

⑫

BREVET D'INVENTION

B1

⑤④ INTERCONNEXION MONOLITHIQUE DE MODULES PHOTOVOLTAIQUES EN FACE ARRIERE.

②② Date de dépôt : 28.06.18.

③⑦ Priorité :

⑥⑦ Références à d'autres documents nationaux apparentés :

☐ Demande(s) d'extension :

⑦① Demandeur(s) : *ELECTRICITE DE FRANCE Société anonyme — FR.*

④③ Date de mise à la disposition du public de la demande : 03.01.20 Bulletin 20/01.

④⑤ Date de la mise à disposition du public du brevet d'invention : 25.12.20 Bulletin 20/52.

⑤⑥ Liste des documents cités dans le rapport de recherche :

Se reporter à la fin du présent fascicule

⑦② Inventeur(s) : DUCHATELET AURELIEN, JUTTEAU SEBASTIEN et GRAND PIERRE-PHILIPPE.

⑦③ Titulaire(s) : ELECTRICITE DE FRANCE Société anonyme.

⑦④ Mandataire(s) : PLASSERAUD IP.



Interconnexion monolithique de modules photovoltaïques en face arrière

Le domaine de l'invention est celui des énergies renouvelables photovoltaïques.

La présente invention porte plus particulièrement sur une architecture d'interconnexion de cellules photovoltaïques, en particulier dans le domaine des modules en couches minces où la couche active présentant les propriétés photovoltaïques peut être à base d'un alliage de type CIGS ou encore de CdTe, ou encore des pérovskites, ou autres.

Le sigle « CIGS » désigne usuellement l'alliage Cuivre-Indium et/ou gallium – soufre et/ou sélénium, de stoechiométrie $\text{CuIn}_x\text{Ga}_{1-x}\text{Se}_{2y}\text{S}_{2-2y}$, avec x et y compris entre 0 et 1, et concerne plus généralement ci-après un alliage chalcopyrite I-III-VI₂. De même, l'alliage CdTe est considéré plus généralement ci-après comme étant du type II-VI à propriétés photovoltaïques.

Dans ces technologies, les zones inactives (ou « mortes ») d'un module photovoltaïque sont habituellement les parties ombrées, abrasées, et/ou non contactées électriquement.

Ces zones ne contribuent pas à la production de courant, ce qui pose un problème de rendement photovoltaïque de l'assemblage des cellules ainsi interconnectées.

On connaît à titre d'exemple une technique d'interconnexion monolithique dite « P1P2P3 » décrite ci-après.

Les étapes de fabrication d'une telle structure, par exemple pour un module à base de CIGS, sont les suivantes (l'empilement final étant représenté sur la figure 1) :

- Dépôt de molybdène Mo (contact arrière de la cellule) sur toute la surface d'un substrat (par exemple en verre sodocalcique SLG),
- puis gravure du molybdène jusqu'au verre sous forme de lignes espacées d'environ 10mm (gravure dite « P1 »), dépendant de la conductivité électrique des matériaux utilisés,
- Dépôt de la couche active CIGS (y compris sur la gravure P1),
- Dépôts habituels, sur la couche CIGS, d'une couche souvent de type CdS pour réaliser une jonction PN (la couche active de CIGS étant le semi-conducteur de type p, et le CdS, le semi-conducteur de type n), ainsi que, optionnellement, d'une

couche transparente souvent à base de ZnO non dopé, sur toute la surface, puis gravure de cet empilement jusqu'au molybdène non inclus (gravure dite « P2 »),

- Puis dépôt d'une couche d'oxyde, transparente conductrice (dite TCO ci-après pour « Oxyde Transparent Conducteur ») qui joue le rôle de contact avant de la cellule, sur toute la surface,
- Puis gravure de l'empilement complet jusqu'au molybdène non inclus (gravure dite « P3 »).

L'empilement CIGS, CdS, et éventuellement ZnO non dopé est classiquement appelé « pile ». En effet, en généralisant cette technique à tout type de cellule solaire en couche mince, on dépose une couche conductrice, puis une ou plusieurs couches constituant la « pile » et incluant la couche active à propriétés photovoltaïques, et enfin une autre couche conductrice (et transparente) vers la face destinée à recevoir la lumière.

Les dénominations de gravures P1, P2, P3 sont habituellement attribuées aux gravures respectives intervenant dans l'ordre des étapes du procédé de fabrication de la cellule (i.e. la première gravure P1, puis la deuxième P2, puis la troisième P3).

La surface requise pour effectuer ces interconnexions est dite « inactive » car elle ne permet pas la génération de courant. Habituellement, il s'agit d'une zone morte (référéncée DA sur la figure 1) qui fait de 200 à 500 μm de large à chaque interconnexion, soit environ 5% de la surface totale d'un module photovoltaïque. D'un autre côté, augmenter la taille des cellules individuelles (c'est-à-dire diminuer le nombre d'interconnexions P1P2P3) génère des pertes résistives importantes généralement liées à la faible conductivité de la couche transparente conductrice (souvent à base d'oxyde dopé type TCO).

Ce sont deux des raisons principales qui font actuellement que les performances des modules à l'échelle industrielle sont nettement inférieures à celles des cellules record fabriquées en laboratoire.

Il est décrit ci-après quelques réalisations connues à base de gravures similaires à P1, P2, P3, admettant toutefois de légères variantes d'adaptation.

Dans une première réalisation dite « Back-end Interconnexion » (illustrée sur la figure 2), l'ensemble des couches est déposé sur la totalité de la surface du substrat. Puis, une série de trois gravures est réalisée :

- la première gravure G1 jusqu'au métal de face arrière inclus (Mo),

5 - la deuxième G2 et la troisième G3 jusqu'au métal Mo non inclus.

Ensuite, une pâte isolante est déposée dans les première et troisième gravures (en noir) et une pâte conductrice est déposée dans la deuxième gravure (en gris) et au-dessus de l'isolant de la première gravure pour connecter en série deux cellules consécutives.

10 Ce procédé permet de ne pas alterner les phases de gravures et de dépôt, contrairement à la technique classique P1P2P3 de la figure 1.

Une deuxième réalisation connue concerne la combinaison de l'interconnexion monolithique et d'une grille métallique. On connecte en série plusieurs cellules individuelles de taille plus importante que dans le cas de l'interconnexion P1P2P3 grâce à l'ajout d'une grille métallique GRM à la surface de chaque cellule individuelle (comme illustré sur la figure 3), ce qui permet de s'affranchir en partie des problèmes de pertes résistives et ainsi de moduler les caractéristiques (courant et tension) du module en faisant varier le nombre et/ou la taille des cellules individuelles, mais en augmentant le taux d'ombrage.

20 Comme dans les cas précédents, la surface de la zone morte peut atteindre environ 5% de la surface du module.

Une troisième réalisation connue concerne la fabrication de cellules individuelles avec report de contact avant en face arrière et interconnexion en série. Comme dans la deuxième réalisation, l'ensemble des couches des cellules (par exemple Mo/CIGS/CdS/ZnO) est déposé sur un substrat métallique, en particulier flexible (typiquement un rouleau d'aluminium) puis des cellules individuelles sont découpées, puis mises en série. Comme illustré sur la figure 4, le courant généré transit du TCO vers une autre couche d'aluminium ajoutée en face arrière de la cellule (et isolée électriquement de la première couche

d'aluminium par un matériau isolant) par des trous créés au travers de la cellule et remplis d'une pâte conductrice (noté « via » sur la figure 4). Ainsi, on peut s'affranchir en grande partie des pertes résistives du TCO, sans grille métallique en surface de la cellule, en diminuant ainsi fortement la surface de zone morte. En pratique, les trous ont un diamètre

5 important (de l'ordre du mm) et une grille métallique doit être ajoutée en surface, ce qui crée des zones inactives importantes. Ce procédé est difficilement compatible avec les substrats en verre, majoritairement utilisés en industrie.

Le problème des zones mortes est un problème bien connu et le développement du procédé

10 P1P2P3, le plus répandu, consiste à optimiser chaque gravure et l'espace entre chaque gravure afin de diminuer les zones mortes. Cette surface occupe encore en moyenne 5% de la surface actuelle d'un module, quelque soit la réalisation utilisée.

Typiquement, l'alternative « combinaison de l'interconnexion monolithique et d'une grille métallique » (selon la deuxième réalisation) permet d'apporter une certaine flexibilité

15 quant à la gestion du courant, mais la surface des zones mortes (ombrage de la grille et zones mortes entre cellules individuelles) reste importante, de l'ordre de 5%.

La présente invention vient améliorer cette situation.

Elle propose à cet effet une structure de cellules photovoltaïques interconnectées sur un

20 même substrat, cette structure comportant un empilement de couches incluant au moins :

- une première couche de métal conducteur (M1, comme illustré sur l'exemple de réalisation de la figure 6),
- une couche conductrice transparente (TCO), et
- une couche active (Pile), à propriétés photovoltaïques, entre la première couche de métal

25 (M1) et la couche transparente (TCO).

En particulier, l'empilement de cette structure comporte en outre :

- Une deuxième couche de métal conducteur (M2), et

- Une couche isolante (ISL) entre les première (M1) et deuxième (M2) couche de métal conducteur.

La couche active (Pile) est ainsi adjacente à la couche transparente (TCO) (ces deux couches (Pile, TCO) pouvant être séparées par une ou plusieurs couches, mais qui ne sont pas introduites ici car non pertinentes par rapport à l'exposé de l'invention).

La couche transparente (TCO) est celle destinée à être face à un éclairage provoquant l'effet photovoltaïque. La deuxième couche de métal (M2) et la couche transparente (TCO) sont ainsi à des faces respectives opposées de l'empilement.

Par ailleurs, la structure comporte en outre, pour une séparation en au moins deux cellules (Cel n, Cel n+1) et assurer des interconnexions entre ces deux cellules:

- une première gravure (référence P3 de la figure 6 ; référence P1 de la figure 8 dans un autre exemple) à travers la première couche de métal (M1), la couche active (Pile) et la couche transparente (TCO), avec préférentiellement une partie de la couche isolante (ISL) affleurant en au moins un bord de la première gravure, pour séparer et isoler électriquement les deux cellules,

- une deuxième gravure (P2) à travers la couche isolante (ISL) pour connecter la première couche de métal (M1) de l'une des deux cellules à la deuxième couche de métal (M2) de l'autre des deux cellules, et interconnecter ainsi les deux cellules par les couches de métal (M1, M2),

- une troisième gravure (P1 – Fig.6 ; P3 – Fig.8) dans la deuxième couche métallique (M2), avec une partie de la couche isolante (ISL) affleurant en au moins un bord de la troisième gravure, pour séparer et isoler électriquement les deux cellules relativement à la deuxième couche de métal (M2), et

- au moins un trou (T) dans chaque cellule, à travers la couche active (Pile), la première couche de métal (M1) et la couche d'isolant (ISL), comblé par une excroissance de la deuxième couche métallique (M2) et/ou par une excroissance de la couche conductrice transparente (TCO) pour assurer un transfert de charges de la couche conductrice transparente (TCO) vers la deuxième couche de métal (M2).

On entend par les termes « *une partie de la couche isolante (ISL) affleurant en au moins un bord de la première gravure* » le fait que cette gravure est arrêtée idéalement à la surface de l'isolant. Néanmoins, il est possible, dans les faits, de graver aussi l'isolant tout au plus jusqu'à la surface de la deuxième couche métallique (M2) puisqu'ainsi, on isolerait aussi bien les cellules électriquement. Néanmoins, il est préféré de conserver sous cette première gravure au moins une partie de la couche isolante pour éviter d'éventuels risques de court-circuit.

Par ailleurs, comme indiqué précédemment, les dénominations de gravures P1, P2, P3 sont habituellement attribuées aux gravures respectives intervenant dans l'ordre de fabrication d'une cellule (i.e. la première gravure P1 dans le procédé, puis la deuxième P2, puis la troisième P3). En revanche, dans la présentation de l'invention donnée ici, les première, deuxième, et troisième gravures ne respectent pas nécessairement un ordre de fabrication dans le procédé mais simplement une énumération des gravures par ordre d'apparition dans cette description de la structure au sens de de l'invention.

La première gravure précitée permet de dé-court-circuiter deux cellules entre elles par la face de la structure destinée à recevoir la lumière. La troisième gravure précitée permet de dé-court-circuiter deux cellules entre elles par la face de la structure opposée à celle destinée à recevoir la lumière.

La deuxième gravure précitée permet d'interconnecter deux cellules entre elles par leurs couches métalliques respectives (M1, M2), donc par la face de la structure opposée à celle destinée à recevoir la lumière.

On comprendra ainsi que les trous précités (T) contribuent aussi (outre au transfert des charges de la couche transparente vers le métal M2) à la connexion des cellules successives entre elles, via la connexion entre la couche transparente conductrice (TCO) et la deuxième couche métallique (M2).

Finalement, en comptant le nombre de gravures, seule la première gravure précitée (P3 sur la figure 6 ou P1 sur la figure 8) coupe la couche active (Pile). En outre, cette couche active (Pile) n'est jamais occultée, même localement, par une couche de métal quelconque (qui est optiquement opaque). Seuls quelques trous locaux sont réalisés. Toutefois, les

gravures, notamment la première gravure précitée, s'étendent sur des tranchées parallèlement à une direction de la structure, et ce tout le long d'un module que forme l'ensemble de cellules, alors que les trous sont locaux et sont de diamètres ayant des dimensions comparables à celle d'une largeur de tranchée.

5

Plus particulièrement, dans une forme de réalisation, la structure comporte, pour chaque cellule, un réseau de trous (T), et les gravures (P1, P2, P3) forment des tranchées parallèles dans une direction de la structure (cette direction est perpendiculaire au plan de la figure 6), et chaque cellule a la forme d'une bande allongée le long de cette direction.

10

Typiquement, la première gravure (P3 ; P1), seule gravure à traverser la couche active (Pile), peut avoir une largeur inférieure à 50 μm , tandis que les trous (T) formés dans chaque cellule sont de diamètre inférieur à 100 μm .

15 Avantageusement et grâce à de telles dispositions, chaque cellule peut alors comporter une surface active pour produire l'effet photovoltaïque qui est supérieure à 95%. Enoncé autrement, la surface photovoltaïquement inactive de chaque cellule dans la structure au sens de l'invention reste limitée à moins de 5%.

20 Dans une forme de réalisation telle qu'illustrée sur la figure 6 (la réalisation de la figure 8 étant une alternative décrite plus loin), c'est la deuxième couche de métal (M2) de l'empilement qui est déposée sur le substrat (SUB).

25 Une telle réalisation dite « structure de type substrat » est avantageuse dans une technologie où la couche active (Pile) est à base d'un alliage de de type I-III-VI₂ (type CIGS). Dans une telle réalisation, la couche active (Pile) comporte alors un tel alliage.

On notera que dans une alternative encore à la réalisation de la figure 6 et toujours dans une structure de type « substrat », la deuxième couche de métal (M2) peut correspondre simplement au substrat lui-même, ce substrat étant en particulier métallique pour être

conducteur comme le métal M2 de la figure 6. Ainsi, la couche isolante (ISL) peut être déposée directement sur le substrat (SUB), lequel peut comporter alors une ou plusieurs découpes formant la troisième gravure précitée (équivalente de P1 sur la figure 6). Pour tenir le substrat avec une telle découpe, on peut prévoir de réaliser la découpe P1 par la face arrière en fin de process et éventuellement une encapsulation dans une matrice polymère ou autre.

La présente invention vise aussi un procédé de fabrication d'une structure de ce type en « substrat » et comportant (en référence à la figure 7), à partir de ladite deuxième couche de métal (M2) :

- Former (S2) ladite troisième gravure (P1) dans la deuxième couche de métal (M2) (soit sous la forme d'une couche déposée M2 sur substrat (SUB) avec gravure P1 dans cette couche, soit sous la forme d'un substrat lui-même métallique (SUB) avec découpe dans ce substrat),
- Déposer (S3) la couche isolante (ISL) sur la deuxième couche de métal (M2),
- Former (S4) ladite deuxième gravure (P2) dans la couche isolante (ISL) jusqu'à la surface de la deuxième couche de métal (M2),
- Déposer (S5) la première couche de métal (M1) sur la couche isolante (ISL),
- Graver (S6) au moins une ébauche de trou (T) dans la première couche de métal (M1) jusqu'à la surface de la couche isolante (ISL),
- Déposer (S7) la couche active (Pile) sur la première couche de métal (M1),
- Poursuivre (S8) la gravure du trou (T) dans la couche active (Pile) jusqu'à la surface de la deuxième couche de métal (M2), dans l'ébauche de trou,
- Déposer (S9) la couche transparente conductrice (TCO) pour finaliser l'empilement,
- Former (S10) ladite première gravure (P3) depuis la couche transparente conductrice (TCO) au moins jusqu'à la surface de la couche isolante (ISL), préférentiellement, et tout au plus jusqu'à la surface de la deuxième couche de métal (M2).

Ici, l'ébauche du trou est formée initialement avec un diamètre supérieur à celui de la poursuite du trou.

La présente invention vise aussi un module de panneau photovoltaïque, comprenant une pluralité de cellules comportant la structure définie ci-avant.

D'autres avantages et caractéristiques de l'invention apparaîtront à la lecture de la description détaillée d'exemples de réalisation de l'invention donnés ci-après, et à l'examen des dessins annexés sur lesquels :

- 10 - la figure 1 illustre schématiquement l'interconnexion monolithique dans un module à base de CIGS de l'art antérieur,
- la figure 2 illustre schématiquement les interconnexions de type « Back-end » de l'art antérieur,
- la figure 3 illustre schématiquement une interconnexion en série du type utilisant une grille métallique recouvrant les cellules,
- 15 - la figure 4 illustre une architecture de cellule solaire à trous développée sur substrat souple,
- la figure 5 illustre un exemple d'empilement de couches minces, de base, pour y appliquer un procédé selon l'invention, en vue d'obtenir une structure au sens de l'invention,
- 20 - la figure 6 illustre une telle structure au sens de l'invention permettant l'interconnexion monolithique en face arrière avec mise en série de deux cellules individuelles ici Cel n et Cel n+1,
- la figure 7 illustre un procédé au sens de l'invention, pour obtenir une structure du type illustré sur la figure 6,
- 25

- la figure 8 illustre une structure au sens de l'invention, alternative de celle présentée sur la figure 6.

On propose dans l'exemple de réalisation décrit ci-après à titre d'exemple une adaptation
 5 du principe de l'invention exposé ci-avant à une structure typique de cellules solaires dite « structure substrat ». Il s'agit d'une structure le plus souvent utilisée pour les cellules à base de CIGS.

En référence à la figure 5, on dépose sur un substrat SUB (comme du verre par exemple) une couche de métal M1 qui assurera la collecte des charges. Le métal M1 peut être du
 10 molybdène habituellement.

La couche photovoltaïque active peut être réalisée elle-même d'un empilement comportant au moins:

- une couche d'un matériau dit « absorbeur » (de photons) qui est typiquement un semi-conducteur de type p ou n (par exemple du CIGS pour le type p), et, par-dessus,
- 15 - une couche d'un autre matériau semi-conducteur, respectivement de type n ou p (tel que du sulfure de cadmium (CdS) pour le type n).

L'association de ces deux couches de CIGS et CdS sera noté par la suite « Pile » notamment dans les figures 5 à 7.

Ensuite, toujours en référence à la figure 7, une couche transparente conductrice TCO est
 20 déposée sur la couche Pile, pour assurer la collecte des charges de signe opposé aux charges collectées par la couche de métal M1. Le matériau de cette couche TCO peut être un oxyde transparent conducteur comme par exemple de l'oxyde de zinc (ZnO), dopé pour être conducteur (par exemple à l'aluminium, au bore, au chlore, ou autre).

On indique ici que plus le dopage de la couche TCO augmente et moins elle est
 25 transparente, ce qui diminue alors la quantité de lumière que peut convertir la couche Pile. D'un autre côté, diminuer son dopage rend la couche TCO moins conductrice. On comprend alors l'avantage d'améliorer la conductivité de la couche TCO grâce aux trous précités puisque cette conduction peut être assurée alors par la deuxième couche M2.

Dans ce contexte de structure « substrat » à titre d'exemple, l'invention consiste en particulier à ajouter :

- une deuxième couche de métal (notée M2 par la suite) et

- 5 - une couche d'un matériau électriquement isolant (par exemple du SiO_2 , du SiN_x , de l' Al_2O_3 , ou autres), noté ISL, entre le substrat SUB et la couche de métal M1.

La couche de métal M1 peut être réalisée en molybdène pour accueillir ensuite le dépôt de la couche Pile, le dépôt de CIGS (Pile) sur molybdène (M1) pouvant être réalisé par une technique connue, bien maîtrisée (par exemple par électrolyse puis recuit).

- 10 La deuxième couche de métal M2 peut être réalisée quant à elle à base de nickel ou d'aluminium ou d'un alliage de ces deux métaux, ou encore de zinc.

Alternativement, il peut s'agir du substrat lui-même SUB, celui-ci étant conducteur, par exemple métallique tel que du cuivre ou autre, et découpé pour former une « gravure » P1.

- 15 En effet, plusieurs étapes de structuration ensuite permettent de connecter directement la couche TCO avec le métal M2 en face arrière et d'effectuer l'interconnexion métallique entre les différentes cellules individuelles par l'intermédiaire des couches de métal M1 et M2. Le schéma global décrivant cette structure est présenté sur la figure 6.

La structure de la figure 6 peut être obtenue par les étapes de fabrication illustrées sur la figure 7 et qui sont par exemple les suivantes :

- 20 - Dépôt de la couche de métal M2 sur le substrat SUB (étape S1),
- Gravure P1 (par exemple une gravure linéaire pour un assemblage 2D de cellules) dans le métal M2 (étape S2),
- Dépôt de l'isolant ISL sur le métal M2 (étape S3),
- Gravure (linéaire) P2 (parallèle à P1) dans l'isolant ISL jusqu'à la surface du métal
- 25 M2 (étape S4),
- Dépôt du métal M1 sur l'isolant ISL (étape S5),
- Gravure de trous T (un réseau de trous en 2D) dans le métal M1 jusqu'à la surface de l'isolant ISL (avec un diamètre de trou choisi, noté d1) (étape S6),

- Dépôt de la couche active Pile sur le métal M1 (étape S7),
 - Poursuite de la gravure de trous T dans la couche Pile jusqu'à la surface du métal M2 dans les trous précédemment gravés (diamètre de trou d_2 avec $d_2 < d_1$) (étape S8),
- 5 - Dépôt de la couche TCO par-dessus le tout (étape S9),
- Gravure linéaire P3 (parallèle aux gravures P1 et P2 selon une direction perpendiculaire au plan de la figure 6) depuis la couche TCO jusqu'à la surface de l'isolant ISL (étape S10).
- 10 Grâce à une telle disposition, les charges collectées par la couche conductrice TCO sont conduites vers la couche de métal M2 au niveau des trous T pour chaque cellule individuelle. Cette couche de métal M2 d'une cellule Cel n+1, est connectée électriquement à la couche de métal M1 d'une cellule adjacente Cel n, comme illustré sur la figure 6.
- 15 Les trous T ont idéalement un diamètre inférieur à $100\mu\text{m}$. Grâce à leur taille très réduite, on peut optimiser la taille et la densité de trous de façon à s'affranchir des pertes résistives et ainsi optimiser la collecte du courant, tout en diminuant considérablement la surface morte par rapport à une grille métallique par exemple.
- 20 Les gravures P1P2P3, combinées aux trous, permettent de mettre en série les cellules individuelles, comme dans l'état de l'art.

La différence toutefois avec un procédé classique (décrit en référence à la figure 1 de l'art antérieur ci-avant) est que seule la gravure P3 crée une zone morte dans l'invention, permettant ainsi de réduire la largeur de la zone morte d'une taille de l'ordre de 200 à 500

25 microns à une taille d'environ 50 microns ou moins. De plus, la très haute précision d'alignement nécessaire pour effectuer les gravures P1P2P3 dans l'art antérieur tout en minimisant les zones mortes n'est plus nécessaire avec une seule gravure de la couche Pile. Augmenter les distances entre les gravures P1P2P3 permet de simplifier le procédé. En revanche, l'alignement pour effectuer les gravures dans les trous T est

préférentiellement très précis et peut nécessiter comme décrit ci-dessus deux étapes S6 et S8.

Il convient de noter d'ailleurs que ces gravures dans l'invention, même si elles portent des références similaires dans les dessins (P1,P2,P3), n'ont rien à voir avec le jeu de gravures type P1P2P3 de l'art antérieur (figure1), tant en termes de localisations respectives que d'ordre dans les étapes du procédé de fabrication.

Ainsi, l'invention propose la mise en place d'un nouvel empilement de couches et une nouvelle structuration permettant de minimiser la surface de zone morte sur les modules photovoltaïque en reportant les éléments d'interconnexion en face arrière du module. La surface de zone morte pourrait atteindre avec cette méthode moins de 1% (voir moins de 0,5%) de la surface du module, c'est-à-dire une diminution par 5 voir par 10 de la surface de zone morte.

De plus, l'avantage comparé au procédé classique P1P2P3 ou dans les autres exemples de l'art antérieur décrits en référence aux figures 2 et 3 est qu'une seule des gravures crée une zone morte dans cette invention, et ne nécessite alors plus une très grande précision d'alignement entre les gravures qui était nécessaire dans l'art antérieur.

Typiquement, augmenter les distances entre les gravures P1P2P3 permet de simplifier le procédé.

En diminuant ainsi la surface de la zone morte, on augmente la puissance délivrée par le module. Par exemple, si on passe d'une zone morte occupant 5% de la surface du panneau à 1%, on augmente la puissance du panneau de 4%.

Par ailleurs, si cette technique conduit à la formation d'une zone morte de surface négligeable (moins de 1%), on peut augmenter la densité des éléments d'interconnexion pour diminuer les effets de pertes résistives sans conduire à une augmentation notable de la zone morte, augmentant de fait la puissance délivrée par le panneau.

Ces deux avantages combinés peuvent permettre de diminuer la perte de rendement lors de l'assemblage des cellules en un module (laquelle perte est habituellement de l'ordre de 25%).

Par ailleurs, un autre avantage d'une réalisation au sens de l'invention est que les performances d'interconnexion par rapport à l'état de l'art ne sont pas particulièrement dégradées. En effet, les interconnexions monolithiques sont semblables entre le procédé
 5 P1P2P3 décrit en référence à la figure 1 de l'art antérieur ci-avant et dans l'invention, puisqu'il s'agit de trois gravures linéaires.

Toutefois, une différence notable peut se remarquer : dans la figure 1 de l'art antérieur, on effectue une gravure dans le métal M1, une gravure dans la couche Pile, une gravure dans les couches TCO et Pile. La zone morte s'étend donc de la première P1 à la dernière
 10 gravure P3. Dans l'invention, on effectue une gravure P1 seulement dans le métal M2, une gravure P2 seulement dans l'isolant ISL et une gravure P3 dans l'empilement TCO/Pile/Métal M1. Les couches gravées sont donc différentes, et la zone morte créée (aux trous près) ne correspond qu'à la largeur de la gravure P3 dans l'empilement TCO/Pile/Métal M1, les deux autres gravures ne créant pas de zone morte avec un trou
 15 dans la couche active Pile.

Le principe des trous T est semblable au procédé décrit ci-avant en référence à la figure 4 de l'art antérieur, avec néanmoins, là encore, plusieurs différences :

- le procédé de l'invention permet, avec le séquençage de dépôts de couches et
 20 formation de gravures et trous, l'interconnexion de toutes les cellules en même temps dans un module, alors que dans l'art antérieur de la figure 4, chaque trou ne se fait qu'un à un et les cellules ne sont mises en série qu'une à une ultérieurement. En d'autres termes, dans l'art antérieur, une première étape de réalisation permet de reporter les électrons d'une couche de type TCO vers la face arrière, via ces trous, pour former des cellules
 25 individuelles et il est ensuite nécessaire de procéder à une seconde étape pour la mise en série des cellules ;

- ce procédé de l'art antérieur nécessite un substrat souple/flexible, et peut difficilement être réalisé sur un substrat rigide comme du verre, car ce procédé de l'art antérieur nécessite de percer mécaniquement le substrat,

- la couche isolante et la couche conductrice ajoutées à l'arrière de la cellule doivent, dans cet art antérieur, être ajoutées en fin de procédé, ce qui s'accompagne d'étapes supplémentaires comme l'ajout d'une pate conductrice dans les trous pour connecter la couche TCO à la couche conductrice arrière. Dans la réalisation présentée ci-avant, la
- 5 couche de métal M2, la couche isolante ISL et la couche de métal M1 sont simplement déposées avant le dépôt de la couche Pile et de la couche de TCO,
- le matériau isolant est une couche mince ISL de type SiO_2 , SiN_x , Al_2O_3 dans la réalisation au sens de l'invention, alors qu'il s'agit d'un polymère dans le cas de l'art antérieur de la figure 4, avec des techniques de dépôt particulières pour un polymère qui
- 10 ne sont pas forcément compatibles avec des techniques de dépôts usuelles, notamment avec des recuits habituels de sélénisation-sulfuration en technologie CIGS.

Bien entendu, la présente invention ne se limite pas à la forme de réalisation décrite ci-avant à titre d'exemple ; elle s'étend à d'autres variantes.

- 15 Ainsi par exemple, la taille des trous T ou des gravures P1P2P3, l'agencement et/ou la distance entre les trous ainsi formés peuvent être ajustés selon les propriétés de la couche d'oxyde TCO afin de minimiser les pertes résistives.

La forme de la base des trous ainsi formés n'est pas fixée (ronde, rectangulaire, conique, cylindrique, ou autre).

- 20 Les trous peuvent être cylindriques comme précité, mais aussi étendus sous la forme de lignes (en 2D), comme des tranchées.

Les distances entre gravures (entre P1 et P2, P2 et P3) n'ont plus besoin d'être réduites au minimum car les zones entre les gravures ne sont pas inactives dans la présente invention.

- 25 Les métaux M1 et M2 peuvent être remplacés par tout matériau conducteur (transparent ou non).

L'oxyde transparent conducteur TCO peut être remplacé par tout matériau à la fois transparent et conducteur.

Le substrat n'est pas limité au verre. Il peut être rigide ou flexible, notamment dans le cas d'un substrat SUB métallique en tant que couche M2.

Les couches de la Pile et/ou du TCO peuvent être déposées par une technique de dépôt localisé (comme par exemple l'électrodépôt), ou non (comme la co-évaporation, PVD ou autres), avec des recuits éventuels si nécessaires.

La prise de contacts électriques peut se faire entre le métal M1 (première cellule du module) et le TCO ou le métal M2 (de la dernière cellule du module), ou inversement.

Enfin, on a présenté ci-avant en référence à la figure 6 une structure de type « substrat » où l'empilement précité est déposé sur substrat par la deuxième couche métallique M2. Néanmoins, alternativement, l'invention peut être définie aussi par la structure illustrée sur la figure 8, cette structure étant de type dit « superstrat », où ici c'est la couche transparente TCO (sur la face opposée de l'empilement à celle de la couche M2) qui est déposée sur un substrat transparent (du verre par exemple). Les notations P1 et P3 sont alors inversées car les gravures correspondantes sont inversées dans l'ordre du procédé de fabrication. Néanmoins, dans les deux cas :

- la « première » gravure dans l'exposé de l'invention ci-avant (P3 – figure 6, P1 – figure 8) est celle qui permet de dé-court-circuiter deux cellules entre elles par la face destinée à recevoir la lumière ;
- la « troisième » gravure précitée (P1 – figure 6, P3 – figure 8) est celle qui permet de dé-court-circuiter deux cellules entre elles par la face opposée à celle destinée à recevoir la lumière ; et
- la deuxième gravure précitée permet d'interconnecter deux cellules entre elles par leurs couches métalliques respectives (par la face opposée à celle destinée à recevoir la lumière).

REVENDEICATIONS

1. Structure de cellules photovoltaïques interconnectées sur un même substrat, la structure comportant un empilement de couches incluant au moins :

- une première couche de métal conducteur (M1),

5 - une couche conductrice transparente (TCO), et

- une couche active (Pile), à propriétés photovoltaïques, entre la première couche de métal (M1) et la couche transparente (TCO),

La structure étant caractérisée en ce que l'empilement comporte en outre :

- Une deuxième couche de métal conducteur (M2), et

10 - Une couche électriquement isolante (ISL) entre les première (M1) et deuxième (M2) couche de métal conducteur,

La couche active (Pile) étant ainsi adjacente à la couche transparente (TCO), ladite couche transparente (TCO) étant destinée à être face à un éclairage provoquant l'effet photovoltaïque, et

15 La deuxième couche de métal (M2) et la couche transparente (TCO) étant ainsi à des faces respectives opposées de l'empilement,

Et en ce que la structure comporte en outre, pour une séparation en au moins deux cellules (Cel n, Cel n+1) et assurer des interconnexions entre les deux cellules:

20 - une première gravure (P3 ; P1) à travers la première couche de métal (M1), la couche active (Pile) et la couche transparente (TCO), avec une partie de la couche isolante (ISL) affleurant en au moins un bord de la première gravure, pour séparer et isoler électriquement les deux cellules,

- une deuxième gravure (P2) à travers la couche isolante (ISL) pour connecter la première couche de métal (M1) de l'une des deux cellules à la deuxième couche de métal (M2) de
25 l'autre des deux cellules, et interconnecter ainsi les deux cellules par les couches de métal (M1, M2),

- une troisième gravure (P1 ; P3) dans la deuxième couche métallique (M2), pour séparer et isoler électriquement les deux cellules relativement à la deuxième couche de métal (M2), et

- 5 - au moins un trou (T) dans chaque cellule, à travers la couche active (Pile), la première couche de métal (M1) et la couche d'isolant (ISL), comblé par une excroissance de la deuxième couche métallique (M2) et/ou par une excroissance de la couche conductrice transparente (TCO) pour assurer un transfert de charges de la couche conductrice transparente (TCO) vers la deuxième couche de métal (M2),

la structure étant caractérisée en outre en ce que :

- 10 - la première gravure (P3 ; P1), seule gravure à traverser la couche active (Pile), a une largeur inférieure à 50 μm , tandis que les trous (T) formés dans chaque cellule sont de diamètre inférieur à 100 μm ,
- chaque cellule comporte une surface active pour produire l'effet photovoltaïque qui est supérieure à 95%.

15

2. Structure selon la revendication 1, caractérisée en ce qu'elle comporte, pour chaque cellule, un réseau de trous (T), lesdites gravures (P1, P2, P3) formant des tranchées parallèles dans une direction de la structure, et chaque cellule ayant la forme d'une bande allongée le long de ladite direction.

20

3. Structure selon l'une des revendications précédentes, caractérisée en ce que la deuxième couche de métal (M2) de l'empilement est déposée sur un substrat (SUB).

- 25 4. Structure selon l'une des revendications 1 à 2, caractérisée en ce que la deuxième couche de métal (M2) forme un substrat métallique (SUB) sur lequel est déposée la couche isolante (ISL), le substrat (SUB) comportant une découpe formant ladite troisième gravure (P1).

5. Structure selon l'une des revendications 3 et 4, caractérisée en ce que la couche active (Pile) comporte un alliage de type I-III-VI₂.

5 6. Module de panneau photovoltaïque, comprenant une pluralité de cellules comportant la structure selon l'une des revendications précédentes.

7. Procédé de fabrication d'une structure selon l'une des revendications 3 à 5, caractérisé en ce qu'il comporte, à partir de ladite deuxième couche de métal (M2) :

- 10 - Former (S2) ladite troisième gravure (P1) dans la deuxième couche de métal (M2),
- Déposer (S3) la couche isolante (ISL) sur la deuxième couche de métal (M2),
- Former (S4) ladite deuxième gravure (P2) dans la couche isolante (ISL) jusqu'à la surface de la deuxième couche de métal (M2),
- Déposer (S5) la première couche de métal (M1) sur la couche isolante (ISL),
- 15 - Graver (S6) au moins une ébauche de trou (T) dans la première couche de métal (M1) jusqu'à la surface de la couche isolante (ISL),
- Déposer (S7) la couche active (Pile) sur la première couche de métal (M1),
- Poursuivre (S8) la gravure du trou (T) dans la couche active (Pile) jusqu'à la surface de la deuxième couche de métal (M2), dans l'ébauche de trou, les trous (T)
- 20 formés dans chaque cellule étant de diamètre inférieur à 100 µm,
- Déposer (S9) la couche transparente conductrice (TCO) pour finaliser l'empilement,
- Former (S10) ladite première gravure (P3) depuis la couche transparente conductrice (TCO) au moins jusqu'à la surface de la couche isolante (ISL), la dite première gravure (P3) étant d'une largeur inférieure à 50 µm,
- 25 chaque cellule comportant une surface active pour produire l'effet photovoltaïque qui est supérieure à 95%.

8. Procédé selon la revendication 7, caractérisé en ce que l'ébauche du trou est formée avec un diamètre supérieur à celui de la poursuite du trou.

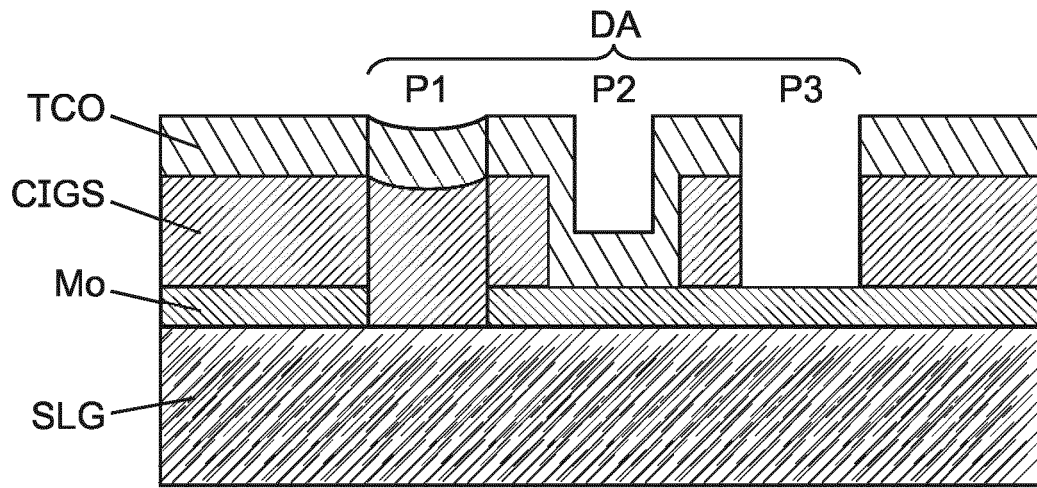


FIG. 1

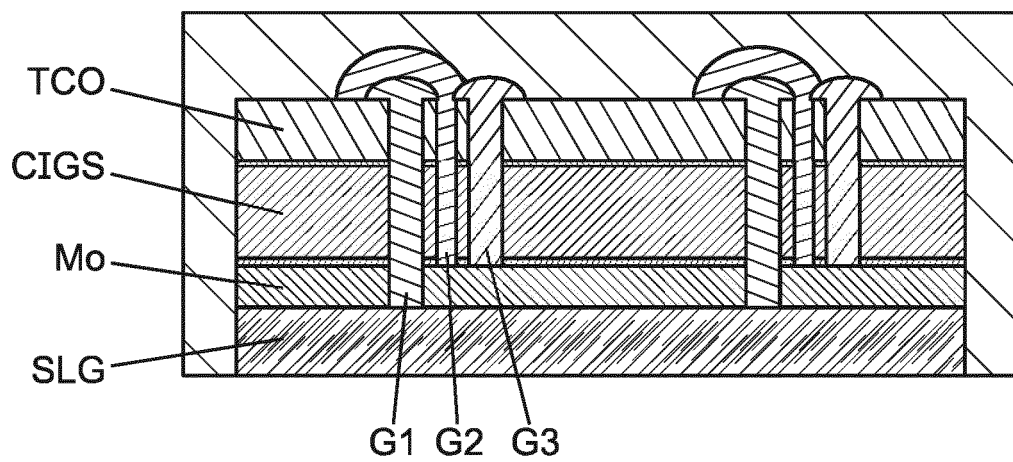


FIG. 2

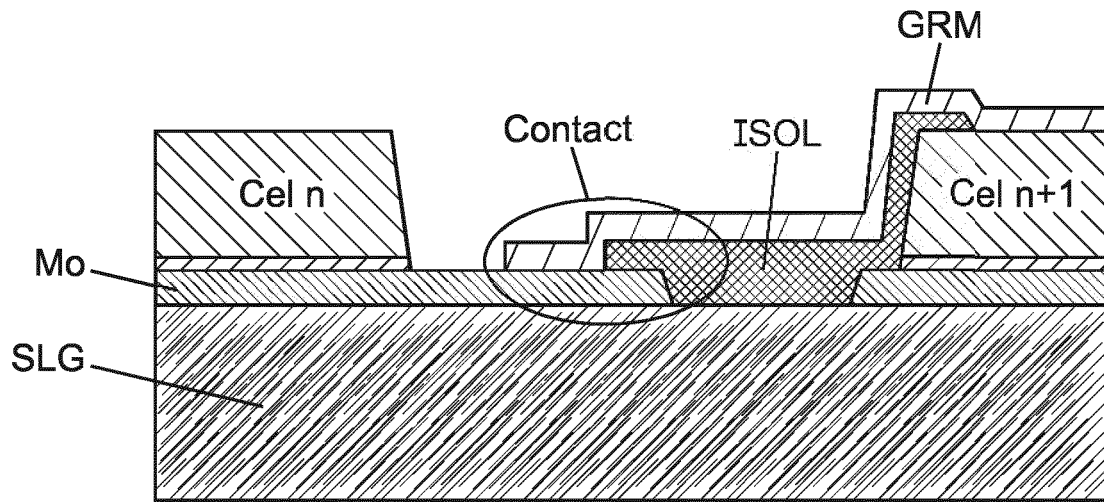


FIG. 3

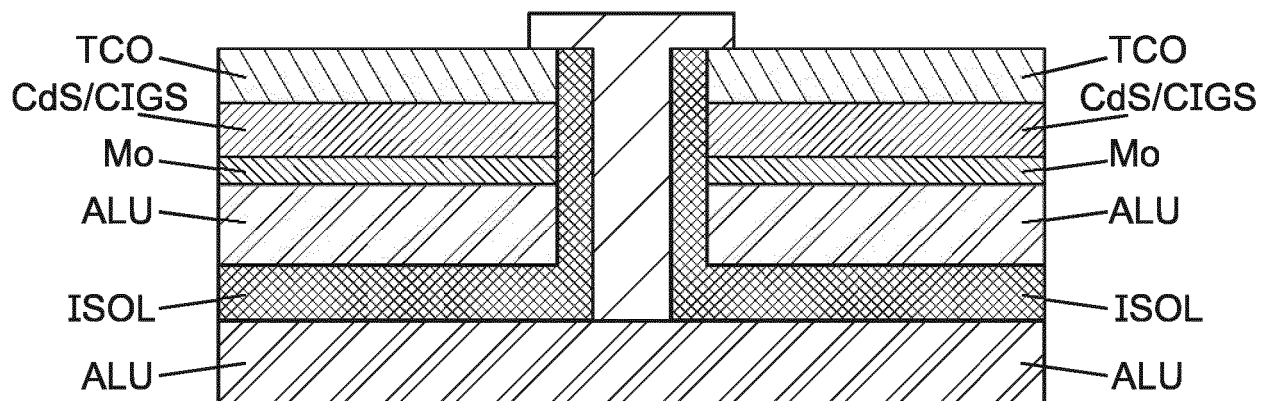


FIG. 4

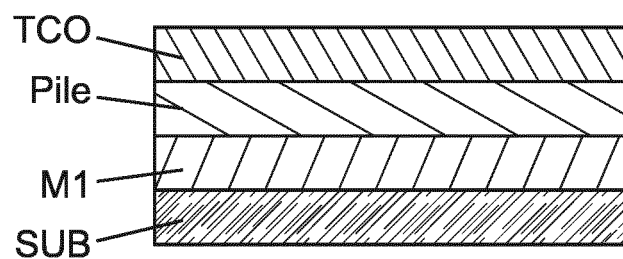
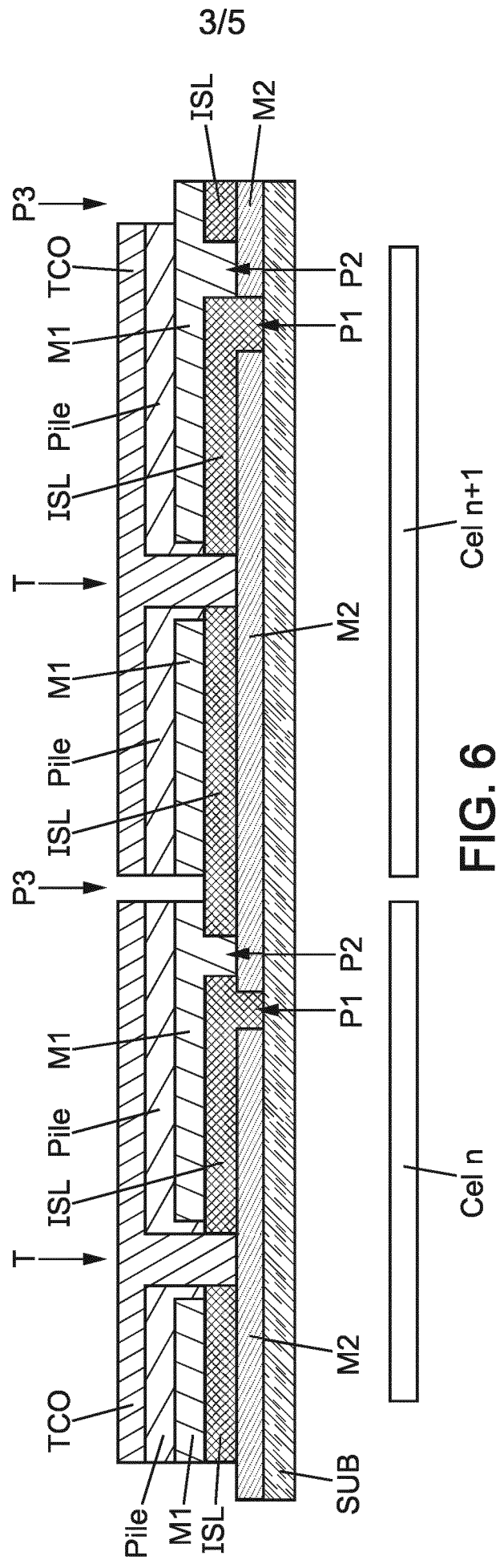
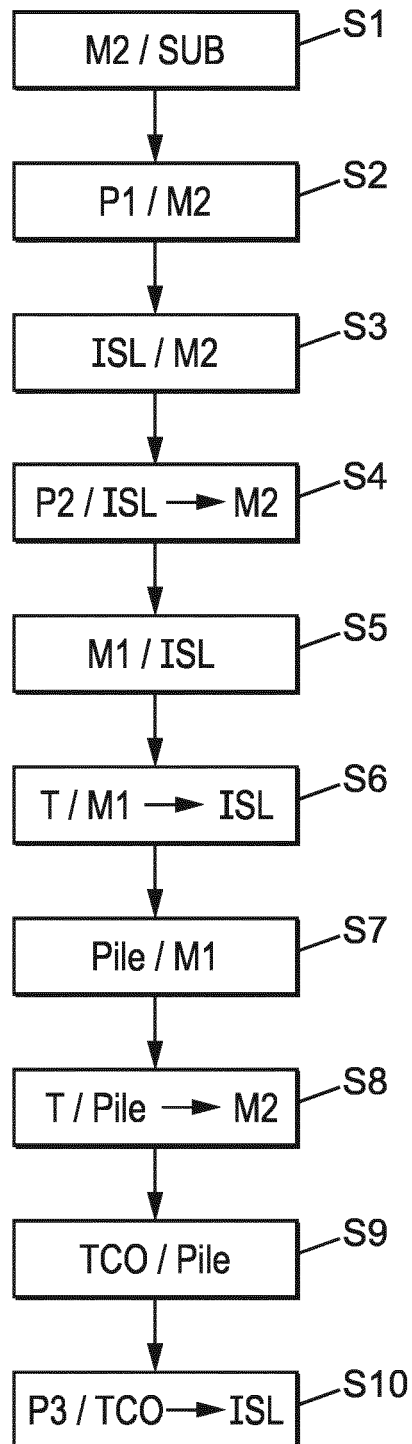
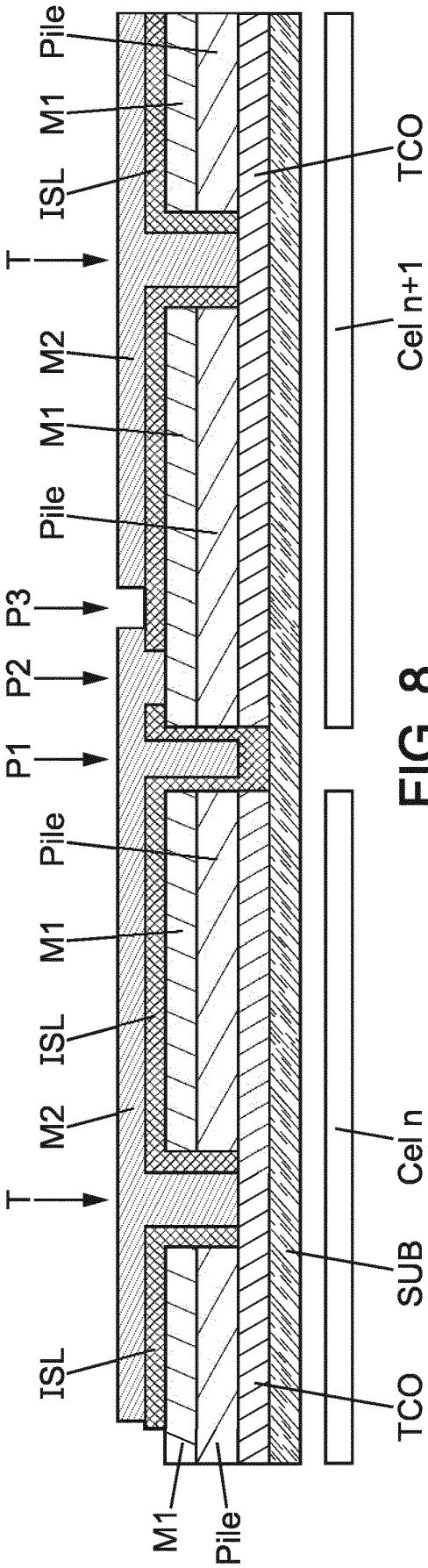


FIG. 5



**FIG. 7**



RAPPORT DE RECHERCHE

articles L.612-14, L.612-53 à 69 du code de la propriété intellectuelle

OBJET DU RAPPORT DE RECHERCHE

L'I.N.P.I. annexe à chaque brevet un "RAPPORT DE RECHERCHE" citant les éléments de l'état de la technique qui peuvent être pris en considération pour apprécier la brevetabilité de l'invention, au sens des articles L. 611-11 (nouveau) et L. 611-14 (activité inventive) du code de la propriété intellectuelle. Ce rapport porte sur les revendications du brevet qui définissent l'objet de l'invention et délimitent l'étendue de la protection.

Après délivrance, l'I.N.P.I. peut, à la requête de toute personne intéressée, formuler un "AVIS DOCUMENTAIRE" sur la base des documents cités dans ce rapport de recherche et de tout autre document que le requérant souhaite voir prendre en considération.

CONDITIONS D'ETABLISSEMENT DU PRESENT RAPPORT DE RECHERCHE

☐ Le demandeur a présenté des observations en réponse au rapport de recherche préliminaire.

☐ Le demandeur a maintenu les revendications.

☒ Le demandeur a modifié les revendications.

☐ Le demandeur a modifié la description pour en éliminer les éléments qui n'étaient plus en concordance avec les nouvelles revendications.

☐ Les tiers ont présenté des observations après publication du rapport de recherche préliminaire.

☐ Un rapport de recherche préliminaire complémentaire a été établi.

DOCUMENTS CITES DANS LE PRESENT RAPPORT DE RECHERCHE

La répartition des documents entre les rubriques 1, 2 et 3 tient compte, le cas échéant, des revendications déposées en dernier lieu et/ou des observations présentées.

☒ Les documents énumérés à la rubrique 1 ci-après sont susceptibles d'être pris en considération pour apprécier la brevetabilité de l'invention.

☒ Les documents énumérés à la rubrique 2 ci-après illustrent l'arrière-plan technologique général.

☐ Les documents énumérés à la rubrique 3 ci-après ont été cités en cours de procédure, mais leur pertinence dépend de la validité des priorités revendiquées.

☐ Aucun document n'a été cité en cours de procédure.

1. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE SUSCEPTIBLES D'ETRE PRIS EN CONSIDERATION POUR APPRECIER LA BREVETABILITE DE L'INVENTION

DE 10 2015 114135 A1 (CALYXO GMBH [DE])
2 mars 2017 (2017-03-02)

2. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE ILLUSTRANT L'ARRIERE-PLAN TECHNOLOGIQUE GENERAL

US 2007/186971 A1 (LOCHUN DARREN [US] ET AL) 16 août 2007 (2007-08-16)

WO 2009/148562 A1 (SOLEXANT CORP [US]; REDDY DAMODER [US]; LEIDHOLM CRAIG [US]; GERGEN BR) 10 décembre 2009 (2009-12-10)

3. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE DONT LA PERTINENCE DEPEND DE LA VALIDITE DES PRIORITES

NEANT