

(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  
4 mai 2006 (04.05.2006)

PCT

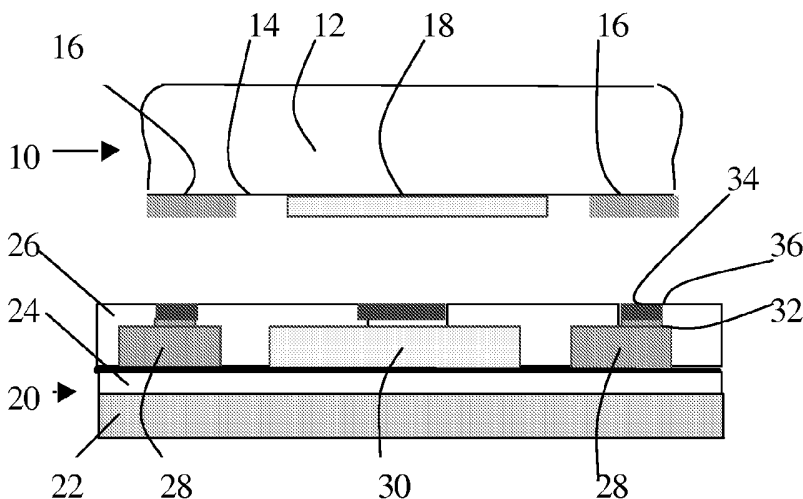
(10) Numéro de publication internationale  
**WO 2006/045968 A1**

- (51) Classification internationale des brevets :  
*H01L 31/048* (2006.01) *H01L 27/142* (2006.01)
- (21) Numéro de la demande internationale :  
PCT/FR2005/050814
- (22) Date de dépôt international :  
5 octobre 2005 (05.10.2005)
- (25) Langue de dépôt : français
- (26) Langue de publication : français
- (30) Données relatives à la priorité :  
0452414 22 octobre 2004 (22.10.2004) FR
- (71) Déposant (pour tous les États désignés sauf US) : SOLAR-FORCE [FR/FR]; 2559, Chemin Saint-André, F-69760 LIMONEST (FR).
- (72) Inventeurs; et
- (75) Inventeurs/Déposants (pour US seulement) : BE-LOUET, Christian [FR/FR]; 1, rue Gaston Levy, F-92330
- (74) Mandataires : LENNE, Laurence etc.; Feray Lenne Conseil, 39/41 avenue Aristide Briand, F-92163 ANTONY (FR).
- (81) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de protection nationale disponible) : AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.
- (84) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de protection régionale disponible) : ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM,

[Suite sur la page suivante]

(54) Title: MONOLITHIC MULTILAYER STRUCTURE FOR THE CONNECTION OF SEMICONDUCTOR CELLS

(54) Titre : STRUCTURE MULTICOUCHE MONOLITHIQUE POUR LA CONNEXION DE CELLULES A SEMI-CONDUCTEUR



(57) Abstract: The invention relates to a method for production of a monolithic multilayer structure (20), for the interconnection of semiconductor cells (10), provided with co-planar contacts (16, 18) on the rear face. The method comprises the following steps: irradiation of the surface of one or more given regions (42, 44) of a electrically-insulating substrate wafer (24), containing photo- or thermo-reducible particles at the surface thereof (40), deposition of a continuous thin metal layer on said irradiated zones such as to form collector buses (28, 30), deposition of a thin encapsulating electrically-insulating layer (26) on the surface (40) of the substrate wafer (24) provided with collector buses (28, 30), piercing holes (32) through the encapsulation layer finishing on the collector buses in given locations, filling said holes with a metal to form connector pins (36) and deposition of a thermal soldering agent (34) on the connector pins.

[Suite sur la page suivante]

WO 2006/045968 A1



ZW), eurasien (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), européen (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

*En ce qui concerne les codes à deux lettres et autres abréviations, se référer aux "Notes explicatives relatives aux codes et abréviations" figurant au début de chaque numéro ordinaire de la Gazette du PCT.*

**Publiée :**

— avec rapport de recherche internationale

---

**(57) Abrégé :** L'invention concerne un procédé de fabrication d'une structure multicouche monolithique (20) destinée à interconnecter des cellules à semi-conducteur (10) munies de contacts coplanaires (16, 18) en face arrière. Le procédé comporte les étapes suivantes : irradiation de la surface d'une ou plusieurs zones prédéterminées (42, 44) d'une feuille substrat (24) électriquement isolante contenant à sa surface (40) des particules photo ou thermo réductibles ; dépôt d'une couche mince continue d'un métal sur lesdites zones irradiées de façon à former des bus collecteurs (28, 30) ; dépôt d'une feuille (26) mince et électriquement isolante d'encapsulation sur la surface (40) de la feuille substrat (24) munie des bus collecteurs (28, 30) ; percement de trous (32) à travers la feuille d'encapsulation débouchant sur les bus collecteurs et à des endroits prédéterminés ; remplissage des trous par un métal pour former des plots de connexion (36) ; et dépôt d'un matériau de soudure thermique (34) sur les plots de connexion.

Structure multicouche monolithique pour la connexion de  
cellules à semi-conducteur.

La présente invention concerne un procédé de fabrication d'une  
5 structure multicouche monolithique destinée à interconnecter des cellules à  
semi-conducteur, notamment au silicium, munies de contacts coplanaires sur  
leurs faces arrières, ainsi que la structure obtenue par la mise en œuvre du  
procédé. L'invention concerne également un procédé d'interconnexion de  
cellules à semi-conducteur munies de contacts coplanaires en face arrière à  
10 l'aide de ladite structure multicouche monolithique. Les procédés s'appliquent  
tout particulièrement à la fabrication de modules photovoltaïques composés  
de cellules photovoltaïques interconnectées.

Les modules photovoltaïques sont des composants  
15 optoélectroniques constitués d'un assemblage de cellules photovoltaïques,  
qui convertissent directement la lumière solaire incidente en énergie  
électrique. Les cellules sont généralement réalisées à partir de plaques de  
silicium cristallin relativement épaisses, de 200 à 350µm, et de forme  
généralement carrée de 10 à 15cm de côté. Ces cellules sont encapsulées  
20 entre deux feuilles en matériau plastique –un polymère- sous une plaque de  
verre qui constitue la face avant du module.

Pour des raisons de coûts et de rendement, on développe  
actuellement des cellules photovoltaïques de faible épaisseur, inférieure à  
200 microns. Cependant, ces cellules sont fragiles et les techniques  
25 classiques de connexion des cellules entre elles ne sont plus adaptées à ces  
cellules.

Selon une technologie intéressante, compatible avec les cellules  
photovoltaïques minces, l'interconnexion des cellules entre elles est réalisée  
à l'aide de contacts métalliques coplanaires reportés en face arrière des  
30 cellules, ce qui permet une interconnexion simplifiée sur cette face.  
Cependant, les cellules minces de grandes dimensions sont fragiles et  
requièrent une technique d'interconnexion fiable, adaptable à toute structure

de cellules à contacts coplanaires, qui minimise les contraintes induites dans les plaques de silicium.

Une technique d'interconnexion a été proposée dans un article publié par James M. Gee et al. 26th Photovoltaic Specialists Conference (PVSC);  
5 (1997); Anaheim, CA (USA); 1085-1088. Selon cette technique, l'interconnexion entre cellules est directement obtenue par des ponts conducteurs entre les contacts coplanaires et bus collecteurs, lesquels sont séparés de la cellule et reportés sur une feuille support en plastique. Ces bus, constitués par des pistes de cuivre prédécoupées dans des feuilles dont  
10 l'épaisseur est imposée par les produits disponibles sur le marché, sont pré-positionnés sur la feuille support. Les ponts conducteurs sont réalisés au moyen de résines époxy conductrices chargées à l'argent. Cette technique présente des inconvénients importants. D'une part, les rubans de cuivre disponibles commercialement sont de dimensions bien définies et ne  
15 correspondent généralement pas aux dimensions appropriées (notamment en épaisseur) que l'on souhaite donner aux bus collecteurs. Il faut donc découper les rubans suivant la géométrie que l'on veut donner aux bus et se contenter des épaisseurs commercialement disponibles, lesquelles sont souvent trop grandes, non compatibles avec les cellules photovoltaïques  
20 minces. D'autre part, la durée de vie des adhésifs n'est pas assez longue pour des modules photovoltaïques qui doivent fonctionner au moins vingt ans. De plus, le positionnement des rubans de cuivre, pour une fabrication industrielle à grande échelle, n'est pas aisé.

25 L'invention résout les difficultés de l'art antérieur en proposant une encapsulation de la face arrière de la cellule photovoltaïque par une structure multicouche et monolithique qui intègre les bus collecteurs avec des plots de connexion, destinés à être reliés aux contacts coplanaires de la cellule photovoltaïque, et réalise simultanément les fonctions d'encapsulation et de  
30 protection contre l'environnement.

Les bus collecteurs sont ainsi dissociés des cellules et physiquement (et non mécaniquement) intégrés dans une structure multicouche en

matériau polymère. Les bus collecteurs sont réalisables suivant une épaisseur et un motif géométrique adaptables à la demande.

La structure multicouche monolithique est constituée d'une feuille support des bus, qui assure aussi une fonction de protection contre  
5 l'environnement, et d'une feuille supérieure qui assure la fonction d'encapsulation de la face arrière de la cellule photovoltaïque. Cette feuille d'encapsulation recouvre partiellement les bus collecteurs. Un réseau de trous débouchant sur les bus collecteurs est réalisé dans cette feuille. Ces  
10 trous sont destinés à recevoir les plots de connexion qui assurent la liaison électrique entre les bus collecteurs et les contacts coplanaires déposés sur la face arrière de la cellule photovoltaïque.

L'interconnexion entre les cellules est directement réalisée au cours de l'opération de soudure entre les bus collecteurs et les contacts coplanaires, par une technique dite "collective", c'est-à-dire qui permet  
15 d'interconnecter plusieurs cellules simultanément.

De façon plus précise, l'invention a pour objet un procédé de fabrication d'une structure multicouche monolithique destinée à interconnecter des cellules à semi-conducteur munies de contacts coplanaires en face arrière, comprenant les étapes suivantes :

- 20 - irradiation de la surface d'une ou plusieurs zones prédéterminées d'une feuille substrat électriquement isolante contenant à sa surface des particules photo ou thermo réductibles,
- dépôt d'une couche mince continue d'un métal sur lesdites zones irradiées de façon à former des bus collecteurs,
- 25 - dépôt d'une feuille mince et électriquement isolante d'encapsulation sur la surface de ladite feuille substrat munie des bus collecteurs,
- percement de trous à travers ladite feuille d'encapsulation débouchant sur lesdits bus collecteurs et à des endroits prédéterminés,
- remplissage desdits trous par un métal pour former des plots de  
30 connexion, et
- dépôt d'un matériau de soudure thermique sur lesdits plots de connexion, lesquels sont destinés à être soudés auxdits contacts coplanaires desdites cellules à semi-conducteur.

Lesdites zones sont avantageusement irradiées par un faisceau laser et ladite feuille substrat est de préférence en un matériau du type polyéthyltéréphtalate.

Selon un mode de réalisation, ledit métal est déposé sur les zones  
5 irradiées tout d'abord par dépôt autocatalytique spontané, puis par dépôt électrolytique et éventuellement complétés par un étamage à la vague.

La feuille d'encapsulation est en un matériau choisi de préférence parmi le polyméthyle méthacrylate (PMMA), le polyvinyle butyle (PVB), l'éthylène vinyle acétate (EVA) et l'éthylène (n-butyle acrylate) (EBA).

10 Les trous sont réalisés dans la feuille d'encapsulation de préférence par ablation laser et leur remplissage est réalisé par dépôt électrolytique d'un métal.

Le métal déposé sur les zones irradiées et dans les trous est de préférence du cuivre.

15 Selon un mode de réalisation, la face de ladite feuille substrat opposée à la face supportant lesdits bus collecteurs est protégée de l'environnement par une feuille de protection, qui peut être en un matériau du type fluorure de polyvinyle.

Des repères de positionnement sont avantageusement déposés sur  
20 la surface de la feuille substrat contenant les particules réductibles, ainsi que des bornes de connexion électrique des bus collecteurs.

L'invention a également pour objet une structure multicouche monolithique destinée à interconnecter des cellules à semi-conducteur munies de contacts coplanaires en face arrière, la structure étant obtenue  
25 par la mise en œuvre du procédé défini précédemment.

L'invention a aussi pour objet un procédé d'interconnexion de cellules à semi-conducteur munies de contacts coplanaires en face arrière, à l'aide d'une structure multicouche monolithique définie précédemment. Selon ce procédé d'interconnexion, les plots de connexion de la structure  
30 multicouche sont soudés aux contacts coplanaires des cellules à l'aide dudit matériau de soudure thermique en chauffant simultanément plusieurs plots de connexion contenus dans une même zone, par défilement desdites cellules devant une source thermique localisée, ou inversement par défilement de ladite source thermique devant lesdites cellules.

35 La source thermique est avantageusement une source micro-onde ou une source d'induction thermique.

Selon un mode de réalisation, les contacts coplanaires de polarités négative et positive (désignés par abréviation "négatifs" et "positifs" par la suite) sont parallèles entre eux et alternativement reliés aux zones du semi-conducteur respectivement de type n et de type p en face arrière de la cellule  
5 et les bus collecteurs sont parallèles entre eux, sensiblement perpendiculaires aux contacts coplanaires et alternativement de polarités négative et positive (désignés par abréviation "négatifs" et "positifs" par la suite), les contacts coplanaires négatifs et positifs étant reliés aux bus collecteurs respectivement négatifs et positifs, et les bus collecteurs d'un  
10 même type (positifs ou négatifs) étant reliés entre eux à une même borne de sortie.

Le positionnement des contacts coplanaires par rapport auxdits bus collecteurs détermine le type de connexion série ou parallèle des contacts coplanaires, le passage d'un type de connexion à l'autre s'effectuant  
15 avantageusement par décalage du percement des trous ou par translation des cellules au moment du positionnement des contacts coplanaires.

D'autres avantages et caractéristiques de l'invention apparaîtront au cours de la description qui va suivre d'un mode de réalisation, donné à titre  
20 d'exemple non limitatif, en référence aux dessins annexés et sur lesquels :

- la figure 1 représente de façon schématique une cellule photovoltaïque positionnée au-dessus d'une structure multicouche monolithique conforme à l'invention;
- les figures 2 à 7 illustrent les étapes du procédé de fabrication de la  
25 structure multicouche monolithique de la figure 1;
- la figure 8 représente l'ensemble cellule photovoltaïque - structure multicouche interconnectées, les contacts coplanaires de la cellule étant connectés aux bus de la structure multicouche; et
- la figure 9 illustre le procédé d'interconnexion de cellules  
30 photovoltaïques avec une structure multicouche.

Les figures ne sont pas à l'échelle, les épaisseurs ayant été beaucoup agrandies pour des raisons de clarté. Les mêmes éléments sont désignés par les mêmes numéros de références sur les différentes figures.

La cellule photovoltaïque 10 de la figure 1 comprend une plaque mince de silicium 12 munie sur sa face arrière 14 de contacts coplanaires positifs 16 et d'un contact coplanaire négatif 18.

La structure monolithique 20 permet d'interconnecter entre elles 5 plusieurs cellules photovoltaïques (comme illustré sur la figure 9), de protéger les cellules contre l'environnement extérieur et d'encapsuler les cellules en face arrière.

La structure monolithique est une structure multicouche constituée d'un empilement de deux ou de trois feuilles en matériau polymère de nature 10 éventuellement différente :

- Une feuille plane de protection 22 assure la fonction de protection contre l'environnement extérieur. Elle est réalisée avec des matériaux plastiques résistant à l'environnement, par exemple des polymères de type Tedlar (fluorure de polyvinyl) ou un polymère fluoré ou Tefzel de la société 15 DuPont.

- Une feuille substrat 24 est chargée en surface sur une profondeur de quelques micromètres avec des particules d'un ou de plusieurs matériaux thermo et/ou photo réductibles. Ces particules sub-micrométriques, typiquement de dimension inférieure à 0,5 $\mu$ m, sont déposées par une 20 technique d'imprégnation laser ou de dépôt par aérosol ou par extrusion ou encore par toute autre technologie connue. Cette feuille substrat 24, à base de polyéthyltérphtalate (PET) par exemple, peut être éliminée si les bus collecteurs sont réalisés directement sur la feuille de protection 22. De façon alternative et réciproque, la feuille de protection 22 peut être supprimée pour 25 autant que l'épaisseur et le matériau de la feuille substrat 24 permettent à cette feuille substrat d'assurer la fonction de protection contre l'environnement extérieur.

- Une feuille d'encapsulation 26 englobe les bus collecteurs 28 et 30 et réalise l'encapsulation de la cellule photovoltaïque en face arrière. Elle est 30 perforée d'un réseau de trous 32 remplis d'un matériau de soudure 34 électriquement conducteur. Les trous ainsi remplis forment des plots d'interconnexion 36, qui assurent la liaison électrique entre les contacts



coplanaires 16 et 18 de la cellule photovoltaïque et les bus collecteurs 28 et 30.

Les étapes de fabrication de la structure multicouche sont illustrées sur les figures 2 à 7. Sur la figure 2, la feuille substrat 24 est fixée à la feuille de protection 22 par chauffage ou par laminage. Sa surface est dopée sur une profondeur de quelques  $\mu\text{m}$  d'épaisseur avec des particules sub-micrométriques d'un matériau thermo et/ou photo réductible sous irradiation ultraviolette, par faisceau laser par exemple. Ces particules sont des particules de ZnO, TiO<sub>2</sub> ou autres composés à comportement similaire. Elles sont de préférence partiellement "réduites" avant insertion dans le polymère par un traitement thermique à haute température. La feuille substrat est caractérisée par des températures élevées de transition vitreuse Tg voisines de 70°C et de fusion Tf voisines de 270°C (du type polyester, par exemple polyéthyltérphtalate PET).

Afin de former des pistes métalliques, de préférence en cuivre, qui formeront les bus collecteurs, des zones 42 et 44 de la surface 40 sont tout d'abord irradiées par un faisceau laser ultraviolet 46 (figure 2). Les formes et les dimensions de ces zones correspondent à celles souhaitées pour les bus collecteurs, pour des repères de positionnement (positionnement des bus par rapport aux contacts coplanaires des cellules) ainsi que pour des bornes de raccordement électriques des modules.

Cette irradiation met à nu les particules réduites ou réductibles des zones 42 et 44 et a pour effet de créer des électrons libres, lesquels s'associent aux molécules de cuivre déposé sur les zones irradiées. Il en résulte une très forte adhésion du cuivre sur les zones 42 et 44, de type physique et non mécanique comme dans les dispositifs de l'art antérieur, supérieure à 0,5 kg/mm<sup>2</sup>. Deux façons de procéder sont possibles pour mettre à nu les particules thermo ou photo réductibles :

Selon un premier mode de réalisation, les particules n'ont pas subi de traitement de réduction préalable. L'ablation des zones 42 et 44 de la surface 40 est conduite avec un laser ultraviolet pour réaliser simultanément la mise à nu des particules réductibles et leur photo réduction. Dans ce cas,

cette opération est réalisée avantageusement avec un laser pulsé à excimères (de préférence au fluorure de krypton à 248nm). L'éclairement nécessaire pour obtenir la mise à nu et l'effet de photo réduction sur des particules de ZnO par exemple est de l'ordre de 350 à 450mJ/cm<sup>2</sup> par tir laser avec un nombre de tirs de 2 à 5 suivant le type de polymère de la feuille substrat 24.

Selon un deuxième mode de réalisation, mode préféré, les particules réductibles ont subi une réduction partielle par un traitement thermique préalable (vers 1.500 °C pendant environ une heure sous atmosphère neutre). Leurs surfaces présentent des caractéristiques proches de celles des particules photo réduites selon le premier mode de réalisation. L'irradiation par un faisceau laser ultraviolet peut alors se limiter à la photo ablation du polymère des zones 42 et 44, avec des densités d'éclairement très inférieures à 400mJ/cm<sup>2</sup> par tir laser. L'irradiation peut aussi être destinée à compléter l'activation de la surface des particules. Dans ce cas, les densités d'éclairement restent inférieures à celle pratiquées dans le premier mode de réalisation pour un nombre de tirs équivalent. De façon générale, cette étape du procédé de fabrication est environ cinq fois plus rapide selon le deuxième mode de réalisation que selon le premier mode.

Une fine couche (environ 1 à 2µm) de cuivre continue est ensuite déposée (figure 3), par dépôt auto catalytique spontané, sur les zones 42 et 44 irradiées. Ce dépôt s'effectue dans une solution aqueuse contenant des ions cuivre. Au cours de cette opération, des plots métalliques servant de repères de positionnement peuvent être déposés hors des bus pour servir de repères identifiables par voie optique lors de la mise en place des cellules.

Le dépôt auto catalytique étant relativement lent (environ 5 µm/h), on l'arrête lorsque l'épaisseur de cuivre déposée est d'environ un µm et on le complète par un dépôt de cuivre par voie électrolytique plus rapide (environ 25 µm/h) à l'épaisseur désirée pour les bus collecteurs. Si nécessaire, ces dépôts peuvent être complétés par un étamage de la piste de cuivre à la vague.

La largeur, l'épaisseur et le motif (éventuellement complexe) des bus collecteurs sont facilement adaptables puisque la largeur et le motif sont déterminés par l'irradiation laser et l'épaisseur par la durée des processus de dépôt du cuivre. L'épaisseur du conducteur en cuivre est de préférence  
5 limitée à quelques dizaines de micromètres pour minimiser la rigidité de la structure monolithique. A titre d'exemple, pour une cellule photovoltaïque de  $100 \times 100 \text{cm}^2$ , on utilise classiquement dans l'art antérieur des rubans d'interconnexion de largeur 2 mm et d'épaisseur  $100 \mu\text{m}$ . Dans la présente invention, l'interconnexion des cellules photovoltaïques est réalisée, à titre  
10 d'exemple, avec des paires de bus 28 et 30 d'épaisseur réduite dans une gamme de 10 -  $30 \mu\text{m}$ , au pas de 1 à 5cm et de largeur 2 à 25mm.

La feuille d'encapsulation 26 en matériau polymère est ensuite déposée (figure 4) sur toute la surface de la feuille substrat 24 contenant les bus collecteurs 28 et 30. Le polymère choisi est compatible avec le polymère  
15 sous-jacent. Ce polymère est choisi par exemple dans les familles suivantes : polyméthyle méthacrylate (PMMA), polyvinyle butyle (PVB), éthylène vinyle acétate (EVA), éthylène (n-butyle acrylate)(EBA).

La structure ainsi formée à la figure 4 subit une étape de laminage à une température supérieure à la température de transition vitreuse  $T_g$  de la  
20 feuille d'encapsulation 26. Il assure une surface supérieure plane et une épaisseur de matériau polymère au dessus de la surface des bus de quelques micromètres seulement.

Un réseau de trous 32 (figure 5) débouchant sur les bus collecteurs 28 et 30 est réalisé par ablation laser à travers la feuille d'encapsulation 26.  
25 La profondeur et le diamètre de ces trous destinés à recevoir les plots de connexion sont optimisés pour faciliter l'ablation laser et minimiser le volume de l'alliage de soudure des plots d'interconnexion.

Des plots de connexion 36 sont ensuite réalisés (figure 6) dans le réseau de trous ouverts dans l'étape précédente, par exemple par dépôt  
30 électrolytique de cuivre. Les plots de connexion sont ensuite recouverts (figure 7) par un alliage de soudure 34, par exemple par étamage rapide "à la

vague" ou une technique équivalente ou toute autre technique de dépôt localisé. Le dépôt à la vague se fait à une température de 0 à 40°C au-dessus du point de fusion de l'alliage.

La structure multicouche monolithique 20 représentée sur la figure 7  
5 permet de connecter des cellules photovoltaïques entre elles de façon particulièrement avantageuse lorsque l'épaisseur des cellules est faible. L'interconnexion des cellules est directement réalisée via les plots de soudure 34, qui assurent la liaison électrique entre les bus collecteurs et les contacts coplanaires de la cellule, par un procédé de soudure thermique. Sur  
10 la figure 8, les contacts coplanaires positifs 16 de la plaque de silicium 12 sont soudés par la soudure 34 aux plots de connexion 36 des bus collecteurs positifs 28. Il en est de même du contact coplaire négatif 18 soudé au bus collecteur négatif 30.

Le procédé d'interconnexion est un procédé collectif et dynamique  
15 illustré sur la figure 9. Cette figure illustre l'interconnexion des contacts coplanaires d'un réseau de cellules photovoltaïques (ces dernières n'étant pas représentées) avec des bus collecteurs d'une structure multicouche monolithique semblable à la structure multicouche monolithique 20, mais comportant une pluralité de bus collecteurs. Des bus collecteurs 60 d'un  
20 même type (négatifs par exemple), parallèles entre eux, sont connectés en parallèle à un conducteur négatif 62, lequel est relié à une borne de sortie électrique. Des bus collecteurs 64 de l'autre type (positifs), parallèles entre eux et placés en alternance avec les bus 60, sont reliés en parallèle à un conducteur positif 66, relié à l'autre borne de sortie. On a donc deux familles  
25 de bus collecteurs (positifs et négatifs). Des contacts coplanaires négatifs 70 et positifs 72 de cellules photovoltaïques sont reliés aux bus collecteurs de même type, respectivement négatifs 60 et positifs 64, par des plots de connexion de même type, respectivement négatifs 74 (représentés par des ronds noirs) et positifs 76 (représentés par des ronds blancs). On a donc  
30 deux familles de contacts coplanaires (négatifs et positifs) et les familles de bus et de contacts coplanaires d'un même type sont connectées

électriquement entre elles. Les contacts coplanaires sont disposés parallèles entre eux, espacés de quelques millimètres l'un de l'autre, et en alternance négatifs et positifs. Les plots de connexion sont surmontés d'un alliage de soudure (identique à l'alliage de soudure 34 de la figure 7).

5           La soudure des plots de connexion 74 et 76 des bus collecteurs avec les contacts coplanaires s'effectue par un procédé de soudure thermique, collectif et dynamique. L'ensemble formé par les cellules et la structure multicouche monolithique est déplacé dans le sens de la flèche 80 devant une source de chaleur 82 qui, à un même instant, irradie une zone  
10 prédéterminée s'étendant sur toute la largeur de l'ensemble (la largeur est selon la flèche 84). Sous l'effet de la chaleur, l'alliage de soudure des plots de connexion situés dans la zone irradiée fond, ce qui a pour effet de souder simultanément tous les plots de connexion de cette zone. La soudure de tous les plots de connexion est réalisée lorsque la source de chaleur a irradié  
15 toute la surface de l'ensemble cellules-structure multicouche. Le profil de température de la source thermique 82 présente de préférence un extremum accentué et localisé suivant une direction perpendiculaire au sens de déplacement de l'ensemble (déplacement selon la flèche 80).

L'extremum est obtenu au moyen de sources thermiques fixes et  
20 localisées. Ces sources sont de préférence des sources de dépôt d'énergie par couplage direct sur les plots de soudure : micro-onde ou induction, capables de traiter simultanément une ou plusieurs rangées de plots de connexion sur de grandes largeurs. La durée de la fusion de l'alliage de soudure des plots de connexion est optimisée en fonction de sa capacité  
25 calorifique et de la nature du polymère (sa température de décomposition) afin de limiter à l'ordre du micromètre la profondeur du polymère environnant dégradée par le champ thermique. Une durée type de fusion est de quelques ms.

Dans le mode de réalisation qui vient d'être décrit, les contacts  
30 coplanaires sont connectés en parallèle. Selon un autre mode de réalisation possible (non représenté), les contacts sont reliés en série. Pour passer d'un

mode de réalisation à l'autre, il suffit simplement de décaler d'une rangée (décalage noté A sur la figure 9) le percement des plots de connexion (figure 5, percement des trous 32). Alternativement, les cellules photovoltaïques peuvent être déplacées d'une rangée, avant la soudure des plots de connexion (déplacement noté B sur la figure 9).

De façon classique, les cellules photovoltaïques comportent une feuille supérieure de protection (non représentée sur les figures) située au-dessus de la plaque de silicium 12 et transparente à la lumière solaire, au moins dans une partie du spectre. Cette feuille est un polymère résistant à l'environnement extérieur, de même nature que la feuille de protection 22 de la structure multicouche monolithique 20. La bonne adhésion de cette feuille supérieure de protection, ainsi que de la feuille de protection 22 de la structure multicouche, est obtenue par traitement thermique, lequel peut être soit réalisé en même temps que l'étape de soudure des plots de connexion de la structure multicouche aux contacts coplanaires de la cellule, soit indépendamment de cette étape. A ce stade, les cellules sont interconnectées et pré-encapsulées. Cette opération permet d'obtenir des chapelets de cellules photovoltaïques, qui peuvent être transportées sans risque, les cellules ainsi protégées étant peu ou pas fragiles.

Généralement les modules photovoltaïques comportent aussi une plaque de verre transparente située au-dessus de la feuille de polymère supérieure de protection (un module selon l'invention étant alors composé de bas en haut de la structure multicouche 20, de la plaque de silicium 12 avec ses contacts coplanaires 16 et 18, de la feuille de polymère de protection supérieure et de la plaque de verre). Les étapes du procédé de fabrication de la structure multicouche 20 et d'interconnexion des cellules 10 peuvent alors inclure la mise en module, c'est-à-dire l'ajout dans le procédé de fabrication de la feuille de polymère supérieure et de la plaque de verre. L'encapsulation proprement dite est complétée, immédiatement après la phase d'interconnexion, par un procédé de laminage classique des modules photovoltaïques.

L'invention est particulièrement bien adaptée aux cellules minces et flexibles de silicium, utilisant par exemple des plaques minces polycristallines d'épaisseur comprise entre 30 et 150µm. Elle s'applique cependant à toute structure de cellules à semi-conducteur à contacts coplanaires reportés en  
5 face arrière.

Les avantages procurés par l'invention sont nombreux. Les cellules photovoltaïques sont interconnectées par un procédé simple à mettre en œuvre et collectif (plusieurs cellules sont interconnectées simultanément). La fabrication de la structure multicouche monolithique est réalisable à grande  
10 échelle (grande largeur et grande longueur) avec des techniques de production en série éprouvées et à faible coût. On note une grande flexibilité sur l'ajustement de la section et de la géométrie des bus collecteurs ainsi que sur la position, la taille et la forme des plots de soudure de liaison avec les contacts coplanaires des cellules photovoltaïques. L'adhésion des pistes  
15 de cuivre sur la feuille polymère ( $>0,5\text{kg/mm}^2$ ) est excellente et indépendante de la nature du polymère. Les cellules sont facilement positionnées grâce aux repères de positionnement. La face arrière de la plaque de silicium est bien protégée par la structure multicouche et l'encapsulation est efficace. Cette encapsulation et la faible rigidité des bus collecteurs procurent une  
20 bonne résistance des cellules à la manipulation. Les cellules encapsulées et interconnectées peuvent être assemblées en feuilles ou en rouleaux. Cette possibilité résout le problème délicat du transport des cellules minces.

25

30

## REVENDEICATIONS

1. Procédé de fabrication d'une structure multicouche monolithique (20) destinée à interconnecter des cellules à semi-conducteur (10) munies de contacts coplanaires (16, 18) en face arrière, caractérisé par les  
5 étapes suivantes :
  - irradiation de la surface d'une ou plusieurs zones prédéterminées (42, 44) d'une feuille substrat (24) électriquement isolante contenant à sa surface (40) des particules photo ou thermo réductibles,
  - dépôt d'une couche mince continue d'un métal sur lesdites zones  
10 irradiées de façon à former des bus collecteurs (28, 30),
  - dépôt d'une feuille (26) mince et électriquement isolante d'encapsulation sur la surface (40) de ladite feuille substrat (24) munie des bus collecteurs (28, 30),
  - percement de trous (32) à travers ladite feuille d'encapsulation  
15 débouchant sur lesdits bus collecteurs et à des endroits prédéterminés,
  - remplissage desdits trous par un métal pour former des plots de connexion (36), et
  - dépôt d'un matériau de soudure thermique (34) sur lesdits plots de  
20 connexion, lesquels sont destinés à être soudés auxdits contacts coplanaires (16, 18) desdites cellules à semi-conducteur.
2. Procédé selon la revendication 1 caractérisé en ce que, préalablement à ladite irradiation desdites zones (42, 44), ladite feuille substrat (24) subit un traitement thermique afin de réduire au moins partiellement  
25 lesdites particules.
3. Procédé selon l'une des revendications précédentes caractérisé en ce que lesdites zones (42, 44) sont irradiées par un faisceau laser (46).
4. Procédé selon l'une des revendications précédentes caractérisé en ce que lesdites particules sont des particules de ZnO ou TiO<sub>2</sub>.
- 30 5. Procédé selon l'une des revendications précédentes caractérisé en ce que ladite feuille substrat (24) est en un matériau du type polyéthyltéréphtalate.
6. Procédé selon l'une des revendications précédentes caractérisé en ce que l'épaisseur de ladite couche mince métallique est comprise entre  
35 10 et 30 microns.



7. Procédé selon l'une des revendications précédentes caractérisé en ce que ledit métal est déposé sur les zones irradiées tout d'abord par dépôt autocatalytique spontané, puis par dépôt électrolytique.
8. Procédé selon la revendication 7 caractérisé en ce que lesdits dépôts autocatalytique et électrolytique sont complétés par un étamage à la vague.
9. Procédé selon l'une des revendications précédentes caractérisé en ce que ladite feuille d'encapsulation (26) est en un matériau choisi parmi le PMMA, PVB, EVA et EBA.
10. Procédé selon l'une des revendications précédentes caractérisé en ce que lesdits trous (32) sont réalisés par ablation laser.
11. Procédé selon l'une des revendications précédentes caractérisé en ce que le remplissage desdits trous (32) est réalisé par dépôt électrolytique dudit métal.
12. Procédé selon l'une des revendications précédentes caractérisé en ce que le dépôt dudit matériau de soudure thermique (34) est réalisé par étamage selon le procédé appelé "à la vague".
13. Procédé selon l'une des revendications précédentes caractérisé en ce que ledit métal déposé sur lesdites zones irradiées (42, 44) et dans lesdits trous (32) est du cuivre.
14. Procédé selon l'une des revendications précédentes caractérisé en ce que la face de ladite feuille substrat opposée à la face supportant lesdits bus collecteurs est protégée de l'environnement par une feuille de protection (22).
15. Procédé selon la revendication 14 caractérisé en ce que ladite feuille de protection (22) est en un matériau du type fluorure de polyvinyle.
16. Procédé selon l'une des revendications précédentes caractérisé en ce que lesdites cellules à semi-conducteur (10) sont des cellules minces de silicium.
17. Procédé selon l'une des revendications précédentes caractérisé en ce que, lors du dépôt de ladite couche mince métallique, on forme des repères de positionnement sur la surface de ladite feuille substrat (24) contenant les particules réductibles.
18. Procédé selon l'une des revendications précédentes caractérisé en ce que l'on forme des conducteurs (62, 66) de sortie électrique reliés aux bus collecteurs (60, 64).

19. Structure multicouche monolithique (20) destinée à interconnecter des cellules à semi-conducteur (10) munies de contacts coplanaires (16, 18) en face arrière, ladite structure étant obtenue par la mise en œuvre du procédé défini à l'une des revendications précédentes.
- 5 20. Procédé d'interconnexion de cellules à semi-conducteur (10) munies de contacts coplanaires (70, 72) en face arrière, à l'aide d'une structure multicouche monolithique (20) définie à la revendication 19, caractérisé en ce que lesdits plots de connexion (74, 76) de la structure sont soudés auxdits contacts coplanaires desdites cellules à l'aide du
- 10 matériau de soudure thermique en chauffant simultanément ledit matériau de plusieurs plots de connexion contenus dans une même zone, par défilement desdites cellules devant une source thermique localisée (82), ou inversement par défilement de ladite source thermique localisée devant lesdites cellules.
- 15 21. Procédé selon la revendication 20 caractérisé en ce que ladite source thermique (82) est une source micro-onde ou une source d'induction thermique.
22. Procédé selon l'une des revendications 20 et 21 caractérisé en ce que lesdits contacts coplanaires sont parallèles entre eux et alternativement
- 20 de polarité négative (70) et de polarité positive (72) et lesdits bus collecteurs sont parallèles entre eux, sensiblement perpendiculaires auxdits contacts coplanaires et alternativement de polarité négative (60) et de polarité positive (64), les contacts coplanaires de polarité négative et de polarité positive étant reliés aux bus collecteurs respectivement
- 25 de polarité négative et de polarité positive, les bus collecteurs d'un même type (60 ou 64) étant reliés entre eux à une même borne de sortie (62 ou 64).
23. Procédé selon la revendication 22 caractérisé en ce que le positionnement desdits contacts coplanaires (70, 72) par rapport
- 30 auxdits bus collecteurs (60, 64) détermine le type de connexion série ou parallèle des contacts coplanaires, le passage d'un type de connexion à l'autre s'effectuant par décalage (A) du percement desdits trous ou par translation (B) desdites cellules au moment du positionnement desdits contacts coplanaires.
- 35 24. Application de l'invention définie à l'une des revendications précédentes à la réalisation de panneaux de cellules photovoltaïques.

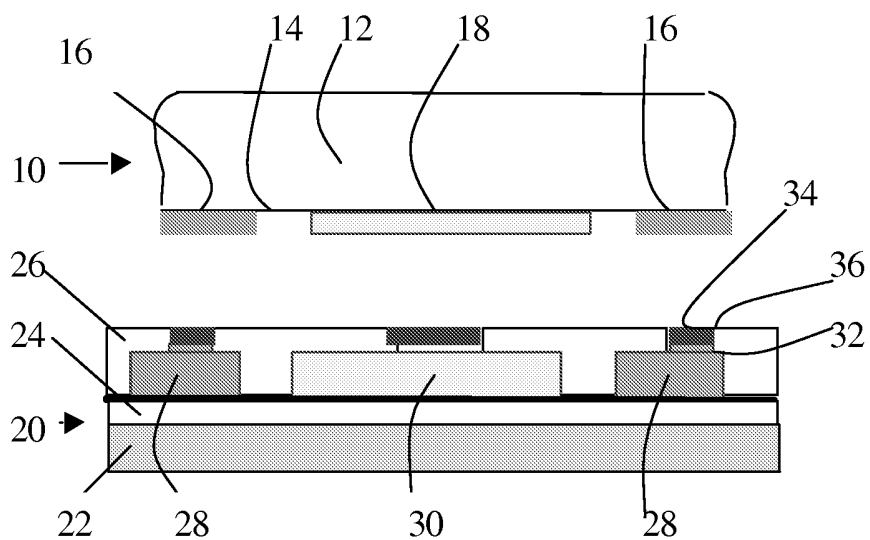


FIG. 1

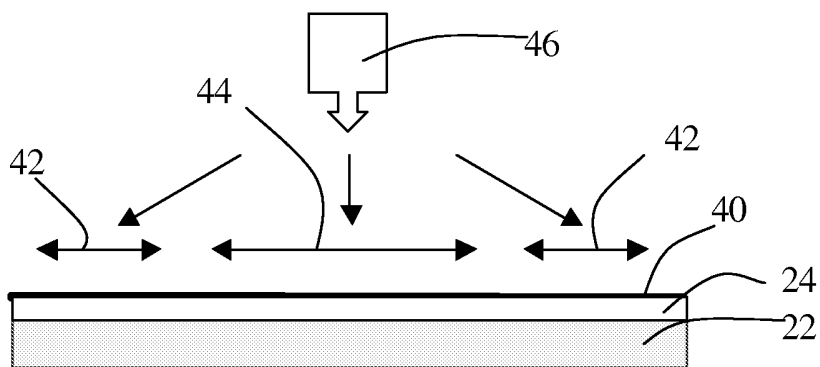


FIG. 2

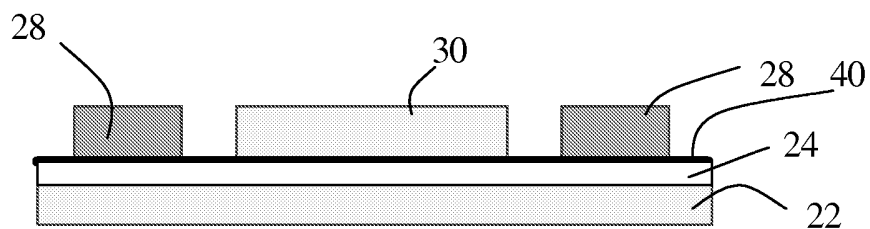


FIG. 3

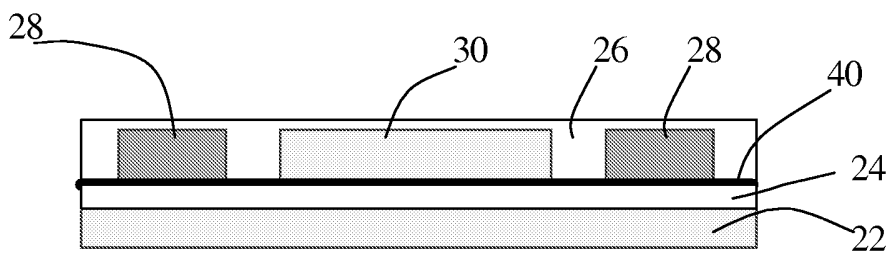


FIG.4

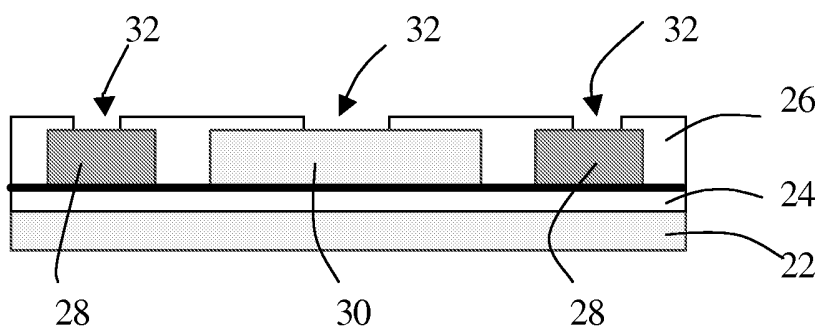


FIG.5

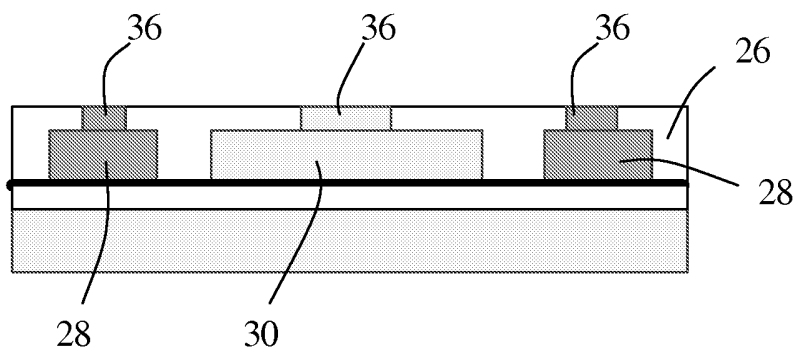


FIG.6

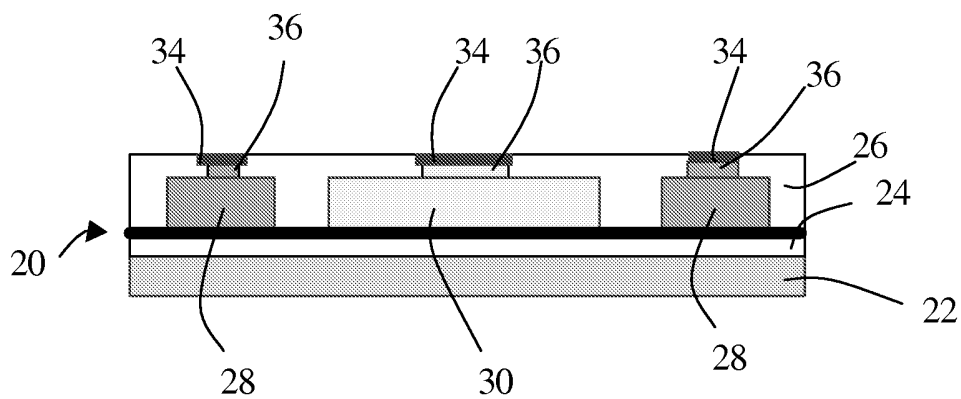


FIG. 7

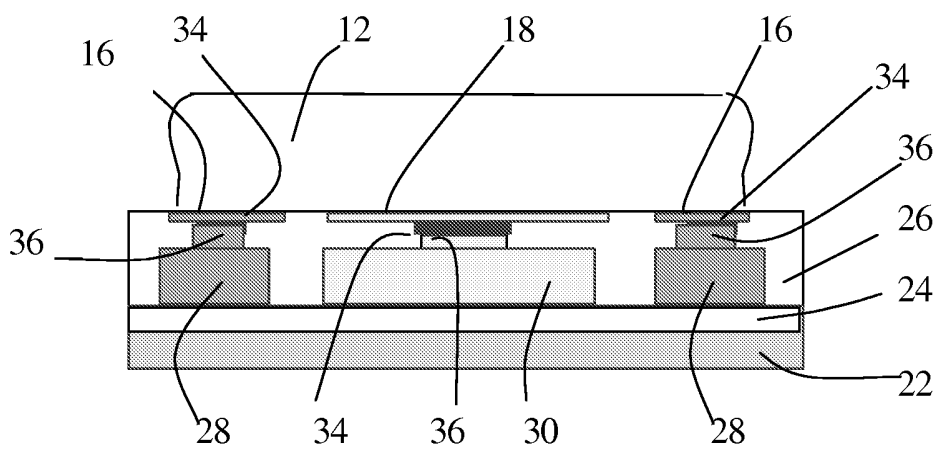


FIG. 8

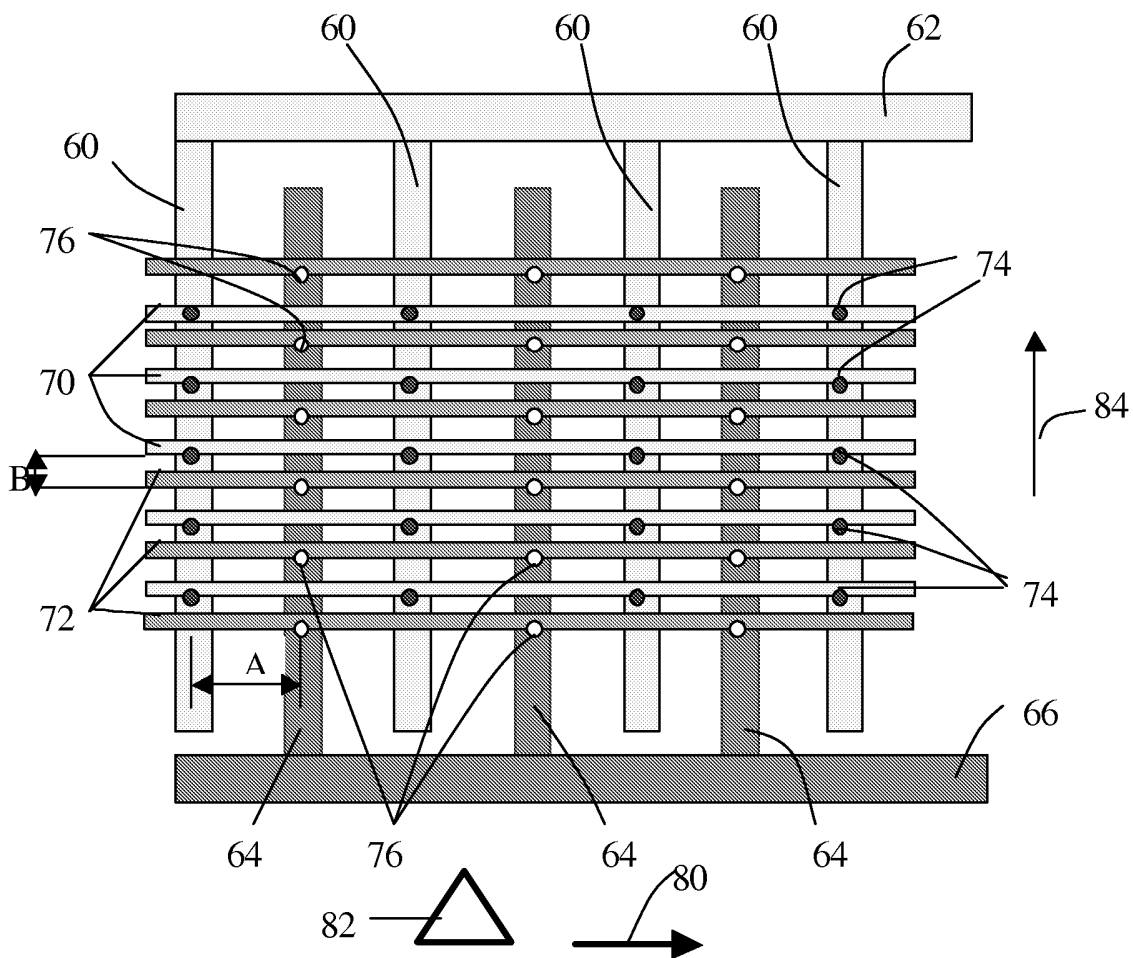


FIG. 9

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No  
PCT/FR2005/050814A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER  
H01L31/048 H01L27/142

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 practical, search terms used)

EPO-Internal, PAJ

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X A	US 5 972 732 A (GEE ET AL) 26 October 1999 (1999-10-26) the whole document	19 1-18, 20-24
A	----- WO 97/21253 A (UNISEARCH LIMITED; THORP, DAVID, CHRISTOPHER) 12 June 1997 (1997-06-12) the whole document	1
A	----- US 5 468 652 A (GEE ET AL) 21 November 1995 (1995-11-21) abstract	1
	----- -/--	

 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 document 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.
- \*G\* document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

23 January 2006

Date of mailing of the international search report

06/02/2006

Name and mailing address of the ISA/

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Werner, A

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No  
PCT/FR2005/050814

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 014, no. 216 (E-0924), 8 May 1990 (1990-05-08) & JP 02 051282 A (SHARP CORP), 21 February 1990 (1990-02-21) abstract  -----	1



# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/FR2005/050814

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 5972732	A	26-10-1999	NONE	
WO 9721253	A	12-06-1997	AU 1025897 A	27-06-1997
US 5468652	A	21-11-1995	NONE	
JP 02051282	A	21-02-1990	NONE	

# RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale n°

PCT/FR2005/050814

<b>A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE</b> H01L31/048 H01L27/142		
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) 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) EPO-Internal, PAJ		
<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
X A	US 5 972 732 A (GEE ET AL) 26 octobre 1999 (1999-10-26) le document en entier	19 1-18, 20-24
A	----- WO 97/21253 A (UNISEARCH LIMITED; THORP, DAVID, CHRISTOPHER) 12 juin 1997 (1997-06-12) le document en entier	1
A	----- US 5 468 652 A (GEE ET AL) 21 novembre 1995 (1995-11-21) abrégé	1
	----- -/--	
<input checked="" type="checkbox"/> Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents		
<input checked="" type="checkbox"/> Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe		
* Catégories spéciales de documents cités:		
*A* document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent *E* document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date *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) *O* document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens *P* document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée	*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 *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 *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 *&* document qui fait partie de la même famille de brevets	
Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée 23 janvier 2006		Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale 06/02/2006
Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl, Fax: (+31-70) 340-3016		Fonctionnaire autorisé Werner, A

# RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale n°

PCT/FR2005/050814

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>PATENT ABSTRACTS OF JAPAN  vol. 014, no. 216 (E-0924),  8 mai 1990 (1990-05-08)  &amp; JP 02 051282 A (SHARP CORP),  21 février 1990 (1990-02-21)  abrégé</p> <p style="text-align: center;">-----</p>	1

**RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE**

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Demande internationale n°

PCT/FR2005/050814

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
US 5972732	A	26-10-1999	AUCUN	
WO 9721253	A	12-06-1997	AU 1025897 A	27-06-1997
US 5468652	A	21-11-1995	AUCUN	
JP 02051282	A	21-02-1990	AUCUN	