

Cellule solaire à base de silicium dopé de type N

5 Domaine technique de l'invention

L'invention est relative à une cellule solaire munie d'une zone en silicium dopée de type N formant une jonction PN avec une zone en silicium dopée de type P.

10

État de la technique

Dans le domaine des dispositifs photovoltaïques, il y a communément une
15 jonction de type PN qui est formée dans un matériau semi-conducteur et qui est polarisée. Une partie des photons captés par le matériau semi-conducteur est transformée en des paires électron-trou ce qui induit un courant électrique à l'intérieur du dispositif photovoltaïque.

20 Un travail important est réalisé afin d'augmenter le rendement de conversion des dispositifs photovoltaïques, c'est-à-dire afin d'augmenter la quantité d'énergie électrique produite pour une quantité donnée d'énergie lumineuse incidente. Cependant, les améliorations obtenues doivent également être facilement intégrables et avec un coût d'intégration modéré de manière à
25 limiter le prix final du dispositif photovoltaïque.

Objet de l'invention

On constate qu'il existe un besoin de prévoir des dispositifs photovoltaïques qui soient plus performants tout en conservant une réalisation simple et bon marché.

5 On tend à atteindre cet objectif au moyen d'un dispositif photovoltaïque qui comporte :

- Une première zone semiconductrice à base de silicium dopé de type N,
 - une deuxième zone semiconductrice à base de silicium dopé de type P et configurée pour former une jonction PN ou PIN avec la première zone
- 10 semiconductrice,

et dans lequel la première zone semiconductrice comporte une concentration en impuretés dopantes de type P qui est au moins égale à 20% de la concentration en impuretés dopantes de type N.

15

Description sommaire des dessins

D'autres avantages et caractéristiques ressortiront plus clairement de la description qui va suivre de modes particuliers de réalisation de l'invention

20 donnés à titre d'exemples non limitatifs et représentés aux dessins annexés, dans lesquels les figures 1 et 2 représentent en coupe, de manière schématique deux dispositifs photovoltaïques.

25

Description de modes préférentiels de réalisation

Comme cela est illustré aux figures 1 et 2, la cellule photovoltaïque 1 est réalisée à base de silicium, c'est-à-dire quelle comporte au moins 50% de silicium dans ces zones semiconductrices. De manière encore plus

30 préférentielle, elle comporte au moins une première zone semiconductrice 2 également appelée substrat. Cette première zone semiconductrice 2 est à

base de silicium et elle est dopée de type N. Le dopage de type N peut être obtenu par l'apport d'une ou plusieurs impuretés dopantes électriquement. Ces impuretés dopantes de type N sont avantageusement choisies parmi P, As, Sb, Li.

5

La cellule photovoltaïque 1 comporte également une deuxième zone semiconductrice 3 à base de silicium. Cette deuxième zone semiconductrice 3 est dopée de type P et elle est agencée de manière à former une jonction PN ou une jonction PIN avec la première zone semiconductrice 2 de type N.

10

La deuxième zone semiconductrice 3 de type P est dopée avec des impuretés dopantes électriquement avantageusement choisies parmi B, Ga, In, Al, Ti. Dans un mode de réalisation particulièrement avantageux, la première zone semiconductrice a une épaisseur au moins égale à 1micromètre ou elle représente la plus grande partie du volume semi-conducteur de la cellule solaire.

15

De manière avantageuse, la deuxième zone semiconductrice 3 de type P est dépourvue d'atomes de bore, c'est-à-dire que la concentration en bore est inférieure à 10ppba. Dans une variante de réalisation, la concentration en

20 atomes de bore est inférieure à 0,2ppma. Cette faible concentration en bore permet de limiter les effets de dégradation de la durée de vie sous éclaircissement.

20

Dans un mode de réalisation particulier, la première zone semiconductrice 2 de type N a une épaisseur beaucoup plus importante que la deuxième zone semiconductrice 3 de type P. En comparaison d'une cellule solaire ayant une première zone semiconductrice 2 de type P, l'utilisation d'une première zone semiconductrice 2 de type N permet de réduire l'impact électrique des défauts cristallins et des impuretés métalliques également appelés

25 contaminants métalliques tel que par exemple le fer. Il semble que cette

25

30

amélioration des caractéristiques électrique peut s'expliquer par la plus faible section de capture efficace pour les trous d'électrons que pour les électrons.

De manière préférentielle, le dispositif photovoltaïque 1 est agencé de manière à ce que le rayonnement à capter pénètre par la deuxième zone semiconductrice 3. Cependant, il est également possible de faire rentrer le rayonnement incident par la face opposée. De manière particulièrement avantageuse, la majeure partie du dispositif photovoltaïque 1 électriquement actif est formée par un matériau dopé de type N ce qui limite l'importance des phénomènes parasites de dégradation sous éclairement et de dégradation de propriété électrique liée aux impuretés métalliques. Dans un mode de réalisation particulier, un substrat initial de type N est fourni puis dopé pour former une zone de type P et la jonction PN associée. Afin de faciliter la formation de la cellule solaire, la zone de type P est moins étendue que la zone de type N dans le substrat initial.

Dans un mode de réalisation particulièrement avantageux, la première zone semiconductrice 2 majoritairement de type N est également dopée avec des impuretés dopantes de type P qui sont préférentiellement choisies parmi Ga, Al, In, Ti. La première zone semiconductrice 2 est codopée c'est-à-dire qu'elle comporte des impuretés dopantes de type P et de type N dans des proportions semblables.

Dans la première zone semiconductrice 2, la concentration en impuretés dopantes de type P est au moins égale à 20% de la concentration en impuretés dopantes de type N. Les inventeurs ont découvert que ce mode de réalisation permet une diminution de la diffusivité des porteurs minoritaires qui permet de limiter les recombinaisons de porteurs minoritaires. Cet effet se traduit par une augmentation considérable de la durée de vie des porteurs dans le dispositif photovoltaïque ce qui permet d'accroître le rendement de conversion du dispositif. La cellule photovoltaïque formée au moyen de ce

substrat semi-conducteur présente une tension entre les deux faces opposées qui est augmentée en comparaison d'une cellule selon l'art antérieur.

- 5 A titre d'exemple, lorsque la jonction PN est disposée à proximité de la face avant du substrat, le codopage de la première zone semiconductrice 2 permet de limiter la recombinaison des porteurs minoritaires en face arrière.

- 10 L'utilisation d'une première zone semiconductrice 2 codopée, c'est-à-dire présentant simultanément des dopants électriques de type P et de type N dans des proportions sensiblement équivalentes est particulièrement avantageuse car elle permet d'accroître le rendement de conversion de la cellule à faible coût.

- 15 De manière avantageuse, la partie codopée de la première zone semiconductrice 2 s'étend depuis l'interface entre les première et deuxième zones semiconductrices (la jonction PN) jusqu'à la face opposée de la première zone semiconductrice 2 où se situent des prises de contact. Les prises de contact peuvent être réalisées par un ou plusieurs plots métalliques
20 ou par une couche électriquement conductrice. Les prises de contact sont destinées à sortir du courant électrique à partir du dispositif photovoltaïque. A titre d'exemple, les contacts peuvent être disposés en face avant et en face arrière.

- 25 De manière préférentielle, la deuxième zone semiconductrice 3 est dépourvue d'atomes de bore ou la concentration en atomes de bore est inférieure à 0,02 ppma. Cette particularité permet d'accroître encore plus le rendement du dispositif photovoltaïque.

- 30 Dans un mode de réalisation particulier, la première zone semiconductrice 2 de type N comporte également des portions dopées 4 et plus

particulièrement des portions plus fortement dopées qui débouchent sur la face arrière du substrat de manière à faciliter le contact électrique du dispositif électrique par la face arrière. Les portions dopées 4 ont une concentration en impuretés dopantes de type P qui est inférieure à 20% de la concentration en impuretés dopantes de type N. De cette manière, il y a à la surface du matériau semi-conducteur des premières portions qui ont une concentration en impuretés dopantes de type P qui est au moins égale à 20% de la concentration en impuretés dopantes de type N et des deuxièmes portions qui ont une concentration en impuretés dopantes de type P qui est inférieure à 20% de la concentration en impuretés dopantes de type N. Il y a donc deux types de portions avec des valeurs de résistivité différentes qui débouchent sur la surface du matériau semi-conducteur. De manière avantageuse, la concentration en dopants de type P est identique dans les deux portions adjacentes de type N. Il est avantageux de réaliser la prise de contact électrique dans les deuxièmes portions 4 car la résistivité est diminuée.

Dans un autre mode de réalisation, la première zone semiconductrice 2 de type N comporte une seule portion dopée 4 qui recouvre toute une surface principale du substrat. La surface opposée de la première portion forme la jonction PN. Dans cette configuration, la structure peut être représentée de la manière suivante P/N/N+.

La portion dopée 4 représente une faible épaisseur de la cellule de sorte que si la proportion en dopants de type P est inférieure à ce qui existe dans la première zone semiconductrice, l'influence est négligeable. Généralement, la portion dopée 4 a une épaisseur inférieure ou égale à 1 micron.

A titre d'exemple, pour une cellule solaire dont la première zone semiconductrice 2 est dopée de type N, quasi exclusivement par du phosphore à une concentration égale à 0,1ppm, il est avantageux d'avoir un

dopage de type opposé par exemple par du gallium à une concentration au moins égale à 0,02ppma. Cette cellule solaire présente une augmentation de la durée de vie des porteurs minoritaires qui permet un rendement amélioré en comparaison d'une cellule solaire sans dopage de type P de la première zone semiconductrice 2.

Cette cellule photovoltaïque particulière présente de bons résultats pour des niveaux de dopages différents, notamment dans la gamme 0,001-0,01ppma de phosphore ce qui correspond à une cellule photovoltaïque très faiblement dopée. Des bons résultats ont également été obtenus pour une cellule photovoltaïque ayant une concentration en phosphore comprise entre 0,01ppma et 0,1ppma, ce qui correspond à une cellule photovoltaïque moyennement dopée.

Des résultats équivalents ont été obtenus pour des cellules photovoltaïques fortement dopées, c'est-à-dire pour une cellule ayant une concentration en phosphore comprise entre 0,1 et 1ppma. De manière surprenante, une cellule photovoltaïque très fortement dopée a également montré de très bons résultats lorsque la concentration en phosphore dans la première zone semiconductrice est comprise entre 1 et 10ppma.

Les résultats précédents sont illustrés pour un dopage au phosphore, mais ils peuvent être étendus pour tout autre dopant électronique de type N et pour une combinaison de ces derniers. Il en résulte que cette cellule photovoltaïque particulière peut être mise en œuvre avec du silicium de grade électronique, de grade solaire voire de grade métallurgique purifié. Il devient possible à faible coût d'améliorer le rendement de conversion de la cellule.

Alors qu'il est couramment admis que la durée de vie des porteurs minoritaires diminue au fur et à mesure que la concentration en impuretés

électriquement actives augmente, il a été découvert une manière de conserver une durée de vie des porteurs acceptable dans un dispositif photovoltaïque même lorsque la cellule photovoltaïque contient une forte concentration totale en impuretés dopantes.

5

La première zone semiconductrice 2 peut être monocristalline ou multicristalline. La deuxième zone semiconductrice 3 peut être également monocristalline ou multicristalline. De manière avantageuse, les deux zones semi-conductrices présentent la même cristallinité. Il est également envisageable d'avoir une des deux zones semi-conductrices à l'état amorphe de manière à former une cellule photovoltaïque à hétérojonction.

10

Il est avantageux de former une deuxième zone semiconductrice 3 de type P dont la concentration en dopants de type N est inférieure à 10% de la concentration en dopants de type P.

15

Là encore, il est avantageux de former une ou plusieurs zones surdopées 5 qui débouchent à la surface de la couche 3 afin de faciliter la prise de contact électrique (figure 1). La zone dopée 5 est de même type de conductivité que la deuxième couche semiconductrice 3, c'est-à-dire que la zone dopée 5 est de type P et avec une résistivité moindre que le reste de la deuxième couche semiconductrice 3. Selon les modes de réalisation utilisés, la zone dopée peut recouvrir toute une face du substrat ou former une ou plusieurs zones.

20

Dans un mode de réalisation particulièrement avantageux, les première et deuxième zones semi-conductrices sont formées dans un même bloc de matériau semi-conducteur afin limiter les interfaces qui réduisent les performances électriques globales du dispositif dans une direction perpendiculaire au champ électrique appliqué. De manière encore plus avantageuse, ce bloc de matériau semi-conducteur est codopé et il est initialement de type N, c'est-à-dire qu'il comporte sur toute son épaisseur un

25

30

dopage majoritaire de type N et un dopage minoritaire de type P, la concentration en dopants de type P étant comprise entre 20% et 100% de la concentration en dopants de type N.

- 5 Une des faces du bloc est ensuite dopée de manière à former la jonction PN, la deuxième zone semiconductrice 3 et la première zone semiconductrice 2. De cette manière, la concentration en impuretés dopantes de type P est identique dans les premières et deuxième portions ce qui rend plus facile la maîtrise du champ électrique induit dans le dispositif photovoltaïque.

10

La cellule photovoltaïque comporte une pluralité de plots formés sur une des faces du substrat ou sur les deux faces opposées du substrat et configurés pour connecter la cellule avec l'extérieur.

15

Revendications

1. Dispositif photovoltaïque comportant :

- 5 - une première zone semiconductrice (2) de type N à base de silicium dopé,
 - une deuxième zone semiconductrice (3) de type P à base de silicium dopé et configurée pour former une jonction PN ou PIN avec la première zone semiconductrice (2),

10 dispositif caractérisé en ce que la première zone semiconductrice (2) comporte une concentration en impuretés dopantes de type P qui est au moins égale à 20% de la concentration en impuretés dopantes de type N.

15 2. Dispositif selon la revendication 1, caractérisé en ce que la première zone semiconductrice (2) de type N est dopée par au moins une première impureté dopante choisie parmi Ga, In, Al, Ti, la première zone semiconductrice (2) de type N étant dépourvue de bore.

20 3. Dispositif selon l'une des revendications 1 et 2, caractérisé en ce que la première zone semiconductrice (2) de type N est dopée par au moins une deuxième impureté dopante choisie parmi P, As, Sb, Li.

25 4. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, caractérisé en ce qu'il comporte un élément monobloc semi-conducteur à l'intérieur duquel sont formés la première zone semiconductrice (2) de type N et la deuxième zone semiconductrice (3) de type P.

30 5. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, caractérisé en ce que la première zone semiconductrice (2) de type N comporte une ou plusieurs premières portions (2) débouchant sur une surface et ayant une concentration en impuretés dopantes de type P est au moins égale à 20% de

la concentration en impuretés dopantes de type N et une ou plusieurs deuxièmes portions (4) dopées débouchant sur ladite surface et ayant une concentration en impuretés dopantes de type P inférieure à 20% de la concentration en impuretés dopantes de type N.

5

6. Dispositif selon la revendication 5, caractérisé en ce que la concentration en impuretés dopantes de type P est identique dans les premières et deuxième portions (2, 4).

10