

A1

**DEMANDE
DE BREVET D'INVENTION**

(21)

N° 80 09087

(54)

Dispositif photovoltaïque et procédé de fabrication.

(51)

Classification internationale (Int. Cl.³). H 01 L 31/06, 31/18.

(22)

Date de dépôt..... 23 avril 1980.

(33) (32) (31)

Priorité revendiquée : *EUA, 23 avril 1980, n° 32.117.*

(41)

Date de la mise à la disposition du
public de la demande..... B.O.P.I. — « Listes » n° 44 du 30-10-1981.

(71)

Déposant : GENERAL ELECTRIC CO., résidant aux EUA.

(72)

Invention de : Robert Noel Hall.

(73)

Titulaire : *Idem* (71)

(74)

Mandataire : Alain Catherine, Getsco,
42, av. Montaigne, 75008 Paris.

L'invention concerne, d'une manière générale, les dispositifs photovoltaïques à semiconducteur communément appelés piles solaires et les procédés mis en oeuvre pour les fabriquer.

5 Dans une réalisation destinée à illustrer l'invention, on réalise un corps de matériau semiconducteur monocristallin à symétrie cubique dont la conductivité est d'un premier type, ce corps a deux surfaces principales opposées parallèles, dont
10 chacune est parallèle à un plan cristallographique (100) du corps. On réalise dans le corps une série d'évidements, dont chacun, partant d'une première des surfaces principales, pénètre d'une distance uniforme dans le corps. Les flancs de chacun des évidements constituent des pyramides quadrangulaires dont les bases sont coplanaires avec la première surface
15 principale. Chacun des flancs des évidements est parallèle à un plan (111) du corps. On réalise dans le corps, une première région mince dont la conductivité est de type opposé au premier, cette région étant contiguë à la seconde surface principale du corps. On réalise dans le corps une seconde région
20 mince dont la conductivité est de type opposé au premier, cette région étant contiguë à la première surface principale du corps. On réalise dans le corps une série de troisièmes régions minces dont la conductivité est de type opposé au premier, chacune de ces régions étant contiguë aux flancs d'un
25 des évidements. Chacune des troisièmes régions minces est en contact avec les premières et secondes régions minces. On réalise une première couche conductrice (première électrode), reliée aux secondes et troisièmes régions minces qui ont une conductivité de type opposé au premier. On réalise une seconde
30 couche conductrice (seconde électrode) reliée à la région du corps dont la conductivité est du premier type, cette couche recouvrant une partie de la première surface principale.

La description qui va suivre se réfère aux figures annexées, qui représentent respectivement :

35 - figure 1, une vue en plan d'un dispositif photovoltaïque à semiconducteur correspondant à une réalisation de la présente invention ; cette vue représente la surface arrière du dispositif, c'est-à-dire celle où se trouve l'interconnexion

o

de ses électrodes ;

- figure 2, une vue en coupe du dispositif de la figure 1 faite le long des lignes 2-2 ; cette vue représente la structure interne du dispositif ;

5 - figure 3, une vue en plan et de dessous du dispositif de la figure 1 ; cette vue représente la surface avant du dispositif, c'est-à-dire qui reçoit le rayonnement ;

 - figure 4, un tableau de marche d'un procédé de fabrication du dispositif des figures 1 à 3 suivant la présente invention ;

10 - figures 5a à 5d, des représentations schématiques de coupes verticales à travers un corps de matériau du semi-conducteur (silicium monocristallin) au cours de la fabrication du dispositif à semi-conducteur suivant le procédé indiqué dans le

15 tableau de marche de la figure 4 ;

 - figure 6, une vue en plan et de dessus d'un dispositif photovoltaïque à semi-conducteur correspondant à une autre réalisation de la présente invention ; cette vue représente la surface arrière du dispositif, c'est-à-dire la sur-

20 face où se trouve l'interconnexion de ses électrodes ;

 - figure 7, une vue en coupe du dispositif de la figure 6 faite le long des lignes 7-7 ; cette vue représente la structure interne du dispositif ;

25 - figure 8, une vue en plan et de dessous du dispositif de la figure 6 ; cette vue représente la surface avant du dispositif, c'est-à-dire celle qui reçoit le rayonnement ;

 - figure 9, un tableau de marche du procédé de fabrication du dispositif des figures 6 à 8 suivant la présente invention ; et

30 - figures 10a à 10d, des représentations schématiques de coupes verticales à travers un corps de matériau semi-conducteur (silicium monocristallin) au cours de la fabrication du dispositif à semi-conducteur suivant le procédé indiqué dans le tableau de marche de la figure 9.

35 Les figures 1, 2 et 3 représentent un dispositif photovoltaïque 10 à semi-conducteur mettant en oeuvre la présente invention. Ce dispositif comporte un corps ou plaquette 11 de matériau semi-conducteur (silicium monocristallin) dont la

conductivité est de type p, dont la résistivité est par exemple 0,3 ohm.cm. La plaquette 11 a deux surfaces principales parallèles opposées 12 et 13, dont chacune est parallèle à un plan cristallographique (100) de la plaquette. La plaquette 5 11 comporte une série d'évidements 15 dont chacun va de la surface principale (surface arrière) 12 à la surface principale opposée (surface avant) 13. Chacun des évidements a quatre flancs 16 de profil identique qui constituent les faces d'une pyramide quadrangulaire tronquée. La base de la pyramide 10 est coplanaire avec la surface arrière 12, et la surface tronquée de la pyramide est coplanaire avec la surface avant 13. Ainsi, chacun des évidements 15 a une grande ouverture dans le plan de la surface arrière 12 et une petite ouverture dans le plan de la surface avant 13. Une première région mince 21 15 de conductivité de type n a été formée au voisinage immédiat de la surface avant 13 de la plaquette. Une seconde région mince 22 de conductivité de type n a été formée dans la plaquette au voisinage immédiat de la surface arrière 12. Une série de troisièmes régions minces 23 de conductivité de 20 type n ont été formées chacune au voisinage immédiat des flancs 16 des évidements 15. Chacune des troisièmes régions minces 23 est en contact à la fois avec la première région mince 21 et avec la seconde région mince 22.

La plaquette 11 du semi-conducteur (silicium) de 25 type p peut être dopée avec du bore et avoir une concentration d'activateur égale à environ 10^{17} atomes par centimètre cube, ce qui lui donne une résistivité d'environ 0,3 ohm.cm. La première, la seconde et les troisièmes régions minces respectivement 21, 22 et 23, de conductivité de type n, peuvent avoir 30 en surface une concentration globale d'activateur égale à environ 10^{20} atomes de phosphore par centimètre cube, ce qui lui donne une résistivité d'environ 0,001 ohm.cm. L'épaisseur de la première région mince 21 est de préférence inférieure à un micron pour qu'une partie importante du rayonnement incident 35 puisse pénétrer au-delà de la jonction p-n formée au voisinage immédiat de la surface avant 13 et être absorbée dans la plaquette 11. La résistance série du dispositif 10 dépend de la résistivité de la première région mince 21 et de son épaisseur,

ainsi que de la taille des extrémités tronquées des pyramides et de leur écartement. Pour abaisser la résistance série, il est souhaitable de diminuer la résistivité et d'augmenter l'épaisseur de cette région mince. Mais ces opérations y augmentent l'absorption du rayonnement et y réduisent aussi la durée de vie des porteurs minoritaires ; elles ont donc pour conséquence une réduction du rendement de la transformation du rayonnement incident en électricité. On choisit la résistivité de la première région mince 21 en tenant compte de ces faits, conformément à la technologie éprouvée des piles solaires. La seconde et les troisièmes régions minces de conductivité de type n sont de préférence nettement plus épaisses (leur épaisseur est par exemple de l'ordre de 2 à 10 microns) afin d'être peu résistantes et d'avoir une épaisseur suffisante pour pouvoir y lier des films ou des couches métalliques sans détruire la bonne qualité des jonctions p-n qu'elles forment avec la plaquette 11 de conductivité de type p.

Les évidements 15 représentés sont disposés suivant un motif régulier consistant en groupes d'évidements. Dans le plan de la surface arrière 12, les évidements se présentent sous forme de carrés. Chaque groupe de carrés se compose de trois colonnes et de plusieurs rangées. Sur la figure, les carrés d'une rangée sont équidistants ; il en est de même des carrés d'une colonne. Dans cet exemple, l'écartement des carrés d'une rangée, ainsi que l'écartement des carrés d'une colonne, est égal à la longueur d'un côté d'un carré, mais cette égalité n'est pas fondamentale. La distance entre les colonnes adjacentes des groupes successifs de carrés est égale à trois fois la longueur du côté d'un carré. On donne le nom de "rue" à une zone 31 de la surface arrière 12 orientée comme une colonne et ne comprenant pas la seconde région mince 22 de conductivité de type n. Par ailleurs, on donne le nom d'"avenue" à une zone 33 de la bande de la surface arrière 12 orientée comme une rangée à une certaine distance au-dessus de la première rangée de carrés et ne comprenant pas la seconde région mince de conductivité de type n. Ces "rues" et des "avenues" ont une conductivité de type p et permettent la réalisation de connexions ohmiques ou à faible

impédance avec la plaquette 11 pour constituer une des électrodes conductrices de courant du dispositif. On voit sur les figures 1 et 2 que des doigts conducteurs 32, orientés comme les colonnes, sont liés aux "rues" 31. Les doigts conducteurs 32 s'associent au conducteur commun 34 lié à "l'avenue" 33 de la surface arrière 12 pour constituer la seconde électrode du dispositif. La première électrode 35 du dispositif est fournie par une couche conductrice 35 liée à la seconde et aux troisièmes régions à conductivité de type n.

10 La couche conductrice 35 consiste en larges conducteurs en forme de doigt, orientés comme les colonnes, qui recouvrent chacun un groupe d'évidements et lui sont liés. Les larges conducteurs en forme de doigt sont interconnectés sur leur côté le plus éloigné du conducteur commun 34.

15 On fera en sorte que la plaquette 11 de semi-conducteur ne soit pas si mince qu'il soit difficile de la manipuler en cours de fabrication, ni qu'elle soit si épaisse que les porteurs produits par le rayonnement incident se recombinent dans la plaquette avant d'être collectés par une jonction p-n

20 contiguë. Une bonne épaisseur est 0,25 mm. En opérant avec le procédé d'attaque sélective ici décrit pour obtenir les évidements 15, cette dimension de départ donnera des évidements dont l'ouverture carrée aura environ 0,38 mm de côté, avec la structure représentée sur les figures 1, 2 et 3. On donne au

25 côté d'une ouverture carrée une dimension légèrement supérieure au produit de l'épaisseur de la plaquette par $\sqrt{2}$.

On se reportera maintenant aux figures 4 et 5a à 5d, qui représentent un mode de fabrication des dispositifs des figures 1 à 3 suivant un autre aspect de la présente invention, pour obtenir une pile solaire composée d'une plaquette

30 de conductivité de type p. Dans un lingot de conductivité de type p, on découpe un morceau de silicium monocristallin pour avoir une plaquette 11 ayant deux surfaces principales parallèles opposées, chacune parallèle à un plan cristallographique (100) de la plaquette. Le lingot de conductivité de type

35 p a été dopé au moyen d'un agent de dopage approprié (tel que le bore) pour conférer à la plaquette une résistivité convenable (par exemple 0,3 ohm.cm). On attaque les surfaces

principales de la plaquette pour avoir une plaquette épaisse d'environ 0,25 mm et possédant deux surfaces planes et lisses 12 et 13. Après un nettoyage standard, on oxyde la plaquette à la vapeur en choisissant un temps et une température qui

5 donnent une couche mince 41 de dioxyde de silicium épaisse d'environ 1 micron sur chacune des surfaces principales 12 et 13 de la plaquette. On traite la couche 41 de dioxyde de silicium recouvrant la surface arrière 12 de la plaquette par des techniques classiques (masquage photorésistant et attaque

10 chimique) pour réaliser dans cette couche des ouvertures carrées qui mettent à nu la surface arrière 12. Les ouvertures carrées sont disposées en groupes comprenant chacun trois colonnes et plusieurs rangées. La distance entre les carrés d'une rangée est égale à la longueur du côté d'un carré, et de

15 même, la distance entre les carrés d'une colonne est égale à la longueur du côté d'un carré. L'axe d'une colonne de carrés et l'axe d'une rangée de carrés sont tous deux parallèles à une direction cristallographique $\langle 110 \rangle$ de la plaquette sur la surface arrière 12. Dans le sens des rangées, chaque groupe

20 d'ouvertures carrées est séparé d'un groupe contigu d'ouvertures carrées par de larges zones de dioxyde de silicium sans ouvertures et recouvrant la partie de la surface arrière 12 dénommée "rue". Pour une plaquette épaisse de 0,25 mm, on donne aux côtés des ouvertures carrées une longueur de 0,38 mm,

25 de façon que, si le silicium laissé à découvert par les ouvertures carrées est soumis à une attaque anisotrope, comme décrit plus loin, il y ait formation d'un évidement de forme pyramidale allant jusqu'à la surface principale opposée (surface avant) 13, évidement dont les flancs sont parallèles aux

30 plans (111) de la plaquette, lesquels font un angle de $54,7^\circ$ avec la surface arrière 12. Après nettoyage, on plonge la plaquette dans un agent d'attaque anisotrope approprié, tel qu'un mélange d'environ 3 parties en volume d'une solution d'hydroxyde de potassium à 45 % et de 1 partie en volume

35 d'alcool isopropylique, et on l'y laisse un temps suffisant pour que l'attaque ait lieu dans les parties de la plaquette laissées à découvert par les ouvertures carrées. L'agitation de l'agent d'attaque par les ultra-sons facilite son action.

Les évidements 15 produits par l'attaque vont jusqu'à la surface opposée (surface avant) 13. Les évidements ont la forme de pyramides quadrangulaires dont les bases sont des carrés sur la surface arrière 12 (figure 5a et aussi figures 1, 2 et 3). Ensuite, on recouvre d'une cire de protection la couche 41 de dioxyde de silicium recouvrant les "rues" 31 et les "avenues" 32, ainsi que la couche de dioxyde de silicium recouvrant la surface avant 13 de la plaquette.

On plonge ensuite la plaquette dans un agent d'attaque (acide fluorhydrique tamponné) pour faire disparaître de la surface arrière 12 la partie de la couche 41 de dioxyde de silicium non recouverte de cire. Après nettoyage, on fait diffuser dans les surfaces laissées à découvert 12 et 16 (surface arrière et flancs) de la plaquette un donneur tel que le phosphore pour former dans la plaquette la seconde région mince 22 et les troisièmes régions minces 23, qui sont épaisses de 2 à 10 microns environ et présentent une résistivité relativement faible (figure 5b). Cette opération peut être une diffusion en tube ouvert au cours de laquelle un verre (phosphosilicate) se dépose sur la surface laissée à découvert de la plaquette puis diffuse à une certaine température pendant un temps suffisant pour donner à la seconde et aux troisièmes régions minces l'épaisseur et la résistivité voulues.

Tout en protégeant la couche 41 de dioxyde de silicium qui recouvre les "rues" et "avenues" 31 et 33 en déposant sur elles de la cire, la couche de dioxyde de silicium qui se trouve sur la surface avant 13 est enlevée dans un agent d'attaque approprié tel que l'acide fluorhydrique tamponné. Après quoi, la plaquette 11 est soumise à une opération de diffusion, au cours de laquelle du phosphore diffuse sur une faible profondeur dans la surface avant 13 pour donner la première région mince 21 du dispositif des figures 1, 2 et 3 ; celle-ci aura par exemple moins de 1 micron d'épaisseur et présentera une faible résistivité. On pourrait aussi utiliser le processus de diffusion en tube ouvert mentionné plus haut pour obtenir cette première région mince 21. Le temps et la température utilisés sont choisis de façon à donner à cette

première région mince 21 la profondeur et la résistivité voulues. Dans l'opération suivante, la couche de dioxyde de silicium recouvrant les "rues" et les "avenues" de la plaquette, et le verre (phosphosilicate) recouvrant les parties restantes de la surface arrière 12, les flancs 16 des évidements 15 et la surface avant 13 est retirée par attaque dans un agent approprié tel que l'acide fluorhydrique tamponné, puis on nettoie la plaquette. Ensuite, on métallise la surface arrière 12 ainsi que les flancs 16 des évidements 15 avec un métal tel que l'aluminium jusqu'à obtention d'une épaisseur convenable, par exemple 2 microns. Puis on attaque sélectivement la couche d'aluminium en employant les techniques bien connues des spécialistes que sont le masquage photo-résistant et l'attaque chimique, pour obtenir une première couche conductrice (première électrode) 35 qui assure le contact avec la seconde région mince 22, de conductivité de type n, contiguë à la surface arrière 12 et avec les troisièmes régions minces 23, de conductivité de type n, contiguës aux flancs des évidements, et une seconde couche conductrice (doigt 32 et conducteur commun 34 constituant la seconde électrode) qui recouvre les "rues" et les "avenues" et assure le contact avec la plaquette 11 en matériau semi-conducteur de type p sur la surface arrière de celle-ci.

On se reportera maintenant aux figures 6, 7 et 8, qui représentent une autre mise en oeuvre conforme à la présente invention et semblable à celle des figures 1, 2 et 3. Les éléments du dispositif des figures 6, 7 et 8 qui sont identiques à ceux du dispositif des figures 1, 2 et 3 ont la même désignation. La différence essentielle entre ce dispositif et le précédent est que les évidements 15 s'arrêtent en un point 37 situé à faible distance de la surface avant 13. Cette distance est inférieure à l'épaisseur des troisièmes régions minces 23, de conductivité de type opposé, contiguës aux flancs 16 des évidements, si bien que les troisièmes régions minces 23 sont reliées avec la première région mince 21. On remarquera, en se référant aux figures 8, 9 et 10, qu'on obtient ce résultat en donnant aux côtés des ouvertures carrées une longueur légèrement inférieure au produit de

l'épaisseur de la plaquette par $\sqrt{2}$.

On se reportera maintenant aux figures 9 et 10a à 10d, qui représentent un mode de fabrication du dispositif des figures 6 à 8 suivant un autre aspect de la présente invention. Le procédé correspondant aux figures 9 et 10a à 10d est semblable à celui correspondant aux figures 4 et 5a à 5d, la seule différence étant que l'on fait les troisièmes régions minces 23 plus épaisses et que l'on donne aux côtés des ouvertures carrées une longueur inférieure au produit de l'épaisseur de la plaquette par $\sqrt{2}$, si bien que les évidements 15 représentés sur la figure 10a s'enfoncent dans la plaquette jusqu'à ces points 37 qui sont à courte distance de la surface avant 13. On fait en sorte que la distance prédéterminée entre le point 37 (sommet de l'évidement) et la surface avant 13 soit inférieure à l'épaisseur des troisièmes régions minces 23 à conductivité de type opposé, pour que, lors de la formation des différentes régions minces (première, seconde et troisièmes) dans la plaquette, les troisièmes régions minces soient au contact de la première région mince 21 et assurent avec celle-ci une connexion à faible résistance. Si l'on suppose que les troisièmes régions minces 23 ont une épaisseur de 40 microns, on peut prendre comme distance entre le point 37 et la surface avant 13 environ 20 microns. On obtiendrait des évidements pénétrant à environ 20 microns de la surface avant 13 en partant d'ouvertures carrées dont le côté est égal au produit par $\sqrt{2}$ de l'épaisseur de la plaquette diminuée de 20 microns. Pour une plaquette de 0,25 mm, les côtés des carrés devraient faire 0,33 mm. L'attaque anisotrope de la plaquette s'arrêterait quand le point 37, représentant l'intersection des plans (111), est atteint.

Les dispositifs photovoltaïques de la présente invention possèdent un certain nombre de caractéristiques qui augmentent leur rendement par rapport aux dispositifs photovoltaïques classiques. La surface avant, qui reçoit le rayonnement, n'a pas de grille métallique, ce qui supprime les pertes dues aux ombres. L'absence de grille obtenue par métallisation sur la surface avant supprime la dégradation

qu'entraîne pour la mince jonction p-n de la surface avant le métal qui la recouvre dans les dispositifs classiques. On réalise plus profondément la jonction p-n contiguë à la surface arrière du présent dispositif pour éviter cet inconvénient. La résistance série en est notablement réduite. La résistance d'étalement dans la première région mince 21 des figures 1 à 3, qui est contiguë à la surface avant, autour des petits trous de celle-ci, est de beaucoup inférieure à celle d'un réseau de contacts en lignes parallèles ayant la même surface, et la chute ohmique le long de ces lignes elles-mêmes est supprimée. Par ailleurs, les couches de métallisation sur la seconde région mince 22 et sur les troisièmes régions minces 23 fournissent un trajet à basse impédance vers la première région mince 21, au même titre que la seconde région 22 et les troisièmes régions minces 23. De plus, la collecte du courant se fait à la fois sur la surface avant et sur la surface arrière des dispositifs, ce qui réduit les pertes par recombinaison des porteurs. L'orientation cristallographique (100) nécessaire pour la formation des évidements pyramidaux permet aussi la création d'une surface avant texturée, ce qui réduit les pertes par réflexion. Enfin, on peut appliquer des couches antiréfléchissantes sur la surface avant pour en réduire encore les pertes par réflexion. Le rendement du dispositif est indépendant de la surface ou du diamètre de la plaquette de semi-conducteur utilisée dans le dispositif. Comme le dispositif est plan à l'avant, il est également plus facile à assembler en modules.

Suivant la présente invention, on a mis au point un procédé de fabrication de piles solaires relativement simple et bon marché. Le seul masquage photorésistant à faire ne demande pas le repérage d'un motif antérieur. La métallisation utilisée n'est pas à haute définition. Toute la réalisation du motif se fait sur la surface arrière de la plaquette de semi-conducteur, si bien qu'il n'y a pas de conflit avec la surface avant, dont la surface est texturée.

Bien que les dispositifs décrits en rapport avec les figures 1 à 3 et 6 à 8 aient des évidements 15 à ouverture carrée dans le plan de la surface arrière 12, on aurait pu,

si on l'avait voulu, utiliser des ouvertures rectangulaires, pour avoir des évidements pyramidaux à base rectangulaire. Par ailleurs, bien que l'on ait produit les ouvertures carrées au moyen de masques à ouvertures carrées, on aurait tout aussi
5 bien pu les produire au moyen de masques à ouvertures circulaires. Dans ce dernier cas, l'attaque anisotrope relative à chaque ouverture circulaire se produirait sur une région de la surface limitée par des ouvertures carrées ayant leurs côtés parallèles aux directions $\langle 110 \rangle$ et circonscrites à
10 l'ouverture circulaire. L'ouverture ainsi obtenue serait une pyramide quadrangulaire dont chacun des flancs serait parallèle à un plan (111) du matériau semi-conducteur.

Bien que, dans la fabrication des dispositifs représentés sur les figures 1 à 3 et 6 à 8, la seconde région
15 mince 22 et les troisièmes régions minces 23 aient été formées d'abord par une première diffusion, puisque la première région mince 21, contiguë à la surface avant 13, ait été formée par une seconde diffusion, l'ensemble de ces régions aurait pu être formé simultanément pour implantation ionique initiale
20 dans la couche 41 de dioxyde de silicium qui recouvre la couche avant 13 d'activateurs donneurs à diffusion plus lente, tels que l'arsenic ; ceci permet donc de former la première région mince 21, en même temps que se forment comme précédemment la seconde région mince 22 et les troisièmes régions
25 minces 23.

Les dispositifs des figures 1, 2 et 3, et ceux des figures 6, 7 et 8 ne représentent que quelques groupes d'évidements, mais on pourrait y placer autant de ces groupes qu'on le veut dans le sens des rangées et des colonnes, la seule
30 limitation étant la taille de la plaquette sur laquelle on forme ces évidements.

Bien que chacun des groupes représentés comprenne une rangée de trois évidements, on peut augmenter ou réduire à volonté le nombre des évidements d'une rangée. Par ailleurs,
35 on peut modifier à volonté l'écartement des évidements contigus appartenant à un groupe pour augmenter ou réduire la densité d'ouvertures dans la plaquette. Bien entendu, la taille des évidements sera différente quand les plaquettes auront une

épaisseur différente. C'est la résistivité de la plaquette et l'intensité solaire qui déterminent le choix à faire parmi les valeurs à donner aux variables.

La présente invention a été présentée dans le cas de
5 dispositifs utilisant comme matériau semi-conducteur le silicium, mais on peut utiliser conformément à la présente invention d'autres matériaux semi-conducteurs monocristallins à symétrie cubique, tels que le germanium et les matériaux semi-conducteurs de composés des groupe III-groupe V. L'uti-
10 lisation de ces matériaux obligerait à modifier les détails des opérations de fabrication des dispositifs en accord avec leurs technologies respectives.

Bien que l'on ait illustré la fabrication du dispositif dans le cas d'une plaquette en matériau semi-conducteur
15 à conductivité de type p, il doit naturellement être bien entendu que l'on peut utiliser tout aussi bien un matériau semi-conducteur de type n. L'emploi d'un tel matériau exigerait évidemment que la première, la seconde et les troisièmes régions minces aient une conductivité de type p.

REVENDICATIONS

1. Dispositif photovoltaïque, caractérisé en ce qu'il comprend :

une plaquette (11) d'un matériau semi-conducteur
5 monocristallin à symétrie cubique possédant un premier type de conductivité, cette plaquette ayant deux surfaces principales (12, 13) opposées parallèles, dont chacune est parallèle à un plan cristallographique (100) de la plaquette ;

dans cette plaquette, un certain nombre d'évidements (15) ayant chacun la forme d'une pyramide quadrangulaire dont la base est coplanaire avec la première surface principale (12) et s'enfonçant dans la plaquette sur une distance uniforme, chacun des flancs (16) des évidements étant
10 parallèle à un plan (111) du matériau semi-conducteur monocristallin ;

dans cette plaquette, une première région mince (21), de conductivité de type opposé, contiguë à la seconde (13) des deux surfaces principales de la plaquette ;

dans cette plaquette, une seconde région mince
20 (22), de conductivité de type opposé, contiguë à la première surface principale (12) de la plaquette ;

dans cette plaquette, plusieurs troisièmes régions minces (23), de conductivité de type opposé, chacune contiguë aux flancs des évidements et étant en contact avec la première et la seconde région mince ;
25

une première couche conductrice (35) reliée à la seconde et à la troisième région mince de conductivité de type opposé ;

une seconde couche conductrice (32, 34), reliée
30 à la région de la plaquette dont la conductivité est du premier type sur une partie de la première surface principale.

2. Dispositif suivant la revendication 1, caractérisé en ce que l'on choisit le matériau semi-conducteur monocristallin à symétrie cubique dans la classe du silicium, du germanium et des semi-conducteurs de composés de groupe III-groupe V.
35

3. Dispositif suivant les revendications 1 ou 2, caractérisé en ce que le matériau semi-conducteur monocristallin à symétrie cubique est du silicium.

4. Dispositif suivant l'une quelconque des revendications 1 à 3, caractérisé en ce que chacun des évidements est une ouverture allant de la première surface principale à la seconde surface principale.

5 5. Dispositif suivant l'une quelconque des revendications 1 à 3, caractérisé en ce que chacun des évidements va de la première surface principale à un point (37) situé à courte distance de la seconde surface principale.

10 6. Dispositif suivant l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que les évidements sont disposés dans la plaquette en motif régulier.

7. Dispositif suivant la revendication 3, caractérisé en ce que la première région mince a moins d'un micron d'épaisseur.

15 8. Dispositif suivant la revendication 3, caractérisé en ce que la première région mince est notablement moins épaisse que la seconde et les troisièmes régions minces.

20 9. Dispositif suivant la revendication 3, caractérisé en ce que la partie de la première surface principale comporte des zones séparées par des intervalles, la seconde couche conductrice étant liée à ces zones.

10. Procédé de fabrication d'un dispositif photovoltaïque, caractérisé en ce qu'il comprend :

25 la réalisation d'un substrat en matériau semi-conducteur monocristallin à symétrie cubique possédant un premier type de conductivité, ce substrat ayant deux surfaces principales parallèles dont chacune est parallèle à un plan cristallographique (100) du matériau semi-conducteur monocristallin ;

30 la réalisation d'un premier masque sur la première surface principale et d'un second masque sur la deuxième surface principale ;

35 la formation, dans le premier masque, de plusieurs premières ouvertures pour mettre à découvert des zones dans une première partie de la première surface principale, chaque ouverture ayant la même forme et étant limitée, dans la première surface principale, par deux paires de bords opposés parallèles, chacune de ces paires de bords étant sensiblement

parallèle à une direction $\langle 110 \rangle$ dans la première surface principale, la distance qui sépare dans chaque ouverture les bords parallèles de chaque paire étant légèrement supérieure au produit de la distance entre les surfaces principales par $\sqrt{2}$;

l'attaque chimique des zones à découvert du substrat par un agent d'attaque anisotrope, afin de former une série d'évidements ayant chacun la forme d'une pyramide dont la base est coplanaire avec la première surface principale et qui vont de la première surface principale vers la seconde surface principale, chacun des flancs de ces évidements étant parallèle à un plan (111) du matériau semi-conducteur monocristallin ;

l'élimination du premier masque sur au moins la première partie de la première surface principale ;

l'introduction d'un premier agent de dopage à type opposé de conductivité dans la seconde surface principale pour former dans le substrat une première région mince, de type opposé de conductivité, contiguë à la seconde surface principale ;

l'introduction d'un second agent de dopage à type opposé de conductivité dans la première partie de la première surface principale pour former dans le substrat une seconde région mince, de type opposé de conductivité, contiguë à la première partie de la première surface principale ;

l'introduction d'un troisième agent de dopage à type opposé de conductivité dans les flancs des évidements pour former dans le substrat des troisièmes régions minces, de type opposé de conductivité, contiguës aux flancs des évidements ;

l'enlèvement des couches de matériau les recouvrant sur la première surface principale, sur la seconde surface principale et sur les flancs des évidements ;

le dépôt d'une couche de matériau conducteur sur la première surface principale et sur les flancs des évidements ;

la réalisation d'un motif sur cette couche conductrice pour avoir une première électrode en contact avec les

régions de type opposé de conductivité contiguës à la première partie de la première surface principale et avec les flancs des évidements, et une seconde électrode en contact avec le substrat de premier type de conductivité sur une
5 autre partie de la première surface principale.

11. Procédé suivant la revendication 10, caractérisé en ce que l'évidement va jusqu'à la seconde surface principale et y forme une seconde ouverture sensiblement plus petite que l'ouverture correspondante appartenant aux premières ou-
10 vertures formées sur la première surface principale.

12. Procédé suivant la revendication 10, caractérisé en ce que le sommet de la pyramide se trouve à une faible distance prédéterminée de la seconde surface principale, l'épaisseur des troisièmes régions minces étant supérieure à
15 cette faible distance prédéterminée.

13. Procédé suivant l'une quelconque des revendications 10 à 12, caractérisé en ce que le premier, le second et le troisième agent de dopage sont introduits dans le substrat par diffusion.

20 14. Procédé suivant l'une quelconque des revendications 10 à 12, caractérisé en ce que le premier, le second et le troisième agent de dopage sont introduits simultanément dans le substrat pour former simultanément la première, la seconde et les troisièmes régions minces.

25 15. Procédé suivant l'une quelconque des revendications 10 à 12, caractérisé en ce que le second et le troisième agent de dopage sont introduits dans le substrat pour former la seconde et les troisièmes régions minces, puis en ce que le premier agent de dopage est introduit dans le substrat pour
30 former la première région mince.

16. Procédé suivant l'une quelconque des revendications 10 à 12, caractérisé en ce que chacune des premières ouvertures est carrée.

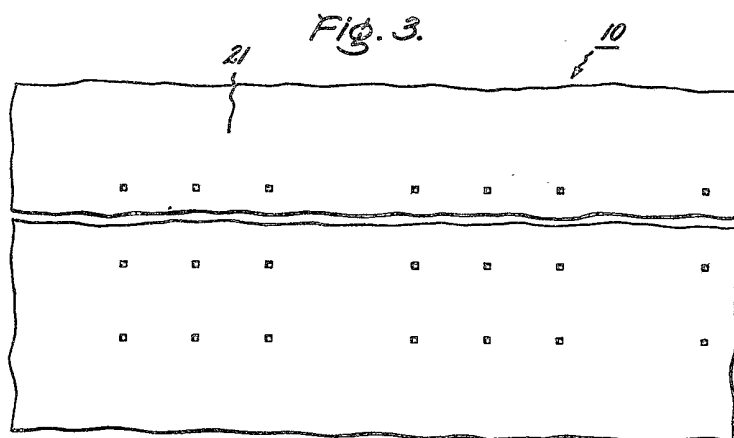
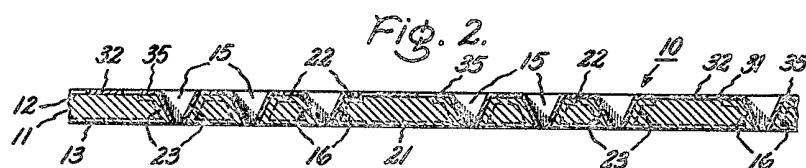
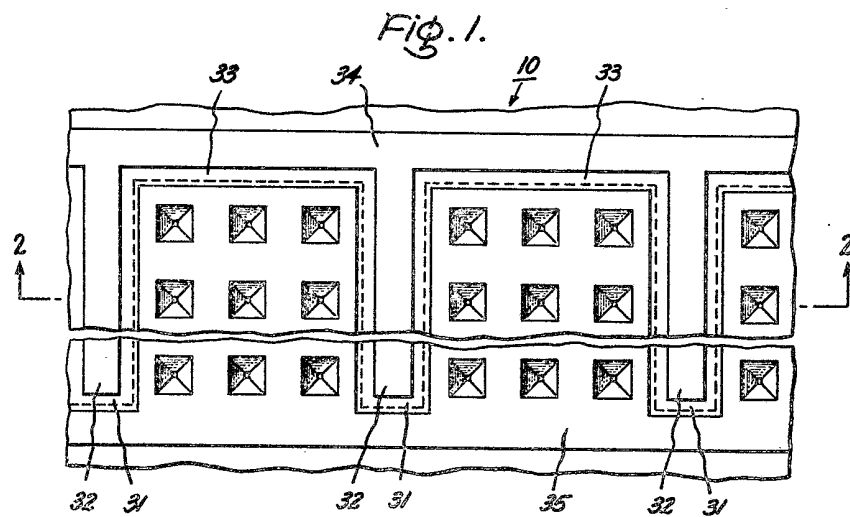


Fig. 4.

Oxyder les surfaces
de la pastille

Réaliser le motif
d'oxyde et réaliser
les ouvertures par
attaque

Attaquer l'oxyde
arrière, excepté : sur
la zone des Rues
et faire diffuser le
donneur à la profondeur
voulue

Enlever l'oxyde avant
et diffuser légè-
rement le donneur dans
la surface avant

Enlever l'oxyde des
Rues, déposer du
métal sur la surface
arrière, attaquer le
métal pour former des
couches conductrices
distinctes.

Fig. 5a.

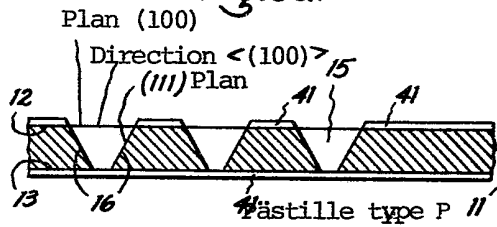


Fig. 5b.

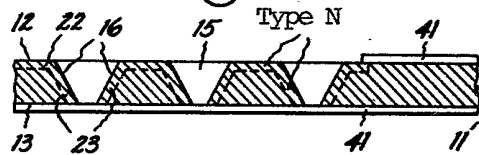


Fig. 5c.

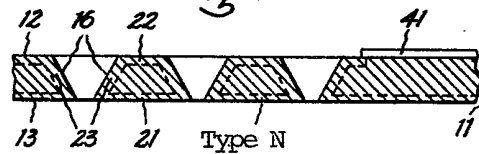


Fig. 5d.

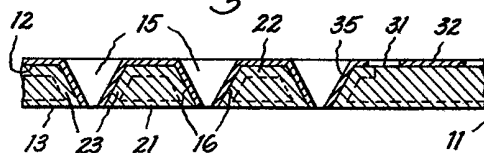


Fig. 6.

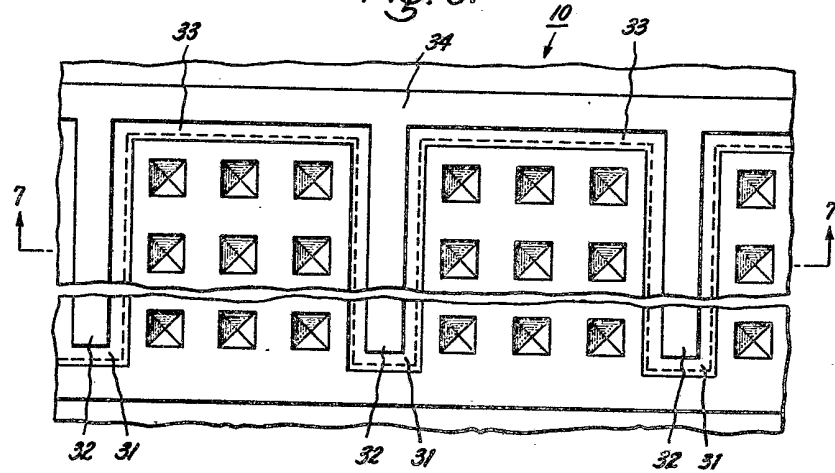


Fig. 7.

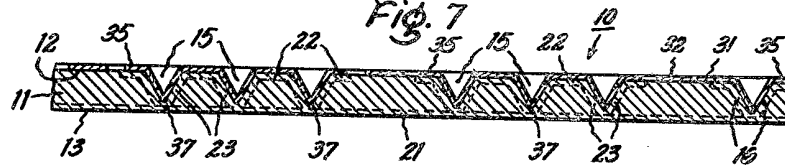


Fig. 8.

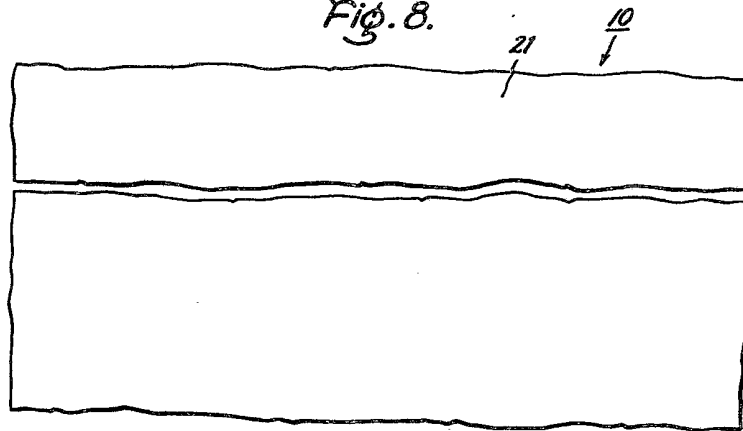


Fig. 9.

Oxyder les surfaces
de la pastille

Réaliser le motif
d'oxyde et réaliser les
ouvertures par
attaque

Attaquer l'oxyde
arrière, excepté sur
la zone des rues, et
diffuser le donneur
suffisamment profondé-
ment pour pénétrer
jusqu'à la surface
avant

Enlever l'oxyde avant
et diffuser légè-
rement le donneur dans
la surface avant

Enlever l'oxyde des
Rues, déposer du
métal sur la surface
arrière, attaquer le
métal pour former des
couches conductrices
distinctes.

Fig. 10a.

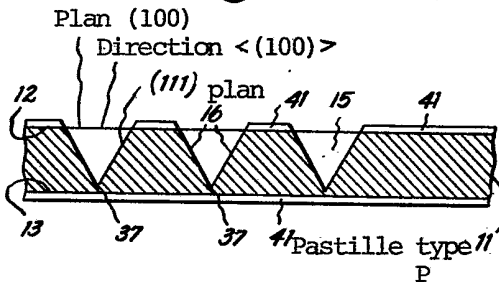


Fig. 10b.

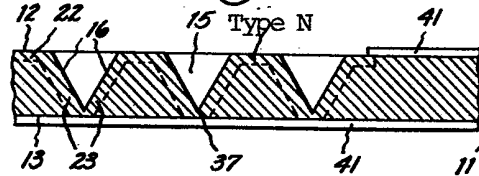


Fig. 10c.

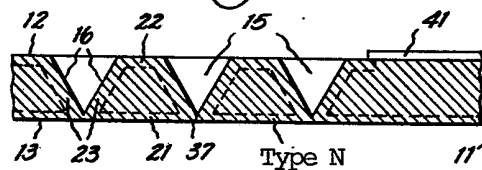


Fig. 10d

