

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

(19) Organisation Mondiale de la  
Propriété Intellectuelle  
Bureau international

(43) Date de la publication internationale  
21 mars 2019 (21.03.2019)



(10) Numéro de publication internationale  
**WO 2019/053368 A1**

(51) Classification internationale des brevets :  
H01L 31/0216 (2014.01) H01L 31/0224 (2006.01)

(21) Numéro de la demande internationale :  
PCT/FR2018/052230

(22) Date de dépôt international :  
12 septembre 2018 (12.09.2018)

(25) Langue de dépôt : français

(26) Langue de publication : français

(30) Données relatives à la priorité :  
1758559 15 septembre 2017 (15.09.2017) FR

(71) Déposant : COMMISSARIAT A L'ENERGIE  
ATOMIQUE ET AUX ENERGIES ALTERNATIVES  
[FR/FR] ; Bâtiment le Ponant D, 25 rue Leblanc, 75015  
PARIS (FR).

(72) Inventeur : CABAL, Raphaël ; 18 rue Jean Girard Ma-  
doux, 73000 CHAMBERY (FR).

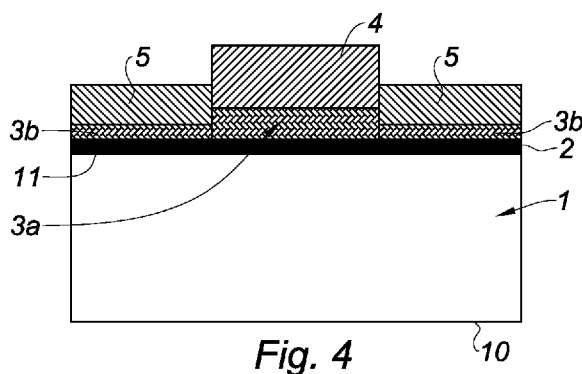
(74) Mandataire : PINOT, Christophe et al. ; GIE INNO-  
VATION COMPETENCE GROUP, 310 avenue Berthelot,  
69372 LYON Cedex 08 (FR).

(81) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de  
protection nationale disponible) : AE, AG, AL, AM, AO,  
AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA,  
CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ,  
EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR,  
HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR,  
KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG,  
MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM,  
PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC,  
SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR,  
TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de  
protection régionale disponible) : ARIPO (BW, GH, GM,  
KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG,  
ZM, ZW), eurasien (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM),  
européen (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES,  
FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK,  
MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI

(54) Title: PROCESS FOR MANUFACTURING A HOMOJUNCTION PHOTOVOLTAIC CELL

(54) Titre : PROCEDE DE FABRICATION D'UNE CELLULE PHOTOVOLTAÏQUE A HOMOJONCTION



(57) Abstract: This process comprises the steps: a) providing a crystalline silicon substrate (1), comprising: - a first surface (10); - a second surface (11), opposite the first surface (10), and covered with at least one tunnel oxide film (2); b) forming a polysilicon layer on the tunnel oxide film (2); c) forming a first antireflection layer (4) on a portion (3a) of the polysilicon layer so that the polysilicon layer has free zones, the first antireflection layer (4) being suitable for providing a barrier to the thermal oxidation of said portion (3a) of the polysilicon layer (3); d) thermally oxidizing the free zones of the polysilicon layer so as to form a second antireflection layer (5) on said free zones.

(57) Abrégé : Ce procédé comporte les étapes : a) prévoir un substrat (1) en silicium cristallin, comprenant : - une première surface (10); - une seconde surface (11), opposée à la première surface (10), et recouverte d'au moins un film d'oxyde tunnel (2); b) former une couche de polysilicium sur le film d'oxyde tunnel (2); c) former une première couche antireflet (4) sur une partie (3a) de la couche de polysilicium de sorte que la couche de polysilicium présente des zones libres, la première couche antireflet (4) étant adaptée pour assurer une barrière à l'oxydation thermique de ladite partie (3a) de la couche de polysilicium (3); d) oxyder thermiquement les zones libres de la couche de polysilicium de manière à former une seconde couche antireflet (5) sur lesdites zones libres.

(BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML,  
MR, NE, SN, TD, TG).

**Publiée:**

— avec rapport de recherche internationale (Art. 21(3))

## PROCEDE DE FABRICATION D'UNE CELLULE PHOTOVOLTAÏQUE A HOMOJONCTION

### Domaine technique

5 L'invention se rapporte au domaine technique des cellules photovoltaïques de silicium à homojonction. Plus précisément, l'invention concerne la fabrication d'une cellule photovoltaïque bifaciale, c'est-à-dire comportant :

- une première surface, destinée à être exposée directement au rayonnement solaire ;
  - une seconde surface opposée, pouvant recevoir indirectement le rayonnement solaire,
- 10 par exemple par rayonnement diffus ou par effet albédo.

L'invention trouve notamment son application dans la fabrication d'une cellule photovoltaïque à homojonction dite « haute température », c'est-à-dire dont les matériaux constitutifs sont compatibles avec l'utilisation de traitements thermiques à des températures supérieures à 300°C.

15

### Etat de la technique antérieure

Une cellule photovoltaïque connue de l'état de la technique, notamment des documents « *Passivated rear contacts for high-efficiency n-type Si solar cells providing high interface passivation quality and excellent transport characteristics* », F. Feldmann et al., Solar Energy Materials & Solar Cells, 20, 120, 270-274, 2014 (ci-après D1), « *n-Type polysilicon passivating contact for industrial bifacial n-type solar cells* », M.K. Stodolny et al., Solar Energy Materials & Solar Cells, 158, 24-28, 2016 (ci-après D2), « *Implementation of n+ and p+ POLO junctions on front and rear side of double-side contacted industrial silicon solar cells* », R. Peibst et al., 32<sup>nd</sup> European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, 2016 (ci-après D3), comporte :

- 25 - un substrat en silicium cristallin, comprenant :
- une première surface (dite face avant), destinée à être exposée à un rayonnement lumineux ;
  - une seconde surface (dite face arrière), opposée à la première surface, et recouverte d'un film d'oxyde (généralement appelé oxyde tunnel) ;
- 30 - une couche de polysilicium dopé, formée sur le film d'oxyde.

La structure définie par l'empilement oxyde tunnel / couche de polysilicium forme une structure de contact passivé, et permet d'améliorer les performances de la cellule photovoltaïque, à savoir augmenter la tension de circuit ouvert ( $V_{oc}$ ) par rapport à une cellule photovoltaïque traditionnelle.

Cependant, comme mentionné dans D2, § 3.3, une telle cellule photovoltaïque de l'état de la technique n'est pas entièrement satisfaisante dans la mesure où son industrialisation nécessite une épaisseur assez importante (supérieure à 60 nm ; D2 mentionne les épaisseurs de 70 nm et 200 nm) de la couche de polysilicium dopé si l'on souhaite s'affranchir d'une  
5 couche d'oxyde transparent conducteur, coûteuse, sur la couche de polysilicium dopé (présente dans D1 et D3). Or, pour une telle épaisseur, l'absorption parasite des photons au sein de la couche de polysilicium possède un impact préjudiciable en augmentant le courant de court-circuit ( $I_{cc}$ ) traversant la cellule photovoltaïque.

## 10 Exposé de l'invention

L'invention vise à remédier en tout ou partie aux inconvénients précités.

Une première solution pourrait consister à :

- a<sub>01</sub>) prévoir un substrat en silicium cristallin, comprenant :
  - une première surface, destinée à être exposée à un rayonnement lumineux ;
  - 15 - une seconde surface, opposée à la première surface, et recouverte d'un film d'oxyde tunnel ;
- b<sub>01</sub>) former une couche de polysilicium sur le film d'oxyde tunnel ;
- c<sub>01</sub>) former une première couche antireflet sur une partie de la couche de polysilicium de sorte que la couche de polysilicium présente des zones libres ;
- 20 d<sub>01</sub>) graver entièrement les zones libres de la couche de polysilicium.

Les zones libres de la couche de polysilicium sont destinées à s'étendre entre les contacts électriques de la cellule photovoltaïque. Une telle première solution, radicale, permettrait de supprimer l'absorption parasite des photons au sein de la couche de polysilicium entre les contacts électriques (épaisseur nulle) grâce à l'étape d<sub>01</sub>). Toutefois, une telle première solution  
25 ne bénéficie plus de la présence d'un contact passivé (c'est-à-dire la structure oxyde tunnel / couche de polysilicium) entre les contacts électriques de la cellule photovoltaïque, ce qui ne permet pas d'augmenter significativement la  $V_{oc}$ .

Une seconde solution pourrait consister à :

- 30 a<sub>02</sub>) prévoir un substrat en silicium cristallin, comprenant :
  - une première surface, destinée à être exposée à un rayonnement lumineux ;
  - une seconde surface, opposée à la première surface, et recouverte d'un film d'oxyde tunnel ;
- b<sub>02</sub>) former une couche de polysilicium sur le film d'oxyde tunnel ;

c<sub>02</sub>) former une première couche antireflet sur une partie de la couche de polysilicium de sorte que la couche de polysilicium présente des zones libres ;

d<sub>02</sub>) graver partiellement les zones libres de la couche de polysilicium.

- Les zones libres de la couche de polysilicium sont destinées à s'étendre entre les contacts
- 5 électriques de la cellule photovoltaïque. Une telle seconde solution permettrait de réduire l'absorption parasite des photons au sein de la couche de polysilicium entre les contacts électriques (épaisseur réduite, non nulle) grâce à l'étape d<sub>02</sub>). Toutefois, une telle seconde solution n'est pas entièrement satisfaisante dans la mesure où l'étape d<sub>02</sub>) de gravure, pouvant être exécutée par plasma ou par voie humide, est susceptible :
- 10 - de ne pas être parfaitement reproductible,
- d'être inhomogène en raison de cinétiques différentes aux joints de grain du polysilicium,
- de causer des dommages de la structure par les espèces chimiques employées.

15 A cet effet, l'invention a pour objet un procédé de fabrication d'une cellule photovoltaïque, comportant les étapes :

- a) prévoir un substrat en silicium cristallin, comprenant :
- une première surface ;
- une seconde surface, opposée à la première surface, et recouverte d'au moins un film
- 20 d'oxyde tunnel ;
- b) former une couche de polysilicium sur le film d'oxyde tunnel ;
- c) former une première couche antireflet sur une partie de la couche de polysilicium de sorte que la couche de polysilicium présente des zones libres, la première couche antireflet étant adaptée pour assurer une barrière à l'oxydation thermique de ladite partie de la couche
- 25 de polysilicium ;
- d) oxyder thermiquement les zones libres de la couche de polysilicium de manière à former une seconde couche antireflet sur lesdites zones libres.

Ainsi, un tel procédé de fabrication selon l'invention permet de réduire localement

30 l'épaisseur de la couche de polysilicium par consommation de matière liée à l'oxydation thermique exécutée lors de l'étape d). Il en résulte une réduction de l'absorption parasite des photons. Il est à noter que la première couche antireflet formée lors de l'étape c) permet d'assurer un rôle de barrière locale à l'oxydation thermique de la partie de la couche de polysilicium qu'elle recouvre.

En outre, l'oxydation thermique exécutée lors de l'étape d) permet de former une seconde couche antireflet. Les première et seconde couches antireflet permettent d'améliorer la passivation de la seconde surface du substrat.

Enfin, l'oxydation thermique est une technique possédant de bonnes qualités de reproductibilité, d'homogénéité et d'innocuité par rapport à une gravure telle qu'une gravure chimique.

### Définitions

- Par «cristallin», on entend la forme multicristalline ou la forme monocristalline du silicium, excluant donc le silicium amorphe.

10 - Par « couche antireflet », on entend une unique couche ou un empilement de sous-couches qui, de par une épaisseur adaptée, permet de réduire les pertes optiques liées aux réflexions du rayonnement lumineux, et par là-même permet d'optimiser l'absorption du rayonnement lumineux par le substrat.

15 - Par « zones libres », on entend des zones de la couche de polysilicium qui ne sont pas recouvertes, et en particulier qui ne sont pas recouvertes par la première couche antireflet. Les zones libres de la couche de polysilicium sont destinées à s'étendre entre les contacts électriques de la cellule photovoltaïque.

20 - Par « au moins un film d'oxyde tunnel », on entend un unique film d'oxyde ou un empilement comportant une pluralité de films d'oxyde tunnel, l'unique film d'oxyde ou l'empilement étant suffisamment fin pour permettre la circulation d'un courant électrique en son sein par effet tunnel.

Le procédé de fabrication selon l'invention peut comporter une ou plusieurs des caractéristiques suivantes.

25

Selon une caractéristique de l'invention, l'étape d) est exécutée à une température strictement inférieure à 850°C, de préférence comprise entre 700°C et 800°C.

Ainsi, un avantage procuré est d'éviter, lorsque la couche de polysilicium est dopée, la diffusion de dopants vers le substrat.

30

Selon une caractéristique de l'invention, la seconde couche antireflet formée à l'issue de l'étape d) est un oxyde thermique de polysilicium présentant une épaisseur comprise entre 40 nm et 100 nm.

Ainsi, un avantage procuré est de pouvoir assurer à la fois une fonction antireflet et une fonction de passivation de la seconde surface du substrat.

Par « épaisseur », on entend la dimension suivant la normale au substrat.

- 5        Selon une caractéristique de l'invention, l'étape d) est exécutée en utilisant de la vapeur d'eau.

Ainsi, un avantage procuré est la formation rapide d'un oxyde thermique, favorable à une industrialisation, par rapport à une oxydation thermique sèche (i.e. en présence de dioxygène).

- 10       Selon une caractéristique de l'invention, la couche de polysilicium formée lors de l'étape b) présente une épaisseur initiale, et la couche de polysilicium sur laquelle est formée la seconde couche antireflet présente une épaisseur strictement inférieure à l'épaisseur initiale à l'issue de l'étape d).

- 15       Ainsi, cela traduit la consommation de matière liée à l'oxydation thermique exécutée lors de l'étape d).

Selon une caractéristique de l'invention, la couche de polysilicium sur laquelle est formée la seconde couche antireflet présente une épaisseur strictement inférieure à 10 nm à l'issue de l'étape d).

- 20       Ainsi, un avantage procuré est la réduction significative de l'absorption parasite des photons au sein de la couche de polysilicium.

Selon une caractéristique de l'invention, l'épaisseur initiale de la couche de polysilicium formée lors de l'étape b) est comprise entre 60 nm et 90 nm.

- 25       Ainsi, un avantage procuré par une telle gamme d'épaisseurs est de pouvoir exécuter l'étape b) avec des techniques industrielles, par exemple par dépôt chimique en phase vapeur telle que LPCVD (« *Low Pressure Chemical Vapor Deposition* » en langue anglaise).

- 30       Selon une caractéristique de l'invention, la partie de la couche de polysilicium sur laquelle est formée la première couche antireflet conserve l'épaisseur initiale à l'issue de l'étape d).

Selon une caractéristique de l'invention, la couche de polysilicium formée lors de l'étape b) est dopée de type p ou de type n avec une concentration de dopants préférentiellement comprise entre  $5.10^{17}$  at.cm<sup>-3</sup> et  $5.10^{20}$  at.cm<sup>-3</sup>.

Ainsi, un avantage procuré est de réduire la densité de porteurs de charge minoritaires à l'interface avec le substrat tout en autorisant une conductance électrique élevée des porteurs de charge majoritaires en vue des futurs contacts électriques.

- 5 Selon une caractéristique de l'invention, la première couche antireflet formée lors de l'étape c) est réalisée dans au moins un matériau sélectionné dans le groupe comportant l'alumine, un nitrure de silicium, un oxyde de titane.

- 10 Selon une caractéristique de l'invention, le film d'oxyde tunnel, recouvrant la seconde surface du substrat prévu lors de l'étape a), présente une épaisseur strictement inférieure à 3 nm.

Ainsi, un avantage procuré est d'autoriser la circulation d'un courant électrique par effet tunnel au sein du film d'oxyde tunnel. Un tel oxyde tunnel permet, en combinaison avec la couche de polysilicium, de former un contact passivé.

15

Selon une caractéristique de l'invention, le substrat prévu lors de l'étape a) et la couche de polysilicium formée lors de l'étape b) sont dopés du même type de conductivité, le substrat présentant préférentiellement une épaisseur strictement inférieure à 250  $\mu\text{m}$ , plus préférentiellement inférieure à 200  $\mu\text{m}$ .

- 20 Ainsi, on autorise la formation de jonctions dites « *high-low* » entre la couche de polysilicium et le substrat, c'est-à-dire des jonctions n<sup>+</sup>/n ou p<sup>+</sup>/p, impliquant un unique type de conductivité.

L'invention a également pour objet une cellule photovoltaïque, comportant :

- 25 - un substrat en silicium cristallin, comprenant :

une première surface ;

une seconde surface, opposée à la première surface, et recouverte d'au moins un film d'oxyde tunnel ;

- une couche de polysilicium, formée sur le film d'oxyde tunnel, et comprenant :

- 30 une première partie présentant une première épaisseur de préférence comprise entre 60 nm et 90 nm ;

une seconde partie, adjacente à la première partie, et présentant une seconde épaisseur strictement inférieure à la première épaisseur, la seconde épaisseur étant de préférence strictement inférieure à 10 nm ;



- une première couche antireflet, formée sur la première partie de la couche de polysilicium, et réalisée dans un premier matériau adapté pour assurer une barrière à l'oxydation thermique du polysilicium ;

- une seconde couche antireflet, formée sur la seconde partie de la couche de polysilicium, et réalisée dans un second matériau différent du premier matériau, le second matériau étant un oxyde thermique de polysilicium.

Ainsi, une telle cellule photovoltaïque selon l'invention permet de limiter la dégradation du courant de court-circuit ( $I_{cc}$ ) la traversant, tout en augmentant la tension de circuit ouvert ( $V_{oc}$ ) par rapport à une cellule photovoltaïque traditionnelle.

10

### Brève description des dessins

D'autres caractéristiques et avantages apparaîtront dans l'exposé détaillé de différents modes de réalisation de l'invention, l'exposé étant assorti d'exemples et de références aux dessins joints.

Figures 1 à 4 sont des vues schématiques en coupe illustrant des étapes d'un procédé selon l'invention.

Les figures ne sont pas représentées à l'échelle pour en simplifier leur compréhension.

### Exposé détaillé des modes de réalisation

Les éléments identiques ou assurant la même fonction porteront les mêmes références pour les différents modes de réalisation, par souci de simplification.

Un objet de l'invention est un procédé de fabrication d'une cellule photovoltaïque, comportant les étapes :

a) prévoir un substrat 1 en silicium cristallin, comprenant :

- une première surface 10 ;

- une seconde surface 11, opposée à la première surface 10, et recouverte d'au moins un film d'oxyde tunnel 2 ;

b) former une couche de polysilicium 3 sur le film d'oxyde tunnel 2 ;

c) former une première couche antireflet 4 sur une partie 3a de la couche de polysilicium 3 de sorte que la couche de polysilicium 3 présente des zones libres ZL, la première couche antireflet 4 étant adaptée pour assurer une barrière à l'oxydation thermique de ladite partie 3a de la couche de polysilicium 3 ;

d) oxyder thermiquement les zones libres ZL de la couche de polysilicium 3 de manière à former une seconde couche antireflet 5 sur lesdites zones libres ZL.

L'étape a) est illustrée à la figure 1. L'étape b) est illustrée à la figure 2. L'étape c) est  
5 illustrée à la figure 3. Enfin, l'étape d) est illustrée à la figure 4.

### Substrat

Le substrat 1 prévu lors de l'étape a) est avantageusement dopé de type n ou de type p. Le substrat 1 prévu lors de l'étape a) et la couche de polysilicium 3 formée lors de l'étape b) sont avantageusement dopés du même type de conductivité. Pour un substrat 1 dopé de type n, le  
10 substrat 1 présente préférentiellement une résistivité comprise entre 1  $\Omega$ .cm et 7  $\Omega$ .cm. Pour un substrat de type p, le substrat 1 présente préférentiellement une résistivité comprise entre 0,5  $\Omega$ .cm et 5  $\Omega$ .cm.

Le substrat 1 présente préférentiellement une épaisseur strictement inférieure à 250  $\mu$ m, plus préférentiellement inférieure à 200  $\mu$ m.

15 Le silicium dans lequel est réalisé le substrat 1 peut être monocristallin ou polycristallin.

Selon un mode de réalisation, la première surface 10 du substrat 1 est avantageusement destinée à être exposée directement à un rayonnement solaire. La première surface 10 du substrat 1 correspond alors à la face avant de la cellule photovoltaïque tandis que la seconde surface 11 du substrat 1 correspond à la face arrière de la cellule photovoltaïque. La seconde  
20 surface 11 du substrat 1 est alors destinée à être exposée indirectement au rayonnement solaire, par rayonnement diffus ou par effet albédo. La couche de polysilicium 3 est donc formée lors de l'étape b) en face arrière de la cellule photovoltaïque.

Selon une alternative, la seconde surface 11 du substrat 1 est destinée à être exposée directement à un rayonnement solaire. La seconde surface 11 du substrat 1 correspond alors à  
25 la face avant de la cellule photovoltaïque tandis que la première surface 10 du substrat 1 correspond à la face arrière de la cellule photovoltaïque. La première surface 10 du substrat 1 est alors destinée à être exposée indirectement au rayonnement solaire, par rayonnement diffus ou par effet albédo. La couche de polysilicium 3 est donc formée lors de l'étape b) en face avant de la cellule photovoltaïque.

### 30 Film d'oxyde

En guise de rappel, par « au moins un film d'oxyde tunnel », on entend un unique film d'oxyde 2 ou un empilement 2 (appelé empilement tunnel) comportant une pluralité de films d'oxyde tunnel, l'unique film d'oxyde 2 ou l'empilement 2 étant suffisamment fin pour permettre la circulation d'un courant électrique en son sein.

Le film d'oxyde tunnel 2 ou l'empilement tunnel 2, recouvrant la seconde surface 11 du substrat 1 prévu lors de l'étape a), présente avantageusement une épaisseur strictement inférieure à 3 nm.

Le film d'oxyde tunnel 2 est avantageusement réalisé dans un oxyde de silicium  $\text{SiO}_x$ ,  $x \leq 2$ .

- 5 Le film d'oxyde tunnel 2 est préférentiellement formé à la seconde surface 11 du substrat 1 par oxydation thermique. Une oxydation chimique à l'ozone ( $\text{O}_3$ ) est également envisageable.

### Couche de polysilicium

- 10 La couche de polysilicium 3 formée lors de l'étape b) présente avantageusement une épaisseur initiale comprise entre 60 nm et 90 nm. La partie 3a de la couche de polysilicium 3 sur laquelle est formée la première couche antireflet 4 conserve l'épaisseur initiale à l'issue de l'étape d) car la première couche antireflet 4 assure une barrière locale à l'oxydation thermique. La couche de polysilicium 3 formée lors de l'étape b) est avantageusement dopée de type p ou de type n avec une concentration de dopants préférentiellement comprise entre  $5 \cdot 10^{17} \text{ at.cm}^{-3}$  et  $5 \cdot 10^{20} \text{ at.cm}^{-3}$ .

- 15 Lorsque la couche de polysilicium 3 est formée lors de l'étape b) en face avant de la cellule photovoltaïque, le substrat 1 prévu lors de l'étape a) et la couche de polysilicium 3 formée lors de l'étape b) sont dopés du même type de conductivité.

- Lorsque la couche de polysilicium 3 est formée lors de l'étape b) en face arrière de la cellule photovoltaïque, le substrat 1 prévu lors de l'étape a) et la couche de polysilicium 3  
20 formée lors de l'étape b) peuvent être :

- dopés du même type de conductivité, ou
- dopés avec des types de conductivité opposés.

- A l'issue de l'étape d), la couche de polysilicium 3b sur laquelle est formée la seconde couche antireflet 5 présente une épaisseur non nulle, strictement inférieure à l'épaisseur  
25 initiale, et avantageusement strictement inférieure à 10 nm.

La couche de polysilicium 3 est avantageusement formée lors de l'étape b) par un dépôt d'une couche de silicium amorphe (e.g. par LPCVD «*Low Pressure Chemical Vapor Deposition*» ou par PECVD «*Plasma-Enhanced Chemical Vapor Deposition*») suivi d'un recuit permettant de cristalliser la couche de silicium amorphe.

### Première couche antireflet

30 En guise de rappel, par « première couche antireflet », on entend une unique couche ou un empilement de sous-couches qui, de par une épaisseur adaptée, permet de réduire les pertes optiques liées aux réflexions du rayonnement solaire, et par là-même permet d'optimiser l'absorption du rayonnement solaire par le substrat 1. L'unique couche formant la

première couche antireflet 4 est réalisée dans un matériau choisi de manière à former une barrière à l'oxydation thermique du polysilicium sous-jacent. De même, l'empilement de sous-couches, formant la première couche antireflet 4, est réalisé dans des matériaux choisis de manière à former une barrière à l'oxydation thermique du polysilicium sous-jacent. Ainsi, le polysilicium disposé sous la première couche antireflet 4 est protégé par la première couche antireflet 4 et ne sera pas oxydé thermiquement pendant l'étape d) destinée à former la seconde couche antireflet 5.

La première couche antireflet 4 formée lors de l'étape c) est avantageusement réalisée dans au moins un matériau sélectionné dans le groupe comportant l'alumine, un nitrure de silicium, un oxyde de titane. Le nitrure de silicium peut comporter de l'oxygène et/ou du carbone. Ainsi, la première couche antireflet 4 peut être une unique couche réalisée à base de  $\text{SiN}_x\text{O}_y\text{C}_z$ , avec  $x>y$  et  $x>z$ , et de préférence avec  $y\neq 0$ . Une telle unique couche présente avantageusement une épaisseur comprise entre 60 nm et 80 nm. Selon une alternative, la première couche antireflet 4 est un empilement comportant une sous-couche réalisée à base de  $\text{SiN}_x\text{O}_y\text{C}_z$ , avec  $x>y$  et  $x>z$ , et de préférence avec  $y\neq 0$ .

A titre d'exemple non limitatif, la première couche antireflet 4 peut être formée par un dépôt chimique en phase vapeur assistée par plasma PECVD («*Plasma-Enhanced Chemical Vapor Deposition* » en langue anglaise).

La première couche antireflet 4 présente avantageusement une épaisseur comprise entre 30 nm et 100 nm.

Comme illustré à la figure 3, la première couche antireflet 4 est déposée directement et localement sur la couche de polysilicium 3 formée lors de l'étape b), de manière à définir des zones libres ZL en surface de la couche de polysilicium 3, c'est-à-dire des zones non recouvertes par la première couche antireflet 4.

## Oxydation thermique

L'étape d) est avantageusement exécutée à une température strictement inférieure à 850°C, de préférence comprise entre 700°C et 800°C. L'étape d) est avantageusement exécutée en utilisant de la vapeur d'eau. On parle alors d'oxydation thermique par voie humide.

L'étape d) est avantageusement exécutée de manière à ne pas consommer entièrement le polysilicium, au niveau des zones libres ZL de la couche de polysilicium 3. En d'autres termes, l'étape d) est avantageusement exécutée de sorte que la couche de polysilicium 3b sur laquelle est formée la seconde couche antireflet 5 présente une épaisseur non nulle à l'issue de l'étape d).

Cette étape d'oxydation thermique a pour effet de former la seconde couche antireflet 5 à l'issue de l'étape d), tout en amincissant, localement et de façon contrôlée, l'épaisseur de la couche de polysilicium 3b sous-jacente.

### Seconde couche antireflet

- 5 La seconde couche antireflet 5 formée à l'issue de l'étape d) est un oxyde thermique de polysilicium présentant avantageusement une épaisseur comprise entre 40 nm et 100 nm. En d'autres termes, la seconde couche antireflet 5 formée à l'issue de l'étape d) est un oxyde de polysilicium obtenu par oxydation thermique, de préférence humide, de la couche de polysilicium 3b sous-jacente.

### 10 Cellule photovoltaïque

Afin d'obtenir une cellule photovoltaïque, le procédé selon l'invention comporte préférentiellement des étapes, non illustrées, consistant à :

- former une zone semi-conductrice à la première surface 10 du substrat 1 ;
- former une couche de passivation sur la zone semi-conductrice ;
- 15 - mettre en contact la zone semi-conductrice avec une électrode ;
- mettre en contact la partie 3a de la couche de polysilicium avec une électrode.

Un objet de l'invention est une cellule photovoltaïque, comportant :

- un substrat 1 en silicium cristallin, comprenant :
  - 20 une première surface 10 ;
  - une seconde surface 11, opposée à la première surface 10, et recouverte d'au moins un film d'oxyde tunnel 2 ;
  - une couche de polysilicium 3, formée sur le film d'oxyde tunnel 2, et comprenant :
    - une première partie 3a présentant une première épaisseur de préférence comprise
    - 25 entre 60 nm et 90 nm ;
    - une seconde partie 3b, adjacente à la première partie 3a, et présentant une seconde épaisseur strictement inférieure à la première épaisseur, la seconde épaisseur étant de préférence strictement inférieure à 10 nm ;
    - une première couche antireflet 4, formée sur la première partie 3a de la couche de
    - 30 polysilicium 3, et réalisée dans un premier matériau adapté pour assurer une barrière à l'oxydation thermique du polysilicium ;
    - une seconde couche antireflet 5, formée sur la seconde partie 3b de la couche de polysilicium 3, et réalisée dans un second matériau différent du premier matériau, le second matériau étant un oxyde thermique de polysilicium.

Une telle cellule photovoltaïque est obtenue à l'issue de l'étape d). La première surface 10 du substrat 1 peut être la face avant ou la face arrière de la cellule photovoltaïque.

L'invention ne se limite pas aux modes de réalisation exposés. L'homme du métier est mis  
5 à même de considérer leurs combinaisons techniquement opérantes, et de leur substituer des équivalents.

## REVENDICATIONS

1. Procédé de fabrication d'une cellule photovoltaïque, comportant les étapes :
- a) prévoir un substrat (1) en silicium cristallin, comprenant :
- 5 - une première surface (10) ;
- une seconde surface (11), opposée à la première surface (10), et recouverte d'au moins un film d'oxyde tunnel (2) ;
- b) former une couche de polysilicium (3) sur le film d'oxyde tunnel (2) ;
- c) former une première couche antireflet (4) sur une partie (3a) de la couche de polysilicium (3) de sorte que la couche de polysilicium (3) présente des zones libres (ZL), la première couche antireflet (4) étant adaptée pour assurer une barrière à l'oxydation thermique de ladite partie (3a) de la couche de polysilicium (3) ;
- 10 d) oxyder thermiquement les zones libres (ZL) de la couche de polysilicium (3) de manière à former une seconde couche antireflet (5) sur lesdites zones libres (ZL).
- 15
2. Procédé selon la revendication 1, dans lequel l'étape d) est exécutée à une température strictement inférieure à 850°C, de préférence comprise entre 700°C et 800°C.
3. Procédé selon la revendication 1 ou 2, dans lequel la seconde couche antireflet (5) formée à l'issue de l'étape d) est un oxyde thermique de polysilicium présentant une épaisseur comprise entre 40 nm et 100 nm.
- 20
4. Procédé selon l'une des revendications 1 à 3, dans lequel l'étape d) est exécutée en utilisant de la vapeur d'eau.
- 25
5. Procédé selon l'une des revendications 1 à 4, dans lequel la couche de polysilicium (3) formée lors de l'étape b) présente une épaisseur initiale, et dans lequel la couche de polysilicium (3b) sur laquelle est formée la seconde couche antireflet (5) présente une épaisseur strictement inférieure à l'épaisseur initiale à l'issue de l'étape d).
- 30
6. Procédé selon la revendication 5, dans lequel la couche de polysilicium (3b) sur laquelle est formée la seconde couche antireflet (5) présente une épaisseur strictement inférieure à 10 nm.

7. Procédé selon la revendication 5 ou 6, dans lequel l'épaisseur initiale de la couche de polysilicium (3) formée lors de l'étape b) est comprise entre 60 nm et 90 nm.

8. Procédé selon l'une des revendications 5 à 7, dans lequel la partie (3a) de la couche de polysilicium (3) sur laquelle est formée la première couche antireflet (4) conserve l'épaisseur initiale à l'issue de l'étape d).

9. Procédé selon l'une des revendications 1 à 8, dans lequel la couche de polysilicium (3) formée lors de l'étape b) est dopée de type p ou de type n avec une concentration de dopants préférentiellement comprise entre  $5.10^{17}$  at.cm<sup>-3</sup> et  $5.10^{20}$  at.cm<sup>-3</sup>.

10. Procédé selon l'une des revendications 1 à 9, dans lequel la première couche antireflet (4) formée lors de l'étape c) est réalisée dans au moins un matériau sélectionné dans le groupe comportant l'alumine, un nitrure de silicium, un oxyde de titane.

15

11. Procédé selon l'une des revendications 1 à 10, dans lequel le film d'oxyde tunnel (2), recouvrant la seconde surface (11) du substrat (1) prévu lors de l'étape a), présente une épaisseur strictement inférieure à 3 nm.

12. Procédé selon l'une des revendications 1 à 11, dans lequel le substrat (1) prévu lors de l'étape a) et la couche de polysilicium (3) formée lors de l'étape b) sont dopés du même type de conductivité, le substrat (1) présentant préférentiellement une épaisseur strictement inférieure à 250 μm, plus préférentiellement inférieure à 200 μm.

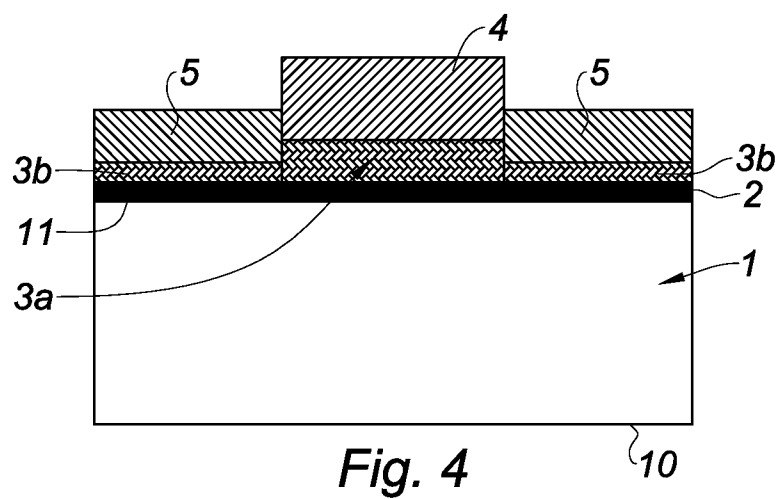
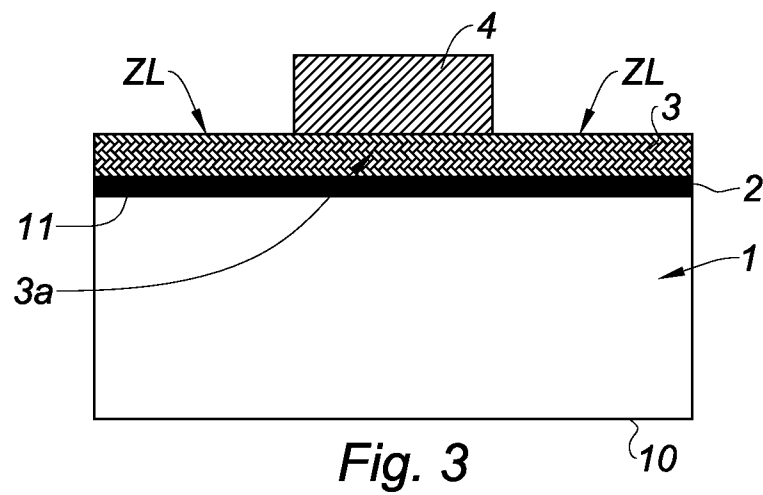
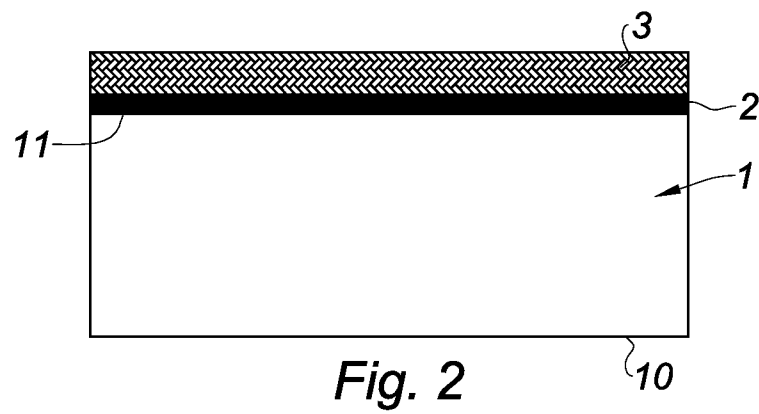
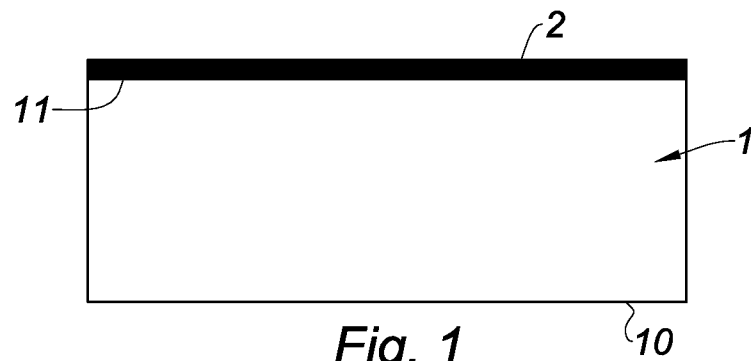
13. Cellule photovoltaïque, comportant :

- un substrat (1) en silicium cristallin, comprenant :
  - une première surface (10) ;
  - une seconde surface (11), opposée à la première surface (10), et recouverte d'au moins un film d'oxyde tunnel (2) ;
- une couche de polysilicium (3), formée sur le film d'oxyde tunnel (2), et comprenant :
  - une première partie (3a) présentant une première épaisseur de préférence comprise entre 60 nm et 90 nm ;
  - une seconde partie (3b), adjacente à la première partie (3a), et présentant une seconde épaisseur strictement inférieure à la première épaisseur, la seconde épaisseur étant de préférence strictement inférieure à 10 nm ;



- une première couche antireflet (4), formée sur la première partie (3a) de la couche de polysilicium (3), et réalisée dans un premier matériau adapté pour assurer une barrière à l'oxydation thermique du polysilicium ;
- une seconde couche antireflet (5), formée sur la seconde partie (3b) de la couche de polysilicium (3), et réalisée dans un second matériau différent du premier matériau, le second matériau étant un oxyde thermique de polysilicium.

1 / 1



## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No  
PCT/FR2018/052230

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER  
INV. H01L31/0216 H01L31/0224  
ADD.

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)  
H01L

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

EPO-Internal, WPI Data

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

| Category* | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages   | Relevant to claim No. |
|-----------|--|-----------------------|
| A         | STODOLNY M K ET AL: "n-Type polysilicon passivating contact for industrial bifacial n-type solar cells", SOLAR ENERGY MATERIALS AND SOLAR CELLS, ELSEVIER SCIENCE PUBLISHERS, AMSTERDAM, NL, vol. 158, 7 July 2016 (2016-07-07), pages 24-28, XP029757045, ISSN: 0927-0248, DOI: 10.1016/J.SOLMAT.2016.06.034 abstract; figure 1 | 1-13                  |
| A         | WO 2011/035090 A1 (TETRASUN INC [US]; TURNER AIDAN BRUCE [US]; SCHULTZ-WITTMANN OLIVER [U] 24 March 2011 (2011-03-24) paragraph [0020]; figures 1A-1C<br>-----<br>-/-  | 1-13                  |



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

\* Special categories of cited documents :

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

19 October 2018

Date of mailing of the international search report

06/11/2018

Name and mailing address of the ISA/

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Rodríguez-Gironés, M

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No

PCT/FR2018/052230

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

| Category* | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages  | Relevant to claim No. |
|-----------|---|-----------------------|
| A         | <p>R PEIBST ET AL: "IMPLEMENTATION OF N + AND P + POLO JUNCTIONS ON FRONT AND REAR SIDE OF DOUBLE-SIDE CONTACTED INDUSTRIAL SILICON SOLAR CELLS",<br/>32TH EUROPEAN PHOTOVOLTAIC SOLAR ENERGY CONFERENCE, PROCEEDINGS OF THE 32TH INTERNATIONAL CONFERENCE,<br/>21 June 2016 (2016-06-21), pages 323-327,<br/>XP055472241,<br/>Sylvensteinstr. 2 81369 Munich, Germany<br/>ISBN: 978-3-936338-41-6<br/>abstract; figure 1<br/>-----</p> | 1-13                  |

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

### Information on patent family members

International application No

PCT/FR2018/052230

| Patent document<br>cited in search report | Publication<br>date | Patent family<br>member(s)           | Publication<br>date      |
|---|---------------------|--------------------------------------|--------------------------|
| WO 2011035090 A1                          | 24-03-2011          | US 2012186649 A1<br>WO 2011035090 A1 | 26-07-2012<br>24-03-2011 |
| -----                                     |                     |                                      |                          |

# RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale n°

PCT/FR2018/052230

|  |   |   |
|--|---|---|
| <b>A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE</b><br>INV. H01L31/0216 H01L31/0224<br>ADD.  |   |   |
| Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB  |   |   |
| <b>B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE</b>   |   |   |
| Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement)<br>H01L  |   |   |
| Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents relèvent des domaines sur lesquels a porté la recherche  |   |   |
| Base de données électronique consultée au cours de la recherche internationale (nom de la base de données, et si cela est réalisable, termes de recherche utilisés)<br>EPO-Internal, WPI Data  |   |   |
| <b>C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS</b>  |   |   |
| Catégorie*   | Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents  | no. des revendications visées   |
| A  | STODOLNY M K ET AL: "n-Type polysilicon passivating contact for industrial bifacial n-type solar cells", SOLAR ENERGY MATERIALS AND SOLAR CELLS, ELSEVIER SCIENCE PUBLISHERS, AMSTERDAM, NL, vol. 158, 7 juillet 2016 (2016-07-07), pages 24-28, XP029757045, ISSN: 0927-0248, DOI: 10.1016/J.SOLMAT.2016.06.034 abrégé; figure 1 | 1-13  |
| A  | -----<br>WO 2011/035090 A1 (TETRASUN INC [US]; TURNER AIDAN BRUCE [US]; SCHULTZ-WITTMANN OLIVER [U] 24 mars 2011 (2011-03-24) alinéa [0020]; figures 1A-1C<br>-----<br><div style="text-align: center;">-/-</div>   | 1-13  |
| <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div> <input checked="" type="checkbox"/> Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents         </div> <div> <input checked="" type="checkbox"/> Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe         </div> </div>  |   |   |
| * Catégories spéciales de documents cités:   |   |   |
| <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> <p>"A" document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent</p> <p>"E" document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date</p> <p>"L" document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée)</p> <p>"O" document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens</p> <p>"P" document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée</p> </div> <div style="width: 45%;"> <p>"T" document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention</p> <p>"X" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément</p> <p>"Y" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier</p> <p>"&amp;" document qui fait partie de la même famille de brevets</p> </div> </div> |   |   |
| Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée  |   | Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale                          |
| 19 octobre 2018  |   | 06/11/2018  |
| Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale<br>Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2<br>NL - 2280 HV Rijswijk<br>Tel. (+31-70) 340-2040,<br>Fax: (+31-70) 340-3016   |   | Fonctionnaire autorisé<br><br><div style="text-align: center;">Rodríguez-Gironés, M</div> |

| C(suite). DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS |  |                               |
|---|--|-------------------------------|
| Catégorie*                                      | Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents   | no. des revendications visées |
| A   | <p>R PEIBST ET AL: "IMPLEMENTATION OF N + AND P + POLO JUNCTIONS ON FRONT AND REAR SIDE OF DOUBLE-SIDE CONTACTED INDUSTRIAL SILICON SOLAR CELLS",<br/>32TH EUROPEAN PHOTOVOLTAIC SOLAR ENERGY CONFERENCE, PROCEEDINGS OF THE 32TH INTERNATIONAL CONFERENCE,<br/>21 juin 2016 (2016-06-21), pages 323-327,<br/>XP055472241,<br/>Sylvensteinstr. 2 81369 Munich, Germany<br/>ISBN: 978-3-936338-41-6<br/>abrégé; figure 1</p> <p>-----</p> | 1-13                          |

### Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

PCT/FR2018/052230

Formulaire PCT/ISA/210 (annexe familles de brevets) (avril 2005)