



(11) **EP 3 242 335 A1**

(12) **DEMANDE DE BREVET EUROPEEN**

(43) Date de publication:
08.11.2017 Bulletin 2017/45

(51) Int Cl.:
H01L 31/0747^(2012.01) H01L 31/18^(2006.01)

(21) Numéro de dépôt: **17169271.8**

(22) Date de dépôt: **03.05.2017**

(84) Etats contractants désignés:
AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO PL PT RO RS SE SI SK SM TR

Etats d'extension désignés:

BA ME

Etats de validation désignés:

MA MD

(30) Priorité: **03.05.2016 FR 1654011**

(71) Demandeur: **Commissariat à l'Energie Atomique et aux Energies Alternatives**
75015 Paris (FR)

(72) Inventeurs:

- **CARRERE, Tristan**
09300 LAVELANET (FR)
- **HARRISON, Samuel**
38530 PONTCHARRA (FR)

(74) Mandataire: **Cabinet Camus Lebkiri**
25 rue de Maubeuge
75009 Paris (FR)

(54) **PROCÉDÉ DE FABRICATION D'UNE CELLULE PHOTOVOLTAÏQUE À HÉTÉROJONCTION**

(57) La présente invention se rapporte à un procédé de fabrication d'une cellule photovoltaïque à hétérojonction, le procédé comportant les étapes suivantes :

- (E1) fournir un substrat en silicium cristallin (101) ;
- (E2) implanter des ions d'hydrogène en surface du substrat (101), à travers une première face (103) du substrat (101) ;

- (E3) déposer une couche de passivation (105) sur la première face (103) du substrat (101) ;

- (E4) effectuer un traitement thermique à une température inférieure à 250°C de sorte que les ions d'hydrogène implantés dans le substrat (101) diffusent vers l'interface (103) entre le substrat (101) et la couche de passivation (105).

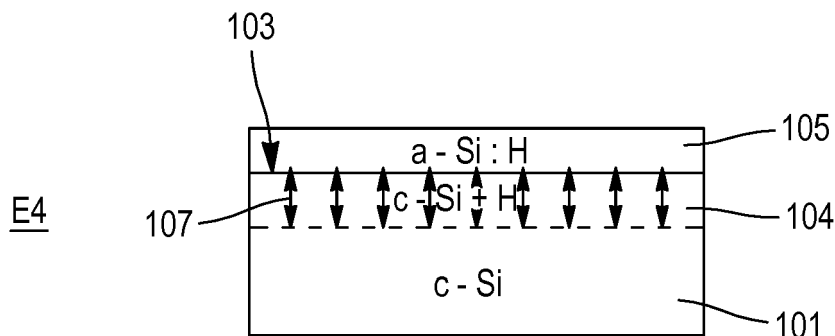


FIG. 1D

EP 3 242 335 A1

Description

DOMAINE TECHNIQUE DE L'INVENTION

[0001] Le domaine technique de l'invention est celui des cellules photovoltaïques à hétérojonction, et plus particulièrement celui de la guérison de défauts à l'interface entre un substrat en silicium cristallin et une couche de passivation.

ARRIÈRE-PLAN TECHNOLOGIQUE DE L'INVENTION

[0002] Par définition, dans une cellule photovoltaïque à hétérojonction, les couches semi-conductrices dopées de type p et n formant la jonction p-n sont composées de matériaux semi-conducteurs ayant des bandes d'énergie interdites différentes. Pour ce faire, les deux couches semi-conductrices peuvent être composées de matériaux semi-conducteurs de natures physiques différentes, ou d'un même matériau semiconducteur ayant des structures cristallographiques différentes. De manière classique, les cellules photovoltaïques à hétérojonction sont fabriquées par dépôt de couches de silicium amorphe sur un substrat en silicium cristallin. Les cellules photovoltaïques à hétérojonction sont dès lors sensibles aux défauts situés à l'interface entre le substrat et le silicium amorphe.

[0003] Ces défauts, qui introduisent des niveaux d'énergie dans la bande interdite, peuvent être des liaisons pendantes, également appelées « dangling bonds » en anglais, ou des impuretés telles que des ions métalliques. Les défauts augmentent le nombre de recombinaisons électron-trou à l'interface, ce qui détériore les paramètres de sortie de la cellule photovoltaïque, tels que la tension en circuit ouvert V_{oc} , pour « open circuit voltage » en anglais.

[0004] Pour obtenir une cellule photovoltaïque performante, il est donc nécessaire de minimiser le nombre de recombinaisons sur les faces du substrat, ce qui peut être accompli en déposant une couche de silicium amorphe hydrogéné intrinsèque sur chaque face du substrat. En effet, cette couche permet une excellente passivation de surface par l'action des atomes d'hydrogène qui viennent neutraliser les défauts.

[0005] A ce stade de fabrication de la cellule photovoltaïque, c'est-à-dire tout de suite après le dépôt du silicium amorphe hydrogéné intrinsèque, il est aisé d'obtenir une bonne passivation de surface, avec une tension en circuit ouvert maximale théorique $i-V_{oc}$, pour « implied open circuit voltage » en anglais, supérieure à 700 mV. Cependant, la qualité de l'interface peut être grandement diminuée lors d'étapes de fabrication ultérieures. En effet le silicium amorphe est sensible à tout budget thermique, c'est-à-dire aux étapes de fabrication impliquant des températures élevées. Le silicium amorphe est également sensible au bombardement excessif. C'est le cas par exemple des procédés utilisant des plasmas dont les ions

traversent le silicium amorphe et viennent modifier les liaisons à l'interface avec le substrat.

[0006] Les procédés susceptibles d'endommager l'interface entre le substrat et le silicium amorphe sont par exemple des procédés de dépôt physique en phase vapeur, également appelés PVD pour « Physical Vapour Deposition » en anglais, utilisés pour déposer du métal ou un oxyde transparent conducteur. C'est le cas également des procédés utilisés pour former des motifs dans le silicium amorphe ou l'oxyde transparent conducteur, tels que la gravure par laser ou la gravure ionique réactive. Ces procédés de gravures sont notamment utilisés pour former les cellules photovoltaïques à contacts en face arrière. L'interface peut aussi être endommagée par des procédés d'implantation ionique utilisés pour réaliser le dopage des couches de silicium amorphe ou des surdopages.

[0007] Afin de conserver une bonne qualité de l'interface entre le silicium cristallin et le silicium amorphe, la stratégie actuellement employée consiste à limiter les dégâts au niveau de cette interface. Pour cela, il est nécessaire de faire des compromis concernant les procédés utilisés au cours de la fabrication tout en obtenant une cellule photovoltaïque ayant les propriétés finales désirées. De manière générale, ces contraintes liées à la fragilité de l'interface limitent le nombre de procédés compatibles avec les spécificités de la couche de silicium amorphe pour la fabrication de cellules photovoltaïques à hétérojonction.

[0008] Le document Wang et al., « Improved amorphous/crystalline silicon interface passivation for heterojunction solar cells by low-temperature chemical vapor deposition and post-annealing treatment », Physical Chemistry Chemical Physics, 2014, 16, 20202-20208, décrit l'utilisation d'un recuit permettant à l'hydrogène contenu dans la couche de silicium amorphe de diffuser et de guérir les défauts à l'interface avec le substrat.

[0009] Cependant, cette technique présente des résultats limités. En effet, la couche de silicium amorphe n'est pas encapsulée donc une partie de l'hydrogène diffuse hors de la zone cible, c'est-à-dire l'interface. De plus, tout l'hydrogène présent dans la couche de silicium amorphe n'est pas disponible pour la diffusion, une partie des atomes d'hydrogène étant liée à des atomes de silicium. En outre, si le nombre de défauts est trop important, la quantité d'hydrogène présent dans la couche de silicium amorphe n'est pas suffisante pour les guérir. Par exemple, après une étape d'implantation effectuée à haute énergie ou une étape de gravure laser, de nombreux défauts ne sont pas guéris et la qualité de passivation finale n'est pas satisfaisante.

RÉSUMÉ DE L'INVENTION

[0010] La présente invention vise à améliorer la qualité d'une interface entre un substrat en silicium cristallin et une couche de passivation d'une cellule photovoltaïque à hétérojonction en guérissant des défauts présents à

cette interface de manière efficace.

[0011] Selon l'invention, ce but est atteint en prévoyant un procédé de fabrication d'une cellule photovoltaïque à hétérojonction comportant les étapes suivantes :

- fournir un substrat en silicium cristallin ;
- implanter des ions d'hydrogène en surface du substrat, à travers une première face du substrat ;
- déposer une couche de passivation sur la première face du substrat ;
- effectuer un traitement thermique à une température inférieure à 250°C de sorte que les ions d'hydrogène implantés dans le substrat diffusent vers l'interface entre le substrat et la couche de passivation.

[0012] On entend par traitement thermique toute opération consistant à soumettre le substrat à une élévation de température afin d'en modifier les propriétés, par exemple physiques, électriques ou mécaniques. Un recuit est un exemple de traitement thermique.

[0013] Ainsi, grâce à l'invention, les défauts d'interface sont neutralisés par l'hydrogène implanté dans le substrat, ce qui améliore la qualité de la passivation. Le procédé selon l'invention fait donc intervenir une source d'hydrogène indépendante de la couche de passivation pour ne pas en modifier les propriétés. De plus, la guérison étant activée par le traitement thermique, il est possible de choisir quand la déclencher. Le processus de guérison peut donc intervenir à tout moment au cours de la fabrication de la cellule photovoltaïque. Enfin, comme le traitement thermique de diffusion succède à l'implantation des ions d'hydrogène, les éventuels défauts générés par l'implantation ionique sont également guéris.

[0014] Le procédé de fabrication selon l'invention peut également comporter une ou plusieurs caractéristiques parmi les suivantes, considérées individuellement ou selon les combinaisons techniquement possibles :

- le procédé comporte en outre des étapes de fabrication susceptibles de provoquer une dégradation de l'interface entre le substrat et la couche de passivation, le traitement thermique étant effectué postérieurement à ces étapes ;
- le traitement thermique est effectué à une température comprise entre 100°C et 220°C ;
- le traitement thermique est effectué pendant une durée comprise entre 1 minute et 30 minutes ;
- l'implantation ionique d'hydrogène est réalisée par immersion dans un plasma ;
- l'implantation ionique d'hydrogène est effectuée à une énergie inférieure à 1 keV ;
- l'implantation ionique d'hydrogène est réalisée à une dose comprise entre 10^{13} atomes/cm³ et 10^{17} atomes/cm³ ;
- le traitement thermique est un recuit de sérigraphie, un recuit d'activation de dopants, ou toute étape de dépôt spécifique effectuée à une température comprise entre 100°C et 220°C ;

- la couche de passivation comprend du silicium amorphe, éventuellement hydrogéné, de l'alumine, un oxyde thermique et/ou un nitrure de silicium de type SiN_xH ;
- 5 - l'étape d'implantation ionique d'hydrogène et l'étape de dépôt d'une couche de passivation sont en outre mises en oeuvre sur une deuxième face du substrat opposée à la première face.

10 BRÈVE DESCRIPTION DES FIGURES

[0015] L'invention et ses différentes applications seront mieux comprises à la lecture de la description qui suit et à l'examen des figures qui l'accompagnent, parmi lesquelles :

- les figures 1A à 1D représentent schématiquement des étapes d'un procédé de fabrication d'une cellule photovoltaïque à hétérojonction, selon un mode de mise en oeuvre préférentiel de l'invention ;
- les figures 2A à 2E représentent schématiquement un premier exemple de mise en oeuvre du procédé selon l'invention pour la fabrication d'une première cellule photovoltaïque à hétérojonction et à contacts en face arrière ;
- la figure 3 représente schématiquement un deuxième exemple de mise en oeuvre du procédé selon l'invention pour la fabrication d'une deuxième cellule photovoltaïque à hétérojonction.

[0016] Les figures ne sont présentées qu'à titre indicatif et nullement limitatif de l'invention.

[0017] Pour plus de clarté, les éléments identiques ou similaires sont repérés par des signes de référence identiques sur toutes les figures.

DESCRIPTION DÉTAILLÉE DE MODES DE MISE EN OEUVRE DE L'INVENTION

[0018] Un mode de mise en oeuvre préférentiel du procédé de fabrication d'une cellule photovoltaïque à hétérojonction selon l'invention va maintenant être décrit, en référence aux figures 1A à 1D. Les figures 1A à 1D représentent en vue en coupe transversale la cellule photovoltaïque à différentes étapes du procédé de fabrication.

[0019] Un substrat 101 en silicium cristallin c-Si est fourni au cours d'une étape E1. Le substrat 101 présente deux faces opposées.

[0020] Au cours d'une étape E2, une implantation ionique d'hydrogène H, représentée par des flèches 102 sur la figure 1B, est réalisée à travers une première face 103 du substrat 101, de sorte à constituer un réservoir d'hydrogène 104 en surface 103 du substrat 101.

[0021] De préférence, l'implantation ionique est réalisée de sorte qu'une concentration maximale en hydrogène dans le substrat 101 soit obtenue à une profondeur inférieure à 20 nm. On considère la profondeur par rap-

port à la première face 103 du substrat 101.

[0022] Pour ce faire, l'implantation ionique est par exemple réalisée par immersion dans un plasma. Cette technique, communément appelée PIII pour « Plasma Immersion Ion Implantation » en anglais, permet d'effectuer l'implantation ionique à une énergie faible. Il est ainsi possible de concentrer les atomes d'hydrogène près de la surface 103 du substrat 101. De préférence, l'énergie d'implantation est inférieure à 1000 eV, et plus préférentiellement encore, l'énergie d'implantation est comprise entre 500 et 1000 eV.

[0023] De préférence, l'implantation ionique est réalisée à une dose comprise entre 10^{13} atomes/cm³ et 10^{17} atomes/cm³, et plus préférentiellement encore, comprise entre 10^{15} atomes/cm³ et 10^{16} atomes/cm³. Une forte concentration en atomes d'hydrogène, de préférence supérieure à 10^{20} atomes/cm³, est ainsi obtenue à la surface 103 du substrat 101.

[0024] Une telle concentration d'hydrogène permet de guérir la quasi-totalité des défauts situés à la surface 103 du substrat, qui peuvent être dus à la préparation du substrat 101 et aux étapes ultérieures de fabrication de la cellule photovoltaïque à hétérojonction.

[0025] Après l'étape d'implantation ionique, une couche de passivation 105 est déposée, au cours d'une étape E3, sur la première face 103 du substrat 101, comme illustré sur la figure 1C. La couche de passivation comprend un matériau permettant de neutraliser les liaisons pendantes ou les défauts existant à la surface du substrat. La neutralisation est effectuée par la création d'une liaison entre la liaison pendante d'un atome de silicium et un atome d'un autre élément chimique, tel que l'hydrogène ou le fluor. La qualité d'une passivation est évaluée par une mesure de durée de vie des porteurs en excès dans le substrat. Les porteurs en excès sont par exemple générés par illumination, injection de courant, ou par une augmentation de température.

[0026] La couche de passivation 105 est de préférence en silicium amorphe hydrogéné a-Si:H intrinsèque. Alternativement, la couche de passivation 105 en silicium amorphe hydrogéné peut être dopée, par exemple d'un type de conductivité opposé à celui du substrat 101 pour former aussi un émetteur, ou du même type de conductivité que celui du substrat 101 pour former aussi une couche de champ répulsif pour les porteurs de charge minoritaires. Le dépôt de la couche de silicium amorphe hydrogéné 105 est par exemple réalisé par dépôt chimique en phase vapeur assisté par plasma, également appelé PECVD pour « Plasma-Enhanced Chemical Vapor Déposition » en anglais.

[0027] Comme illustré sur la figure 1D, le substrat 101 est ensuite soumis à une étape E4 de traitement thermique de manière à permettre la diffusion, symbolisée par des flèches 107, de l'hydrogène présent dans le réservoir 104 vers l'interface 103 entre le substrat 101 et la couche de passivation 105. L'hydrogène, présent en grande quantité à proximité immédiate de l'interface 103, vient alors passiver la quasi-totalité des défauts de l'interface

103. La qualité de l'interface 103 est ainsi grandement améliorée, ce qui aboutit à de meilleures performances photovoltaïques, en termes de rendement notamment.

[0028] De plus, grâce au réservoir d'hydrogène 104, il n'est pas nécessaire que la couche de passivation 105 contienne de l'hydrogène. Il peut alors être envisagé d'utiliser d'autres couches de passivation, contenant par exemple de l'alumine Al₂O₃, un oxyde thermique comme de l'oxyde de silicium SiO₂ obtenu par oxydation thermique, ou un nitrure de silicium de type SiN_xH déposé à basse température. Il est cependant nécessaire que la température de dépôt de la couche de passivation reste dans la gamme de températures spécifique aux cellules photovoltaïques à hétérojonction. Une fois la couche de passivation 105 déposée, l'étape de traitement thermique E4 peut être effectuée à tout moment au cours du procédé de fabrication.

[0029] Pour guérir les défauts d'interface dans le procédé de l'art antérieur, un recuit est utilisé pour permettre à l'hydrogène contenu dans une couche de passivation en silicium amorphe de diffuser. Dans le but d'obtenir une meilleure passivation, la quantité initiale d'hydrogène contenu dans la couche de passivation serait augmentée en modifiant les conditions de dépôt. Cependant, l'augmentation de la quantité initiale d'hydrogène a pour conséquence de modifier les propriétés, notamment optiques et électriques, de la couche de passivation. Par exemple, l'augmentation de la quantité d'hydrogène s'accompagne d'une augmentation de la transparence de la couche de passivation. Par ailleurs, lorsque la quantité d'hydrogène devient trop importante, le silicium amorphe commence à cristalliser, ce qui perturbe le fonctionnement de la cellule photovoltaïque. Dans le procédé selon l'invention, l'hydrogène nécessaire à la guérison des défauts provient du réservoir 104. Il n'est donc pas nécessaire d'augmenter la quantité initiale d'hydrogène contenu dans la couche de passivation et celle-ci conserve ses propriétés.

[0030] Le procédé de fabrication de la cellule photovoltaïque comporte d'autres étapes dont certaines peuvent endommager l'interface 103 entre le substrat 101 et la couche de passivation 105. C'est le cas notamment des procédés de dépôt physique en phase vapeur utilisés pour déposer du métal ou un oxyde transparent conducteur, des procédés utilisés pour former des motifs dans le silicium amorphe ou l'oxyde transparent conducteur, tels que la gravure par laser ou la gravure ionique réactive, ou encore des procédés d'implantation ionique utilisés pour réaliser le dopage de couches semi-conductrices ou des sur-dopages.

[0031] De préférence, l'étape de traitement thermique E4 est effectuée après toutes les étapes du procédé de fabrication susceptibles d'endommager l'interface 103. Cela garantit une efficacité maximale du processus de guérison car, dans ce cas, tous les défauts susceptibles de survenir sont apparus à l'interface 103 entre le substrat 101 et la couche de passivation 105 avant d'effectuer le traitement thermique. Il n'est pas nécessaire d'effec-

tuer le traitement thermique juste après le dépôt de la couche de passivation 105, celle-ci pouvant être recouverte par d'autres couches.

[0032] Le procédé selon l'invention est désormais ouvert à plus large choix de procédés pour fabriquer la cellule photovoltaïque, car même si ces procédés génèrent des défauts, ces derniers peuvent être passivés grâce à la diffusion de l'hydrogène du réservoir vers l'interface.

[0033] Le traitement thermique est effectué à une température inférieure à 250°C, de préférence comprise entre 100°C et 220 °C, et plus préférentiellement encore comprise entre 150 °C et 200 °C. Ces températures sont compatibles avec les technologies de fabrication des cellules photovoltaïques à hétérojonction. En effet, la couche de passivation 105 supporte difficilement des températures plus élevées, tout particulièrement lorsqu'elle comprend ou est constituée de silicium amorphe. De plus, lorsqu'une couche de passivation 105 contenant de l'hydrogène est utilisée, cette gamme de température n'implique que des modifications mineures de la concentration en hydrogène de la couche de passivation 105, qui conserve ainsi ses propriétés.

[0034] De préférence, le traitement thermique est effectué pendant une durée comprise entre 1 minute et 30 minutes, et plus préférentiellement encore, pendant une durée comprise entre 5 minutes et 15 minutes. Ces conditions de températures et de durée de traitement thermique permettent de limiter la diffusion de l'hydrogène plus en profondeur dans le substrat 101. Ainsi, les ions d'hydrogène restent concentrés en surface et participent en plus grand nombre au processus de guérison.

[0035] Avantageusement, l'étape de traitement thermique E4 s'effectue naturellement au cours d'une autre étape du procédé de fabrication impliquant une température comprise entre 100°C et 250°C. Il peut notamment s'agir d'un recuit final de sérigraphie (pour l'activation électrique des contacts), d'un recuit d'activation de dopants, de la création d'une couche d'oxyde transparent conducteur, effectuée par exemple par dépôt physique en phase vapeur (PVD) à 200°C, ou d'une oxydation thermique. Ainsi, il n'est pas nécessaire d'ajouter une étape de traitement thermique supplémentaire, ce qui permet de ne pas augmenter les coûts de production.

[0036] Le traitement thermique n'est pas associé à une étape de génération de porteurs de charge minoritaire. Notamment, le traitement thermique est effectué sans illumination.

[0037] Alternativement, l'étape de traitement thermique E4 peut être spécifique, c'est-à-dire définie spécialement pour favoriser la diffusion de l'hydrogène vers l'interface. Ainsi, il est possible d'optimiser les paramètres opérationnels, notamment la température et la durée du traitement thermique, afin de maximiser l'efficacité de la guérison des défauts.

[0038] L'étape de traitement thermique peut également être une combinaison d'un traitement thermique spécifique et d'un traitement thermique effectué au cours

d'une autre étape du procédé de fabrication impliquant une température comprise entre 100°C et 250°C.

[0039] Un premier exemple de mise en oeuvre du procédé de fabrication d'une cellule photovoltaïque à hétérojonction selon l'invention va maintenant être décrit, en référence aux figures 2A à 2E. Ces figures représentent certaines étapes de fabrication de la cellule photovoltaïque à contacts en face arrière.

[0040] La cellule photovoltaïque à hétérojonction et à contacts en face arrière, communément appelée RCC pour « Rear Contact Cell » en anglais, ou IBC pour « Interdigitated Back Contact » en anglais, comporte une jonction p-n et un ensemble de contacts disposés sur la face arrière de la cellule photovoltaïque, opposée à la face avant de la cellule photovoltaïque, c'est-à-dire la face destinée à recevoir un rayonnement lumineux. Ce type de structure permet d'atteindre des hautes densités de courants grâce à l'absence de contacts sur la face avant.

[0041] Tout d'abord, comme décrit précédemment, on réalise l'étape E2 (Fig.1B) consistant à implanter des ions d'hydrogène à travers la première surface 103 du substrat 101 en silicium cristallin, formant ainsi un réservoir d'hydrogène 104, et l'étape E3 (Fig.1C) de dépôt de la couche de passivation 105 sur la première surface 103 du substrat 101. La première surface 103 du substrat 101 correspond ici à la face arrière du substrat. Dans cet exemple de mise en oeuvre, la couche de passivation 105 est en silicium amorphe hydrogéné a-Si:H dopée selon un premier type de conductivité, ici dopée n.

[0042] La figure 2A illustre une étape E5 d'ablation, encore appelée ouverture ou gravure, de la couche de silicium amorphe 105, au cours de laquelle une partie de la couche de silicium amorphe 105 est éliminée. Cette étape E5 d'ablation, symbolisée par une flèche 108, est par exemple réalisée au moyen d'un laser. L'ablation laser est un procédé agressif produisant une forte chauffe localisée et un bombardement qui causent des dégâts 109 sur la surface 103 du substrat 101, au niveau de la partie de la couche de silicium amorphe 105 supprimée. Une quantité importante d'hydrogène est nécessaire pour réparer les défauts générés au cours de cette étape E5 d'ablation. L'invention est donc particulièrement adaptée à la fabrication de cellules photovoltaïques présentant ce type d'architecture.

[0043] Après l'ouverture de la couche de silicium amorphe 105 dopée n, une couche de silicium amorphe 110 dopée selon un deuxième type de conductivité opposé au premier type de conductivité, dans ce cas dopée p, est déposée, au cours d'une étape E6, sur le substrat 101 et sur la partie de la couche de silicium amorphe 105 restante, tel qu'illustré sur la figure 2B. La couche de silicium amorphe dopée p 110 est également soumise à une étape E5' de gravure, comme illustré sur la figure 2C.

[0044] L'étape de traitement thermique E4 est ensuite réalisée, comme illustré sur la figure 2D, de manière à faire diffuser les ions hydrogène du réservoir 104 vers l'interface 103 (flèches 107), et ainsi passiver les défauts

109 de l'interface 103.

[0045] Le procédé de fabrication de la cellule photovoltaïque à hétérojonction et à contact en face arrière peut également comporter des étapes E7, E8 de dépôt, sur la face arrière, d'un oxyde transparent conducteur 111 (TCO pour « Transparent Conductive Oxide » en anglais) et de contacts métalliques 112, comme illustré sur la figure 2E. Ces étapes sont classiques et ne font pas en propre l'objet de la présente invention. Elles ne seront donc pas ici décrites plus en détail.

[0046] Dans cet exemple de mise en oeuvre, le traitement thermique est effectué avant les étapes E7, E8 de dépôt de l'oxyde transparent conducteur 111 (TCO) et des contacts métalliques 112 car celles-ci sont réalisées par des techniques peu agressives, sans bombardement. Un exemple d'une telle technique est la déposition par couches atomiques, également appelée ALD pour « Atomic Layer Déposition » en anglais.

[0047] Dans un autre exemple de mise en oeuvre, dans lequel l'étape E7 de dépôt de l'oxyde transparent conducteur 111 est effectuée par déposition physique en phase vapeur (PVD), qui est une technique agressive, le traitement thermique est effectué après le dépôt de l'oxyde transparent conducteur 111. Le traitement thermique peut alors être couplé avec le recuit de sérigraphie.

[0048] Un deuxième exemple de mise en oeuvre du procédé de fabrication d'une cellule photovoltaïque à hétérojonction selon l'invention va maintenant être décrit, en référence à la figure 3. Dans cet exemple, l'étape d'implantation ionique d'hydrogène illustré à la figure 1B est effectuée sur les deux faces du substrat 101. L'implantation ionique peut se faire simultanément sur les deux faces du substrat 101, ou une face après l'autre. Un réservoir d'hydrogène 104 est formé de chaque côté du substrat 101.

[0049] Une couche de passivation 105, par exemple en silicium amorphe hydrogéné a-Si:H intrinsèque, est déposée sur chaque face du substrat 101. Alternativement, le silicium amorphe hydrogéné a-Si:H peut être microdopé, à une dose de préférence comprise entre 10^{16} at/cm² et 10^{19} at/cm².

[0050] Une première couche semi-conductrice 120 et une deuxième couche semi-conductrice 121, par exemple en silicium amorphe hydrogéné a-Si:H, respectivement dopées p et n sont déposées de part et d'autre du substrat 101. En l'occurrence, les couches semi-conductrices 120, 121 sont chacune déposées sur l'une des couches de passivation 105.

[0051] La première couche semi-conductrice 120 dopée p, donc de type de conductivité opposé à celui du substrat 101, forme l'émetteur de la cellule photovoltaïque.

[0052] La deuxième couche semi-conductrice 121 dopée n, donc du même type de conductivité que celui du substrat 101, forme une couche de champ répulsif pour les porteurs de charge minoritaires du substrat 101.

[0053] Dans le cas où les couches de passivation 105 sont en silicium amorphe hydrogéné a-Si:H microdopé,

le type de conductivité de chaque couche de passivation 105 est le même que celui de la couche semi-conductrice qui est déposée sur cette couche de passivation 105. Du côté de l'émetteur, le silicium amorphe hydrogéné a-Si:H microdopé est de type p. Du côté du champ répulsif, le silicium amorphe hydrogéné a-Si:H microdopé est de type n.

[0054] Le procédé de fabrication de la cellule photovoltaïque de la figure 3 comporte également une étape de formation de contacts électriques de part et d'autre de la cellule photovoltaïque. Pour ce faire, une couche conductrice électriquement 111 est par exemple déposée sur chaque couche semi-conductrice 120, 121. Les couches conductrices 111 sont de préférence formées d'un oxyde transparent conducteur TCO tel que l'oxyde d'indium et d'étain (ITO pour « Indium Tin Oxide » en anglais). Ensuite, des contacts métalliques 112 sont formés sur les couches conductrices 111 pour collecter le courant photogénéré. Les contacts métalliques 112 se présentent par exemple sous la forme de peignes métalliques.

[0055] Dans cet exemple de mise en oeuvre, le procédé peut comporter une seule étape de traitement thermique, commune à la diffusion de l'hydrogène sur les deux faces du substrat 101, ou alors deux traitements thermiques spécifiques, chacun étant optimisé pour une face du substrat 101.

[0056] Naturellement, l'invention n'est pas limitée aux modes de mise en oeuvre décrits en référence aux figures et des variantes pourraient être envisagées sans sortir du cadre de l'invention.

Revendications

1. Procédé de fabrication d'une cellule photovoltaïque à hétérojonction, le procédé comportant les étapes suivantes :

- (E1) fournir un substrat en silicium cristallin (101) ;
- (E2) planter des ions d'hydrogène en surface du substrat (101), à travers une première face (103) du substrat (101) ;
- (E3) déposer une couche de passivation (105) sur la première face (103) du substrat (101) ;
- (E4) effectuer un traitement thermique à une température inférieure à 250°C de sorte que les ions d'hydrogène implantés dans le substrat (101) diffusent vers l'interface (103) entre le substrat (101) et la couche de passivation (105).

2. Procédé selon la revendication 1 comportant en outre des étapes (E5) de fabrication susceptibles de provoquer une dégradation de l'interface (103) entre le substrat (101) et la couche de passivation (105), le traitement thermique (E4) étant effectué postérieurement à ces étapes (E5).

3. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 2 dans lequel le traitement thermique (E4) est effectué à une température comprise entre 100°C et 220°C. 5
4. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 3 dans lequel le traitement thermique (E4) est effectué pendant une durée comprise entre 1 minute et 30 minutes. 10
5. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 4 dans lequel l'implantation ionique (E2) d'hydrogène est réalisée par immersion dans un plasma.
6. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 5 dans lequel l'implantation ionique (E2) d'hydrogène est effectuée à une énergie inférieure à 1 keV. 15
7. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 6 dans lequel l'implantation ionique (E2) d'hydrogène est réalisée à une dose comprise entre 10^{13} atomes/cm³ et 10^{17} atomes/cm³. 20
8. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 7 dans lequel le traitement thermique est un recuit de sérigraphie, un recuit d'activation de dopants, ou toute étape de dépôt spécifique effectuée à une température comprise entre 100°C et 250°C. 25
30
9. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 8 dans lequel la couche de passivation (105) comprend du silicium amorphe, éventuellement hydrogéné, de l'alumine, un oxyde thermique et/ou un nitrure de silicium de type SiN_xH. 35
10. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 9 dans lequel l'étape d'implantation ionique (E2) d'hydrogène et l'étape de dépôt (E3) d'une couche de passivation (105) sont en outre mises en oeuvre sur une deuxième face du substrat (101) opposée à la première face (103). 40

45

50

55

E1

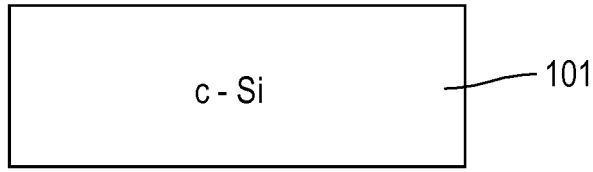


FIG. 1A

E2

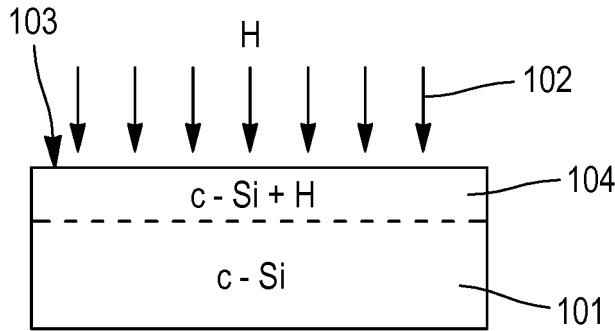


FIG. 1B

E3

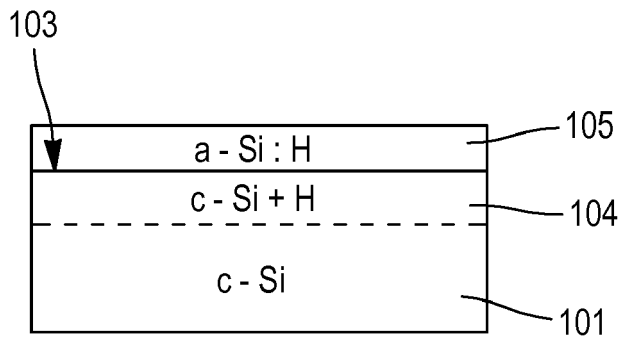


FIG. 1C

E4

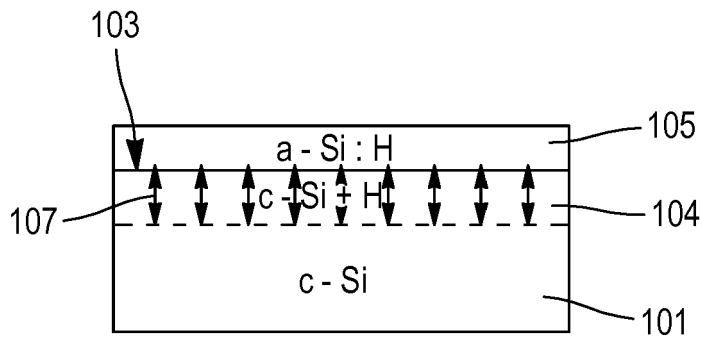


FIG. 1D

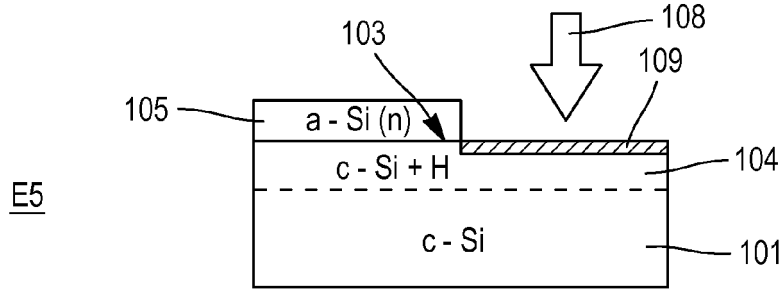


FIG. 2A

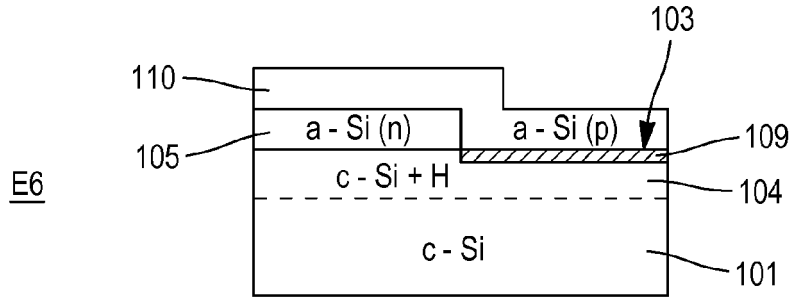


FIG. 2B

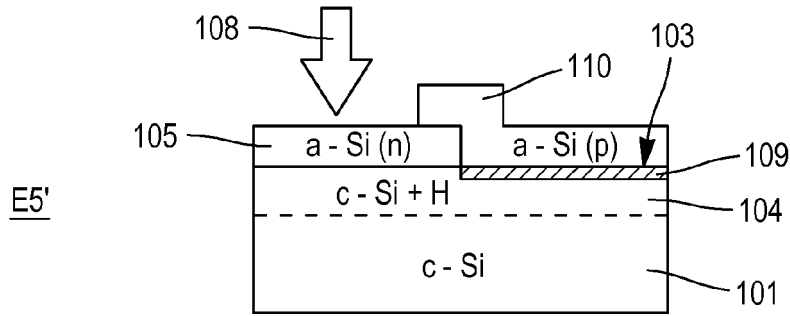


FIG. 2C

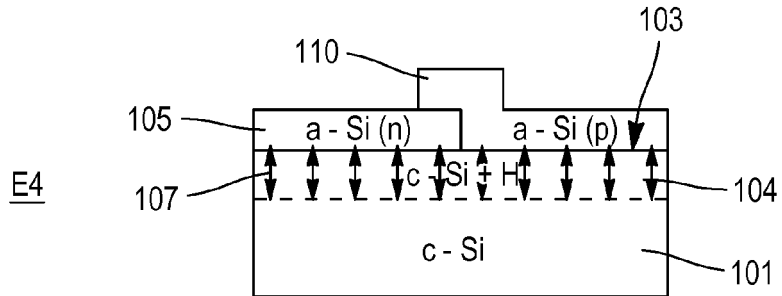


FIG. 2D

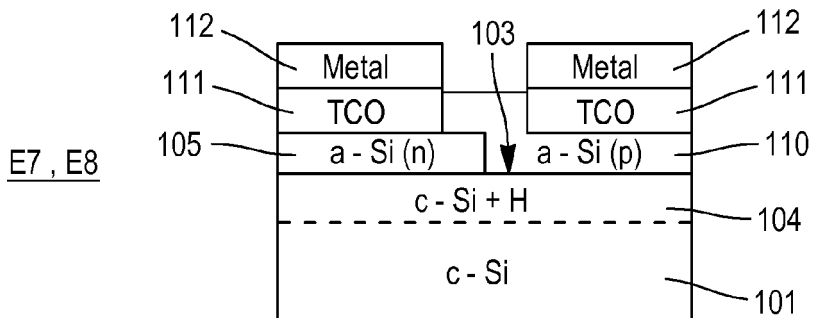


FIG. 2E

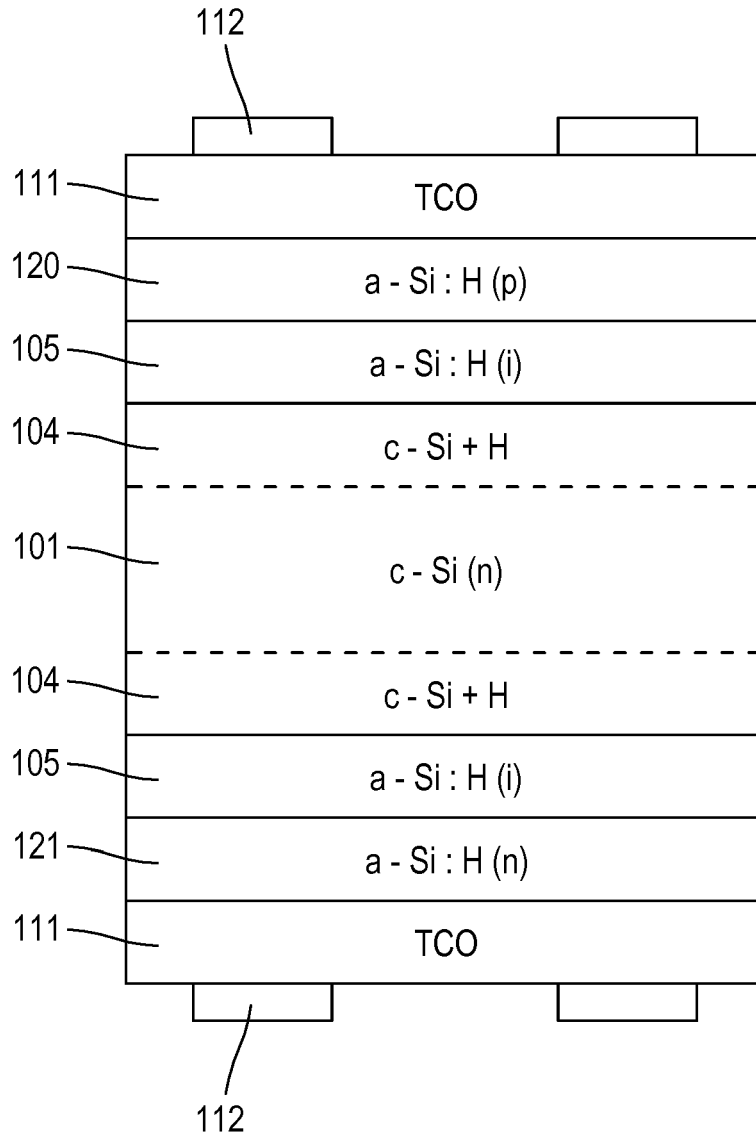


FIG. 3



RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

Numéro de la demande
EP 17 16 9271

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS			
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	Revendication concernée	CLASSEMENT DE LA DEMANDE (IPC)
Y	US 2008/075840 A1 (ENJALBERT NICOLAS [FR] ET AL) 27 mars 2008 (2008-03-27) * abrégé * * alinéas [0005], [0006], [0015], [0033] - [0037] *	1-10	INV. H01L31/0747 H01L31/18
Y	WO 2014/206504 A1 (UNIVERSITÄT KONSTANZ [DE]) 31 décembre 2014 (2014-12-31) * page 27, alinéa 3 *	1-10	
A	EP 2 051 307 A2 (IND TECH RES INST [CN]; UNIV TSINGHUA [TW]) 22 avril 2009 (2009-04-22) * abrégé * * alinéas [0023] - [0026] * * figures 1,2 *	1-10	
A	WO 2015/044070 A1 (FRAUNHOFER GES ZUR FÖRDERUNG DER ANGEWANDTEN FORSCHUNG E V [DE]) 2 avril 2015 (2015-04-02) * abrégé * * page 24, lignes 24-29 * * figures 1-4 *	1-10	DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (IPC) H01L
Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications			
Lieu de la recherche Berlin		Date d'achèvement de la recherche 22 mai 2017	Examineur Ekoué, Adamah
CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire		T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet antérieur, mais publié à la date de dépôt ou après cette date D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant	

EPO FORM 1503 03.02 (P04C02)

ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET EUROPEEN NO.

EP 17 16 9271

5 La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche européenne visé ci-dessus.
Lesdits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du
Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets.

22-05-2017

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
US 2008075840 A1	27-03-2008	EP 1903616 A2	26-03-2008
		FR 2906403 A1	28-03-2008
		JP 5296358 B2	25-09-2013
		JP 2008078662 A	03-04-2008
		US 2008075840 A1	27-03-2008

WO 2014206504 A1	31-12-2014	CN 105340085 A	17-02-2016
		DE 112013005591 A5	22-10-2015
		EP 3014663 A1	04-05-2016
		JP 2016525276 A	22-08-2016
		KR 20160023687 A	03-03-2016
		SG 11201510423Y A	28-01-2016
		US 2016141445 A1	19-05-2016
		WO 2014206504 A1	31-12-2014

EP 2051307 A2	22-04-2009	CN 101414648 A	22-04-2009
		EP 2051307 A2	22-04-2009
		JP 4829211 B2	07-12-2011
		JP 2009099924 A	07-05-2009
		US 2009101202 A1	23-04-2009

WO 2015044070 A1	02-04-2015	DE 102013219561 A1	02-04-2015
		EP 3050124 A1	03-08-2016
		US 2016225938 A1	04-08-2016
		WO 2015044070 A1	02-04-2015

EPO FORM P0460

Pour tout renseignement concernant cette annexe : voir Journal Officiel de l'Office européen des brevets, No.12/82

RÉFÉRENCES CITÉES DANS LA DESCRIPTION

Cette liste de références citées par le demandeur vise uniquement à aider le lecteur et ne fait pas partie du document de brevet européen. Même si le plus grand soin a été accordé à sa conception, des erreurs ou des omissions ne peuvent être exclues et l'OEB décline toute responsabilité à cet égard.

Littérature non-brevet citée dans la description

- **WANG et al.** Improved amorphous/crystalline silicon interface passivation for heterojunction solar cells by low-temperature chemical vapor deposition and post-annealing treatment. *Physical Chemistry Chemical Physics*, 2014, vol. 16, 20202-20208 [0008]