

19 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
COURBEVOIE

11 N° de publication :
(à n'utiliser que pour les
commandes de reproduction)

3 154 232

21 N° d'enregistrement national : 23 11223

51 Int Cl⁸ : H 01 L 31/046 (2024.01), H 01 L 31/046, 31/05

12

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

22 Date de dépôt : 17.10.23.

30 Priorité :

43 Date de mise à la disposition du public de la demande : 18.04.25 Bulletin 25/16.

56 Liste des documents cités dans le rapport de recherche préliminaire : *Se reporter à la fin du présent fascicule*

60 Références à d'autres documents nationaux apparentés :

○ Demande(s) d'extension :

71 Demandeur(s) : INSTITUT PHOTOVOLTAÏQUE D'ILE DE FRANCE (IPVF) Société par Action Simplifiée à Associé Unique — FR, TOTALÉNERGIES ONETECH Société par actions simplifiée (SAS) — FR, ELECTRICITE DE FRANCE Société anonyme — FR, CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE Etablissement public national à caractère administratif — FR et ECOLE POLYTECHNIQUE Etablissement Public, Scientifique et Technologique (EPST) — FR.

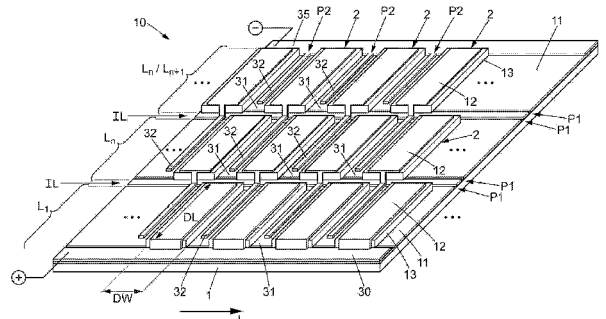
72 Inventeur(s) : ROUSSET Jean et Zimmermann Iwan.

73 Titulaire(s) : INSTITUT PHOTOVOLTAÏQUE D'ILE DE FRANCE (IPVF) Société par Action Simplifiée à Associé Unique, ELECTRICITE DE FRANCE Société anonyme, TOTALÉNERGIES ONETECH Société par actions simplifiée (SAS), CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE Etablissement public national à caractère administratif, ECOLE POLYTECHNIQUE Etablissement Public, Scientifique et Technologique (EPST).

74 Mandataire(s) : Plasseraud IP.

54 MODULE PHOTOVOLTAÏQUE A CONNEXIONS INTEGRES D'ASSEMBLAGE EN SERIE ET EN PARALLELE.

57 Un module photovoltaïque (10) à connexions intégrées d'assemblage en série et en parallèle, comprend un substrat (1) et une pluralité de cellules photovoltaïques (2) qui sont identiques et portées ensemble par une face du substrat, chaque cellule photovoltaïque étant formée par une portion respective d'un même empilement de couches de matériaux solides. Le module photovoltaïque comprend en outre des portions de couches conductrices électriquement, qui sont portées par le substrat (1) et agencées pour connecter électriquement les cellules photovoltaïques (2) selon une combinaison d'au moins un assemblage en parallèle avec au moins un assemblage en série. Un tel module photovoltaïque est particulièrement adapté pour faire partie d'un panneau photovoltaïque composite à fonctionnement en tandem. Figure d'abrégé : Figure 2



FR 3 154 232 - A1



Description

Titre de l'invention : MODULE PHOTOVOLTAÏQUE A CONNEXIONS INTEGREES D'ASSEMBLAGE EN SERIE ET EN PARALLELE

Domaine technique

[0001] La présente description concerne un module photovoltaïque à connexions intégrées d'assemblage en série et en parallèle, un procédé de fabrication d'un tel module ainsi qu'un panneau photovoltaïque composite à fonctionnement en tandem qui comprend un tel module.

Technique antérieure

[0002] Afin d'obtenir des tensions électriques de sortie qui soient élevées, il est connu de réaliser des panneaux photovoltaïques qui sont constitués chacun par un assemblage en série de cellules photovoltaïques individuelles. C'est le cas notamment des panneaux photovoltaïques à cellules à base de silicium, disponibles commercialement, dont les tensions électriques de sortie sont de l'ordre de quelques dizaines de volts.

[0003] Il est aussi connu de réaliser un assemblage en série de multiples cellules photovoltaïques d'une façon qui soit intégrée à un module. Pour cela, un empilement photovoltaïque est déposé sur un substrat du module, sous forme d'une succession de couches minces, comprenant notamment une couche d'électrode inférieure, une partie photo-active d'empilement et une électrode supérieure. Les étapes de dépôt des matériaux sont combinées avec des étapes de gravure afin que des chevauchements entre des parties d'électrodes supérieure et inférieure réalisent l'assemblage électrique en série de cellules photovoltaïques séparées, toutes formées à partir de l'empilement photovoltaïque qui est déposé une seule fois sur le substrat. La séquence des gravures est couramment désignée par gravure P1, qui découpe la couche d'électrode inférieure, gravure P2, qui découpe la partie photo-active d'empilement, et gravure P3, qui découpe la couche d'électrode supérieure.

[0004] Enfin, il est aussi connu de réaliser des panneaux photovoltaïques composites à fonctionnement en tandem, pour augmenter une efficacité de conversion photovoltaïque dans une partie à plus faibles valeurs de longueur d'onde du domaine spectral d'absorption de rayonnement. De tels panneaux composites présentent ainsi des capacités de production d'électricité qui sont supérieures. Mais il est alors nécessaire d'adapter entre deux panneaux photovoltaïques élémentaires qui constituent ensemble le panneau composite à fonctionnement en tandem, leurs dimensions respectives afin qu'ils puissent être superposés dans un cadre périphérique commun du panneau composite. En outre, il est nécessaire que les deux panneaux photovoltaïques élé-

mentaires aient des valeurs respectives de tension de sortie lorsqu'ils reçoivent du rayonnement, qui soient égales ou sensiblement égales pour les connecter électriquement en parallèle au sein du panneau composite. De tels panneaux composites à assemblage électrique en parallèle sont dits à quatre terminaux dans la littérature spécialisée, par opposition aux panneaux composites à assemblage électrique en série, dits à deux terminaux. Mais lorsque l'un des deux panneaux photovoltaïques élémentaires est d'un type à base de pérovskite, un assemblage en série seulement des cellules de ce panneau aboutit à une valeur de tension de sortie qui peut être très élevée, notamment par rapport à un panneau de type à base de silicium, ce qui empêche de connecter les deux panneaux élémentaires en parallèle.

Problème technique

- [0005] A partir de cette situation, un but de la présente invention est de fournir des modules photovoltaïques à faible coût dont la valeur de tension de sortie peut être ajustée facilement par la conception du module.
- [0006] Un autre but de l'invention est de fournir de tels modules photovoltaïques qui puissent avoir de grandes dimensions.
- [0007] Enfin, encore un autre but de l'invention est de fournir des panneaux photovoltaïques composites à fonctionnement en tandem qui soient faciles à assembler mécaniquement et électriquement, et qui possèdent des prix de revient réduits.

Résumé de l'invention

- [0008] Pour atteindre l'un au moins de ces buts ou un autre, un premier aspect de l'invention propose un module photovoltaïque à connexions intégrées d'assemblage en série et en parallèle. Ce module comprend un substrat et une pluralité de cellules photovoltaïques qui sont identiques et portées ensemble par une face du substrat, chaque cellule photovoltaïque étant formée par une portion respective d'un même empilement de couches de matériaux solides qui sont superposées sur la face du substrat. Cet empilement comprend au moins une couche d'électrode inférieure, une couche d'électrode supérieure et une partie photo-active d'empilement qui est adaptée pour générer du courant photovoltaïque à partir de rayonnement incident sur cette partie photo-active d'empilement. Dans l'empilement, la partie photo-active d'empilement est intermédiaire entre la couche d'électrode inférieure et la couche d'électrode supérieure, la couche d'électrode inférieure étant plus proche du substrat que la couche d'électrode supérieure.
- [0009] La partie photo-active d'empilement varie en fonction du type des cellules photovoltaïques. En particulier, ce peut être une couche d'un matériau de type pérovskite qui est insérée entre une couche de transport d'électrons et une couche de transport de trous.

- [0010] Dans le module de l'invention, les cellules photovoltaïques sont juxtaposées sur la face du substrat de façon à former des lignes parallèles, avec un espace interligne qui sépare les cellules photovoltaïques appartenant à deux lignes voisines.
- [0011] Selon l'invention, le module photovoltaïque comprend en outre des portions de couches conductrices électriquement, qui sont aussi portées par le substrat et agencées pour connecter électriquement les cellules photovoltaïques les unes avec les autres selon un assemblage électrique mixte qui est une combinaison d'au moins un assemblage en parallèle de cellules photovoltaïques ou groupes de cellules photovoltaïques avec au moins un assemblage en série de cellules photovoltaïques ou groupes de cellules photovoltaïques.
- [0012] Ainsi, le module photovoltaïque de l'invention combine les deux modes d'assemblage électrique en parallèle et en série, pour ajuster la valeur de la tension électrique de sortie du module. Grâce à cette combinaison des deux modes d'assemblage électrique, la valeur de la tension électrique de sortie du module peut être sélectionnée plus librement, notamment pour correspondre à celle d'un autre panneau photovoltaïque afin de constituer un panneau composite à fonctionnement en tandem.
- [0013] De plus, l'assemblage électrique des cellules photovoltaïques étant réalisé par des portions de couches conductrices qui sont intégrées au module, aucune opération de pose de connexions électriques n'a besoin d'être effectuée en reprise pour chaque cellule photovoltaïque du module. Le module photovoltaïque peut ainsi être plus rapide à fabriquer et moins onéreux.
- [0014] Enfin, le module photovoltaïque de l'invention peut avoir des dimensions quelconques, notamment en augmentant le nombre de cellules photovoltaïques qui sont connectées en parallèle. En adaptant ainsi ses dimensions à celles d'un autre panneau photovoltaïque, le module de l'invention peut être assemblé facilement avec cet autre panneau photovoltaïque dans un cadre périphérique commun pour constituer un panneau composite à fonctionnement en tandem.
- [0015] De préférence, certaines des portions de couches conductrices électriquement peuvent être agencées pour connecter électriquement en parallèle les cellules photovoltaïques qui appartiennent à une même ligne, de façon à constituer un groupe distinct de cellules photovoltaïques assemblées en parallèle pour chaque ligne. Certaines autres des portions de couches conductrices électriquement peuvent être agencées pour connecter électriquement en série ces groupes de cellules photovoltaïques qui correspondent respectivement aux lignes. La valeur de la tension électrique de sortie du module photovoltaïque est ainsi déterminée par le nombre des lignes dans le module, et celle du courant électrique de sortie du module photovoltaïque est déterminée par le nombre de cellules dans chaque ligne.
- [0016] Avantagusement, les cellules photovoltaïques et les portions de couches

conductrices électriquement qui les connectent électriquement les unes avec les autres dans le module photovoltaïque, peuvent constituer un motif élémentaire qui est répété entre au moins deux des cellules photovoltaïques à l'intérieur de chaque ligne, et qui est aussi répété entre au moins deux des lignes du module photovoltaïque.

- [0017] Notamment, à l'intérieur de chaque ligne, les portions de couches conductrices qui connectent électriquement en parallèle les cellules photovoltaïques de cette ligne, peuvent être constituées par des prolongements continus de la couche d'électrode inférieure entre les cellules photovoltaïques de cette ligne. De plus, entre deux lignes voisines qui sont appelées ligne n et ligne $n+1$ respectivement, les portions de couches conductrices électriquement qui connectent électriquement en série les groupes de cellules respectifs des deux lignes peuvent être constituées par des segments conducteurs qui relient électriquement la couche d'électrode supérieure dans la ligne $n+1$ à la couche d'électrode inférieure dans la ligne n , à travers l'espace interligne qui sépare la ligne n et la ligne $n+1$, et en franchissant un écart de hauteur au-dessus de la face du substrat qui correspond au moins à une épaisseur de la partie photo-active d'empilement. Une telle conception du motif à l'intérieur du module est optimisée pour réduire des zones du substrat non-utiles pour la conversion photovoltaïque du rayonnement, couramment appelées zones mortes. n peut être un indice entier de numérotation des lignes à l'intérieur du module photovoltaïque, entre deux bords opposés du substrat parallèles aux lignes.
- [0018] De plus, chaque segment conducteur qui relie électriquement la couche d'électrode supérieure dans la ligne $n+1$ à la couche d'électrode inférieure dans la ligne n , peut s'étendre sur un des prolongements continus de la couche d'électrode inférieure dans la ligne n , entre deux cellules photovoltaïques voisines de cette ligne n , en étant en contact électrique avec le prolongement continu de la couche d'électrode inférieure dans la ligne n . Les zones mortes dans le module photovoltaïque peuvent ainsi être réduites dans une mesure supplémentaire.
- [0019] Dans des premiers modes de réalisation de l'invention, chaque segment conducteur qui relie électriquement la couche d'électrode supérieure dans la ligne $n+1$ à la couche d'électrode inférieure dans la ligne n , peut être constitué par un prolongement de cette couche d'électrode supérieure. Une telle configuration est particulièrement adaptée quand la couche d'électrode supérieure est métallique ou en un alliage métallique, et notamment lorsqu'elle est opaque. Le module photovoltaïque est alors opaque et destiné à recevoir le rayonnement à travers le substrat. Dans ce cas, le substrat et la couche d'électrode inférieure sont transparents pour le rayonnement. De tels premiers modes de réalisation peuvent être fabriqués avec un nombre d'étapes qui est minimal.
- [0020] Dans des seconds modes de réalisation de l'invention, la couche d'électrode inférieure et la couche d'électrode supérieure peuvent être chacune transparentes pour le

rayonnement, en plus du substrat qui est aussi transparent. Dans cet autre cas, chaque segment conducteur qui relie électriquement la couche d'électrode supérieure dans la ligne $n+1$ à la couche d'électrode inférieure dans la ligne n , peut être constitué par une superposition d'un prolongement de la couche d'électrode supérieure avec un segment d'un métal ou d'un alliage métallique. Le segment de métal ou d'alliage métallique s'étend alors d'un côté sur la couche d'électrode supérieure dans la ligne $n+1$ en étant en contact électrique avec elle, et la superposition du prolongement de la couche d'électrode supérieure avec le segment de métal ou d'alliage métallique s'étend d'un autre côté sur un des prolongements continus de la couche d'électrode inférieure dans la ligne n , entre deux cellules photovoltaïques voisines de cette ligne n , en étant en contact électrique avec cette couche d'électrode inférieure. De tels seconds modes de réalisation peuvent être partiellement transparents, et adaptés pour fournir un module à incorporer dans un panneau photovoltaïque composite à fonctionnement en tandem.

- [0021] Lorsque les cellules photovoltaïques et les portions de couches conductrices électriquement qui les relient entre elles constituent un motif répété, les cellules photovoltaïques qui appartiennent à la ligne $n+1$ peuvent être décalées parallèlement aux lignes par rapport aux cellules photovoltaïques qui appartiennent à la ligne n . Des longueurs de parcours de charges photoélectriques qui sont générées pendant une utilisation du module photovoltaïque peuvent ainsi être plus courtes dans les couches d'électrodes inférieure et supérieure, si bien qu'une résistance électrique interne du module est diminuée. De préférence, la longueur de décalage peut être égale à la moitié d'un pas des cellules photovoltaïques dans chaque ligne, mesuré parallèlement aux lignes. La résistance interne du module photovoltaïque peut ainsi être diminuée de façon optimisée.
- [0022] L'invention peut être tout particulièrement appliquée à un module photovoltaïque dans lequel la partie photo-active d'empilement comprend une couche d'un matériau de type pérovskite. Dans ce cas, une dimension de largeur de chaque cellule photovoltaïque peut être comprise entre 5 mm (millimètre) et 50 mm, mesurée parallèlement aux lignes.
- [0023] De façon générale pour l'invention, le nombre des lignes dans le module photovoltaïque et le nombre de cellules photovoltaïques dans chaque ligne peuvent être quelconques. Par exemple, le nombre des lignes dans le module photovoltaïque peut être compris entre 2 et 100, de préférence supérieur à 10, et le nombre de cellules photovoltaïques dans chaque ligne peut être compris entre 2 et 200, de préférence aussi supérieur à 10.
- [0024] Un deuxième aspect de l'invention propose un procédé de fabrication d'un module photovoltaïque à connexions intégrées d'assemblage en série et en parallèle, qui comprend les étapes suivantes :

/1/ déposer une couche d'électrode inférieure sur une face d'un substrat, en recouvrant continûment cette face du substrat ;

/2/ graver des premiers traits dans la couche d'électrode inférieure, de façon à former des bandes d'électrode inférieure séparées et parallèles à une direction de ligne ;

/3/ déposer une partie photo-active d'empilement qui est adaptée pour générer du courant photovoltaïque à partir de rayonnement incident sur celle-ci, en recouvrant continûment les bandes d'électrode inférieure ;

/4/ au-dessus de chaque bande d'électrode inférieure, graver des deuxièmes traits dans la partie photo-active d'empilement, de façon à découvrir la bande d'électrode inférieure dans chaque deuxième trait ;

/5/ déposer une couche d'électrode supérieure, en recouvrant continûment la partie photo-active d'empilement et les deuxièmes traits, de sorte que la couche d'électrode supérieure soit en contact avec la couche d'électrode inférieure dans chaque deuxième trait ; puis

/6/ graver la couche d'électrode supérieure en formant des troisièmes traits, de façon à séparer des portions de cette couche d'électrode supérieure qui sont situées de part et d'autre de chaque troisième trait.

[0025] Selon l'invention, chaque deuxième trait est perpendiculaire à la direction de ligne et intermédiaire entre deux premiers traits voisins. En outre, chaque troisième trait est associé à l'un des premiers traits en comportant des segments longitudinaux de troisième trait qui sont alignés et parallèles à ce premier trait, et qui sont raccordés entre segments longitudinaux de troisième trait successifs par des méandres de contournement transversal agencés chacun pour contourner un des deuxièmes traits, sur un même côté du premier trait qu'un décalage des segments longitudinaux de troisième trait par rapport au premier trait, perpendiculairement à la direction de ligne et en projection sur la face du substrat.

[0026] Selon le mode de réalisation, notamment selon que le module photovoltaïque est semi-transparent ou non, le procédé de fabrication peut comprendre en outre l'étape suivante :

/7/ la couche d'électrode supérieure étant en un oxyde conducteur transparent, déposer des segments métalliques sur cette couche d'électrode supérieure, chaque segment métallique étant perpendiculaire à la direction de ligne et s'étendant d'un côté au-dessus d'un des deuxièmes traits à l'intérieur d'un méandre de contournement de ce deuxième trait par un des troisièmes traits, et s'étendant d'un autre côté au-dessus d'une cellule photovoltaïque en passant continûment au-dessus du premier trait auquel est associé le troisième trait.

[0027] Dans ce procédé, les étapes /2/, /4/, /6/ et /7/ le cas échéant, peuvent être exécutées en utilisant des motifs de gravure adaptés pour produire un module photovoltaïque qui est

conforme au premier aspect de l'invention, y compris ses perfectionnements et modes de réalisation préférés.

[0028] Enfin, un troisième aspect de l'invention concerne un panneau photovoltaïque composite à fonctionnement en tandem, qui comprend un panneau de cellules photovoltaïques à base de silicium, et un panneau photovoltaïque supplémentaire semi-transparent. Le panneau photovoltaïque supplémentaire comprend au moins un module photovoltaïque qui est conforme au premier aspect de l'invention. Le panneau de cellules photovoltaïques à base de silicium et le panneau photovoltaïque supplémentaire sont superposés le long d'une direction de propagation d'un rayonnement qui est destiné à produire de l'électricité pendant une utilisation du panneau photovoltaïque composite, le panneau de cellules photovoltaïques à base de silicium étant situé de façon à recevoir le rayonnement après que ce rayonnement a traversé le panneau photovoltaïque supplémentaire.

Brève description des figures

[0029] Les caractéristiques et avantages de la présente invention apparaîtront plus clairement dans la description détaillée ci-après d'exemples de réalisation non-limitatifs, en référence aux figures annexées parmi lesquelles :

[0030] [Fig.1] est une vue en coupe d'un empilement pouvant être utilisé dans un module photovoltaïque qui est conforme à l'invention ;

[0031] [Fig.2] est une vue en perspective de principe d'un module photovoltaïque qui est conforme à l'invention ;

[0032] [Fig.3] est un schéma qui montre des directions de collecte de courants photo-électriques qui sont effectives dans le module photovoltaïque de [Fig.2] ;

[0033] [Fig.4a] illustre une étape d'un procédé de fabrication d'un module photovoltaïque conforme à l'invention ;

[0034] [Fig.4b] illustre une autre étape du procédé de fabrication de module photovoltaïque de [Fig.4a] ;

[0035] [Fig.4c] illustre encore une autre étape du procédé de fabrication de module photovoltaïque de [Fig.4a] et [Fig.4b] ;

[0036] [Fig.4d] est une première vue en coupe d'un module photovoltaïque conforme à l'invention et tel qu'obtenu par le procédé de fabrication de [Fig.4a]-[Fig.4c] ;

[0037] [Fig.4e] est une seconde vue en coupe du module photovoltaïque de [Fig.4d] ;

[0038] [Fig.5] correspond à [Fig.2] pour un autre module photovoltaïque qui est aussi conforme à l'invention ; et

[0039] [Fig.6] illustre un panneau photovoltaïque composite à fonctionnement en tandem, qui utilise un module photovoltaïque conforme à [Fig.5].

Description détaillée de l'invention

[0040] Pour raison de clarté, les dimensions des éléments qui sont représentés dans ces figures ne correspondent ni à des dimensions réelles, ni à des rapports de dimensions réels. En outre, des références identiques qui sont indiquées dans des figures différentes désignent des éléments identiques ou qui ont des fonctions identiques.

[0041] A titre d'illustration mais sans limitation de l'invention, les modes de réalisation qui sont décrits dans la suite sont tous à base d'un matériau de type pérovskite, en tant qu'absorbeur de rayonnement. L'empilement qui constitue les cellules photovoltaïques des modules décrits est montré dans [Fig.1]. Cet empilement est déposé en couches minces successives sur un substrat 1. Ce substrat 1 peut être en un verre qui est transparent pour le rayonnement solaire. Dans l'ordre à partir du substrat 1, l'empilement comprend :

- une couche d'électrode inférieure 11, qui peut être en un oxyde conducteur transparent tel que l'oxyde d'étain dopé au fluor ($\text{SnO}_2\text{:F}$), l'oxyde d'indium dopé à l'étain (ITO), l'oxyde zinc dopé à l'aluminium (AZO ou ZnO:Al) ou de l'oxyde de zinc dopé à l'indium (IZO ou ZnO:In) ;
- une couche de transport d'électrons 131, notée ETL et qui peut être à base d'oxyde d'étain (SnO_2), d'oxyde de titane (TiO_2), d'ester méthylique de l'acide phényl-C61-butyrique (PCBM), de fullerène (C_{60}) ou d'un mélange d'au moins deux de ces matériaux ;
- une couche du matériau de type pérovskite 132, notée PKT ;
- une couche de transport de trous 133, notée HTL et qui peut être à base de 2,2',7,7'-tétrakis[N,N-di(4-méthoxyphényl)amino]-9,9'-spirodifluorène couramment désigné spiro-OMeTAD, de poly(triaryl amine) couramment désigné par PTAA, d'oxyde de nickel (NiO) ou de thiocyanate de cuivre (CuSCN) ; et
- une couche d'électrode supérieure 12, qui peut être en or (Au), en argent (Ag), en aluminium (Al), etc... ou en un alliage métallique, ou bien en un oxyde conducteur transparent similaire à ceux cités plus haut pour la couche d'électrode inférieure 11.

Pour chacune de ces couches, l'Homme du métier sait sélectionner une composition appropriée, une valeur d'épaisseur appropriée, ainsi qu'un procédé de dépôt approprié. La couche de transport d'électrons 131, celle du matériau pérovskite 132 et celle de transport de trous 133 constituent ensemble la partie photo-active de l'empilement, qui produit l'effet photovoltaïque. Cette partie photo-active de l'empilement est désignée par la référence 13 dans la suite. Pour les positions des couches 131 et 133 qui viennent d'être citées, la couche d'électrode inférieure 11 constitue la borne électrique négative de chaque cellule photovoltaïque, et la couche d'électrode supérieure 12 constitue sa borne électrique positive. Possiblement, les positions des bornes électriques négative et positive peuvent être inversées, en échangeant les positions des couches de transport 131 et 133 dans l'empilement. Possiblement aussi, l'empilement

qui constitue les cellules photovoltaïques peut comprendre des couches supplémentaires non-représentées, mais connues de l'Homme du métier.

[0042] Comme montré par [Fig.2], dans un module photovoltaïque conforme à l'invention qui est désigné globalement par la référence 10, chaque cellule photovoltaïque 2 est constituée individuellement par une portion respective de l'empilement qui vient d'être décrit. Toutes les cellules photovoltaïques 2 sont identiques dans le module 10, ou sont identiques à l'exception possible de cellules qui sont situées sur des bords périphériques du module. Les portions d'empilement qui constituent les cellules 2 sont de préférence rectangulaires en projection dans un plan parallèle au substrat 1, et disposées en lignes qui s'étendent parallèlement à la direction de ligne L. DW désigne la dimension de largeur de chaque cellule photovoltaïque 2 qui est ainsi formée, mesurée parallèlement à la direction de ligne L. Par exemple, DW peut être égale à 20 mm. En outre, les cellules de deux lignes voisines sont de préférence décalées de la moitié du pas des cellules dans chaque ligne, parallèlement à la direction de ligne L. La dimension de longueur de chaque cellule 2, notée DL et mesurée perpendiculairement à la direction de ligne L, peut être égale à 40 mm, par exemple.

[0043] Le module 10 peut comporter, à titre d'exemple, 50 lignes et 50 cellules 2 par ligne. Les lignes peuvent être comptées à partir d'un bord du module 10 qui est parallèle à la direction de ligne L, en utilisant un indice entier de comptage noté n. [Fig.2] montre ainsi les $n^{\text{ème}}$ et $n+1^{\text{ème}}$ lignes, appelées ligne n et ligne n+1 dans la partie générale de la présente description, et notées L_n et L_{n+1} , respectivement. Pour raison de clarté, [Fig.2] représente un module 10 qui ne comporte que trois lignes, et seulement quatre cellules 2 sont représentées dans chaque ligne. Dans la suite, N désigne le nombre des lignes dans le module photovoltaïque 10.

[0044] Des traits de gravure P1 séparent des bandes de la couche d'électrode inférieure 11 qui sont dédiées séparément à deux lignes voisines de cellules 2. Ces traits de gravure P1 sont situés au niveau d'un espace interligne IL qui sépare les portions de la partie photo-active d'empilement 13 qui appartiennent aux deux lignes voisines. Chaque trait de gravure P1 peut avoir une largeur individuelle d'environ 25 μm (micromètre) à 50 μm . Avantagusement, deux traits de gravure P1 peuvent être situés au niveau de chaque espace interligne IL, dont l'un un peu en retrait à l'intérieur d'une des lignes de cellules, pour éviter un court-circuit dans l'assemblage en série des groupes de cellules 2 qui correspondent à deux lignes voisines de cellules. Ainsi, toutes les cellules 2 d'une même ligne partagent une même bande de la couche d'électrode inférieure 11. Des portions de cette bande d'électrode inférieure sont donc situées sous les portions de la partie photo-active d'empilement 13 des cellules 2 de la ligne concernée, et sont reliées continûment entre cellules voisines à l'intérieur de cette ligne. Ainsi, des prolongements continus de chaque bande d'électrode inférieure entre cellules 2 qui sont

voisines à l'intérieur de la ligne, désignés par la référence 31 dans [Fig.2], sont des portions de couche conductrice qui réalisent une partie d'un assemblage électrique en parallèle des cellules 2 de la ligne. A l'intérieur de chaque ligne de cellules 2, la séparation entre les portions de partie photo-active d'empilement 13 qui sont relatives à des cellules 2 voisines, est réalisée par des traits de gravure P2. Ces traits de gravure P2, qui peuvent avoir une largeur individuelle d'environ 50 μm mesurée parallèlement à la direction de ligne L, laissent intacte la bande de couche d'électrode inférieure 11 sous-jacente. Enfin, la portion de couche d'électrode supérieure 12 qui appartient individuellement à chaque cellule 2 recouvre la portion de partie photo-active d'empilement 13 de cette cellule sans venir au contact de la couche d'électrode inférieure 11 sur le pourtour de la portion de partie photo-active d'empilement. Comme cela est visible dans [Fig.2], chaque portion de couche d'électrode supérieure 12 qui appartient à une des cellules 2 de la ligne L_{n+1} s'étend en outre sous forme d'un segment 32 entre deux cellules 2 de la ligne L_n , sans toutefois atteindre l'espace interligne IL qui sépare la ligne L_n de la ligne L_{n-1} . Ce segment 32 franchit continûment le bord d'épaisseur de la portion de partie photo-active d'empilement 13 de la cellule 2 de la ligne L_{n+1} , et traverse l'espace interligne IL qui sépare les cellules 2 de la ligne L_{n+1} de celles de la ligne L_n . Tous les segments 32 qui sont ainsi issus de la ligne L_{n+1} sont en contact électrique direct avec la bande d'électrode inférieure de la ligne L_n , terminant l'assemblage électrique en parallèle des cellules 2 de la ligne L_{n+1} et réalisant simultanément l'assemblage électrique en série de l'ensemble des cellules 2 de la ligne L_{n+1} avec l'ensemble des cellules 2 de la ligne L_n . Chaque segment 32 peut avoir une largeur d'environ 0,2 mm, ou 200 μm , mesurée parallèlement à la direction de ligne L, en débordant possiblement au-dessus des portions de partie photo-active d'empilement 13 des cellules 2 voisines (voir [Fig.4d] plus loin). Les cellules 2 de chaque ligne constituent ainsi un groupe à l'intérieur duquel elles sont toutes assemblées électriquement en parallèle les unes aux autres, et les groupes de cellules ainsi constitués sont assemblés électriquement en série à l'intérieur du module 10. Les portions de la couche d'électrode supérieure 12 qui appartiennent aux cellules 2 de la ligne L_1 se prolongent toutes jusqu'à une bande continue 30 de la couche d'électrode supérieure 12, qui constitue la borne de sortie électrique positive du module 10. En outre, la couche d'électrode supérieure 12 peut être découpée selon une structure en peigne au niveau de la dernière ligne L_N de cellules 2, à l'opposé de la ligne L_1 , avec les dents du peigne qui s'étendent en tant que segments 32 sur les prolongements de la couche d'électrode inférieure 11 entre les cellules 2 de la ligne L_N . Ce peigne de couche d'électrode supérieure 12, désigné par la référence 35, constitue la borne de sortie électrique négative du module 10.

[0045] [Fig.3] montre les trajets de circulation des charges photoélectriques qui sont

généérées dans un module 10 conforme à [Fig.2], lorsque ce module reçoit du rayonnement solaire. Les électrons qui sont produits dans la partie photo-active d'empilement 13 de chaque cellule 2 de la ligne L_n sont collectés par la portion d'électrode inférieure 11 de cette cellule puis circulent dans la bande d'électrode inférieure de la ligne L_n parallèlement à la direction de ligne L , jusqu'au segment 32 le plus proche, selon les flèches F_{e1} . Ils circulent ensuite dans les segments 32 en direction de la ligne L_{n+1} selon les flèches F_{e2} . Simultanément, les trous qui sont produits dans la partie photo-active d'empilement 13 de chaque cellule 2 de la ligne L_{n+1} sont collectés par la portion d'électrode supérieure 12 de cette cellule puis transmis en direction de la ligne L_n par le segment 32 qui est issu de cette cellule, selon les flèches F_t . Ces flèches F_t relaient les flèches F_{e2} dans les segments 32 car les flèches F_t et F_{e2} sont relatives à des charges photoélectriques de signes opposées.

[0046] On décrit maintenant des étapes successives d'un procédé de fabrication d'un module 10 qui est conforme au principe illustré par [Fig.2]. Lors d'une étape initiale, la couche d'électrode inférieure 11 est déposée sur le substrat 1, de façon à recouvrir uniformément une face de ce dernier. Puis une première étape de gravure est mise en œuvre, pour réaliser les traits de gravure P1. Le matériau de la couche d'électrode inférieure 11 est entièrement retiré dans chacun des traits de gravure P1, de façon à isoler électriquement les bandes de couche d'électrode inférieure 11 qui correspondront à des lignes successives L_n et L_{n+1} de cellules 2. Les traits de gravure P1 sont réalisés continûment à travers tout le module 10 en cours de fabrication, parallèlement à la direction de ligne L comme montré dans [Fig.4a]. Possiblement mais optionnellement, deux traits de gravure P1 peuvent être réalisés au niveau de chaque espace interligne IL, pour éviter en plus que, dans le module 10 terminé, la bande d'électrode inférieure 11 de la ligne L_n de cellules 2 soit en contact avec les portions de partie photo-active d'empilement 13 de la ligne L_{n+1} .

[0047] La partie photo-active d'empilement 13 est alors déposée sur le module 10 en cours de fabrication, de façon à recouvrir uniformément ce dernier. Une deuxième étape de gravure est alors mise en œuvre, pour réaliser les traits de gravure P2. Le matériau de la partie photo-active d'empilement 13 est entièrement retiré dans chacun des traits de gravure P2, pour exposer à l'intérieur de ces traits de gravure P2 la couche d'électrode inférieure 11. Les traits de gravure P2 sont réalisés perpendiculairement à la direction de ligne L à l'intérieur de chaque future ligne de cellules 2, comme montré dans [Fig.4b].

[0048] La couche d'électrode supérieure 12 est ensuite déposée sur le module 10 en cours de fabrication, encore de façon à le recouvrir continûment. Une troisième étape de gravure est alors mise en œuvre, pour séparer les portions de couche d'électrode supérieure 12 de cellules 2 qui sont voisines à l'intérieur de chaque ligne, tout en laissant les

segments 32 dans les traits de gravure P2. Cette troisième étape de gravure retire aussi la couche d'électrode supérieure 12 dans des segments longitudinaux de trait P3_L qui sont parallèles à la direction de ligne L, à proximité des espaces interlignes IL entre deux segments 32 successifs. Un motif de gravure qui est possible pour cette troisième étape de gravure est montré dans [Fig.4c] et désigné par P3. Chaque trait de gravure P3 comporte ainsi un méandre de contournement transversal P3_C entre deux segments longitudinaux de trait P3_L qui sont successifs selon la direction de ligne L, pour contourner l'un des traits de gravure P2.

[0049] [Fig.4d] et [Fig.4e] sont des coupes d'un module 10 conforme à l'invention et tel qu'obtenu par le procédé qui vient d'être décrit. Son fonctionnement électrique est identique à celui qui a été décrit plus haut en référence à [Fig.2] et [Fig.3] malgré les différences topographiques qui apparaissent entre [Fig.2] d'une part et [Fig.4d]-[Fig.4e] d'autre part, compte tenu des très courtes longueurs de conduction électrique des matériaux des couches 131, 132 et 133. Le plan de coupe de [Fig.4d] est parallèle à la direction de ligne L et montre la séparation entre deux cellules 2 d'une même ligne L_n. Le plan de coupe de [Fig.4e] est perpendiculaire à la direction de ligne L et montre un espace interligne IL au niveau de la séparation entre deux lignes voisines de cellules 2.

[0050] Les procédés de dépôt de matériaux qui sont utilisés respectivement pour la couche d'électrode inférieure 11, chaque couche de la partie photo-active d'empilement 13 puis pour la couche d'électrode supérieure 12 peuvent être chacun un de ceux connus de l'Homme du métier pour le matériau concerné.

[0051] Dans le mode de réalisation décrit précédemment, la couche d'électrode supérieure 12 est en métal ou en un alliage métallique, et à cause de cela le module 10 est opaque. A partir d'une illumination du module 10 à travers son substrat 1 qui est transparent, cette couche métallique produit une fonction de miroir en face postérieure, grâce à laquelle la partie du rayonnement qui n'a pas été absorbée pendant sa traversée de la partie photo-active d'empilement 13, traverse cette partie 13 une seconde fois. Toutefois, le module 10 peut être transparent dans des modes de réalisation alternatifs de l'invention. Pour cela, le procédé de fabrication qui vient d'être décrit peut être repris jusqu'au dépôt de la couche d'électrode supérieure 12, mais un oxyde conducteur transparent est utilisé maintenant pour cette couche 12, par exemple le même matériau que celui de la couche d'électrode inférieure 11, en remplacement du métal ou de l'alliage métallique. Les motifs de gravure P1, P2 et P3 restent identiques. Dans ce cas d'un module transparent, le procédé de fabrication est complété en formant, sur le module 10, des segments métalliques 33 qui sont perpendiculaires à la direction de ligne L, qui traversent chaque cellule 2 et se prolongent sur la ligne de cellules voisine en superposition avec les segments 32. Chaque segment métallique 33

peut aussi avoir une largeur d'environ 0,1 mm à 0,2 mm, mesurée parallèlement à la direction de ligne L. Les segments métalliques 33, associés aux segments sous-jacents 32 de la couche d'électrode supérieure 12 en oxyde conducteur transparent, réalisent l'assemblage électrique en série des groupes séparés de cellules qui correspondent respectivement à des lignes voisines, tout en occupant une fraction très faible de la surface du module 10. Les segments métalliques 33 assurent que ces connexions d'assemblage électrique en série possèdent une conduction électrique qui soit suffisamment élevée, très supérieure à celle des seuls segments 32 en oxyde conducteur transparent. Ces segments métalliques 33 sont montrés en traits interrompus dans [Fig.4d] et [Fig.4e], en considérant que la couche d'électrode supérieure 12 est alors en oxyde conducteur transparent. [Fig.5] correspond à [Fig.2] pour un mode de réalisation où le module 10 est ainsi transparent. Elle montre chaque segment 32, maintenant en oxyde conducteur transparent, qui est recouvert par un segment métallique 33.

[0052] Enfin, [Fig.6] montre une utilisation possible d'un module 10 qui est conforme au principe de [Fig.5], pour constituer un panneau photovoltaïque composite à fonctionnement en tandem. Le panneau photovoltaïque composite est désigné globalement par la référence 100. Il comprend un panneau photovoltaïque à cellules à base de silicium 20, qui est disposé parallèlement à un autre panneau qui est constitué par le module 10 de [Fig.5]. Pour cette raison, la référence 10 est reprise dans [Fig.6] pour désigner le panneau qui est constitué par le module de [Fig.5]. Le panneau 20 peut être d'un modèle disponible commercialement. Notamment, il peut être constitué par un ensemble de cellules à base de silicium qui sont réalisées sur des substrats carrés séparés, disposés en pavage à l'intérieur de ce panneau 20, et connectés par des fils ou des pistes métalliques selon un assemblage électrique en série et/ou en parallèle. Les deux panneaux 10 et 20 ont des dimensions identiques, par exemple de l'ordre de 1 m (mètre) par 2 m. Ils peuvent ainsi être maintenus parallèles l'un à l'autre par un cadre périphérique commun 30, qui enserre le bord de chaque panneau 10, 20. Préférentiellement, le panneau 10 peut être orienté de sorte que la face de son substrat 1 qui porte l'empilement photovoltaïque soit tournée vers le panneau 20, et le panneau 20 possède sa face photo-active tournée vers le panneau 10. Ainsi, du rayonnement solaire R qui est incident du côté du panneau 10 est partiellement absorbé par celui-ci et partiellement transmis en direction du panneau 20, qui produit une absorption supplémentaire. L'absorption d'une partie du rayonnement R par chacun des panneaux photovoltaïques 10 et 20 fournit une quantité d'électricité correspondante, mais chaque panneau 10, 20 absorbe dans une partie du spectre du rayonnement R qui est différente de celle de l'autre panneau. Plus précisément, le panneau 10 absorbe une partie du rayonnement R qui possède des valeurs de longueur d'onde plus faibles que la partie supplémentaire du rayonnement R qui est absorbée par le panneau 20. Ce fonc-

tionnement du panneau composite 100 est couramment désigné par fonctionnement en tandem. Avantageusement, le panneau 10 comporte un nombre de lignes tel que les tensions électriques de sortie des deux panneaux 10 et 20 sont sensiblement identiques. De cette façon, les deux panneaux 10 et 20 peuvent être connectés en parallèle l'un avec l'autre, si bien que leurs courants électriques de sortie respectifs s'additionnent.

[0053] Il est entendu que l'invention peut être reproduite en modifiant des aspects secondaires des modes de réalisation qui ont été décrits en détail ci-dessus, tout en conservant certains au moins des avantages cités. Notamment, les cellules photovoltaïques du module de l'invention peuvent être alternativement à base d'une jonction en silicium, ou à base d'une jonction de type III/V, telle que du type GaInP (gallium-indium-phosphore), ou être du type CdTe (tellure de cadmium) ou CIGS (séléniure de cuivre, indium et gallium). Enfin, toutes les valeurs numériques qui ont été citées ne l'ont été qu'à titre d'illustration, et peuvent être changées en fonction de l'application considérée.

Revendications

- [Revendication 1] Module photovoltaïque (10) à connexions intégrées d'assemblage en série et en parallèle, comprenant un substrat (1) et une pluralité de cellules photovoltaïques (2) qui sont identiques et portées ensemble par une face du substrat, chaque cellule photovoltaïque étant formée par une portion respective d'un même empilement de couches de matériaux solides qui sont superposées sur la face du substrat, ledit empilement comprenant au moins une couche d'électrode inférieure (11), une couche d'électrode supérieure (12) et une partie photo-active d'empilement (13) qui est adaptée pour générer du courant photovoltaïque à partir de rayonnement incident sur ladite partie photo-active d'empilement, la partie photo-active d'empilement étant intermédiaire entre la couche d'électrode inférieure et la couche d'électrode supérieure dans l'empilement, et la couche d'électrode inférieure étant plus proche du substrat que la couche d'électrode supérieure, les cellules photovoltaïques (2) étant juxtaposées sur la face du substrat (1) de façon à former des lignes (L_n, L_{n+1}) parallèles, avec un espace interligne (IL) qui sépare les cellules photovoltaïques appartenant à deux lignes voisines, caractérisé en ce que le module photovoltaïque (10) comprend en outre des portions de couches conductrices électriquement, qui sont aussi portées par le substrat (1) et agencées pour connecter électriquement les cellules photovoltaïques (2) les unes avec les autres selon un assemblage électrique mixte qui est une combinaison d'au moins un assemblage en parallèle de cellules photovoltaïques ou de groupes de cellules photovoltaïques avec au moins un assemblage en série de cellules photovoltaïques ou de groupes de cellules photovoltaïques.
- [Revendication 2] Module photovoltaïque (10) selon la revendication 1, dans lequel certaines des portions de couches conductrices électriquement sont agencées pour connecter électriquement en parallèle les cellules photovoltaïques (2) qui appartiennent à une même ligne (L_n, L_{n+1}), de façon à constituer un groupe distinct de cellules photovoltaïques assemblées en parallèle pour chaque ligne, et d'autres des portions de couches conductrices électriquement sont agencées pour connecter électriquement en série lesdits groupes de cellules photovoltaïques qui correspondent respectivement aux lignes.
- [Revendication 3] Module photovoltaïque (10) selon la revendication 1 ou 2, dans lequel

- les cellules photovoltaïques (2) et les portions de couches conductrices électriquement qui connectent électriquement lesdites cellules photovoltaïques les unes avec les autres dans le module photovoltaïque, constituent un motif élémentaire qui est répété entre au moins deux des cellules photovoltaïques à l'intérieur de chaque ligne (L_n, L_{n+1}), et qui est aussi répété entre au moins deux des lignes du module photovoltaïque.
- [Revendication 4] Module photovoltaïque (10) selon les revendications 2 et 3, dans lequel : à l'intérieur de chaque ligne (L_n, L_{n+1}), les portions de couches conductrices électriquement qui connectent électriquement en parallèle les cellules photovoltaïques (2) de ladite ligne, sont constituées par des prolongements (31) continus de la couche d'électrode inférieure (11) entre les cellules photovoltaïques de ladite ligne, et entre deux lignes (L_n, L_{n+1}) voisines appelées ligne n et ligne n+1 respectivement, les portions de couches conductrices électriquement qui connectent électriquement en série les groupes de cellules respectifs des deux lignes sont constituées par des segments conducteurs qui relient électriquement la couche d'électrode supérieure (12) dans la ligne n+1 à la couche d'électrode inférieure (11) dans la ligne n, à travers l'espace interligne (IL) qui sépare la ligne n et la ligne n+1, et en franchissant un écart de hauteur au-dessus de la face du substrat (1) qui correspond au moins à une épaisseur de la partie photo-active d'empilement (13).
- [Revendication 5] Module photovoltaïque (10) selon la revendication 4, dans lequel chaque segment conducteur qui relie électriquement la couche d'électrode supérieure (12) dans la ligne n+1 à la couche d'électrode inférieure (11) dans la ligne n, s'étend sur un des prolongements continus (31) de la couche d'électrode inférieure dans la ligne n, entre deux cellules photovoltaïques (2) voisines de ladite ligne n, en étant en contact électrique avec ledit prolongement continu de la couche d'électrode inférieure dans la ligne n.
- [Revendication 6] Module photovoltaïque (10) selon la revendication 5, dans lequel chaque segment conducteur qui relie électriquement la couche d'électrode supérieure (12) dans la ligne n+1 à la couche d'électrode inférieure (11) dans la ligne n, est constitué par un prolongement (32) de ladite couche d'électrode supérieure, ou dans lequel la couche d'électrode inférieure (11) et la couche d'électrode supérieure (12) sont chacune transparentes pour le rayonnement, et chaque segment conducteur qui relie électriquement la couche d'électrode supérieure dans la ligne n+1 à la couche d'électrode

inférieure dans la ligne n, est constitué par une superposition d'un prolongement (32) de ladite couche d'électrode supérieure avec un segment (33) d'un métal ou d'un alliage métallique, ledit segment de métal ou d'alliage métallique s'étendant d'un côté sur la couche d'électrode supérieure dans la ligne n+1 en étant en contact électrique avec ladite couche d'électrode supérieure, et la superposition du prolongement de ladite couche d'électrode supérieure avec le segment de métal ou d'alliage métallique s'étendant d'un autre côté sur un des prolongements continus (31) de la couche d'électrode inférieure dans la ligne n, entre deux cellules photovoltaïques (2) voisines de ladite ligne n, en étant en contact électrique avec ladite couche d'électrode inférieure.

- [Revendication 7] Module photovoltaïque (10) selon l'une des revendications 3 à 6, dans lequel les cellules photovoltaïques (2) qui appartiennent à la ligne n+1 sont décalées parallèlement aux lignes (L_n , L_{n+1}) par rapport aux cellules photovoltaïques qui appartiennent à la ligne n, de préférence avec une longueur de décalage qui est égale à la moitié d'un pas des cellules photovoltaïques dans chaque ligne, mesuré parallèlement aux lignes.
- [Revendication 8] Module photovoltaïque (10) selon l'une des revendications 1 à 7, dans lequel la partie photo-active d'empilement (13) comprend une couche d'un matériau de type pérovskite.
- [Revendication 9] Module photovoltaïque (10) selon la revendication 7 et la revendication 8, dans lequel une dimension de largeur (DW) de chaque cellule photovoltaïque (2) est comprise entre 5 mm et 50 mm, mesurée parallèlement aux lignes (L_n , L_{n+1}).
- [Revendication 10] Procédé de fabrication d'un module photovoltaïque (10) à connexions intégrées d'assemblage en série et en parallèle, comprenant les étapes suivantes :
- /1/ déposer une couche d'électrode inférieure (11) sur une face d'un substrat (1), en recouvrant continûment ladite face du substrat ;
 - /2/ graver des premiers traits (P1) dans la couche d'électrode inférieure (11), de façon à former des bandes d'électrode inférieure séparées et parallèles à une direction de ligne (L) ;
 - /3/ déposer une partie photo-active d'empilement (13) qui est adaptée pour générer du courant photovoltaïque à partir de rayonnement incident sur ladite partie photo-active d'empilement, en recouvrant continûment les bandes d'électrode inférieure ;
 - /4/ au-dessus de chaque bande d'électrode inférieure, graver des deuxièmes traits (P2) dans la partie photo-active d'empilement (13), de

façon à découvrir ladite bande d'électrode inférieure dans chaque deuxième trait ;

/5/ déposer une couche d'électrode supérieure (12), en recouvrant continûment la partie photo-active d'empilement (13) et les deuxièmes traits (P2), de sorte que la couche d'électrode supérieure soit en contact avec la couche d'électrode inférieure (11) dans chaque deuxième trait ; puis

/6/ graver la couche d'électrode supérieure (12) en formant des troisièmes traits (P3), de façon à séparer des portions de ladite couche d'électrode supérieure qui sont situées de part et d'autre de chaque troisième trait,

le procédé de fabrication étant caractérisé en ce que chaque deuxième trait (P2) est perpendiculaire à la direction de ligne (L) et intermédiaire entre deux premiers traits (P1) voisins,

et en ce que chaque troisième trait (P3) est associé à l'un des premiers traits (P1) en comportant des segments longitudinaux de troisième trait (P3_L) qui sont alignés et parallèles audit premier trait, et qui sont raccordés entre segments longitudinaux de troisième trait successifs par des méandres de contournement transversal (P3_C) agencés chacun pour contourner un des deuxièmes traits (P2), sur un même côté du premier trait qu'un décalage des segments longitudinaux de troisième trait par rapport audit premier trait, perpendiculairement à la direction de ligne (L) et en projection sur la face du substrat (1),

et en ce que les étapes /2/, /4/ et /6/ sont exécutées en utilisant des motifs de gravure adaptés pour produire un module photovoltaïque (10) qui est selon l'une des revendications 1 à 9.

[Revendication 11]

Procédé selon la revendication 10, suivant lequel la couche d'électrode supérieure (12) est en un oxyde conducteur transparent, et le procédé comprend en outre l'étape suivante :

/7/ déposer des segments métalliques (33) sur la couche d'électrode supérieure (12), chaque segment métallique étant perpendiculaire à la direction de ligne (L) et s'étendant d'un côté au-dessus d'un des deuxièmes traits (P2) à l'intérieur d'un méandre de contournement dudit deuxième trait par un des troisièmes traits (P3), et s'étendant d'un autre côté au-dessus d'une cellule photovoltaïque (2) en passant continûment au-dessus du premier trait (P1) auquel est associé ledit troisième trait.

[Revendication 12]

Panneau photovoltaïque composite (100) à fonctionnement en tandem, comprenant un panneau (20) de cellules photovoltaïques qui sont à base

de silicium, et un panneau supplémentaire semi-transparent qui comprend au moins un module photovoltaïque (10) selon l'une des revendications 1 à 9, le panneau de cellules photovoltaïques à base de silicium et le panneau supplémentaire semi-transparent étant superposés le long d'une direction de propagation d'un rayonnement qui est destiné à produire de l'électricité pendant une utilisation du panneau photovoltaïque composite, le panneau de cellules photovoltaïques à base de silicium étant situé de façon à recevoir le rayonnement après que ledit rayonnement a traversé le panneau photovoltaïque supplémentaire.

[Fig. 1]

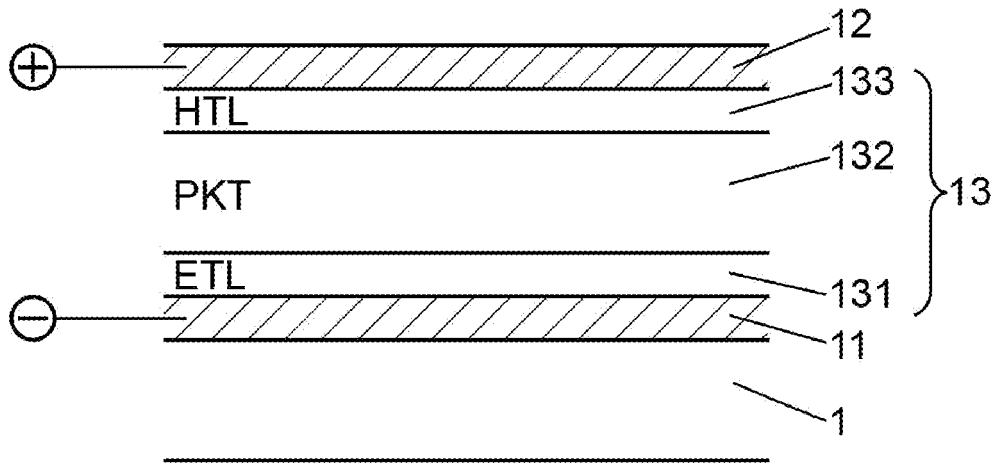


FIG. 1

[Fig. 2]

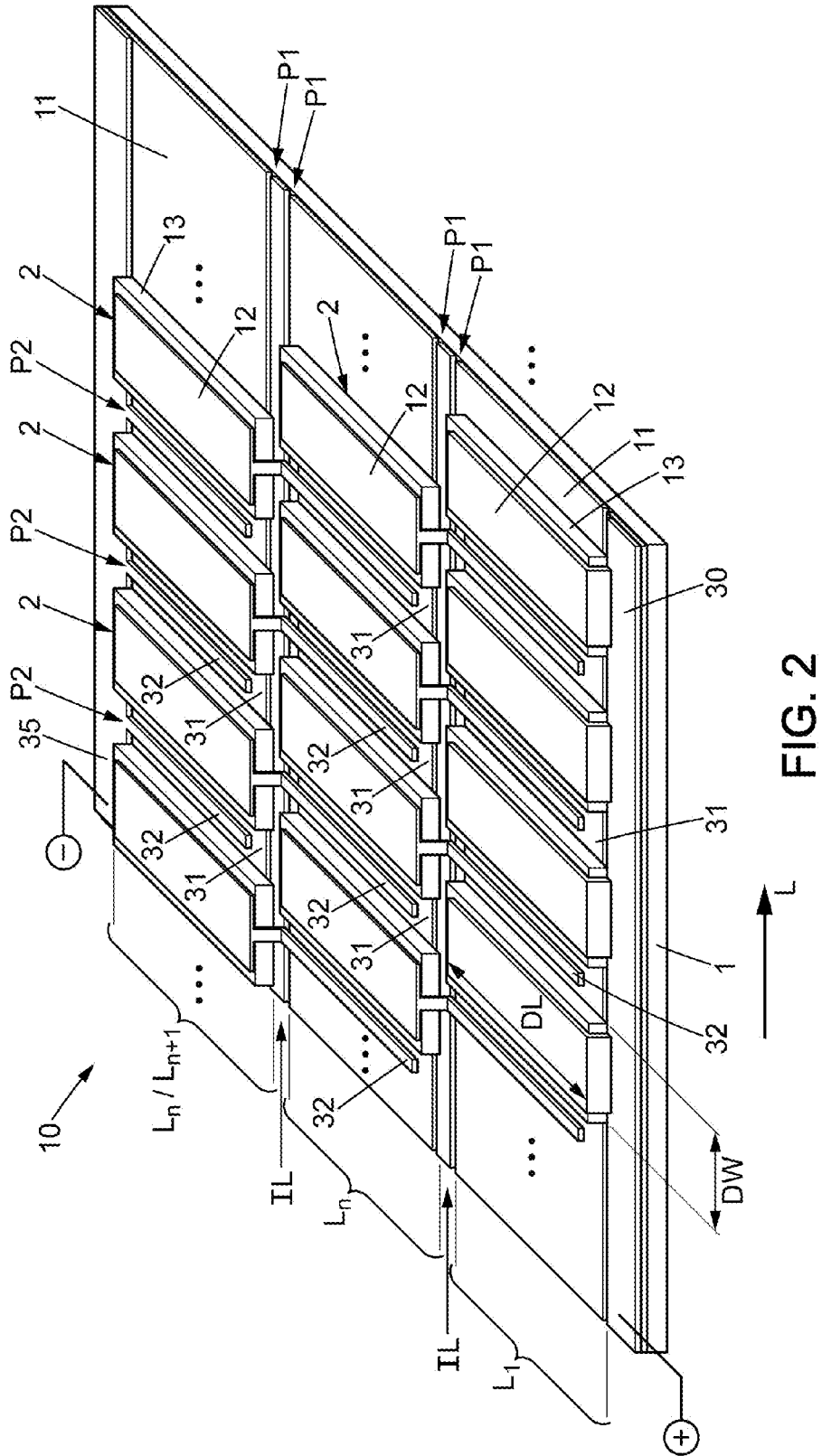


FIG. 2

[Fig. 3]

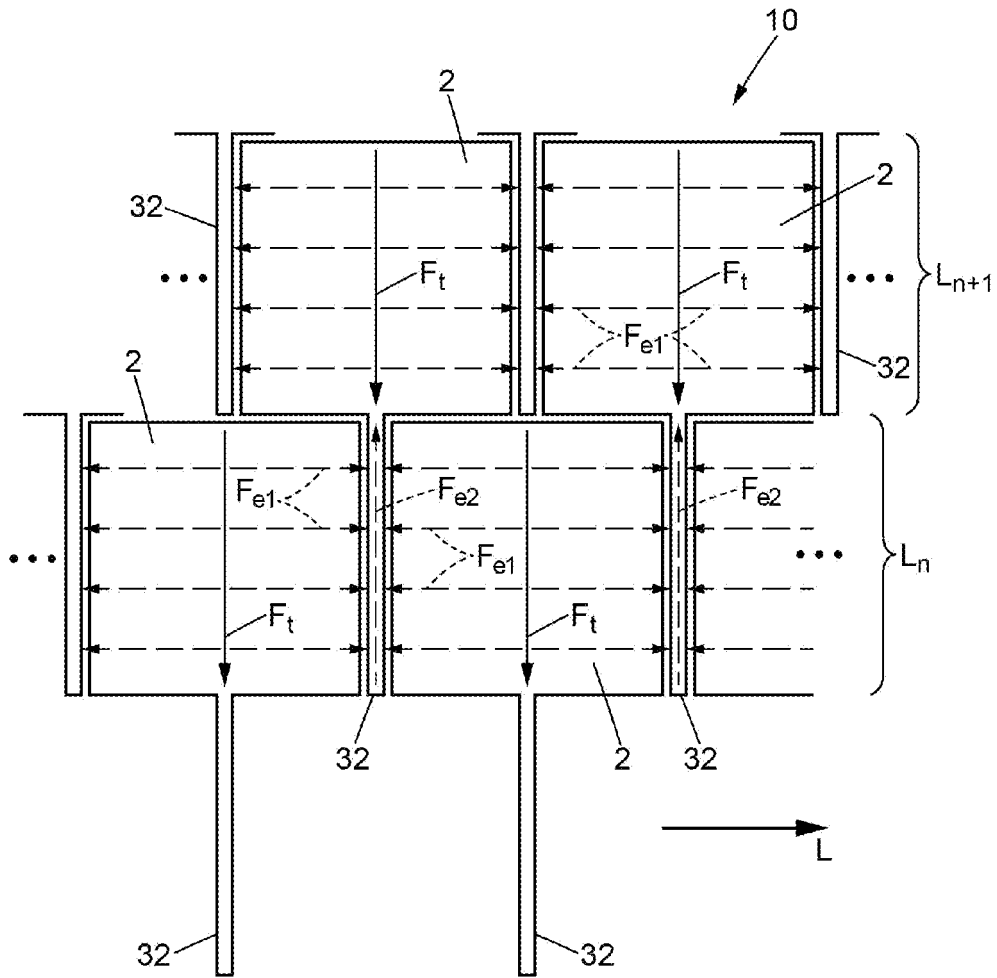


FIG. 3

[Fig. 4a]

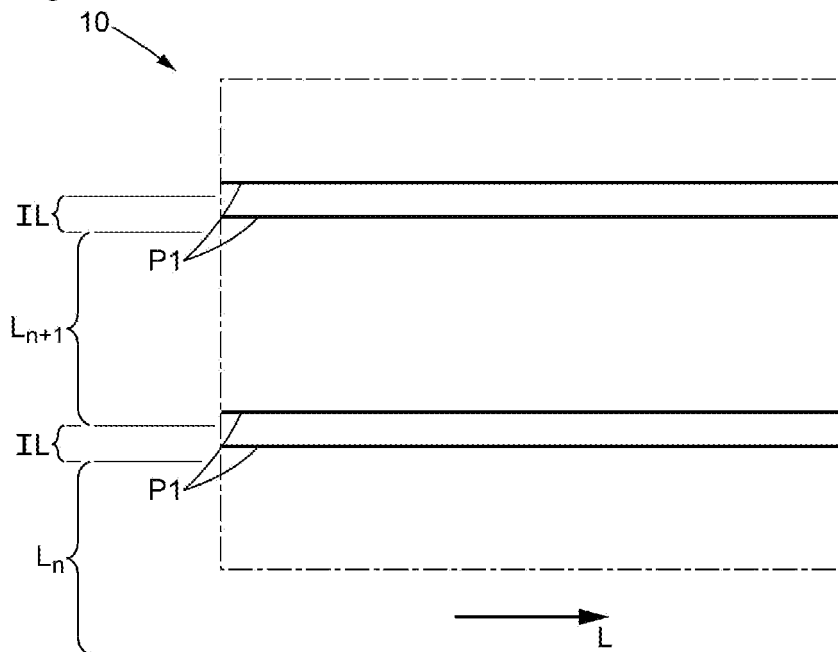


FIG. 4a

[Fig. 4b]

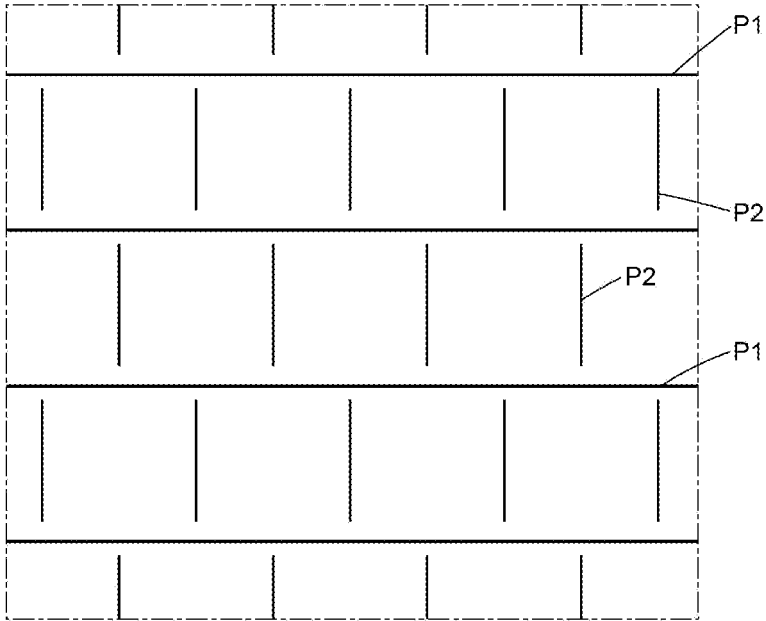


FIG. 4b

[Fig. 4c]

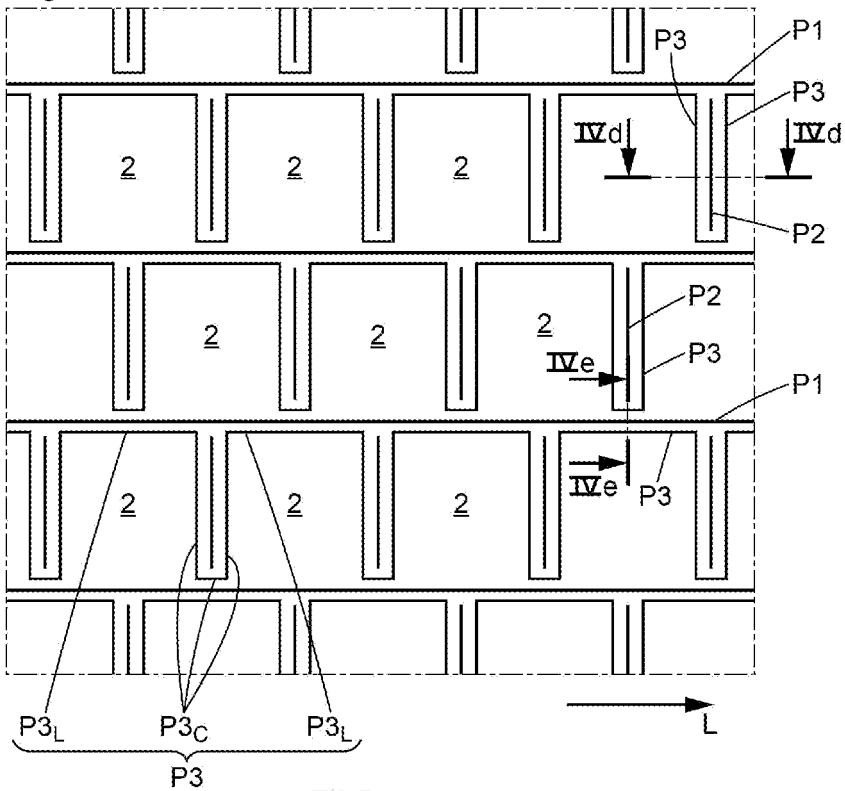
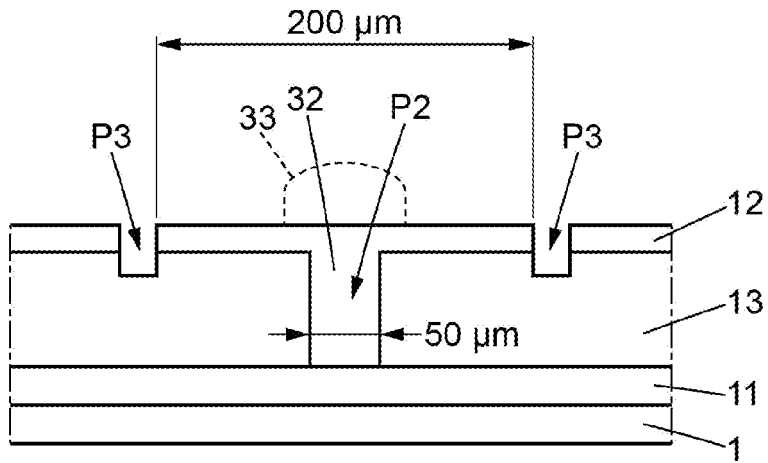
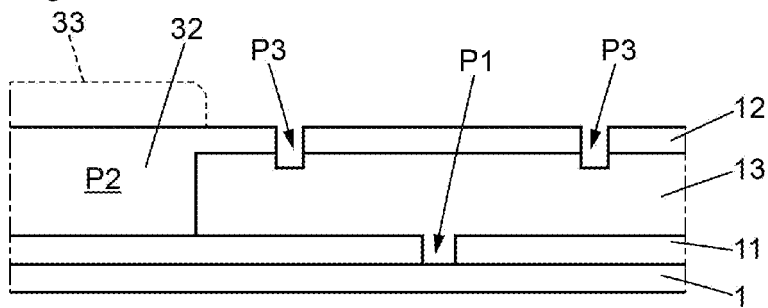


FIG. 4c

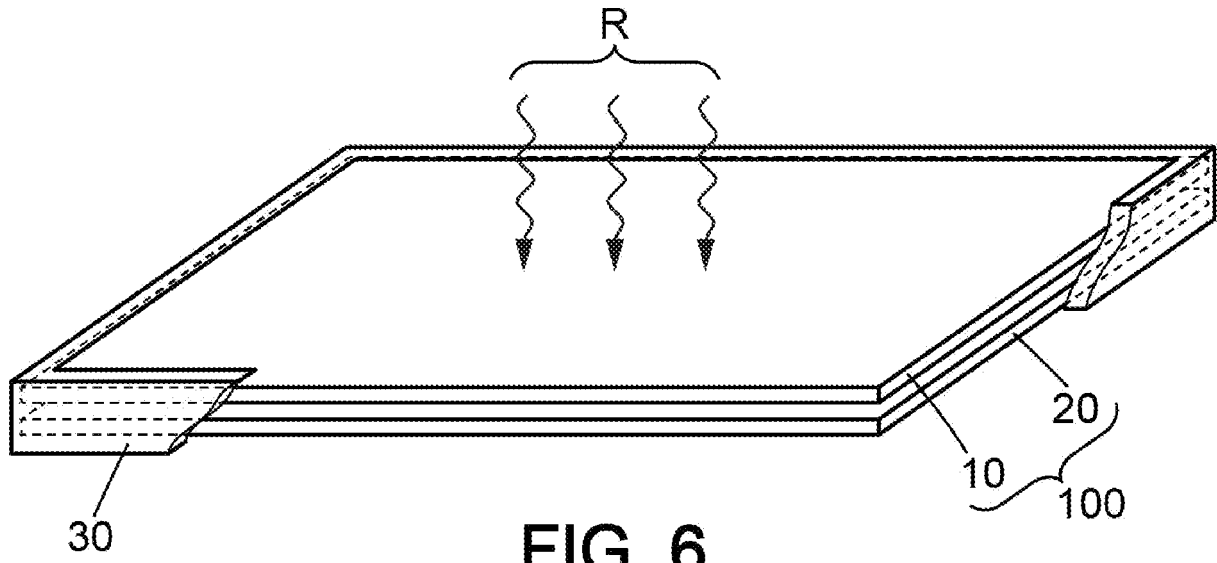
[Fig. 4d]

**FIG. 4d**

[Fig. 4e]

**FIG. 4e**

[Fig. 6]



**RAPPORT DE RECHERCHE
PRÉLIMINAIRE**

N° d'enregistrement
national

établi sur la base des dernières revendications
déposées avant le commencement de la recherche

FA 927440
FR 2311223

DOCUMENTS CONSIDÉRÉS COMME PERTINENTS		Revendication(s) concernée(s)	Classement attribué à l'invention par l'INPI
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes		
X A	US 2011/265846 A1 (NASUNO YOSHIYUKI [JP] ET AL) 3 novembre 2011 (2011-11-03) * abrégé * * alinéas [0025] - [0050], [0077] - [0148] * * figures 1,2 * -----	1,3,7-11 2,4-6,12	H01L 31/0463 H01L 31/0465 H01L 31/05
X A	US 2020/295209 A1 (BUSH KEVIN ALEXANDER [US]) 17 septembre 2020 (2020-09-17) * alinéas [0032] - [0035], [0069] - [0071] * * figures 1,9 * -----	1,3,7-11 2,4-6,12	
X A	US 2023/207716 A1 (SHIOKAWA MIYUKI [JP] ET AL) 29 juin 2023 (2023-06-29) * alinéas [0024] - [0034] * * figures 1-3 * -----	1,3,7-12 2,4-6	
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC)
			H01L H10K
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
24 juin 2024		Ekoué, Adamah	
CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS			
X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire		T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure. D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant	

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 2311223 FA 927440**

La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche préliminaire visé ci-dessus.
Les dits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du **24 - 06 - 2024**
Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets, ni de l'Administration française

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
US 2011265846 A1	03-11-2011	EP 2378561 A1	19-10-2011
		JP 4726962 B2	20-07-2011
		JP 2010161300 A	22-07-2010
		US 2011265846 A1	03-11-2011
		WO 2010079769 A1	15-07-2010

US 2020295209 A1	17-09-2020	EP 3939091 A1	19-01-2022
		KR 20210124521 A	14-10-2021
		US 2020295209 A1	17-09-2020
		WO 2020185428 A1	17-09-2020

US 2023207716 A1	29-06-2023	EP 4216284 A1	26-07-2023
		JP WO2022059366 A1	24-03-2022
		US 2023207716 A1	29-06-2023
		WO 2022059134 A1	24-03-2022
		WO 2022059366 A1	24-03-2022
