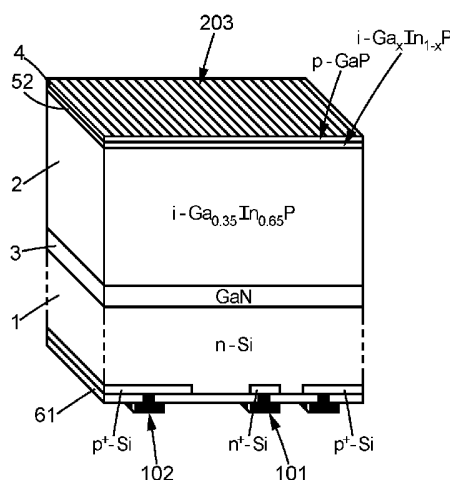
72 Inventeur(s) : DJEBBOUR ZAKARIA, MIGAN ANNE,
KLEIDER JEAN-PAUL et EL-HUNI WALID.

73 Titulaire(s) : CENTRE NATIONAL DE LA
RECHERCHE SCIENTIFIQUE - CNRS - Etablissement
public, ECOLE SUPERIEURE D'ELECTRICITE, UNI-
VERSITE DE VERSAILLES SAINT-QUENTIN-EN-YVE-
LINES.

74 Mandataire(s) : CABINET PLASSERAUD.

54 CELLULE PHOTOVOLTAÏQUE.

57 Une cellule photovoltaïque comprend une première couche d'un premier matériau absorbant comprenant une face avant, une face arrière sur laquelle des premières électrodes de contact de première polarité sont inter-digitées avec des deuxième électrodes de contact de seconde polarité, une deuxième couche d'un deuxième matériau absorbant, au-dessus de la première couche, comprenant une face avant, des troisième électrodes de contact de seconde polarité étant placées sur la face avant de la deuxième couche, les premier et deuxième matériaux semi-conducteurs possèdent des affinités électroniques et des largeurs de bande interdite telles que des porteurs ayant la première polarité, transitent entre la première et la deuxième couche et sont collectés des première et deuxième couches par les premières électrodes, des porteurs de deuxième polarité sont collectés depuis la première couche par les deuxième électrodes, des porteurs de deuxième polarité sont collectés depuis la deuxième couche par les troisième électrodes.



Cellule Photovoltaïque

La présente invention est relative aux cellules
5 photovoltaïques.

Plus particulièrement, l'invention se rapporte à
une cellule photovoltaïque multi jonctions p-n.

Il existe deux types principaux de cellules multi
jonctions: les cellules à deux électrodes, l'une en face
10 avant et l'autre en face arrière, et les cellules à trois
ou quatre électrodes :

- Le premier type, utilise un empilement de plusieurs
sous-cellules à jonction pn et est désigné couramment
par le terme monolithique.
- 15 • Le deuxième type utilise des sous-cellules
fonctionnant indépendamment l'une de l'autre, les
électrodes de contact propres à chacune des sous-
cellules étant formées sur ses faces supérieure et
inférieure. Dans les cellules monolithiques seules la
20 première et la dernière sous-cellule sont munies
d'électrodes, la première sur sa face avant et la
dernière sur sa face arrière. Ceci nécessite un
ajustement minutieux des épaisseurs des différentes
couches constituant car le même courant doit
25 circuler à travers chacune des sous-cellules. Par
ailleurs, il est indispensable dans ce type de
structure de réaliser des jonctions tunnel entre les
sous-cellules, afin de permettre le passage du courant
d'une sous-cellule à la suivante.

30 Le document " Towards highly efficient 4-terminal
mechanical photovoltaic stacks" (G. Flamand et al., III-Vs
review 19 (2006) 24) décrit un exemple d'une cellule
photovoltaïque multi jonctions p-n, à deux jonctions p-n,
séparées par une couche d'isolation, chaque jonction p-n
35 fonctionnant indépendamment, les électrodes de contact

propres à chacune des jonctions étant formées sur ses faces supérieure et inférieure. La réalisation de telles électrodes nécessite des procédés de gravure souvent complexes pour accéder à l'interface entre la jonction p-n et la couche d'isolation pour former l'électrode enterrée entre la jonction p-n et la couche d'isolation, en face inférieure de la jonction du haut et en face supérieure de la jonction du bas. De plus, les électrodes de contact sous forme de grilles qui permettent d'assurer une collecte efficace des porteurs photo-générés, doivent être parfaitement alignées, pour ne pas augmenter notamment l'ombrage par les parties métalliques des grilles sur la jonction du bas.

La présente invention a notamment pour but de pallier ces inconvénients.

On connaît notamment des jonctions p-n à contacts inter-digités tel que décrit dans le document « *Design, fabrication and characterisation of a 24.4% efficient interdigitated back contact solar cell* » de Franklin et. al.

L'invention propose une architecture de cellule photovoltaïque multi jonctions p-n à électrode de contact commune aux jonctions.

A cet effet, selon l'invention, une cellule photovoltaïque du genre en question comprend au moins **une première couche d'un premier matériau absorbeur** comprenant une face avant, ainsi qu'une face arrière sur laquelle des premières électrodes de contact ont une première polarité et sont inter-digitées avec des deuxièmes électrodes de contact ayant une seconde polarité, opposée à ladite première polarité, **caractérisée en ce que** la cellule comporte en outre **une deuxième couche d'un deuxième matériau absorbeur**, au-dessus de la face avant de la première couche, et comprenant une face avant et une face arrière, des troisièmes électrodes de contact ayant ladite

seconde polarité étant placées sur la face avant de la deuxième couche, **et en ce que** les premier et deuxième matériaux semi-conducteurs, possèdent des affinités électroniques respectives, d'une part, et des largeurs de bande interdite respectives, d'autre part, choisies de sorte que des porteurs ayant la première polarité, sont capables de transiter via une interface entre la première et la deuxième couche et sont collectés depuis l'ensemble des première et deuxième couches par les premières électrodes, et des porteurs ayant la deuxième polarité sont collectés depuis la première couche par les deuxièmes électrodes, et des porteurs ayant la deuxième polarité sont collectés depuis la deuxième couche par les troisièmes électrodes.

Grâce à ces dispositions, les différentes électrodes de contact de la cellule photovoltaïque sont disponibles sans nécessité de graver et sans étape d'alignement de grilles de contact enterrées. Ces cellules photovoltaïques, également à très hauts rendements, sont beaucoup moins chères à la fabrication.

Dans des modes de réalisation préférés de l'invention, on peut éventuellement avoir recours en outre à l'une et/ou à l'autre des dispositions suivantes :

- des porteurs ayant la deuxième polarité sont collectés depuis la deuxième couche par les troisièmes électrodes, sans possibilité de franchir ladite interface entre la première et la deuxième couche ;

- le premier matériau absorbeur comporte un dopage selon la première polarité ;

- la deuxième couche comporte en sa face avant une couche de contact portant les troisièmes électrodes et comportant un dopage selon la deuxième polarité ;

- elle comporte en outre **une couche intermédiaire** entre la première couche et la deuxième couche, réalisée dans un troisième matériau semi-conducteur telle que la

couche intermédiaire bloque les porteurs de deuxième polarité photo-générés dans la deuxième couche pour être collectés uniquement par les troisièmes électrodes, et laisse passer les porteurs de première polarité photo-générés dans la deuxième couche pour être collectés par les premières électrodes ;

- l'interface entre les première et deuxième couches comporte une couche d'adaptation d'accord de maille entre les premier et deuxième matériaux ;
- 10 - l'un au moins des matériaux semi-conducteur est un empilement d'alliages semi-conducteur ;
- la première couche de matériau absorbeur est en Silicium (Si) ;
- la deuxième couche de matériau absorbeur
15 comprend un alliage de gallium indium phosphure (GaInP) ;
- la couche intermédiaire comprend l'un parmi du nitrure de gallium (GaN), de l'oxyde de zinc (ZnO), de l'oxyde de Nickel (NiO) ou de l'oxyde de Manganèse (MnO) ;
- la deuxième couche de matériau absorbeur est à
20 base de chalcopyrites (CIGS) empilées avec des sulfures de cadmium (CdS) et/ou des sulfures et oxydes de Zinc (ZnOS) ;
- la deuxième couche de matériau absorbeur (2) est dans un matériau à base de kesterites (CZTS) empilées avec des sulfures de cadmium (CdS) et/ou des sulfures et oxydes
25 de Zinc (ZnOS) ;
- la couche intermédiaire est une couche d'oxyde de zinc (ZnO) ;
- la deuxième couche de matériau absorbeur est dans un matériau à base de pérovskites empilées sur du
30 dioxyde titane (TiO₂) et dans laquelle la couche intermédiaire est du dioxyde d'étain dopé fluor (FTO) ;
- la deuxième couche de matériau absorbeur (2) est à base de silicium amorphe ou de silicium microcristallin hydrogéné, ou d'un alliage amorphe ou
35 microcristallin de silicium, carbone et oxygène ;

- une surface est dotée d'un revêtement anti-reflet.

D'autres caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront au cours de la description suivante d'une de ses formes de réalisation, donnée à titre d'exemple non limitatif, en regard des dessins joints.

Sur les dessins :

- les figures 1 a, b, c, illustrent la structure, le diagramme des bandes d'énergie, et le schéma électrique équivalent d'une cellule photovoltaïque multi jonctions p-n pour laquelle la première couche est dopée n ;

- les figures 2 a, b, c, illustrent la structure, le diagramme des bandes d'énergie, et le schéma électrique équivalent d'une cellule photovoltaïque multi jonctions p-n pour laquelle la première couche est dopée p ;

- les figures 3 a, b illustrent le cas d'une cellule photovoltaïque multi-jonction avec une couche intermédiaire ;

- les figures 4 a, b illustrent le cas d'une cellule photovoltaïque multi-jonction lorsque le deuxième matériau absorbeur est une couche à base d'empilements d'alliages III-V ;

- les figures 5 a, b illustrent le cas d'une cellule photovoltaïque multi-jonction lorsqu'une couche de nitrure de gallium intrinsèque sert de couche intermédiaire ;

- la figure 6 illustre le cas d'une cellule photovoltaïque multi-jonction lorsque la deuxième couche de matériau absorbeur est une couche d'alliage de phosphure de gallium et d'indium ;

- la figure 7 illustre le cas d'une cellule photovoltaïque multi-jonction lorsque la deuxième couche de matériau absorbeur est un empilement d'une couche de sulfure de cadmium ou de sulfure et oxyde de zinc avec une

couche de matériau à base de chalcopyrites ou de kesterites ;

- la figure 8 illustre le cas d'une cellule photovoltaïque multi-jonction lorsque la deuxième couche de matériau absorbeur 2 est à base de pérovskites empilées sur du dioxyde de titane;

- la figure 9 illustre la densité de courant extraite aux électrodes en fonction de la tension générée aux bornes des électrodes.

10

Sur les différentes figures, les mêmes références désignent des éléments identiques ou similaires.

Dans le contexte de l'invention, on entend par polarité le type n ou le type p. On considère la polarité de l'électrode, du porteur et du dopage. La première polarité désigne donc soit le type n soit le type p, et la deuxième polarité désigne l'autre type. **Des porteurs de type n sont des électrons et des porteurs de type p sont des trous.**

La **figure 1a** représente une cellule photovoltaïque multi jonctions p-n comprenant :

- **une première couche d'un premier matériau absorbeur 1** de première polarité comprenant une face avant 11, ainsi qu'une face arrière 12 sur laquelle des premières électrodes de contact 101 de première polarité sont interdigitées avec des deuxièmes électrodes de contact 102 ayant une seconde polarité, opposée à ladite première polarité,

- **une deuxième couche d'un deuxième matériau absorbeur 2**, au-dessus de la face avant de la première couche 1, et comprenant une face avant 21 et une face arrière 22, des troisièmes électrodes de contact 203 ayant ladite seconde polarité étant placées sur la face avant 21 de la deuxième couche 2.

Une première électrode de contact 101 de première polarité est obtenue par le dépôt d'un métal sur du matériau fortement dopé de première polarité. Une deuxième ou une troisième électrode de contact de deuxième polarité est
5 obtenue par le dépôt d'un métal sur du matériau fortement dopé de deuxième polarité.

Une telle architecture permet de convertir différentes parties du spectre solaire, une partie par matériau absorbeur, pour obtenir de meilleurs rendements.

10 La **figure 1a** illustre en particulier le cas où la première polarité est la polarité de type n, et la deuxième polarité est la polarité de type p. Dans ce cas les premières électrodes de contact 101 ont une polarité de type n, les deuxièmes électrodes de contact 102 ont une polarité de
15 type p et les troisièmes électrodes de contact 203 ont une polarité de type p.

La **figure 1b** donne le diagramme des bandes d'énergie à l'équilibre thermodynamique de chaque couche dans ce cas, c'est-à-dire les seuils des bandes de valence et de
20 conduction dans chaque couche et à l'interface entre les couches, en fonction de l'épaisseur à laquelle on regarde dans la cellule. Les premier et deuxième matériaux absorbeurs, semi-conducteurs, possèdent des affinités électroniques respectives, d'une part, et des largeurs de
25 bande interdite respectives (distance en énergie entre le haut de la bande de valence et le bas de la bande de conduction), d'autre part, choisies de sorte :

- qu'il n'y ait quasiment pas de discontinuité entre les bandes de conduction entre le premier et le
30 deuxième matériau absorbeur,

- et, que les bandes interdites des deux absorbeurs soient choisies de sorte que la cellule tandem ait le meilleur rendement.

La différence entre les bandes interdites des
35 matériaux crée une discontinuité entre les bandes de

valences des premier et deuxième absorbeurs telle qu'à l'interface entre le premier et le deuxième absorbeur, l'énergie de la bande de valence du premier matériau absorbeur est notamment strictement supérieure à l'énergie de la bande de valence du deuxième matériau absorbeur.

Ainsi :

- Des porteurs de type n (électrons), sont capables de transiter via une interface de la deuxième vers la première couche et sont collectés depuis l'ensemble des première et deuxième couches par les premières électrodes 101, et
- Des porteurs de type p (trous) sont collectés depuis la première couche 1 par les deuxième électrodes 102,
- Des porteurs de type p (trous) sont collectés depuis la deuxième couche 2 par les troisième électrodes 203.

En variante, lorsque la discontinuité est très importante, par exemple supérieure à 0,350 eV entre les bandes de valence, les porteurs de polarité p sont collectés depuis la deuxième couche 2 par les troisième électrodes 203, sans possibilité de franchir ladite interface de la deuxième vers la première couche.

Dans un mode privilégié de réalisation, le premier matériau absorbeur 1 est préférentiellement dopé, alors de type n. En particulier le premier matériau absorbeur 1 peut être du silicium (Si). La deuxième couche de matériau absorbeur 2 est par exemple un empilement d'alliages semi-conducteurs pouvant être dopés p ou non dopés. Le deuxième absorbeur 2 peut être un empilement de couches dopées et non dopées.

Chaque jonction p-n peut être schématisée par une diode dont le côté p constitue l'anode et le côté n la cathode. Le fonctionnement de la cellule dans le cas d'une telle polarité peut donc être schématisé par l'association de deux diodes, chaque diode étant en parallèle avec un

générateur de courant, comme illustré à la **figure 1c**.

La **figure 2a** illustre le cas de polarité inverse c'est-à-dire le cas où la première polarité est la polarité de type p, et la deuxième polarité est la polarité de type n. Dans ce cas les premières électrodes de contact 101 ont une polarité de type p, les deuxièmes électrodes de contact 102 ont une polarité de type n et les troisièmes électrodes de contact 203 ont une polarité de type n. La **figure 2b** donne le diagramme des bandes d'énergie à l'équilibre thermodynamique de chaque couche dans ce cas. Les premier et deuxième matériaux absorbeurs, semi-conducteurs, possèdent des affinités électroniques respectives, d'une part, et des largeurs de bande interdite respectives, d'autre part, choisies de sorte :

- qu'il n'y ait quasiment pas de discontinuité entre les bandes de valence entre le premier et le deuxième matériau absorbeur,
- et, que les bandes interdites des deux absorbeurs soient choisies de sorte que la cellule tandem ait le meilleur rendement.

La différence entre les bandes interdites des matériaux crée une discontinuité entre les bandes de conduction des premier et deuxième absorbeurs telle qu'à l'interface entre le premier et le deuxième absorbeur, l'énergie de la bande de conduction du premier matériau absorbeur est notamment strictement inférieure à l'énergie de la bande de conduction du deuxième matériau absorbeur.

Ainsi :

- Des porteurs de type p (trous), sont capables de transiter via l'interface de la deuxième vers la première couche et sont collectés depuis l'ensemble des première et deuxième couches par les premières électrodes 101, et
- Des porteurs de type n (électrons) sont collectés depuis la première couche 1 par les

deuxièmes électrodes 102,

- Des porteurs de type n (électrons) sont collectés depuis la deuxième couche 2 par les troisièmes électrodes 203.

En variante, lorsque la discontinuité est très importante, par exemple supérieure à 0,350 eV entre les bandes de conduction, les porteurs de polarité n sont collectés depuis la deuxième couche 2 par les troisièmes électrodes 203, sans possibilité de franchir ladite interface de la deuxième vers la première couche. Dans un mode privilégié de réalisation, le premier matériau absorbeur 1 est préférentiellement dopé, alors de type p. En particulier le premier matériau absorbeur 1 peut être du silicium (Si). Le deuxième absorbeur 2 est un empilement d'alliages semi-conducteurs pouvant être dopés n ou non dopés. Le deuxième absorbeur 2 peut être un empilement de couches dopées et non dopées.

Le fonctionnement de la cellule dans le cas d'une telle polarité peut également être schématisé par l'association de deux diodes, chaque diode étant en parallèle avec un générateur de courant, comme illustré à la figure 2c.

Dans le cas particulier où la première couche de matériau absorbeur 1 a une largeur de bande interdite de 1.12eV par exemple dans le cas du silicium, la deuxième couche de matériau absorbeur 2 est par exemple semi-conductrice avec préférentiellement une largeur de bande interdite entre 1.7 et 1.8eV.

- 5 Comme illustré à la **figure 3a**, la deuxième couche 2 peut comporter en sa face avant une couche fenêtre de contact (large bande interdite) 4 portant les troisièmes électrodes 203 et comportant un dopage selon la polarité p dans le cas où la première polarité est la polarité de type n et la deuxième polarité est la polarité de type p. La
- 10 couche fenêtre de contact 4 est par exemple en empilement d'alliages semi-conducteurs dopés p.

La **figure 3a** illustre également le cas où la cellule photovoltaïque comprend en outre une couche intermédiaire 3 entre la première couche 1 et la deuxième couche 2, réalisée dans un troisième matériau semi-conducteur dans le cas où la première polarité est la polarité de type n et la deuxième polarité est la polarité de type p. Comme illustré énergétiquement à la figure 3b, la couche intermédiaire 3 crée une distance en énergie entre les hauts des bandes de valence des deux couches de matériau absorbeur sélectionnant ainsi les flux de porteurs possibles. Ainsi la couche intermédiaire 3 bloque les porteurs de polarité p photo-générés dans la deuxième couche 2 pour être collectés uniquement par les troisièmes électrodes 203, et laisse passer les porteurs de polarité n photo-générés dans la deuxième couche 2 pour être collectés par les premières électrodes 101. La couche intermédiaire 3 est par exemple un semi-conducteur ou un empilement d'alliages semiconducteurs.

L'interface entre les première et deuxième couches peut comporter une couche d'adaptation 40 d'accord de maille entre les premier et deuxième matériaux.

Les empilements semi-conducteurs peuvent s'obtenir soit par croissance directe sur la face supérieure de la couche sur laquelle ils sont déposés soit par croissance sur un substrat approprié suivie d'un décollage chimique ou laser et d'un collage sur la face supérieure de la couche.

Dans un premier exemple de réalisation de l'invention, illustré à la **figure 4a**, le premier matériau absorbeur est du silicium dopé n, et le deuxième matériau absorbeur est une couche à base d'empilements d'alliages III-V, par exemple un alliage de phosphore d'indium et de gallium GaInP. Le premier matériau absorbeur a par exemple une épaisseur de 250µm et une densité de dopage de $2 \cdot 10^{15} \text{ cm}^{-3}$. Le deuxième matériau absorbeur est par exemple du

$\text{Ga}_{0.35}\text{In}_{0.65}\text{P}$ intrinsèque. La couche de $\text{Ga}_{0.35}\text{In}_{0.65}\text{P}$ a par exemple une épaisseur de $1\mu\text{m}$, et une densité de dopage de 10^{14}cm^{-3} . La couche de $\text{Ga}_{0.35}\text{In}_{0.65}\text{P}$ peut éventuellement être recouverte d'une couche d'adaptation 52 de $\text{Ga}_x\text{In}_{1-x}\text{P}$ d'épaisseur 50nm et de densité de dopage de 10^{14}cm^{-3} . La couche $\text{Ga}_x\text{In}_{1-x}\text{P}$ peut par exemple être une couche à bande interdite graduelle. L'intérêt d'une telle couche est d'assurer une continuité des bandes comme illustré à la figure 4b qui donne l'énergie des bandes de valence et de conduction de la cellule en fonction de la profondeur. Dans le cas où une couche fenêtre de contact 4 est portée par la face avant de la deuxième couche, celle-ci peut être une couche de phosphore de Gallium GaP dopée p, par exemple d'épaisseur 20nm et de densité de dopage $2 \times 10^{18}\text{cm}^{-3}$. Les premières électrodes de contact 101 ont par exemple chacune une largeur de $25\mu\text{m}$ sur toute la profondeur du matériau et sont par exemple séparées des deuxièmes électrodes de contact 102 par $50\mu\text{m}$. Elles sont par exemple formées par un dopage local du silicium. Les deuxièmes électrodes de contact 102 ont par exemple chacune une largeur de $75\mu\text{m}$ sur toute la profondeur du matériau et une épaisseur de 150nm . Un revêtement anti-reflet peut être déposé à la surface de la cellule pour en augmenter le rendement. Une couche réflectrice 61 est par exemple placée entre les premières et deuxièmes électrodes, et le silicium localement dopé (n^+ et p^+).

Comme illustré à la **figure 4b**, les affinités électroniques respectives, d'une part, et les largeurs de bande interdite respectives, d'autre part, sont telles qu'il n'y a quasiment pas de discontinuité entre les bandes de conduction entre le premier et le deuxième matériau absorbeur, et qu'il y a une discontinuité entre les bandes de valence telle qu'à l'interface entre le premier et le deuxième absorbeur, l'énergie de la bande de valence du premier matériau absorbeur est strictement supérieure à

l'énergie de la bande de valence du deuxième matériau absorbeur.

Ainsi des porteurs de type n sont capables de transiter via l'interface de la deuxième à la première couche et sont collectés depuis l'ensemble des première et deuxième couches par les premières électrodes 101, et des porteurs de type p seront collectés depuis la première couche 1 par les premières électrodes 101, et des porteurs de type p sont collectés depuis la deuxième couche 2 par les troisièmes électrodes 203 et depuis la première couche 1 par les deuxièmes électrodes 102.

La **figure 5a** illustre le cas de la même cellule photovoltaïque que celle illustrée à la figure 4 mais dans le cas où une couche de nitrure de gallium GaN intrinsèque sert de couche intermédiaire 3 entre la première couche de matériau absorbeur 1 et la deuxième couche de matériau absorbeur 2. Dans ce cas comme illustré par le diagramme des bandes d'énergie à l'équilibre thermodynamique de la **figure 5b**, la couche de nitrure de gallium GaN présente une discontinuité de bande de conduction quasi-nulle avec le silicium Si mais une discontinuité de bande de valence d'environ 2.3eV avec celui-ci. La couche de nitrure de gallium GaN a par exemple une épaisseur de 150nm. Des porteurs de type n sont capables de transiter via une interface de la deuxième vers la première couche et sont collectés depuis l'ensemble des première et deuxième couches par les premières électrodes 101, des porteurs de type p seront collectés depuis la première couche 1 par les deuxièmes électrodes 102, des porteurs de type p sont collectés depuis la deuxième couche 2 par les troisièmes électrodes 203, sans possibilité de franchir ladite interface entre la première et la deuxième couche. En particulier la couche intermédiaire 3 bloque les porteurs de polarité p photo-générés dans la deuxième couche 2 afin qu'ils soient collectés uniquement par les troisièmes

électrodes 203, sans possibilité d'être collectés par les deuxièmes électrodes 102.

Dans un deuxième exemple de réalisation, illustré à la **figure 6**, la première couche de matériau absorbeur est une couche de silicium dopé p, et la deuxième couche de matériau absorbeur est une couche d'alliage de phosphure de gallium et d'indium $\text{Ga}_{0.35}\text{In}_{0.65}\text{P}$ (ou un empilement de telles couches). Un empilement de couches d'arséniure de gallium et d'indium $\text{Ga}_{0.8}\text{In}_{0.2}\text{As}$ et de phosphure et d'arséniure de gallium et d'indium $\text{Ga}_x\text{In}_{1-x}\text{As}_y\text{P}_{1-y}$ intrinsèques forment une couche d'adaptation 53 en face arrière. Une couche d'alliage de gallium indium phosphure $\text{Ga}_x\text{In}_{1-x}\text{P}$ intrinsèque forme une autre couche d'adaptation 52. La couche intermédiaire 3 est une couche d'oxyde de nickel NiO ou d'oxyde de manganèse MnO. La couche fenêtre de contact 4 est une couche de phosphure de gallium GaP dopée n.

Dans un troisième exemple de réalisation, illustré à la **figure 7**, la première couche de matériau absorbeur est une couche de silicium dopé n, et la deuxième couche de matériau absorbeur est un empilement d'une couche de sulfure de cadmium CdS ou de sulfure et oxyde de zinc ZnOS avec une couche de matériau à base de chalcopyrites $\text{Cu}(\text{In},\text{Ga})(\text{Se},\text{S})_2$ (CIGS) ou de kesterites $\text{Cu}_2\text{ZnSn}(\text{Se},\text{S})_4$ (CZTS), par exemple dopée p. La couche intermédiaire 3 est une couche d'oxyde de zinc (ZnO), par exemple de 200nm d'épaisseur, et avec une affinité électronique et une largeur de bande interdite adaptées aux deux absorbeurs. Les performances photovoltaïques sont alors quasi les mêmes.

Dans un quatrième exemple de réalisation, illustré à la **figure 8**, la première couche de matériau absorbeur est une couche de silicium dopé n et la deuxième couche de matériau absorbeur 2 est à base de pérovskites empilées sur du dioxyde de titane TiO_2 . La couche

intermédiaire 3 est dans un matériau à base de dioxyde d'étain dopé fluor FTO. La couche fenêtre de contact 4 est une couche de matériau assurant le transport de trous (HTM).

En variante l'une au moins des couches de semi-conducteur peut être amorphe ou microcristalline en couche mince. En particulier il peut s'agir de semi-conducteurs, amorphes en couches minces, à base de silicium amorphe hydrogéné ou d'alliages amorphes hydrogénés choisis parmi le silicium, le carbone, et/ou l'oxygène. L'utilisation de tels semi-conducteurs permet une réalisation facilitée par des procédés de dépôt du type PECVD « basse température » (typiquement $< 250^{\circ}\text{C}$), et donc bas coût (comparé à des procédés haute température).

Un des avantages de l'utilisation de ces matériaux est la possibilité de réaliser des semi-conducteurs avec une différence d'énergie entre la bande de valence et la bande de conduction nettement supérieure à la différence obtenue pour le silicium cristallin, d'où l'intérêt d'un tel matériau pour la jonction supérieure notamment.

Un dépôt adapté de couches amorphes ou microcristallines pourrait être réalisé directement à basse température sur du silicium cristallin. En effet il est reconnu que le silicium amorphe hydrogéné permet d'obtenir une excellente passivation de la surface du silicium cristallin et que le procédé de dépôt à basse température permet de ne pas dégrader les propriétés électroniques du silicium cristallin, contrairement à des techniques d'épitaxie à haute température.

Il pourra par exemple s'agir d'une structure avec une jonction supérieure en silicium hydrogéné amorphe ou d'un alliage amorphe de carbure de silicium hydrogéné ou d'oxyde de silicium amorphe hydrogéné, déposée sur la surface d'une jonction en silicium cristallin à contacts à l'arrière.

La **figure 9** illustre :

- la densité de courant extraite de l'électrode 203 en fonction de la tension générée aux bornes des électrodes 203 et 101, (courbe p-GaP/n-Si),
 - la densité de courant extraite de l'électrode 102 en fonction de la tension générée aux bornes des électrodes 102 et 101, (courbe p-Si/n-Si),
- dans le cas d'une cellule photovoltaïque telle que décrite dans la demande dont la surface a été recouverte d'une couche de revêtement anti-reflet (courbe p-GaP/n-Si), et dans le cas d'une cellule photovoltaïque silicium classique (p-Si/n-Si). La couche anti-reflet est par exemple une couche de polyméthylmethacrylate PPMA.

Le rendement obtenu est par exemple de l'ordre de 27.20% en l'absence de couche intermédiaire 3 et de l'ordre de 31.68% dans le cas avec une couche intermédiaire 3.

REVENDEICATIONS

1. Cellule photovoltaïque multi-jonctions p-n à électrode de contact commune comprenant au moins **une première couche d'un premier matériau absorbeur** (1) comprenant une face avant (11), ainsi qu'une face arrière (12) sur laquelle des premières électrodes de contact (101) ont une première polarité et sont interdigitées avec des deuxièmes électrodes de contact (102) ayant une seconde polarité, opposée à ladite première polarité,
- caractérisée en ce que** la cellule comporte en outre :
- une deuxième couche d'un deuxième matériau absorbeur** (2), au-dessus de la face avant de la première couche (1), et comprenant une face avant (21) et une face arrière (22), des troisièmes électrodes de contact (203) ayant ladite seconde polarité étant placées sur la face avant (21) de la deuxième couche (2),
- et en ce que** les premier et deuxième matériaux semi-conducteurs, possèdent des affinités électroniques respectives, d'une part, et des largeurs de bande interdite respectives, d'autre part, choisies de sorte que :
- Des porteurs ayant la première polarité, sont capables de transiter via une interface entre la première et la deuxième couche et sont collectés depuis l'ensemble des première et deuxième couches par les premières électrodes (101), et
 - Des porteurs ayant la deuxième polarité sont collectés depuis la première couche (1) par les deuxièmes électrodes (102),
 - Des porteurs ayant la deuxième polarité sont collectés depuis la deuxième couche (2) par les troisièmes électrodes (203).

2. Cellule photovoltaïque selon la revendication précédente, caractérisée en ce que des porteurs ayant la deuxième polarité sont collectés depuis la deuxième couche (2) par les troisièmes électrodes (203), sans possibilité de franchir ladite interface entre la première et la deuxième couche.
3. Cellule photovoltaïque selon l'une des revendications précédentes, caractérisée en ce que le premier matériau absorbeur comporte un dopage selon la première polarité.
4. Cellule photovoltaïque selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que la deuxième couche (2) comporte en sa face avant une couche de contact (4) portant les troisièmes électrodes (203) et comportant un dopage selon la deuxième polarité.
5. Cellule photovoltaïque selon l'une des revendications précédentes, caractérisée en ce qu'elle comporte en outre :
- une couche intermédiaire** (3) entre la première couche (1) et la deuxième couche (2), réalisée dans un troisième matériau semi-conducteur telle que la couche intermédiaire (3) bloque les porteurs de deuxième polarité photo-générés dans la deuxième couche (2) pour être collectés uniquement par les troisièmes électrodes (203),
- et laisse passer les porteurs de première polarité photo-générés dans la deuxième couche (2) pour être collectés par les premières électrodes (101).
6. Cellule photovoltaïque selon l'une des

revendications précédentes, caractérisée en ce que l'interface entre les première et deuxième couches (1, 2) comporte une couche d'adaptation (40) d'accord de maille entre les premier et deuxième matériaux.

5

7. Cellule photovoltaïque selon l'une des revendications précédentes, dans laquelle l'un au moins des matériaux semi-conducteur est un empilement d'alliages semi-conducteur.

10

8. Cellule photovoltaïque selon l'une des revendications précédentes, dans laquelle la première couche de matériau absorbeur (1) est en Silicium (Si).

15

9. Cellule photovoltaïque selon l'une des revendications précédentes, dans laquelle la deuxième couche de matériau absorbeur (2) comprend un alliage de gallium indium phosphure (GaInP).

20

10. Cellule photovoltaïque selon la revendication 9 dans laquelle la couche intermédiaire (3) comprend l'un des alliages parmi le nitrure de gallium (GaN), l'oxyde de zinc (ZnO), l'oxyde de Nickel (NiO) ou l'oxyde de Manganèse (MnO).

25

11. Cellule photovoltaïque selon l'une des revendications 1 à 8, dans laquelle la deuxième couche de matériau absorbeur (2) est à base de chalcopyrites (CIGS) empilées avec des sulfures de cadmium (CdS) et/ou des sulfures et oxydes de Zinc (ZnOS).

30

12. Cellule photovoltaïque selon l'une des revendications 1 à 8, dans laquelle la deuxième couche de matériau absorbeur (2) est dans un matériau à base de kesterites (CZTS) empilées avec des sulfures de

35

cadmium (CdS) et/ou des sulfures et oxydes de Zinc (ZnOS).

- 5 13. Cellule photovoltaïque selon l'une des revendications 11 ou 12, dans laquelle la couche intermédiaire (3) est une couche d'oxyde de zinc (ZnO).
- 10 14. Cellule photovoltaïque selon l'une quelconque des revendications 1 à 8 dans laquelle la deuxième couche de matériau absorbeur (2) est dans un matériau à base de pérovskites empilées sur du dioxyde titane (TiO₂) et dans laquelle la couche intermédiaire (3) est du dioxyde d'étain dopé fluor (FTO).
- 15 15. Cellule photovoltaïque selon l'une des revendications 1 à 8, dans laquelle la deuxième couche de matériau absorbeur (2) est à base de silicium amorphe ou de silicium microcristallin hydrogéné, ou
- 20 d'un alliage amorphe ou microcristallin de silicium, carbone et oxygène.
- 25 16. Cellule photovoltaïque selon l'une quelconque des revendications 1 à 15, dont une surface est dotée d'un revêtement anti-reflet.

1/6

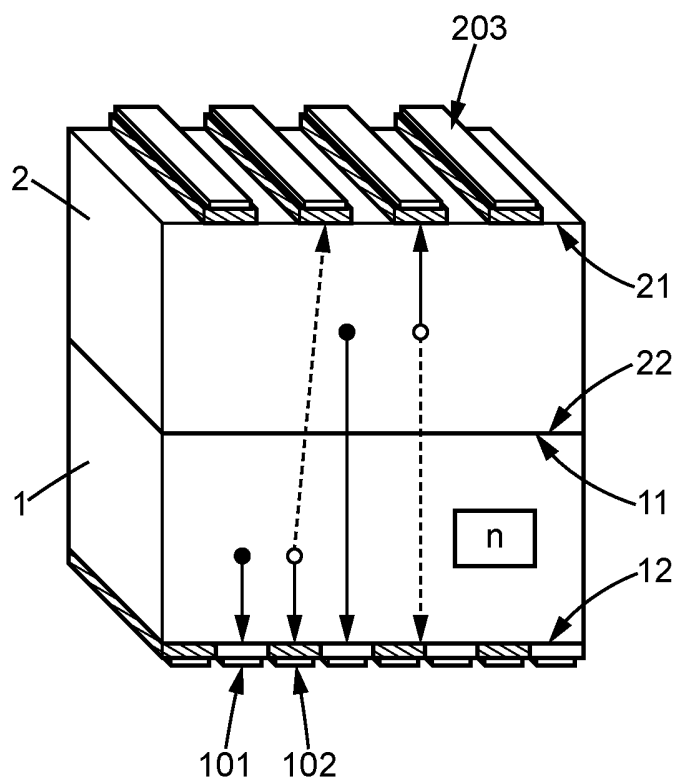


FIG. 1a

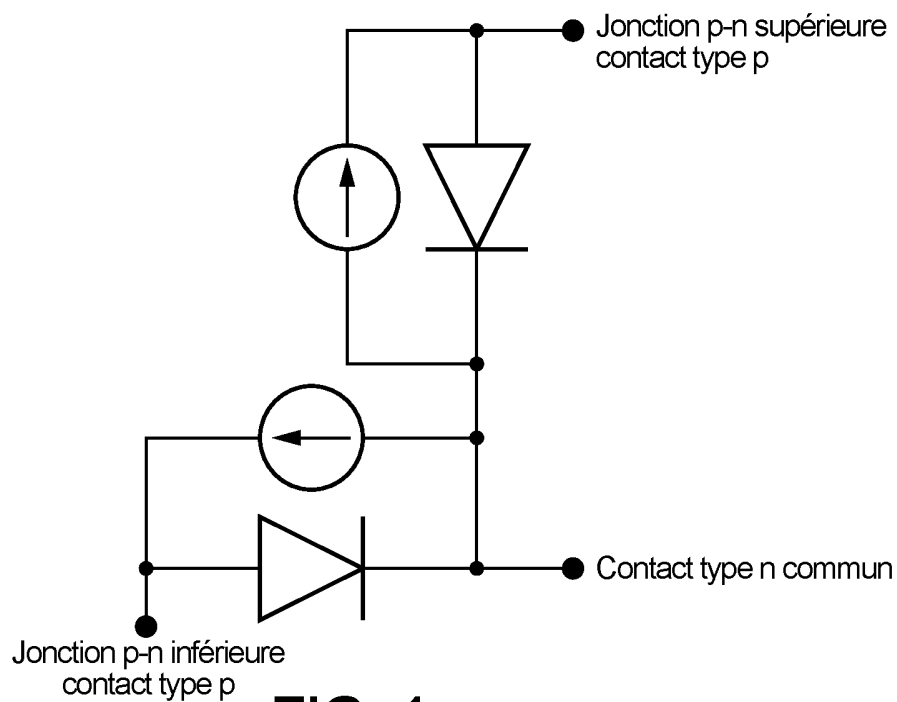
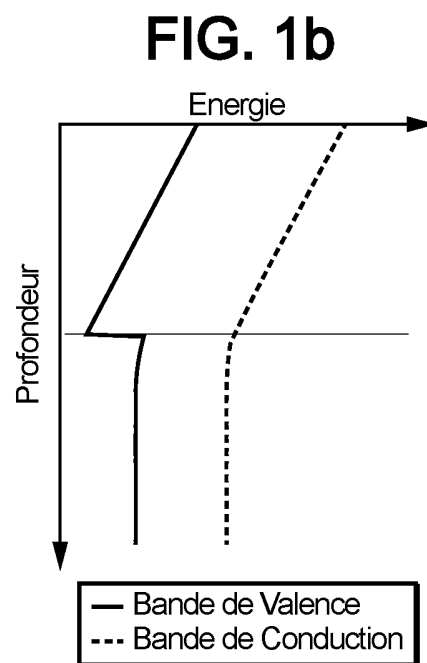
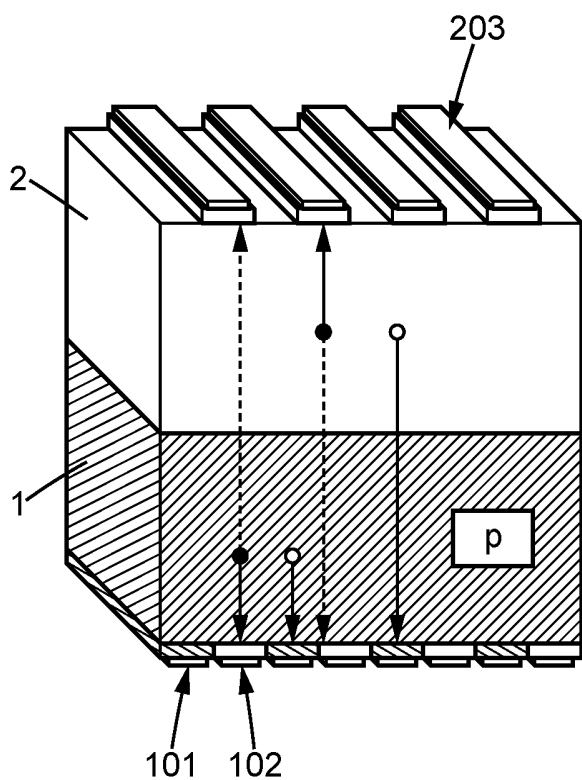
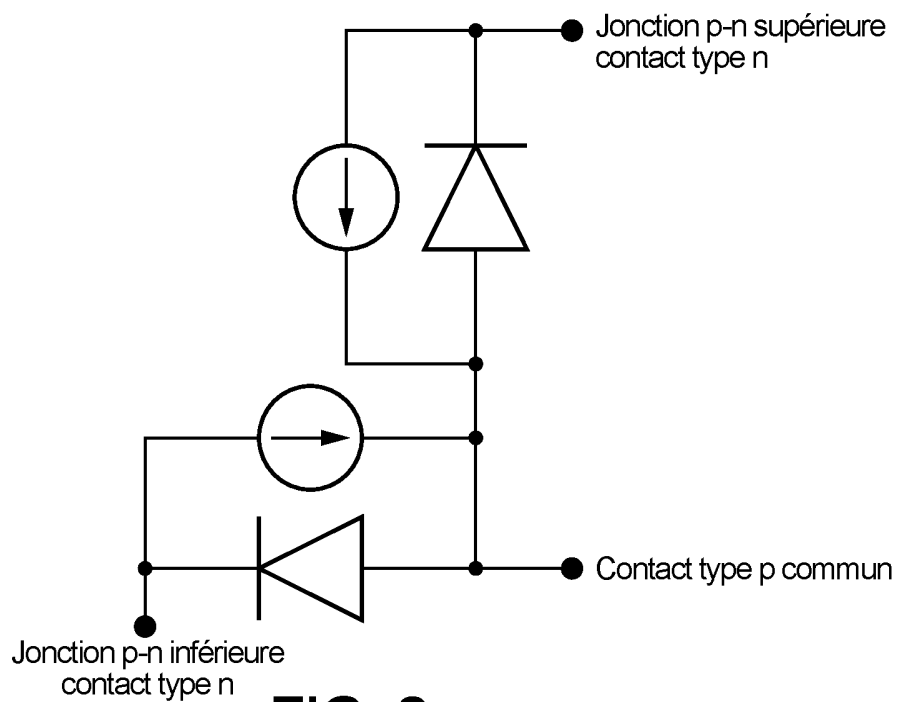
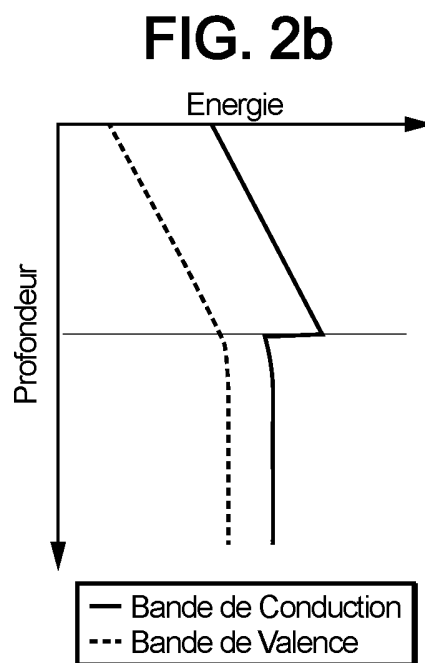
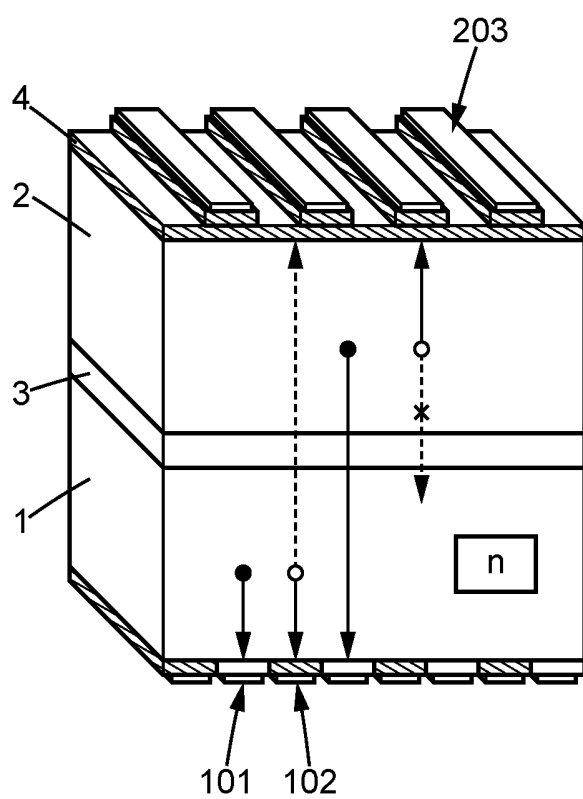
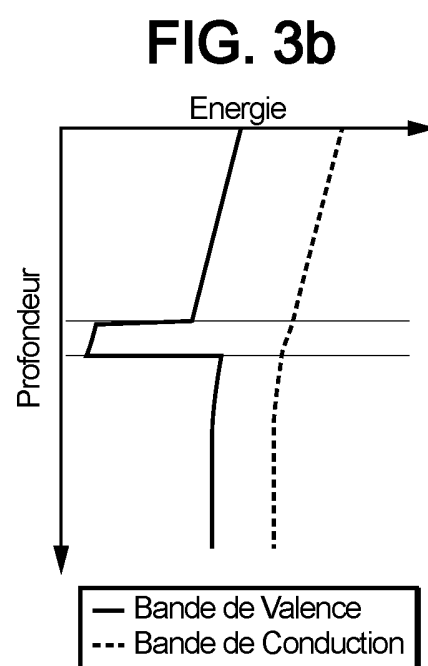


FIG. 1c

2/6

**FIG. 2a****FIG. 2c**

3/6

**FIG. 3a**

4/6

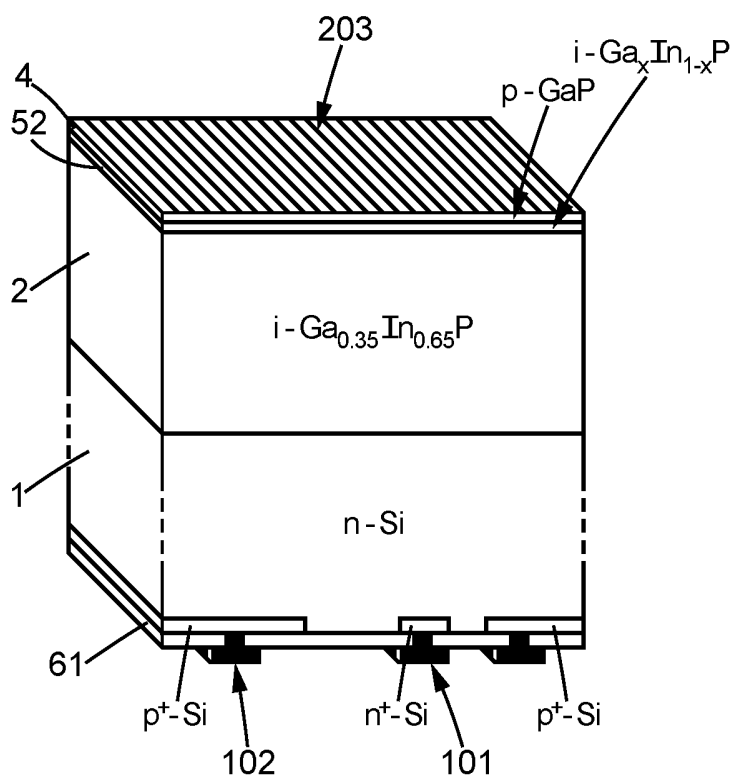


FIG. 4a

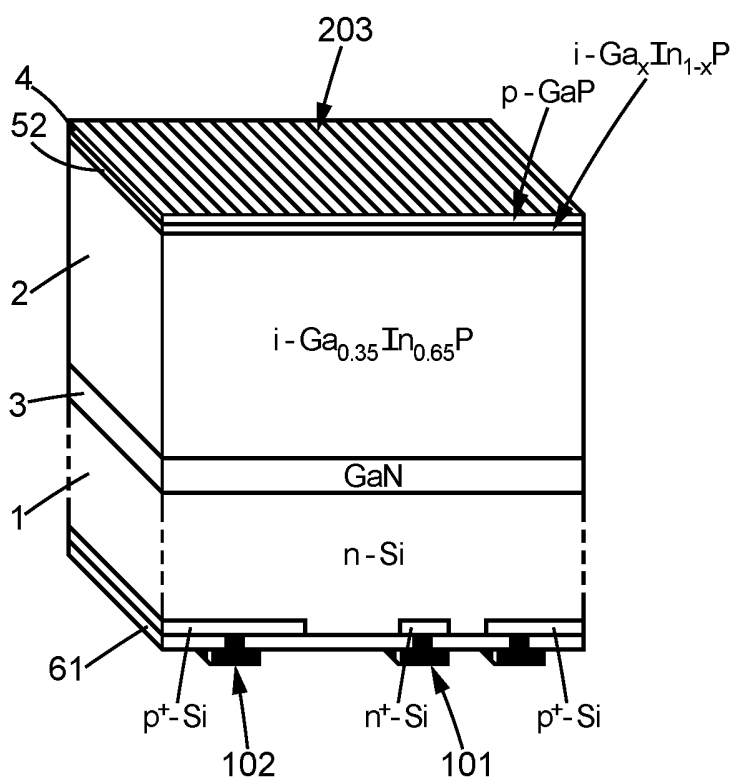
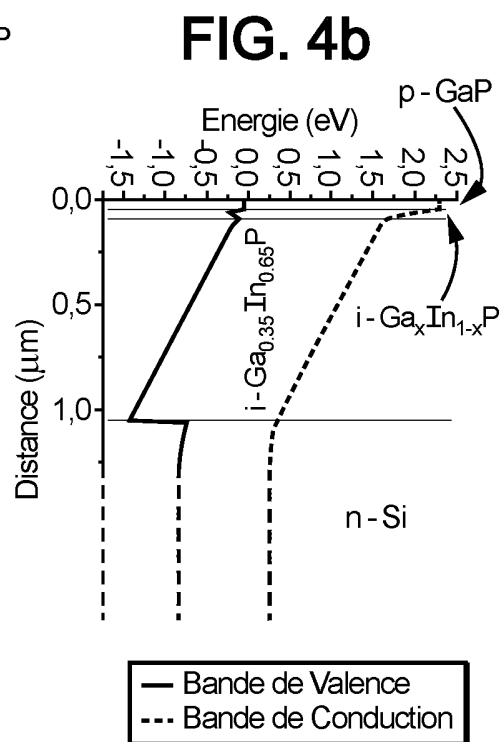
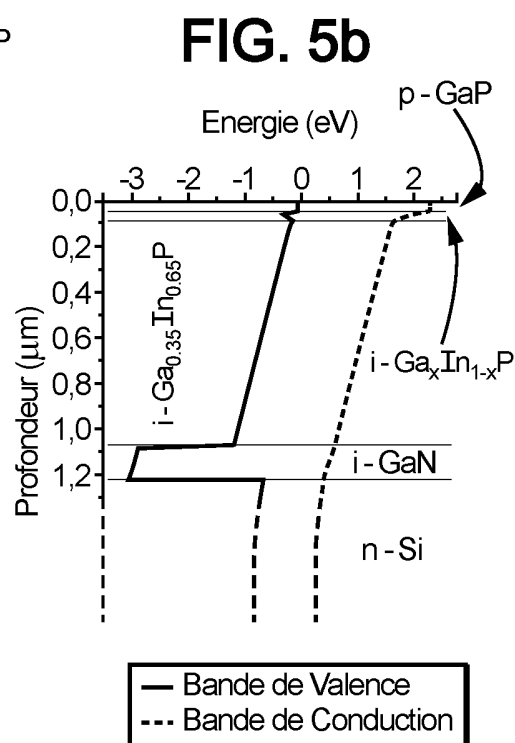
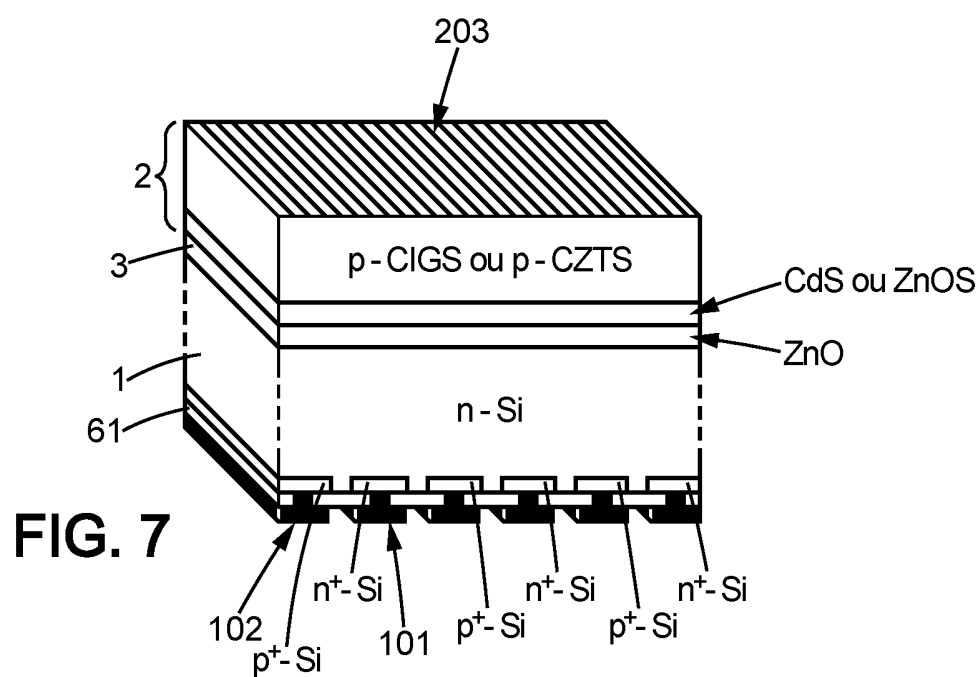
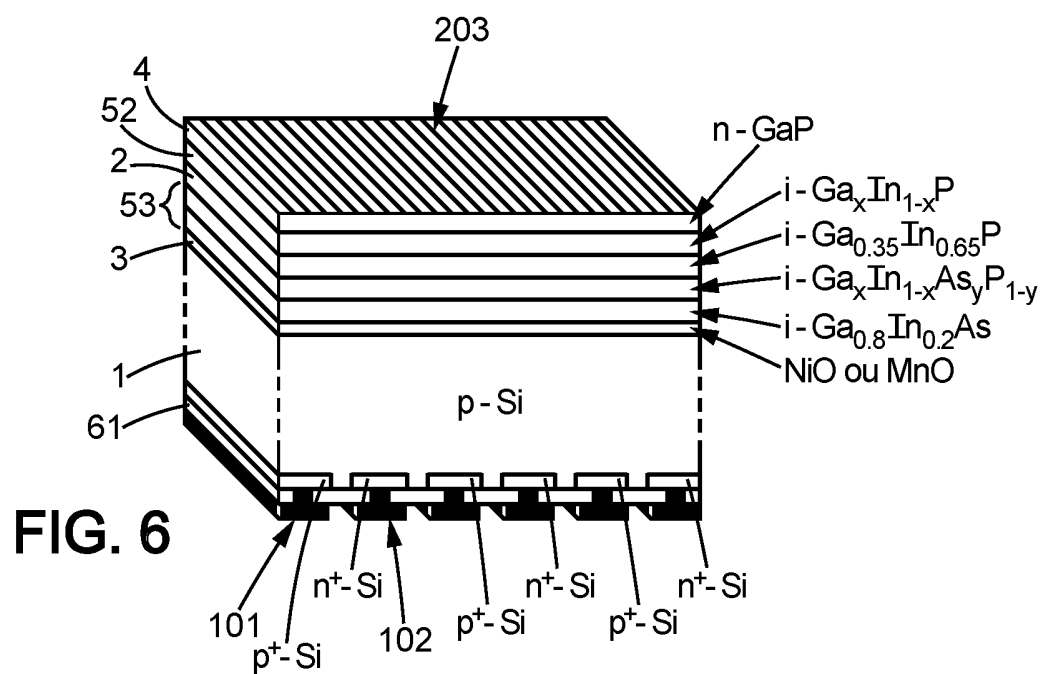


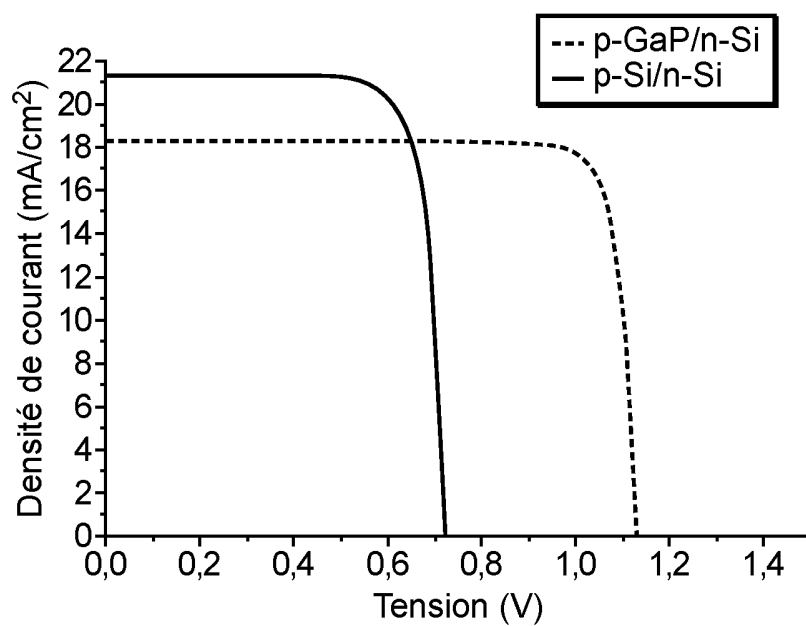
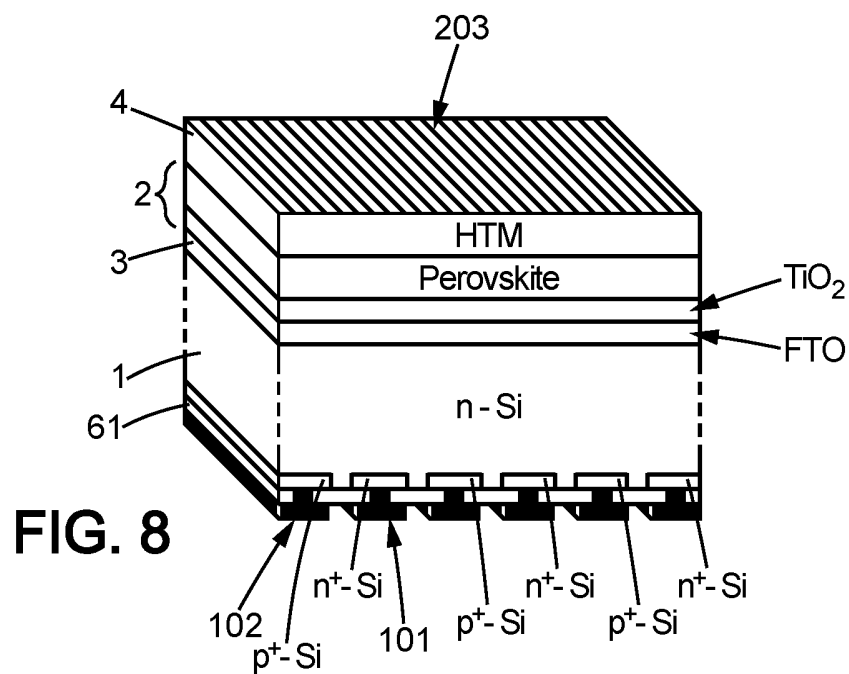
FIG. 5a



5/6



6/6





RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE

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

N° d'enregistrement
national

FA 817676
FR 1561893

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		
A	WO 2015/151422 A1 (JAPAN SCIENCE & TECH AGENCY [JP]) 8 octobre 2015 (2015-10-08) * figure 1 *	1-16	H01L31/078
A	US 2010/083997 A1 (HOVEL HAROLD J [US]) 8 avril 2010 (2010-04-08) * figure 1 *	1-16	
A	US 2014/209149 A1 (MASCARENHAS ANGELO [US] ET AL) 31 juillet 2014 (2014-07-31) * figure 3 *	1-16	
A	US 4 295 002 A (CHAPPELL TERRY I ET AL) 13 octobre 1981 (1981-10-13) * le document en entier *	1-16	
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC)
			H01L
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
11 octobre 2016		Le Meur, M	
CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS		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	
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			

ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE**RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 1561893 FA 817676**

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 **11-10-2016**

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
WO 2015151422 A1	08-10-2015	TW 201539774 A WO 2015151422 A1	16-10-2015 08-10-2015
US 2010083997 A1	08-04-2010	AUCUN	
US 2014209149 A1	31-07-2014	AUCUN	
US 4295002 A	13-10-1981	DE 3177028 D1 EP 0044396 A2 JP S5715474 A JP S6148799 B2 US 4295002 A	11-05-1989 27-01-1982 26-01-1982 25-10-1986 13-10-1981