

⑫ **CERTIFICAT D'UTILITÉ** **B3**

⑤④ CELLULE PHOTOVOLTAÏQUE ET MODULE PHOTOVOLTAÏQUE.

②② Date de dépôt : 30.11.22.

③③ Priorité : 01.06.22 CN 202210611082.8;
01.06.22 CN 202210611083.2.

⑥⑥ Références à d'autres documents nationaux
apparentés :

☐ Demande(s) d'extension :

⑦① Demandeur(s) : *JINKO SOLAR (HAINING) CO.,
LTD. société étrangère — CN.*

④③ Date de mise à la disposition du public
de la demande : 08.12.23 Bulletin 23/49.

④⑤ Date de la mise à disposition du public du
certificat d'utilité : 14.06.24 Bulletin 24/24.

⑦② Inventeur(s) : MAO Jie, XU Menglei, ZHENG
Peiting, YANG Jie et ZHANG Xinyu.

⑤⑥ Les certificats d'utilité ne font pas l'objet d'un
rapport de recherche.

⑦③ Titulaire(s) : JINKO SOLAR (HAINING) CO., LTD.
société étrangère.

⑦④ Mandataire(s) : Cabinet Murgitroyd.

FR 3 136 316 - B3



Description

Titre de l'invention : CELLULE PHOTOVOLTAÏQUE ET MODULE PHOTOVOLTAÏQUE

Domaine technique

[0001] Des modes de réalisation du modèle d'utilité concernant d'une façon générale la technologie photovoltaïque, et plus spécifiquement une cellule photovoltaïque et un module photovoltaïque.

Etat de la technique

[0002] Les combustibles fossiles conventionnels des modules photovoltaïques s'épuisent de plus en plus, et l'énergie solaire est indubitablement la source d'énergie alternative la plus propre, la plus courante et la plus prometteuse parmi toutes les sources d'énergie renouvelables. En général, parmi toutes les cellules photovoltaïques, les cellules photovoltaïques en silicium cristallin font partie des cellules photovoltaïques les plus largement disponibles dans le commerce, puisque le silicium est extrêmement abondant dans la croûte terrestre et les cellules photovoltaïques en silicium cristallin ont d'excellentes propriétés électriques et mécaniques en comparaison avec d'autres types de cellules photovoltaïques. Par conséquent, les cellules photovoltaïques en silicium cristallin jouent un rôle important dans le domaine photovoltaïque.

[0003] Avec le développement de la technologie des cellules photovoltaïques, la perte par recombinaison de la région de contact métallique devient l'un des facteurs importants qui limitent une amélioration supplémentaire du rendement de conversion de la cellule photovoltaïque. Afin d'améliorer le rendement de conversion de la cellule photovoltaïque, la cellule photovoltaïque est passivée par contact passivé pour réduire la recombinaison d'un intérieur et d'une surface de la cellule photovoltaïque. Les cellules de contact à passivation conventionnelles comprennent des cellules à hétérojonction avec couche mince intrinsèque (HIT) et des cellules de contact passivées par oxyde tunnel (TOPCon). Toutefois, le rendement de conversion de cellules de contact passivées existantes doit être amélioré.

Exposé de l'invention

[0004] Certains modes de réalisation du modèle d'utilité mettent à disposition une cellule photovoltaïque et un module photovoltaïque, qui améliorent l'effet de passivation et le rendement de conversion de la cellule photovoltaïque.

[0005] Certains modes de réalisation du modèle d'utilité mettent à disposition une cellule photovoltaïque comprenant : un substrat ; et une couche d'effet tunnel, une couche de passivation par effet de champ, un premier film de passivation, et une première électrode, qui sont disposés en séquence sur une surface arrière du substrat, où la

première électrode pénètre dans le premier film de passivation et est en contact avec la couche de passivation par effet de champ ; où le substrat, la couche d'effet tunnel et la couche de passivation par effet de champ comprennent tous un même premier élément dopant, la concentration de dopage du premier élément dopant dans la couche d'effet tunnel est inférieure à la concentration de dopage du premier élément dopant dans la couche de passivation par effet de champ, et la concentration de dopage du premier élément dopant dans la couche d'effet tunnel est supérieure à la concentration de dopage du premier élément dopant dans le substrat ; où la couche de passivation par effet de champ comprend une première région de dopage et une deuxième région de dopage, et la deuxième région de dopage est adjacente à la couche d'effet tunnel par rapport à la première région de dopage ; où la pente de courbe de dopage de la première région de dopage est supérieure à la pente de courbe de dopage de la deuxième région de dopage, le premier élément dopant est recuit et activé pour que soit obtenu un premier élément dopant activé, et la pente de courbe de dopage indique la pente d'une courbe dans laquelle la concentration de dopage du premier élément dopant activé change en fonction de la profondeur de dopage du premier élément dopant activé ; et où la pente de courbe de dopage de la couche d'effet tunnel diminue progressivement dans une direction le long de la couche d'effet tunnel en direction du substrat.

- [0006] Dans certains modes de réalisation, la pente de courbe de dopage du substrat augmente progressivement et tend à être stable dans une direction le long de la surface arrière du substrat vers l'intérieur du substrat.
- [0007] Dans certains modes de réalisation, la pente de courbe de dopage du substrat est inférieure ou égale à la valeur moyenne de la pente de courbe de dopage de la deuxième région de dopage.
- [0008] Dans certains modes de réalisation, la concentration de dopage du premier élément dopant activé dans la couche de passivation par effet de champ est située dans la plage allant de 1×10^{20} atomes/cm³ à 5×10^{20} atomes/cm³ ; et le taux d'activation du premier élément dopant dans la couche de passivation par effet de champ est situé dans la plage allant de 50 % à 70 %, et le taux d'activation est le rapport de la concentration de dopage du premier élément dopant activé à la concentration du premier élément dopant totalement implanté.
- [0009] Dans certains modes de réalisation, la pente de courbe de dopage de la première région de dopage est située dans la plage allant de 5×10^{18} à 1×10^{19} , et la pente de courbe de dopage de la deuxième région de dopage est située dans la plage allant de -5×10^{18} à 5×10^{18} .
- [0010] Dans certains modes de réalisation, la pente de courbe de dopage de la couche d'effet tunnel est située dans la plage allant de $-2,5 \times 10^{19}$ à $-2,5 \times 10^{18}$, et la pente de courbe

de dopage du substrat est située dans la plage allant de $-2,5 \times 10^{19}$ à 0.

- [0011] Dans certains modes de réalisation, l'épaisseur de la couche de passivation par effet de champ est située dans la plage allant de 60 nm à 130 nm dans une direction perpendiculaire à la surface du substrat, et l'épaisseur de la couche d'effet tunnel est située dans la plage allant de 0,5 nm à 3 nm dans la direction perpendiculaire à la surface du substrat.
- [0012] Dans certains modes de réalisation, la cellule photovoltaïque comprend en outre un émetteur, un deuxième film de passivation, et une deuxième électrode, qui sont disposés en séquence sur une surface avant du substrat, où la deuxième électrode pénètre dans le deuxième film de passivation et est en contact avec l'émetteur ; où le substrat comprend en outre un deuxième élément dopant.
- [0013] Dans certains modes de réalisation, le deuxième élément dopant est recuit et activé pour que soit obtenu un deuxième élément dopant activé, et la concentration de dopage du deuxième élément dopant activé sur la surface avant du substrat est située dans la plage allant de 5×10^{18} atomes/cm³ à $1,5 \times 10^{19}$ atomes/cm³ ; et la concentration du deuxième élément dopant totalement implanté est située dans la plage allant de $1,5 \times 10^{19}$ atomes/cm³ à 1×10^{20} atomes/cm³.
- [0014] Dans certains modes de réalisation, le substrat comprend une première région, une deuxième région, et une troisième région dans une direction le long de la surface avant du substrat en direction de la surface arrière du substrat ; la deuxième région est disposée entre la première région et la troisième région, la première région est adjacente à la surface avant du substrat par rapport à la deuxième région, et la troisième région est adjacente à la surface arrière du substrat par rapport à la deuxième région ; et la concentration de dopage du deuxième élément dopant dans la deuxième région et la concentration de dopage du deuxième élément dopant dans la troisième région sont toutes deux inférieures à la concentration de dopage du deuxième élément dopant dans la première région.
- [0015] Dans certains modes de réalisation, la concentration de dopage du deuxième élément dopant activé dans la première région est située dans la plage allant de 5×10^{18} atomes/cm³ à $1,5 \times 10^{19}$ atomes/cm³.
- [0016] Dans certains modes de réalisation, la distance entre la surface arrière de la première région et la surface avant du substrat est située dans la plage allant de 350 nm à 450 nm, la distance entre la surface arrière de la deuxième région et la surface avant du substrat est située dans la plage allant de 1000 nm à 1200 nm, et la distance entre la surface arrière de la troisième région et la surface avant du substrat est située dans la plage allant de 1200 nm à 1600 nm.
- [0017] Dans certains modes de réalisation, le taux d'activation du deuxième élément dopant dans la première région est situé dans la plage allant de 20 % à 40 %, le taux

d'activation du deuxième élément dopant dans la deuxième région est situé dans la plage allant de 60 % à 90 %, et le taux d'activation du deuxième élément dopant dans la troisième région est situé dans la plage allant de 5 % à 90 % ; et le taux d'activation est le rapport de la concentration de dopage du deuxième élément dopant activé à la concentration du deuxième élément dopant totalement implanté. De préférence, la concentration de dopage du deuxième élément dopant activé dans le substrat augmente d'abord et diminue ensuite lorsque la profondeur de dopage du deuxième élément dopant activé augmente.

- [0018] Certains modes de réalisation du modèle d'utilité mettent en outre à disposition un module photovoltaïque comprenant : une chaîne de cellules connectée par une pluralité de cellules photovoltaïques, où chacune parmi la pluralité de cellules photovoltaïques comprend la cellule photovoltaïque selon les modes de réalisation ci-dessus ; une couche d'encapsulation configurée pour couvrir une surface de la chaîne de cellules ; et une plaque de protection configurée pour couvrir une surface de la couche d'encapsulation à distance de la chaîne de cellules.

Brève description des dessins

- [0019] [Fig.1] est un diagramme structurel schématique d'une cellule photovoltaïque selon un mode de réalisation du modèle d'utilité.
- [0020] [Fig.2] est une courbe graphique montrant la concentration de dopage d'un premier élément dopant variant en fonction de la profondeur de dopage du premier élément dopant dans une cellule photovoltaïque selon un mode de réalisation du modèle d'utilité.
- [0021] [Fig.3] est un diagramme de distribution montrant la pente de courbe de dopage d'un premier élément dopant changeant en fonction de la profondeur de dopage du premier élément dopant dans une cellule photovoltaïque selon un mode de réalisation du modèle d'utilité.
- [0022] [Fig.4] est une courbe graphique montrant la concentration de dopage d'un deuxième élément dopant changeant en fonction de la profondeur de dopage du deuxième élément dopant dans une cellule photovoltaïque selon un mode de réalisation du modèle d'utilité.
- [0023] [Fig.5] est un diagramme de distribution montrant la pente de courbe de dopage d'un deuxième élément dopant changeant en fonction de la profondeur de dopage du deuxième élément dopant dans une cellule photovoltaïque selon un mode de réalisation du modèle d'utilité.
- [0024] [Fig.6] est un diagramme structurel schématique d'un module photovoltaïque selon un mode de réalisation du modèle d'utilité.

Description détaillée

- [0025] D'une façon générale, les cellules TOPCon ont attiré une attention continue du fait de leur excellent effet de passivation de surface, de leur rendement théorique élevé et de leur bonne compatibilité avec les lignes de production conventionnelles. La caractéristique principale de la technologie TOPCon est sa structure stratifiée de haute qualité d'oxyde de silicium ultramine et de polysilicium fortement dopé (poly-Si). Par conséquent, le dopage par diffusion de phosphore constitue une partie importante de la technologie TOPCon, et un excellent contact passivé sur une surface arrière des cellules TOPCon doit être obtenu par l'effet de champ formé par le dopage par diffusion de phosphore.
- [0026] Les études actuelles sur le dopage au phosphore se focalisent principalement sur la distribution du phosphore dans le Poly-Si. Les études sur le changement de concentration et la distribution du phosphore dans un Poly-Si-SiO_x-Si ne sont pas parfaites et sont incapables d'améliorer essentiellement l'effet de champ et le contact passivé, de façon à améliorer encore davantage les cellules photovoltaïques.
- [0027] Afin d'améliorer le rendement de conversion d'une cellule photovoltaïque et d'améliorer essentiellement l'effet de champ et le contact passivé, certains modes de réalisation du modèle d'utilité mettent à disposition une cellule photovoltaïque dans laquelle la concentration de dopage d'un premier élément dopant dans une couche de passivation par effet de champ est supérieure à la concentration de dopage du premier élément dopant dans une couche d'effet tunnel ainsi que dans le substrat, et le premier élément dopant atteint un taux d'activation élevé dans la couche de passivation par effet de champ, qui est propice à une amélioration de l'effet de passivation et du rendement de conversion de la cellule photovoltaïque. Certains modes de réalisation dans le modèle d'utilité analysent en outre la distribution de la concentration de dopage du phosphore dans un Poly-Si-SiO_x-Si de la cellule photovoltaïque, en fournissant ainsi une base pour améliorer un procédé de dopage au phosphore et le rendement de la cellule photovoltaïque.
- [0028] En référence à la [Fig.1], certains modes de réalisation du modèle d'utilité mettent à disposition une cellule photovoltaïque comprenant un substrat 10 ; et une couche d'effet tunnel 121, une couche de passivation par effet de champ 122, un premier film de passivation 123, et une première électrode 124, qui sont disposés en séquence sur une surface arrière du substrat 10. La première électrode 124 pénètre dans le premier film de passivation 123 et est en contact avec la couche de passivation par effet de champ 122. Le substrat 10, la couche d'effet tunnel 121 et la couche de passivation par effet de champ 122 comprennent tous un même premier élément dopant, la concentration de dopage du premier élément dopant dans la couche d'effet tunnel 121 est inférieure à la concentration de dopage du premier élément dopant dans la couche de passivation par effet de champ 122, et la concentration de dopage du premier

élément dopant dans la couche d'effet tunnel 121 est supérieure à la concentration de dopage du premier élément dopant dans le substrat 10. La couche de passivation par effet de champ 122 comprend une première région de dopage et une deuxième région de dopage, et la deuxième région de dopage est adjacente à la couche d'effet tunnel 121 par rapport à la première région de dopage ; où la pente de courbe de dopage de la première région de dopage est supérieure à la pente de courbe de dopage de la deuxième région de dopage, le premier élément dopant est recuit et activé pour que soit obtenu un premier élément dopant activé, et la pente de courbe de dopage indique la pente d'une courbe dans laquelle la concentration de dopage du premier élément dopant activé change en fonction de la profondeur de dopage du premier élément dopant activé. La pente de courbe de dopage de la couche d'effet tunnel 121 diminue progressivement dans une direction le long de la couche d'effet tunnel 121 en direction du substrat 10.

- [0029] Le substrat 10 est configuré pour recevoir une lumière incidente et génère des porteurs photogénérés. Dans certains modes de réalisation, la surface arrière du substrat 10 est disposée à l'opposé de la surface avant du substrat 10, et tant la surface arrière que la surface avant du substrat 10 peuvent être configurées pour recevoir une lumière incidente ou réfléchie.
- [0030] Dans certains modes de réalisation, le substrat 10 peut être un substrat en silicium, et un matériau du substrat en silicium peut comprendre au moins l'un parmi le silicium monocristallin, le polysilicium, le silicium amorphe, et le silicium microcristallin. Le substrat 10 peut être un substrat semi-conducteur de type N, c'est-à-dire que le substrat 10 est dopé avec un premier élément dopant de type N. Le premier élément dopant peut être l'un quelconque parmi le phosphore, l'arsenic et l'antimoine. De façon spécifique, dans le cas où le premier élément dopant est le phosphore, la diffusion du phosphore peut être effectuée sur la surface arrière du substrat 10 par un procédé de dopage (par exemple diffusion thermique, implantation ionique, etc.) de façon que la couche d'effet tunnel 121, la couche de passivation par effet de champ 122, et le substrat 10, soient tous dopés avec du phosphore, et le phosphore est activé par un traitement de recuit pour que soit obtenu du phosphore activé.
- [0031] La couche d'effet tunnel 121 est configurée pour réaliser une passivation à l'interface de la surface arrière du substrat 10 et faciliter la migration des porteurs par l'intermédiaire d'un effet tunnel. Dans certains modes de réalisation, on peut utiliser un procédé de déposition pour former la couche d'effet tunnel 121, par exemple un procédé de dépôt chimique en phase vapeur. Dans certains modes de réalisation, la couche d'effet tunnel 121 peut aussi être formée par utilisation d'un procédé de génération in situ. De façon spécifique, la couche d'effet tunnel 121 peut contenir un matériau diélectrique qui réalise une passivation et un effet tunnel, tel que les oxydes,

nitrures, semi-conducteurs, polymères conducteurs, etc. Par exemple, un matériau de la couche d'effet tunnel 121 peut comprendre au moins l'un parmi l'oxyde de silicium, le nitrure de silicium, l'oxynitrure de silicium, le silicium amorphe intrinsèque, le polysilicium intrinsèque, etc. Dans certains exemples, la couche d'effet tunnel 121 peut ne pas être une barrière d'effet tunnel parfaite en pratique parce que la couche d'effet tunnel 121 peut contenir des défauts tels que des piqûres d'épingle, ayant pour résultat d'autres mécanismes de transmission de porteurs de charge, tels qu'un glissement, une diffusion, qui vont l'emporter sur l'effet tunnel.

[0032] La couche de passivation par effet de champ 122 est configurée pour former une passivation par effet de champ. Dans certains modes de réalisation, un matériau de la couche de passivation par effet de champ 122 peut être le silicium dopé. De façon spécifique, dans certains modes de réalisation, la couche de passivation par effet de champ 122 peut avoir un élément dopant ayant le même type de conductivité que le substrat 10, et le silicium dopé peut comprendre un ou plusieurs parmi le polysilicium dopé de type N, le silicium microcristallin dopé de type N, ou le silicium amorphe dopé de type N. En tant qu'amélioration, le matériau de la couche de passivation par effet de champ 122 est une couche de polysilicium dopé au phosphore. Dans certains modes de réalisation, on peut utiliser un procédé de déposition pour former la couche de passivation par effet de champ 122. De façon spécifique, le polysilicium intrinsèque peut être déposé sur une surface arrière de la couche d'effet tunnel 121 à distance du substrat 10 pour former une couche de polysilicium, et le premier élément dopant est dopé par implantation ionique et diffusion de source pour former une couche de polysilicium dopé de type N en tant que couche de passivation par effet de champ 122. Dans certains modes de réalisation, le silicium amorphe dopé de type N peut être formé sur la surface arrière de la couche d'effet tunnel 121 à distance du substrat 10 en premier, et la couche de polysilicium dopé de type N est ensuite formée après que le silicium amorphe dopé de type N a été soumis à un traitement à température élevée.

[0033] En référence à la [Fig.1], le premier film de passivation 123 est un film de passivation arrière formé sur un côté de la couche de passivation par effet de champ 122 à distance de la surface arrière du substrat 10. Dans certains modes de réalisation, un matériau du premier film de passivation 123 peut être un ou plusieurs parmi l'oxyde de silicium, l'oxyde d'aluminium, le nitrure de silicium, l'oxynitrure de silicium, et l'oxycarbonitrure de silicium. De façon spécifique, dans certains modes de réalisation, le premier film de passivation 123 peut être une structure monocouche. Dans certains modes de réalisation, le premier film de passivation 123 peut aussi être une structure multicouche. Dans certains modes de réalisation, on peut utiliser un procédé de dépôt chimique en phase vapeur assisté par plasma (PECVD) pour former le premier film de passivation 123.

- [0034] Le premier film de passivation 123 passive les défauts présents dans la couche de passivation par effet de champ 122 sur la surface arrière du substrat 10 et retire une minorité de portions de recombinaison de porteurs, en augmentant ainsi la tension à circuit ouvert de la cellule photovoltaïque. De plus, un premier film antireflet peut être en outre disposé sur un côté du premier film de passivation 123 à distance de la surface arrière du substrat 10, et le premier film antireflet réduit le coefficient de réflexion de la lumière incidente sur la surface arrière du substrat 10, de façon à augmenter la quantité de lumière atteignant une jonction de tunnel formée par le substrat 10 et la couche d'effet tunnel 121, en augmentant ainsi le courant de court-circuit (I_{sc}) de la cellule photovoltaïque. Par conséquent, le premier film de passivation 123 et le premier film antireflet sont capables d'augmenter la tension à circuit ouvert et le courant de court-circuit de la cellule photovoltaïque, en améliorant ainsi le rendement de conversion de la cellule photovoltaïque.
- [0035] Dans certains modes de réalisation, le premier film antireflet peut être formé à partir de divers matériaux capables d'empêcher la réflexion de la surface. Par exemple, un matériau du premier film antireflet peut être un ou plusieurs parmi le nitrure de silicium, le nitrure de silicium contenant de l'hydrogène, l'oxyde de silicium, l'oxynitrure de silicium, l'oxyde d'aluminium, MgF_2 , ZnS , TiO_2 et CeO_2 . De façon spécifique, dans certains modes de réalisation, le premier film antireflet peut être une structure monocouche. Dans certains modes de réalisation, le premier film antireflet peut aussi être une structure multicouche. Dans certains modes de réalisation, on peut former le film antireflet en utilisant le procédé PECVD.
- [0036] Dans certains modes de réalisation, la première électrode 124 pénètre dans le premier film de passivation 123 de façon à être électriquement connectée à la couche de passivation par effet de champ 122. De façon spécifique, la première électrode 124 est électriquement connectée à la couche de passivation par effet de champ 122 via une ouverture formée dans le premier film de passivation 123 (c'est-à-dire au moment où la première électrode 124 pénètre dans le premier film de passivation 123).
- [0037] Dans certains modes de réalisation, l'opération de formation de la première électrode 124 peut comprendre l'impression d'une pâte conductrice sur une surface du premier film de passivation 123 dans une région présélectionnée, et un matériau conducteur dans la pâte conductrice peut comprendre au moins l'un parmi l'argent, l'aluminium, le cuivre, l'étain, l'or, le plomb, et le nickel. La pâte conductrice peut être frittée, par exemple à une température de pic de $750^{\circ}C$ à $850^{\circ}C$, pour former la première électrode 124.
- [0038] Dans certains modes de réalisation, pour la cellule photovoltaïque représentée sur la [Fig.1], dans le cas où le premier élément dopant est le phosphore, la concentration de phosphore activé et la concentration de phosphore totalement implanté dans un

procédé de dopage par diffusion de phosphore peuvent être mesurées par un procédé de tension de capacité électrochimique (ECV) et un procédé de spectrométrie de masse des ions secondaires (SIMS), pour que soit obtenue une courbe de distribution de la concentration de phosphore activé et de la concentration du phosphore totalement implanté changé en fonction de la profondeur de dopage, comme le montre la [Fig.2]. Comme on le voit sur la [Fig.2], la tendance de distribution de la concentration de dopage du phosphore implanté total dans la couche de passivation par effet de champ 122, la couche d'effet tunnel 121, et le substrat 10, diminue progressivement. Dans la couche de passivation par effet de champ 122 (un film de Poly-Si), la concentration du phosphore activé est d'environ 3×10^{20} atomes/cm³, la concentration du phosphore totalement implanté est d'environ 5×10^{20} atomes/cm³, et le taux d'activation du phosphore est situé dans la plage allant de 50 % à 70 %, réalisant ainsi une forte probabilité d'activation du phosphore.

[0039] En référence à la [Fig.2], la couche de passivation par effet de champ 122 comprend une première région de dopage ayant une forte concentration de dopage et une deuxième région de dopage ayant une concentration de dopage inférieure à celle de la première région de dopage, ce qui améliore ainsi l'effet de passivation quand une lumière est incidente sur la couche de passivation par effet de champ 122. Par ailleurs, la résistance de contact entre la couche de passivation par effet de champ 122 et la première électrode 124 est réduite, ce qui améliore le rendement de conversion de la cellule photovoltaïque.

[0040] Comme le montre la [Fig.2], il y a un pic de concentration de dopage évident dans le spectre de concentration du phosphore totalement implanté obtenu par le test de spectrométrie de masse des ions secondaires (SIMS), parce que l'environnement chimique du phosphore change sur les deux côtés d'une interface entre la couche de passivation par effet de champ 122 et la couche d'effet tunnel 121 (un film de Poly-Si-SiO_x), qui affecte le caractère ionique du phosphore. En particulier, il y a de l'oxygène en abondance dans le film de SiO_x de la couche d'effet tunnel 121, lequel augmente la force du signal du phosphore dans un mode de test des ions positive du SIMS, avec pour résultat une forte concentration de dopage obtenue par l'intermédiaire du test. Toutefois, quand la profondeur du test atteint une couche de silicium monocristallin dans laquelle le substrat 10 est disposé, la force du signal tend à être stable.

[0041] A titre d'exemple, si l'on combine les tests ECV et SIMS, on trouve que les profondeurs d'interface du Poly-Si-SiO_x et du SiO_x-Si sont respectivement d'environ 94 nm et 101 nm. Comme le montre la [Fig.2], la concentration du phosphore totalement implanté depuis une couche de surface de la couche de passivation par effet de champ 122 jusqu'à la couche d'effet tunnel 121 (c'est-à-dire que la profondeur d'interface est située dans la plage allant de 0 nm à 94 nm) est d'environ 5×10^{20}

atomes/cm³, et la tendance de changement est stable. Au niveau d'une profondeur d'interface d'environ 94 nm, la concentration du phosphore totalement implanté commence à fluctuer, et il y a un pic de concentration de dopage dans un intervalle entre une profondeur d'interface d'environ 94 nm et une profondeur d'interface d'environ 101 nm. Toutefois, une fois que la profondeur d'interface est supérieure à 101 nm, la concentration du phosphore totalement implanté diminue progressivement et devient stable à une profondeur d'interface d'environ 310 nm. A un intervalle entre une profondeur d'interface de 310 nm et une profondeur d'interface de 500 nm, la concentration du phosphore totalement implanté est située dans la plage allant de 5×10^{18} atomes/cm³ à 5×10^{19} atomes/cm³. La concentration du phosphore activé depuis une couche de surface de la couche de passivation par effet de champ 122 jusqu'à la couche d'effet tunnel 121 (c'est-à-dire que la profondeur d'interface est située dans la plage allant de 0 nm à 94 nm) est d'environ 3×10^{20} atomes/cm³, et la tendance de changement est stable. Au niveau d'une profondeur d'interface d'environ 94 nm, la concentration du phosphore activé diminue fortement. Une fois que la profondeur d'interface est supérieure à 101 nm, la concentration du phosphore activé diminue progressivement et atteint une valeur minimale à une profondeur d'interface d'environ 160 nm.

[0042] Il convient de noter que la courbe de dopage est une relation entre la concentration de dopage (unités : atomes/cm³) du phosphore et la profondeur de dopage (unités : nm) du phosphore. La pente de courbe de dopage est la pente de concentration de dopage du phosphore recuit et activé, qui change en fonction de la profondeur de dopage du phosphore recuit et activé.

[0043] La [Fig.3] montre la distribution de gradient de la pente de courbe de dopage du phosphore qui change en fonction de la profondeur de dopage du phosphore, dans laquelle le changement de la concentration de dopage du phosphore dans la structure TOPCon peut être analysée plus clairement. Comme le montre la [Fig.3], la frontière entre la première région de dopage et la deuxième région de dopage est représentée par une ligne de tirets D, la frontière entre la couche d'effet tunnel 121 (un film de SiO_x) et la deuxième région de dopage est représentée par une ligne de tirets E, et la frontière entre la couche d'effet tunnel 121 et le substrat 10 est représentée par une ligne de tirets C. La pente de courbe de dopage du phosphore diminue fortement dans la première région de dopage de la couche de passivation par effet de champ 122 (le film de Poly-Si), et la pente de courbe de dopage du phosphore diminue lentement dans la deuxième région de dopage et devient ensuite stable, proche de zéro, ce qui indique que la concentration de dopage du phosphore dans la première région de dopage de la couche de passivation par effet de champ 122 (également appelée couche de Poly-Si) change fortement, et la concentration de dopage du phosphore dans la première région

de dopage de la couche de passivation par effet de champ 122 tend ensuite à être stable. Dans la couche d'effet tunnel 121 (le film de SiO_x), la pente de courbe de dopage du phosphore est négative et diminue fortement, ce qui indique que la concentration de dopage du phosphore diminue progressivement, et la plage de décrémentation devient importante.

- [0044] Dans certains modes de réalisation, la pente de courbe de dopage du substrat 10 augmente progressivement et tend à être stable lorsque la surface arrière du substrat 10 fait face à l'intérieur du substrat 10. Comme le montre la [Fig.3], quand la profondeur d'interface du substrat 10 augmente, la pente de courbe de dopage du phosphore dans le substrat 10 augmente progressivement et tend à être stable, ce qui indique que la plage de décrémentation de la concentration de dopage du phosphore dans le substrat 10 devient réduite et tend progressivement à être stable.
- [0045] Dans certains modes de réalisation, la pente de courbe de dopage du substrat 10 est inférieure ou égale à la valeur moyenne de la pente de courbe de dopage de la deuxième région de dopage. Toujours en référence à la [Fig.3], la pente de courbe de dopage du substrat 10 augmente progressivement et tend vers une valeur stable qui est approximativement égale à la valeur moyenne de la pente de courbe de dopage de la deuxième région de dopage.
- [0046] Dans certains modes de réalisation, la concentration de dopage du premier élément dopant activé dans la couche de passivation par effet de champ 122 est située dans la plage allant de 1×10^{20} atomes/cm³ à 5×10^{20} atomes/cm³. Le taux d'activation du premier élément dopant dans la couche de passivation par effet de champ 122 est situé dans la plage allant de 50 % à 70 %. Le taux d'activation est le rapport de la concentration de dopage du premier élément dopant activé à la concentration du premier élément dopant totalement implanté.
- [0047] Comme le montre la [Fig.2], dans le cas où le premier élément dopant est le phosphore, la concentration de dopage du phosphore activé dans la couche de passivation par effet de champ 122 peut être de 1×10^{20} atomes/cm³, 2×10^{20} atomes/cm³, 3×10^{20} atomes/cm³, 4×10^{20} atomes/cm³ ou 5×10^{20} atomes/cm³. A titre d'amélioration, la concentration de dopage du phosphore activé dans la couche de passivation par effet de champ peut être de 3×10^{20} atomes/cm³, la concentration du phosphore totalement implanté est d'environ 5×10^{20} atomes/cm³, et le taux d'activation du premier élément dopant dans la couche de passivation par effet de champ 122 est situé dans la plage allant de 50 % à 70 %, et l'on obtient ainsi une plus forte probabilité d'activation du phosphore.
- [0048] Dans certains modes de réalisation, la pente de courbe de dopage de la première région de dopage est située dans la plage allant de 5×10^{18} à 1×10^{19} . La pente de courbe de dopage de la deuxième région de dopage est située dans la plage allant de -5

$\times 10^{18}$ à 5×10^{18} .

- [0049] Comme le montre la [Fig.3], une région allant d'une couche de surface de la couche de passivation par effet de champ 122 jusqu'à une profondeur d'interface d'environ 10 nm de la couche de passivation par effet de champ 122 est désignée première région de dopage, et la pente de courbe de dopage de la première région de dopage diminue fortement. Dans la deuxième région de dopage, la pente de courbe de dopage d'abord diminue doucement (la profondeur d'interface est située dans la plage allant de 10 nm à 20 nm), et la pente de courbe de dopage tend à être stable à une profondeur d'interface d'environ 20 nm, et est toujours dans un état stable et continue jusqu'à la position d'interface du film mince de Poly-Si-SiO_x (la profondeur d'interface est d'environ 94 nm).
- [0050] Dans certains modes de réalisation, la pente de courbe de dopage de la couche d'effet tunnel 121 est située dans la plage allant de $-2,5 \times 10^{19}$ à $-2,5 \times 10^{18}$. La pente de courbe de dopage du substrat 10 est située dans la plage allant de $-2,5 \times 10^{19}$ à 0.
- [0051] Toujours en référence à la [Fig.3], la pente de courbe de dopage commence à diminuer fortement (comme montré en A sur la [Fig.3]) de $2,5 \times 10^{18}$ à $-2,5 \times 10^{19}$ dans une plage de profondeur d'interface allant de la couche d'effet tunnel 121 au substrat 10, c'est-à-dire la plage de profondeur d'interface allant du film de SiO_x à la couche de surface en silicium cristallin sur la [Fig.3]. La raison de cela est principalement que l'environnement chimique du phosphore change quand le phosphore entre dans le film de SiO_x depuis le film de Poly-Si, ce qui affecte le caractère ionique du phosphore, avec en conséquence comme résultat une forte diminution de la concentration de dopage du phosphore. Dans la plage de profondeur d'interface allant de la surface arrière du substrat 10 (Si) à la surface avant du substrat 10, la pente de courbe de dopage augmente fortement (comme montré en B sur la [Fig.3]), de $-2,5 \times 10^{19}$ à $2,5 \times 10^{18}$, et ensuite la pente de courbe de dopage du phosphore tend à être stable. On voit d'après la [Fig.3] que la pente de courbe de dopage du côté gauche de l'interface SiO_x-Si et la pente de courbe de dopage du côté droit de l'interface SiO_x-Si sont pratiquement symétrique par rapport à la ligne de tirets C sur la [Fig.3], et que la pente de courbe de dopage du phosphore qui est stable dans le substrat 10 est pratiquement égale à la valeur moyenne de la pente de courbe de dopage de la deuxième région de dopage, et que la ligne centrale de la pente de courbe de dopage du phosphore dans la deuxième région de dopage est pratiquement à fleur de la ligne centrale de la pente de courbe de dopage du phosphore qui est stable dans le substrat 10.
- [0052] Dans certains modes de réalisation, l'épaisseur de la couche de passivation par effet de champ 122 est située dans la plage allant de 60 nm à 130 nm, et l'épaisseur de la couche d'effet tunnel 121 est située dans la plage allant de 0,5 nm à 3 nm dans une direction perpendiculaire à la surface du substrat 10.

- [0053] Dans certains modes de réalisation, afin d'assurer une passivation et un effet tunnel suffisants, l'épaisseur de la couche d'effet tunnel 121 peut être située dans la plage allant de 0,5 nm à 3 nm. Quand l'épaisseur de la couche d'effet tunnel 121 dépasse 3 nm, l'effet tunnel n'est pas en mesure d'être efficacement effectué, et la cellule photovoltaïque peut ne pas être en mesure de fonctionner. Quand l'épaisseur de la couche d'effet tunnel 121 est inférieure à 0,5 nm, la performance de passivation peut se détériorer. Afin d'améliorer davantage l'effet tunnel, l'épaisseur de la couche d'effet tunnel 121 peut être située dans la plage allant de 0,5 nm à 2 nm, ou bien l'épaisseur de la couche d'effet tunnel 121 peut être située dans la plage allant de 0,5 nm à 1 nm.
- [0054] Dans certains modes de réalisation, l'épaisseur du substrat 10 est située dans la plage allant de 130 μm à 250 μm .
- [0055] Les modes de réalisation du modèle d'utilité mettent à disposition une cellule photovoltaïque et un module photovoltaïque. Il est présenté une base théorique pour améliorer l'effet de champ et le contact passivé ainsi que pour améliorer le rendement de la cellule photovoltaïque par une analyse du taux d'activation et de la pente de courbe de dopage du phosphore dans le procédé de dopage par diffusion de phosphore de la cellule photovoltaïque. On sait d'après ce qui précède que le taux d'activation du phosphore dans la couche de passivation par effet de champ 122 est situé dans la plage allant de 50 % à 70 %, la pente de courbe de dopage du phosphore diminue en premier lieu et ensuite est stable dans la plage allant de 5×10^{18} à -5×10^{18} dans le film de Poly-Si, la pente de courbe de dopage du phosphore diminue d'environ -1×10^{18} à environ -3×10^{19} dans le film de SiO_x , et la pente de courbe de dopage du phosphore augmente progressivement et est stable dans la plage allant de -1×10^{17} à -1×10^{18} dans le silicium cristallin.
- [0056] Dans certains modes de réalisation, la cellule photovoltaïque comprend en outre un émetteur 111, un deuxième film de passivation 112, et une deuxième électrode 114, qui sont disposés en séquence sur une surface avant du substrat 10. La deuxième électrode 114 pénètre dans le deuxième film de passivation 112 et est en contact avec l'émetteur 111. Le substrat 10 comprend en outre un deuxième élément dopant.
- [0057] Dans certains modes de réalisation, le deuxième élément dopant comprend au moins l'un parmi le bore, l'oxygène, le silicium, le chlore, l'azote, et le carbone.
- [0058] De façon spécifique, le procédé de fabrication de la cellule photovoltaïque décrite ci-dessus comprend les opérations suivantes. En premier lieu, une source de dopage de type P est déposée sur la surface avant du substrat 10 pour former un film mince. Ensuite, la source de dopage de type P dans la couche de film d'une région présélectionnée est diffusée dans le substrat 10 par un procédé de dopage pour former l'émetteur 111 à l'intérieur du substrat 10 de la région présélectionnée.
- [0059] Dans certains modes de réalisation, la source de dopage de type P est une substance

simple contenant un élément trivalent ou un composé contenant l'élément trivalent tel que le tribromure de bore ou le trichlorure de bore. Dans certains modes de réalisation, quand la source de dopage de type P est une source de bore, le deuxième élément dopant est le bore. La substance simple contenant l'élément trivalent ou le composé contenant l'élément trivalent tel que le tribromure de bore ou le trichlorure de bore peut être utilisée en tant que source de dopage. De façon spécifique, le deuxième élément dopant dans la région présélectionnée peut être diffusé dans la surface avant du substrat 10 par un procédé de dopage, tel qu'un procédé de dopage au laser, un procédé de dopage avec positionnement par plasma, ou un procédé d'implantation ionique.

[0060] Dans certains modes de réalisation, avant que la couche de film soit formée sur la surface avant du substrat 10, une opération de prétraitement de la surface avant du substrat 10 comprend un nettoyage du substrat 10 et une texturation de la surface avant du substrat 10. De façon spécifique, une structure de texture pyramidale peut être formée sur la surface avant du substrat 10 par gravure chimique, gravure au laser, gravure mécanique, gravure au plasma, etc. D'une part, la rugosité de la surface avant du substrat 10 est augmentée, si bien que la réflectivité de la surface avant du substrat 10 vis-à-vis de la lumière incidente est faible, ce qui augmente l'utilisation par absorption de la lumière incidente. D'autre part, la présence de la structure de texture pyramidale augmente la superficie de la surface avant du substrat 10 en comparaison avec la surface avant du substrat 10 qui est une surface plate, si bien que davantage de deuxième éléments dopants peuvent être stockés dans la surface avant du substrat 10, ce qui peut conduire à la formation de l'émetteur 111 avec une plus forte concentration. Dans certains modes de réalisation, l'émetteur 111 est une couche de dopage diffusée à une certaine profondeur sur la surface avant du substrat 10, qui forme une jonction PN à l'intérieur du substrat 10.

[0061] En référence à la [Fig.1], le deuxième film de passivation 112 est un film de passivation avant formé sur un côté de l'émetteur 111 à distance de la surface avant du substrat 111. Un matériau du deuxième film de passivation 112 peut être un ou plusieurs parmi l'oxyde de silicium, l'oxyde d'aluminium, le nitrure de silicium, l'oxynitrure de silicium, et l'oxycarbonitrure de silicium. De façon spécifique, dans certains modes de réalisation, le deuxième film de passivation 112 peut être une structure monocouche. Dans certains modes de réalisation, le deuxième film de passivation 112 peut aussi être une structure multicouche. Dans certains modes de réalisation, on peut former le deuxième film de passivation 112 en utilisant un procédé PECVD.

[0062] De plus, un deuxième film antireflet peut en outre être disposé sur un côté du deuxième film de passivation 112 à distance de la surface avant du substrat 10, et le deuxième film antireflet réduit le coefficient de réflexion de la lumière incidente sur la

surface avant du substrat 10, de façon à augmenter la quantité de lumière atteignant une jonction de tunnel formée par le substrat 10 et l'émetteur 111, en augmentant ainsi le courant de court-circuit (I_{sc}) de la cellule photovoltaïque. Par conséquent, le deuxième film de passivation 112 et le deuxième film antireflet sont capables d'augmenter la tension à circuit ouvert et le courant de court-circuit de la cellule photovoltaïque, en améliorant ainsi le rendement de conversion de la cellule photovoltaïque.

- [0063] Dans certains modes de réalisation, un matériau du deuxième film antireflet est identique à celui du premier film antireflet. Par exemple, le matériau du deuxième film antireflet peut être un ou plusieurs parmi le nitrure de silicium, le nitrure de silicium contenant de l'hydrogène, l'oxyde de silicium, l'oxynitrure de silicium, l'oxyde d'aluminium, MgF_2 , ZnS , TiO_2 et CeO_2 . De façon spécifique, dans certains modes de réalisation, le deuxième film antireflet peut aussi être une structure monocouche. Dans certains modes de réalisation, le deuxième film antireflet peut aussi être une structure multicouche. Dans certains modes de réalisation, on peut former le film antireflet en utilisant le procédé PECVD.
- [0064] Dans certains modes de réalisation, la deuxième électrode 114 pénètre dans le deuxième film de passivation 112 de façon à former une connexion électrique avec l'émetteur 111. De façon spécifique, la deuxième électrode 114 est électriquement connectée à l'émetteur 111 via une ouverture formée dans le deuxième film de passivation 112 (c'est-à-dire au moment où la deuxième électrode 114 pénètre dans le deuxième film de passivation 112). De façon spécifique, l'opération de formation de la deuxième électrode 114 peut être identique à l'opération de formation de la première électrode 124, et le matériau de la deuxième électrode 114 peut être identique au matériau de la première électrode 124.
- [0065] Dans certains modes de réalisation, pour la cellule photovoltaïque représentée sur la [Fig.1], le deuxième élément dopant est recuit et activé pour que soit obtenu un deuxième élément dopant activé. La concentration de dopage du deuxième élément dopant activé sur la surface avant du substrat 10 est située dans la plage allant de 5×10^{18} atomes/cm³ à $1,5 \times 10^{19}$ atomes/cm³. La concentration du deuxième élément dopant totalement implanté sur la surface avant du substrat 10 est située dans la plage allant de $1,5 \times 10^{19}$ atomes/cm³ à 1×10^{20} atomes/cm³.
- [0066] Dans certains modes de réalisation, la concentration de dopage du deuxième élément dopant activé sur la surface avant du substrat 10 peut être par exemple de 5×10^{18} atomes/cm³, 9×10^{18} atomes/cm³, 1×10^{19} atomes/cm³, $1,2 \times 10^{19}$ atomes/cm³, ou $1,5 \times 10^{19}$ atomes/cm³. La concentration du deuxième élément dopant totalement implanté sur la surface avant du substrat 10 peut être par exemple de $1,5 \times 10^{19}$ atomes/cm³, 3×10^{19} atomes/cm³, 6×10^{19} atomes/cm³, 8×10^{19} atomes/cm³, ou 1×10^{20} atomes/cm³.
- [0067] A titre d'amélioration, la concentration de dopage du deuxième élément dopant activé

sur la surface avant du substrat 10 est de 1×10^{19} atomes/cm³. La concentration du deuxième élément dopant totalement implanté sur la surface avant du substrat 10 est située dans la plage allant de 3×10^{19} atomes/cm³ à 5×10^{19} atomes/cm³.

- [0068] Dans certains modes de réalisation, pour la cellule photovoltaïque représentée sur la [Fig.1], la courbe de distribution de la concentration de bore activé et de la concentration du bore totalement implanté changeant en fonction de la profondeur de dopage est obtenue par des tests ECV et SIMS, comme le montre la [Fig.4]. On voit d'après la [Fig.4] que la concentration de bore totalement implanté dans la couche de surface de silicium cristallin est d'environ 3×10^{19} atomes/cm³. Avec l'augmentation de la profondeur de dopage, la concentration du bore totalement implanté d'abord augmente et ensuite diminue, et atteint une concentration de pic d'environ 5×10^{19} atomes/cm³ à une profondeur d'environ 300 nm. La concentration du bore activé montre la même tendance de changement que celle de la concentration du bore totalement implanté. La concentration du bore activé dans la couche de surface de silicium cristallin est d'environ 1×10^{19} atomes/cm³ et également atteint la concentration de pic à une profondeur d'environ 300 nm.
- [0069] Dans certains modes de réalisation, le substrat 10 comprend une première région, une deuxième région, et une troisième région dans une direction le long de la surface avant du substrat 10 vers la surface arrière du substrat 10. La deuxième région est disposée entre la première région et la troisième région. La première région est adjacente à la surface avant du substrat 10 par rapport à la deuxième région, et la troisième région est adjacente à la surface arrière du substrat 10 par rapport à la deuxième région. La concentration de dopage du deuxième élément dopant dans la deuxième région et la concentration de dopage du deuxième élément dopant dans la troisième région sont toutes deux inférieures à la concentration de dopage du deuxième élément dopant dans la première région.
- [0070] Dans certains modes de réalisation, la concentration de dopage du deuxième élément dopant activé dans la première région est située dans la plage allant de 5×10^{18} atomes/cm³ à $1,5 \times 10^{19}$ atomes/cm³.
- [0071] Dans certains modes de réalisation, la distance entre la surface arrière de la première région et la surface avant du substrat 10 (c'est-à-dire la profondeur d'interface de la première région) est située dans la plage allant de 350 nm à 450 nm. La distance entre la surface arrière de la deuxième région et la surface avant du substrat (c'est-à-dire la profondeur d'interface de la deuxième région) est située dans la plage allant de 1000 nm à 1200 nm. La distance entre la surface arrière de la troisième région et la surface avant du substrat 10 (c'est-à-dire la profondeur d'interface de la troisième région) est située dans la plage allant de 1200 nm à 1600 nm.
- [0072] Dans certaines implications, la profondeur d'interface de la première région peut être

de 350 nm, 370 nm, 400 nm, 430 nm, 450 nm, etc. Dans certaines implications, la profondeur d'interface de la deuxième région peut être de 1000 nm, 1050 nm, 1100 nm, 1105 nm, 1200 nm, etc. dans certaines implications, la profondeur d'interface de la troisième région peut être de 1200 nm, 1300 nm, 1400 nm, 1500 nm, 1600 nm, etc.

- [0073] A titre d'exemple, en référence aux Figures 4 et 5, la profondeur d'interface de la première région est d'environ 400 nm, la profondeur d'interface de la deuxième région est d'environ 1100 nm, et la profondeur d'interface de la troisième région est d'environ 1400 nm.
- [0074] Comme le montre la [Fig.4], la profondeur d'interface de la première région est d'environ 400 nm, et la concentration de dopage du bore activé dans une couche de surface de la première région est de 1×10^{19} atomes/cm³. Lorsque la profondeur de dopage augmente, la concentration de dopage du bore activé dans la première région augmente lentement jusqu'à une valeur maximale (la concentration de dopage est d'environ $1,5 \times 10^{19}$ atomes/cm³), et ensuite diminue lentement (la concentration de dopage est d'environ $1,1 \times 10^{19}$ atomes/cm³). La concentration de dopage du bore activé dans la deuxième région continue de diminuer jusqu'à être proche de 1×10^{18} atomes/cm³. La concentration de dopage du bore activé dans la troisième région continue de diminuer jusqu'à une valeur minimale d'environ 1×10^{17} atomes/cm³.
- [0075] Dans certains modes de réalisation, le taux d'activation du deuxième élément dopant dans la première région est situé dans la plage allant de 20 % à 40 %, le taux d'activation du deuxième élément dopant dans la deuxième région est situé dans la plage allant de 60 % à 90 %, et le taux d'activation du deuxième élément dopant dans la troisième région est situé dans la plage allant de 5 % à 90 %. Le taux d'activation est le rapport de la concentration de dopage du deuxième élément dopant activé à la concentration du deuxième élément dopant totalement implanté.
- [0076] Comme le montre la [Fig.5], dans le substrat 10, le bore diffuse en premier dans la première région, puis vers la deuxième région, et finalement jusqu'à la troisième région. Comme la concentration de dopage de la couche de surface du substrat 10 est faible à cause de la forte concentration du bore totalement implanté, le taux d'activation de l'élément dopant dans la première région est situé dans la plage allant de 20 % à 40 %. Dans la deuxième région et la troisième région, lorsque la profondeur de dopage augmente, la concentration du bore totalement implanté diminue et le taux d'activation augmente. Quand la profondeur de dopage est supérieure à 1100 nm, le taux d'activation du bore durant la diffusion atteint le maximum, qui est d'environ 90 %, à la profondeur de dopage de 1100 nm. Quand la profondeur de dopage augmente encore, le taux d'activation diminue brutalement et atteint le minimum, qui est d'environ 5 %, à la profondeur de dopage de 1400 nm.
- [0077] La [Fig.5] montre une courbe de distribution de gradient du taux d'activation du bore

changeant en fonction de la profondeur de dopage dans un procédé de dopage par diffusion de bore. Les données des taux d'activation du bore à différentes profondeurs de dopage sont détectées pour un ajustement des données, afin que soit obtenue une courbe d'ajustement. Conformément à la courbe d'ajustement, le taux d'activation du bore dans la couche de surface de silicium cristallin et une région de jonction peu profonde (la profondeur de dopage est inférieure à 400 nm) est petit, c'est-à-dire d'environ 33 %, ce qui indique qu'un problème de couche morte est principalement concentré dans cette région et est susceptible d'être ajusté par le procédé de diffusion. Quand la profondeur de dopage dépasse 400 nm, le taux d'activation du bore augmente progressivement et atteint un pic à environ 1100 nm, et le taux d'activation de pic est situé dans la plage allant de 60 % à 90 %. Quand la profondeur de dopage augmente encore, le taux d'activation du bore diminue brutalement. On voit que le taux d'activation du bore dans la couche de surface du substrat 10 (la profondeur de dopage est située dans la plage allant de 0 nm à 400 nm) est stable, dans la plage allant de 20 % à 40 %. Quand la profondeur de dopage augmente de 400 nm à 1400 nm, le taux d'activation du bore augmente d'abord et diminue ensuite, et atteint un pic à une profondeur de dopage de 1000 nm à 1200 nm, et le taux d'activation de pic est situé dans la plage allant de 60 % à 90 %.

[0078] En référence à la [Fig.6], certains modes de réalisation du modèle d'utilité mettent en outre à disposition un module photovoltaïque comprenant une chaîne de cellules 101, une couche d'encapsulation 102, et une plaque de protection 103. La chaîne de cellules 101 est connectée par une pluralité de cellules photovoltaïques décrites dans les modes de réalisation ci-dessus. La couche d'encapsulation 102 est configurée pour couvrir une surface de la chaîne de cellules 101. La plaque de protection 103 est configurée pour couvrir une surface de la couche d'encapsulation 102 à distance de la chaîne de cellules 101.

[0079] Dans certains modes de réalisation, les cellules photovoltaïques peuvent être électriquement connectées dans leur globalité ou par morceaux pour former une pluralité de chaînes de cellules 101 qui sont électriquement connectées en série et/ou en parallèle.

[0080] De façon spécifique, dans certains modes de réalisation, la pluralité de chaînes de cellules 101 peuvent être électriquement connectées les unes aux autres par un ruban conducteur 104. La couche d'encapsulation 102 couvre le côté avant et le côté arrière de la cellule photovoltaïque. De façon spécifique, la couche d'encapsulation 102 peut être un film adhésif d'encapsulation organique tel qu'un film adhésif en copolymère d'éthylène-acétate de vinyle (EVA), un film adhésif en co-élastomère de poly(éthylène-octène) (POE), un film adhésif en poly(téréphtalate d'éthylène) (PET), etc. Dans certains modes de réalisation, la plaque de protection 103 peut être une

protection en verre, une protection en plastique, ou analogue, ayant une fonction de transmission de la lumière. De façon spécifique, une surface de la plaque de protection 103 faisant face à la couche d'encapsulation 102 peut comprendre une surface concavo-convexe, ce qui augmente ainsi l'utilisation de la lumière incidente.

[0081] Des modes de réalisation du modèle d'utilité mettent à disposition une cellule photovoltaïque et un module photovoltaïque. Le premier élément dopant est dopé sur la surface arrière du substrat 10, le deuxième élément dopant est dopé sur la surface avant du substrat 10, la concentration de dopage du premier élément dopant dans la couche de passivation par effet de champ est supérieure à celle dans la couche d'effet tunnel et le substrat, et un taux d'activation élevé du premier élément dopant est obtenu dans la couche de surface de la couche de passivation par effet de champ, ce qui favorise une amélioration de l'effet de passivation et du rendement de conversion de la cellule photovoltaïque. De plus, la distribution de dopage du deuxième élément dopant dans la couche de surface du substrat et la région de jonction peu profonde est améliorée par une augmentation du taux d'activation du deuxième élément dopant dans la couche de surface de la surface avant du substrat, si bien que l'influence de la couche morte est réduite, la performance globale de la cellule photovoltaïque est améliorée, et le rendement de conversion de la cellule photovoltaïque est amélioré.

[0082] On sait en outre que, dans le procédé de fabrication de la cellule photovoltaïque, le procédé de dopage affecte la qualité de la jonction PN et le rendement de conversion photoélectrique de la cellule photovoltaïque.

[0083] Les cellules photovoltaïques font actuellement l'objet d'une préoccupation importante dans l'industrie, et le planning de production augmente progressivement. Afin d'améliorer le rendement de conversion photoélectrique de la cellule photovoltaïque, le procédé de dopage par diffusion de bore est en cours d'étude. Toutefois, les procédés conventionnels de dopage par diffusion de bore sont caractérisés par un test de résistance au carré, si bien qu'il est impossible de connaître la distribution du bore dans la cellule photovoltaïque et la relation de distribution du taux d'activation du bore qui change avec la profondeur de dopage dans le procédé de dopage par diffusion de bore. Par exemple, il est impossible de connaître la distribution du dopage au bore dans la couche morte, ce qui rend impossible l'ajustement du procédé de diffusion de la couche morte afin d'améliorer le rendement de conversion de la cellule photovoltaïque.

[0084] Afin d'améliorer la distribution de dopage du bore dans la cellule photovoltaïque ainsi que d'augmenter la concentration de dopage et le taux d'activation du bore dans une couche inférieure, des modes de réalisation du modèle d'utilité mettent à disposition une cellule photovoltaïque. Par une amélioration de la concentration de dopage et du taux d'activation d'un premier élément dopant sur une surface avant d'un substrat, la distribution de dopage du premier élément dopant dans une couche de

surface du substrat et la région de jonction peu profonde est améliorée, l'influence d'une couche morte est réduite, la performance globale de la cellule photovoltaïque est améliorée, et le rendement de conversion de la cellule photovoltaïque est amélioré. Il convient de noter que les termes "premier" et "deuxième" sont utilisés ici uniquement pour distinguer des éléments et faciliter la compréhension du modèle d'utilité, sans constituer de quelconque limitation au modèle d'utilité. Le premier élément dopant mentionné dans ce paragraphe et ultérieurement est le deuxième élément dopant mentionné ci-dessus, le deuxième élément dopant mentionné dans ce paragraphe et ultérieurement est le premier élément dopant mentionné ci-dessus, le premier film de passivation mentionné ci-après est le deuxième film de passivation mentionné ci-dessus, le deuxième film de passivation mentionné ci-après est le premier film de passivation mentionné ci-dessus, la première électrode mentionnée ci-après est la deuxième électrode mentionnée ci-dessus, et la deuxième électrode mentionnée ci-après est la première électrode mentionnée ci-dessus.

- [0085] Certains modes de réalisation mettent à disposition une cellule photovoltaïque comprenant : un substrat 10 ; un émetteur 111, un premier film de passivation 112, et une première électrode 114, qui sont disposés en séquence sur une surface avant du substrat 10, où la première électrode 114 pénètre dans le premier film de passivation 112 et est en contact avec l'émetteur 111 ; où le substrat 10 comprend un premier élément dopant ; où le premier élément dopant est recuit et activé pour que soit obtenu un premier élément dopant activé, la concentration de dopage du premier élément dopant activé sur la surface avant du substrat 10 est située dans la plage allant de 5×10^{18} atomes/cm³ à $1,5 \times 10^{19}$ atomes/cm³, le taux d'activation du premier élément dopant activé sur la surface avant du substrat 10 est situé dans la plage allant de 20 % à 40 %, et le taux d'activation est le rapport de la concentration de dopage du premier élément dopant activé à la concentration du premier élément dopant totalement implanté.
- [0086] Dans certains modes de réalisation, la concentration de dopage du premier élément dopant activé dans le substrat 10 augmente d'abord et diminue ensuite lorsque la profondeur de dopage du premier élément dopant activé augmente.
- [0087] Dans certains modes de réalisation, la tendance de changement de la concentration du premier élément dopant totalement implanté dans le substrat 10 lorsque la profondeur de dopage du premier élément dopant augmente est identique à la tendance de changement de la concentration de dopage du premier élément dopant activé dans le substrat 10 lorsque la profondeur de dopage du premier élément dopant activé augmente.
- [0088] Dans certains modes de réalisation, le substrat 10 comprend une première région, une deuxième région, et une troisième région dans une direction le long de la surface avant

du substrat 10 vers la surface arrière du substrat 10 ; où la deuxième région est disposée entre la première région et la troisième région, la première région est adjacente à la surface avant du substrat 10 par rapport à la deuxième région, et la troisième région est adjacente à la surface arrière du substrat 10 par rapport à la deuxième région ; et où la concentration de dopage du deuxième élément dopant dans la deuxième région et la concentration de dopage du deuxième élément dopant dans la troisième région sont toutes deux inférieures à la concentration de dopage du deuxième élément dopant dans la première région.

- [0089] Dans certains modes de réalisation, la profondeur d'interface de la première région est située dans la plage allant de 1,8 % à 2,4 % de l'épaisseur du substrat 10, et la profondeur d'interface de la première région est une distance verticale entre un côté de la première région à distance de la surface avant du substrat 10 et la surface avant du substrat 10.
- [0090] Dans certains modes de réalisation, la profondeur d'interface de la première région est située dans la plage allant de 350 nm à 450 nm.
- [0091] Dans certains modes de réalisation, la profondeur d'interface de la deuxième région est située dans la plage allant de 5,3 % à 6,3 % de l'épaisseur du substrat 10, et la profondeur d'interface de la deuxième région est située dans la plage allant de 1000 nm à 1200 nm. La profondeur d'interface de la troisième région est située dans la plage allant de 6,3 % à 8,4 % de l'épaisseur du substrat 10, et la profondeur d'interface de la troisième région est située dans la plage allant de 1200 nm à 1600 nm.
- [0092] Dans certains modes de réalisation, le taux d'activation du premier élément dopant activé augmente d'abord et diminue ensuite lorsque la profondeur de dopage augmente, le taux d'activation du premier élément dopant dans la deuxième région est situé dans la plage allant de 60 % à 90 %, et le taux d'activation du premier élément dopant dans la troisième région est situé dans la plage allant de 5 % à 90 %.
- [0093] Dans certains modes de réalisation, la cellule photovoltaïque comprend en outre une couche d'effet tunnel 121, une couche de passivation par effet de champ 122, un deuxième film de passivation 123, et une deuxième électrode 124, qui sont disposés en séquence sur une surface arrière du substrat 10, où la deuxième électrode 124 pénètre dans le deuxième film de passivation 123 et est en contact avec la couche de passivation par effet de champ 122 ; où le substrat 10, la couche d'effet tunnel 121 et la couche de passivation d'effet de champ 122 comprennent tous un même premier élément dopant, la concentration de dopage du deuxième élément dopant dans la couche d'effet tunnel 121 est inférieure à la concentration de dopage du deuxième élément dopant dans la couche de passivation par effet de champ 122, et la concentration de dopage du deuxième élément dopant dans la couche d'effet tunnel 121 est supérieure à la concentration de dopage du deuxième élément dopant dans le

substrat 10 ; où la couche de passivation par effet de champ 122 comprend une première région de dopage et une deuxième région de dopage, et la deuxième région de dopage est adjacente à la couche à effet tunnel 121 par rapport à la première région dopante ; où la pente de courbe de dopage de la première région de dopage est supérieure à la pente de courbe de dopage de la deuxième région de dopage, le deuxième élément dopant est recuit et activé pour que soit obtenu un deuxième élément dopant activé, et la pente de courbe de dopage indique la pente d'une courbe dans laquelle la concentration de dopage du deuxième élément dopant activé change en fonction de la profondeur de dopage du deuxième élément dopant activé ; et où la pente de courbe de dopage de la couche d'effet tunnel 121 diminue progressivement dans une direction le long de la couche d'effet tunnel 121 en direction du substrat 10.

- [0094] Dans certains modes de réalisation, la concentration de dopage du deuxième élément dopant activé dans la couche de passivation par effet de champ 122 est située dans la plage allant de 1×10^{20} atomes/cm³ à 5×10^{20} atomes/cm³, le taux d'activation du deuxième élément dopant dans la couche de passivation par effet de champ 122 est situé dans la plage allant de 50 % à 70 %, et le taux d'activation est le rapport de la concentration de dopage du deuxième élément dopant activé à la concentration du deuxième élément dopant totalement implanté.
- [0095] Dans certains modes de réalisation, la pente de courbe de dopage de la première région de dopage est située dans la plage allant de 5×10^{18} à 1×10^{19} , et la pente de courbe de dopage de la deuxième région de dopage est située dans la plage allant de -5×10^{18} à 5×10^{18} .
- [0096] Dans certains modes de réalisation, la pente de courbe de dopage de la couche d'effet tunnel 121 est située dans la plage allant de $-2,5 \times 10^{19}$ à $-2,5 \times 10^{18}$, et la pente de courbe de dopage du substrat 10 est située dans la plage allant de $-2,5 \times 10^{19}$ à 0.
- [0097] Certains modes de réalisation du modèle d'utilité mettent en outre à disposition un module photovoltaïque comprenant une chaîne de cellules 101 connectée par une pluralité de cellules photovoltaïques, dans lequel chacune parmi la pluralité de cellules photovoltaïques comprend la cellule photovoltaïque selon les modes de réalisation ci-dessus ; une couche d'encapsulation 102 configurée pour couvrir une surface de la chaîne de cellules 101 ; et une plaque de protection 103 configurée pour couvrir une surface de la couche d'encapsulation (102) à distance de la chaîne de cellules 101.
- [0098] Les personnes ayant une connaissance ordinaire de la technique apprécieront le fait que les modes de réalisation décrits ci-dessus sont des modes de réalisation spécifiques du modèle d'utilité et, en application pratique, divers changements de forme et de détail peuvent y être apportés sans s'écarter de la portée du modèle d'utilité. Tout homme du métier peut effectuer ses propres changements et modifications sans s'écarter de la portée du modèle d'utilité. Par conséquent, la portée de protection du modèle d'utilité

sera sujette à la portée définie dans les revendications.

Revendications

[Revendication 1]

Cellule photovoltaïque comprenant :

un substrat (10) ; et

une couche d'effet tunnel (121), une couche de passivation par effet de champ (122), un premier film de passivation (123), et une première électrode (124), qui sont disposés en séquence sur une surface arrière du substrat (10), où la première électrode (124) pénètre dans le premier film de passivation (123) et est en contact avec la couche de passivation par effet de champ (122) ;

dans laquelle le substrat (10), la couche d'effet tunnel (121) et la couche de passivation par effet de champ (122) comprennent tous un même premier élément dopant, la concentration de dopage du premier élément dopant dans la couche d'effet tunnel (121) est inférieure à la concentration de dopage du premier élément dopant dans la couche de passivation par effet de champ (122), et la concentration de dopage du premier élément dopant dans la couche d'effet tunnel (121) est supérieure à la concentration de dopage du premier élément dopant dans le substrat (10) ;

dans laquelle la couche de passivation par effet de champ (122) comprend une première région de dopage et une deuxième région de dopage, et la deuxième région de dopage est adjacente à la couche d'effet tunnel (121) par rapport à la première région de dopage ; dans laquelle la pente de courbe de dopage de la première région de dopage est supérieure à la pente de courbe de dopage de la deuxième région de dopage, le premier élément dopant est recuit et activé pour que soit obtenu un premier élément dopant activé, et la pente de courbe de dopage indique la pente d'une courbe dans laquelle la concentration de dopage du premier élément dopant activé change en fonction de la profondeur de dopage du premier élément dopant activé ; et dans laquelle la pente de courbe de dopage de la couche d'effet tunnel (121) diminue progressivement dans une direction le long de la couche d'effet tunnel (121) en direction du substrat (10).

[Revendication 2]

Cellule photovoltaïque selon la revendication 1, dans laquelle la pente de courbe de dopage du substrat (10) augmente progressivement et tend à être stable dans une direction le long de la surface arrière du substrat (10) vers l'intérieur du substrat (10), de préférence la pente de courbe de dopage du substrat (10) est inférieure ou égale à la valeur moyenne de la

- pente de courbe de dopage de la deuxième région de dopage.
- [Revendication 3] Cellule photovoltaïque selon la revendication 1 ou la revendication 2, dans laquelle la concentration de dopage du premier élément dopant activé dans la couche de passivation par effet de champ (122) est située dans la plage allant de 1×10^{20} atomes/cm³ à 5×10^{20} atomes/cm³ ; et dans laquelle le taux d'activation du premier élément dopant dans la couche de passivation par effet de champ (122) est situé dans la plage allant de 50 % à 70 %, et le taux d'activation est le rapport de la concentration de dopage du premier élément dopant activé à la concentration de premier élément dopant totalement implanté.
- [Revendication 4] Cellule photovoltaïque selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, dans laquelle la pente de courbe de dopage de la première région de dopage est située dans la plage allant de 5×10^{18} à 1×10^{19} , et la pente de courbe de dopage de la deuxième région de dopage est située dans la plage allant de -5×10^{18} à 5×10^{18} .
- [Revendication 5] Cellule photovoltaïque selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, dans laquelle la pente de courbe de dopage de la couche d'effet tunnel (121) est située dans la plage allant de $-2,5 \times 10^{19}$ à $-2,5 \times 10^{18}$, et la pente de courbe de dopage du substrat (10) est située dans la plage allant de $-2,5 \times 10^{19}$ à 0.
- [Revendication 6] Cellule photovoltaïque selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, dans laquelle l'épaisseur de la couche de passivation par effet de champ (122) est située dans la plage allant de 60 nm à 130 nm dans une direction perpendiculaire à la surface du substrat (10), et l'épaisseur de la couche d'effet tunnel (121) est située dans la plage allant de 0,5 nm à 3 nm dans la direction perpendiculaire à la surface du substrat (10).
- [Revendication 7] Cellule photovoltaïque selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, comprenant en outre :
- un émetteur (111), un deuxième film de passivation (112), et une deuxième électrode (114), qui sont disposés en séquence sur une surface avant du substrat (10), où la deuxième électrode (114) pénètre dans le deuxième film de passivation (112) et est en contact avec l'émetteur (111) ;
 - dans laquelle le substrat (10) comprend en outre un deuxième élément dopant ;
 - dans laquelle le deuxième élément dopant est recuit et activé pour que soit obtenu un deuxième élément dopant activé, et la concentration de dopage du deuxième élément dopant activé sur la surface avant du

substrat (10) est située dans la plage allant de 5×10^{18} atomes/cm³ à $1,5 \times 10^{19}$ atomes/cm³ ; et
 dans laquelle la concentration de deuxième élément dopant totalement implanté est située dans la plage allant de $1,5 \times 10^{19}$ atomes/cm³ à 1×10^{20} atomes/cm³.

[Revendication 8] Cellule photovoltaïque selon la revendication 7, dans laquelle le substrat (10) comprend une première région, une deuxième région, et une troisième région dans une direction le long de la surface avant du substrat (10) en direction de la surface arrière du substrat (10) ;
 dans laquelle la deuxième région est disposée entre la première région et la troisième région, la première région est adjacente à la surface avant du substrat (10) par rapport à la deuxième région, et la troisième région est adjacente à la surface arrière du substrat (10) par rapport à la deuxième région ; et
 dans laquelle la concentration de dopage du deuxième élément dopant dans la deuxième région et la concentration de dopage du deuxième élément dopant dans la troisième région sont toutes deux inférieures à la concentration de dopage du deuxième élément dopant dans la première région.

[Revendication 9] Cellule photovoltaïque selon la revendication 8, dans laquelle la concentration de dopage du deuxième élément dopant activé dans la première région est située dans la plage allant de 5×10^{18} atomes/cm³ à $1,5 \times 10^{19}$ atomes/cm³ ;
 de préférence la distance entre la surface arrière de la première région et la surface avant du substrat (10) est située dans la plage allant de 350 nm à 450 nm, la distance entre la surface arrière de la deuxième région et la surface avant du substrat (10) est située dans la plage allant de 1000 nm à 1200 nm, et la distance entre la surface arrière de la troisième région et la surface avant du substrat (10) est située dans la plage allant de 1200 nm à 1600 nm ;
 de préférence le taux d'activation du deuxième élément dopant dans la première région est situé dans la plage allant de 20 % à 40 %, le taux d'activation du deuxième élément dopant dans la deuxième région est situé dans la plage allant de 60 % à 90 %, et le taux d'activation du deuxième élément dopant dans la troisième région est situé dans la plage allant de 5 % à 90 %, dans laquelle le taux d'activation est le rapport de la concentration de dopage du deuxième élément dopant activé à la concentration de deuxième élément dopant totalement implanté ;

de préférence la concentration de dopage du deuxième élément dopant activé dans le substrat (10) augmente d'abord et diminue ensuite lorsque la profondeur de dopage du deuxième élément dopant activé augmente.

[Revendication 10]

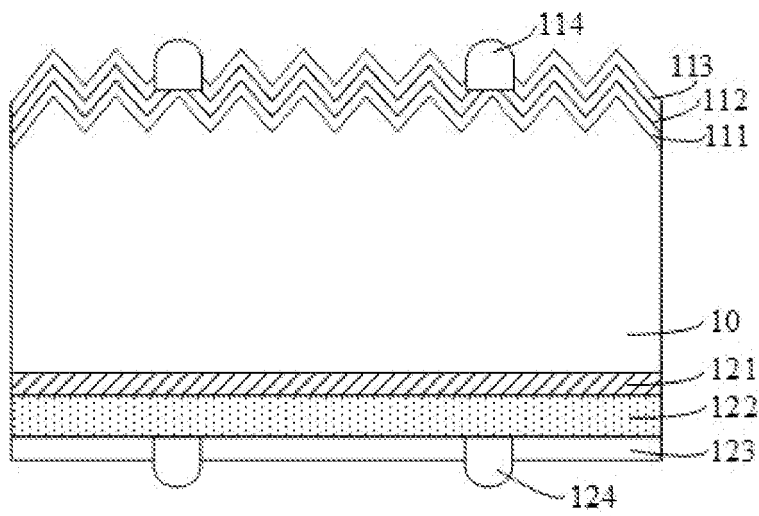
Module photovoltaïque comprenant :

une chaîne de cellules (101) connectée par une pluralité de cellules photovoltaïques, dans lequel chacune parmi la pluralité de cellules photovoltaïques comprend la cellule photovoltaïque selon l'une quelconque des revendications 1 à 9 ;

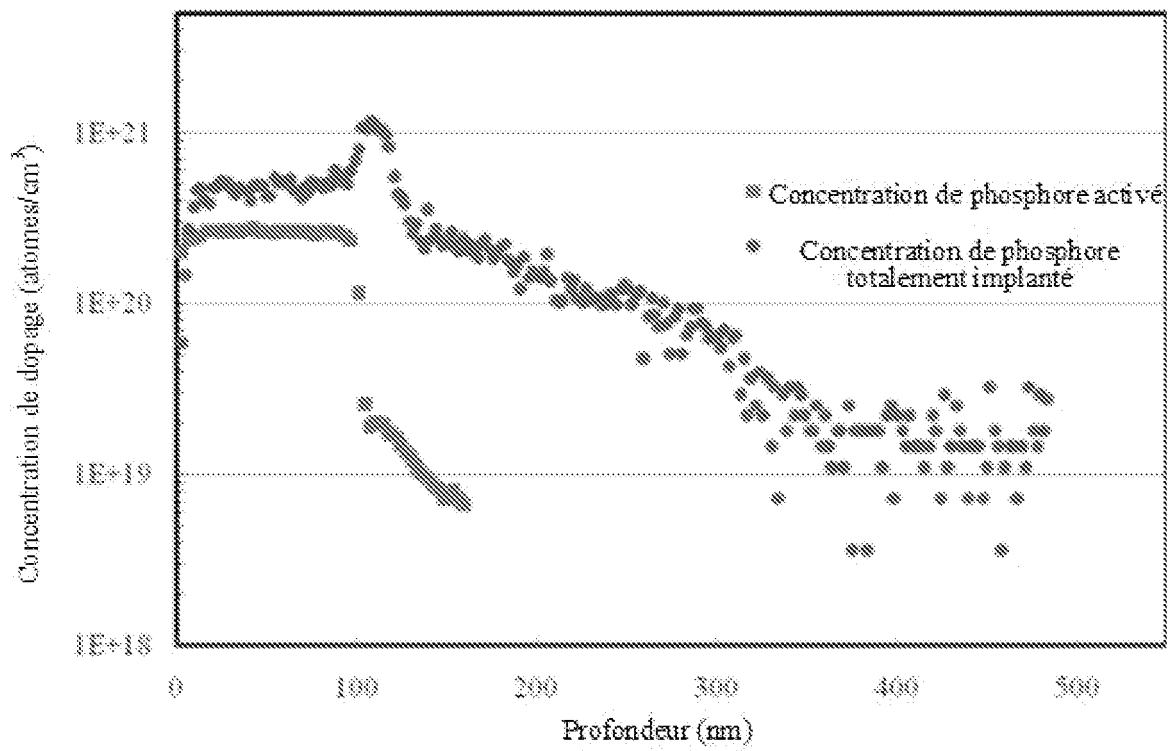
une couche d'encapsulation (102) configurée pour couvrir une surface de la chaîne de cellules (101) ; et

une plaque de protection (103) configurée pour couvrir une surface de la couche d'encapsulation (102) à distance de la chaîne de cellules.

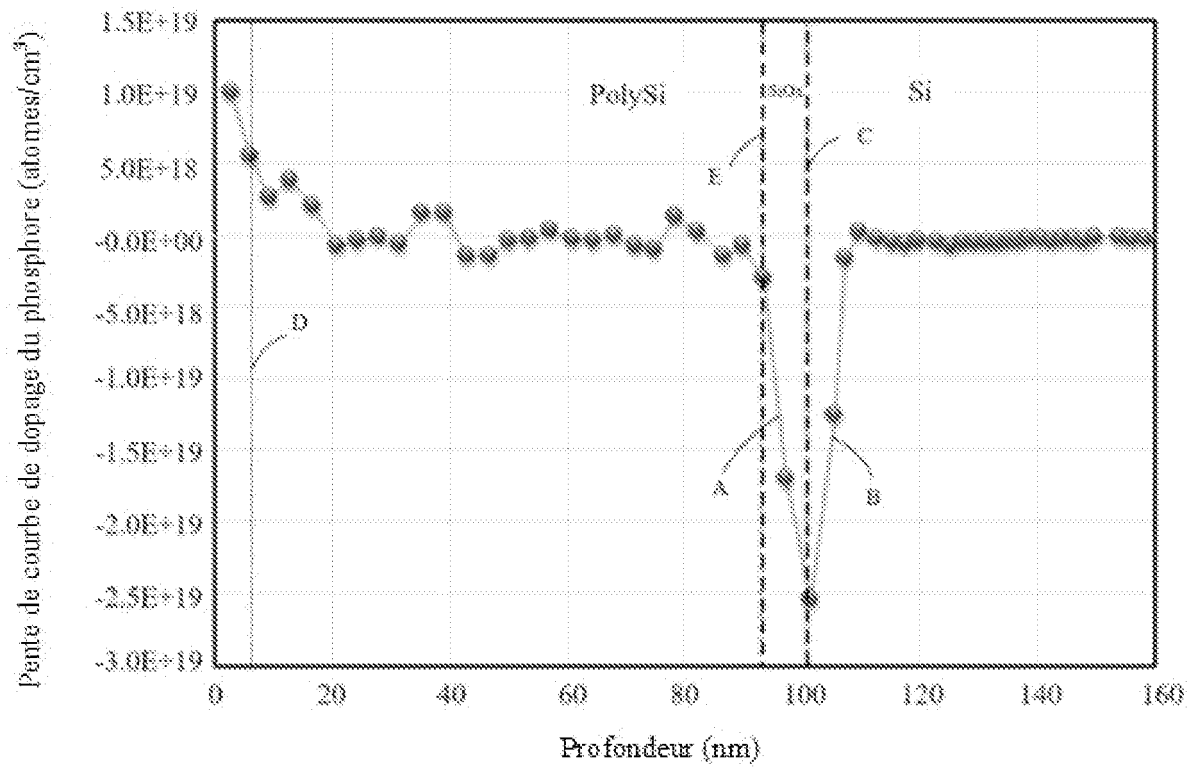
[Fig. 1]



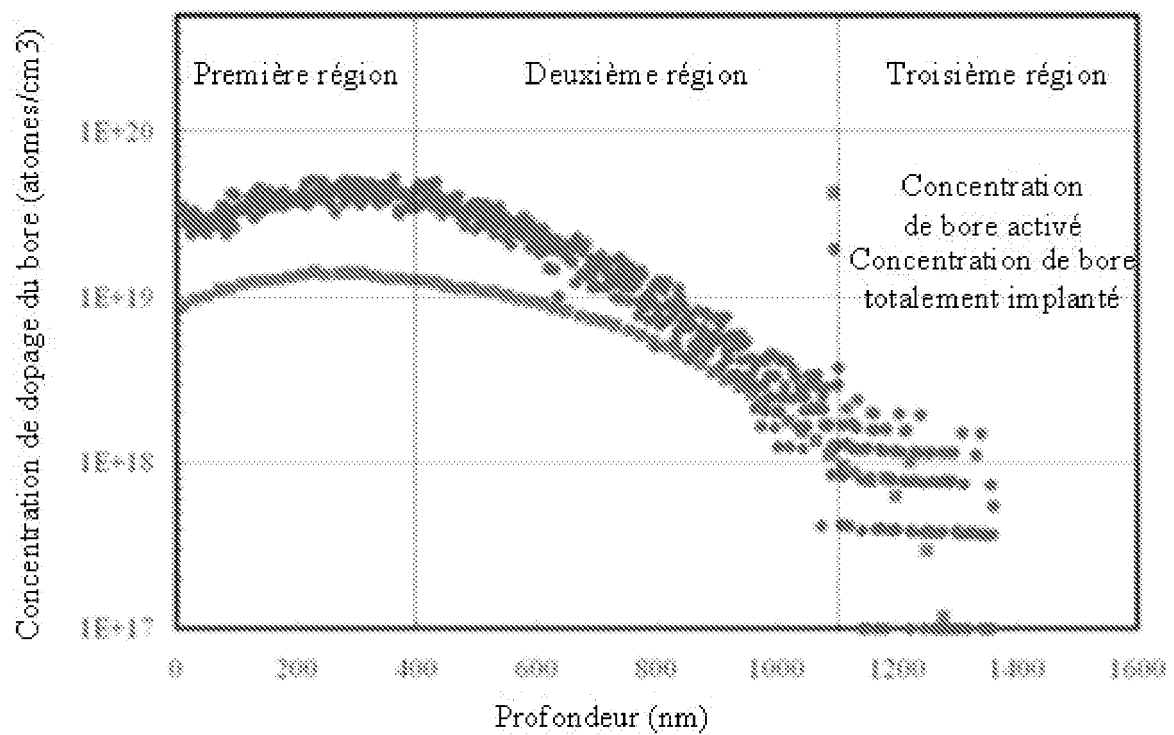
[Fig. 2]



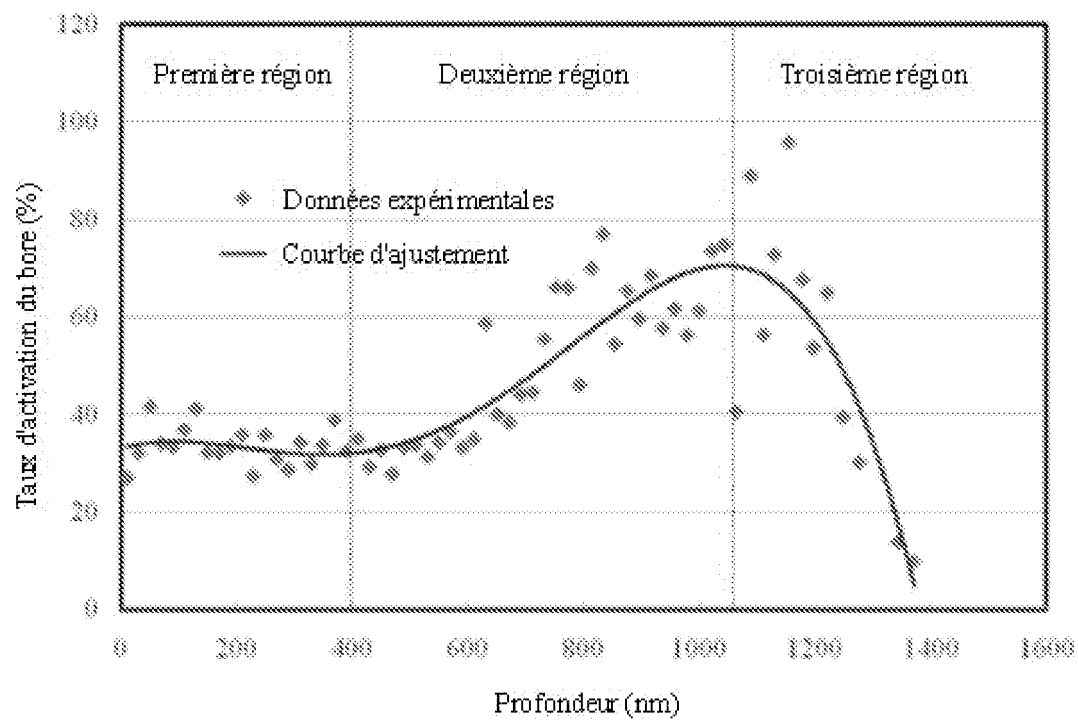
[Fig. 3]



[Fig. 4]



[Fig. 5]



[Fig. 6]

