

19 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE  
INSTITUT NATIONAL  
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE  
COURBEVOIE

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

3 149 723

21 N° d'enregistrement national : 23 05859

51 Int Cl<sup>8</sup> : H 01 L 31/046 (2023.01), H 01 L 31/05

12

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

22 Date de dépôt : 09.06.23.

30 Priorité :

43 Date de mise à la disposition du public de la  
demande : 13.12.24 Bulletin 24/50.

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) : COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE ET AUX ENERGIES ALTERNATIVES Etablissement public à caractère industriel et commercial — FR.

72 Inventeur(s) : ESCOFFIER René et MARCAULT Emmanuel.

73 Titulaire(s) : COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE ET AUX ENERGIES ALTERNATIVES Etablissement public à caractère industriel et commercial.

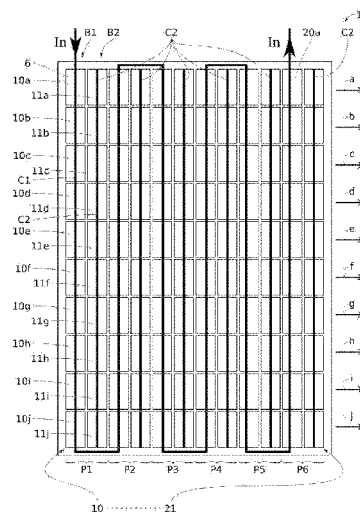
74 Mandataire(s) : HAUTIER IP.

54 Module et panneau photovoltaïques et procédé de fabrication d'un tel module.

57 Module et panneau photovoltaïques et procédé de fabrication d'un tel module

Module photovoltaïque, comprenant au moins une paire de branches (P1 à P6) de cellules photovoltaïques (10a à 10j, 11a à 11j), chaque cellule photovoltaïque étant configurée pour photo-générer des porteurs de charges, chaque paire de branches (P1 à P6) comprenant une première branche (B1) ayant plusieurs cellules photovoltaïques (10a à 10j), notées premières cellules, couplées électriquement en série, et une deuxième branche (B2) ayant plusieurs cellules photovoltaïques (11a à 11j), notées deuxièmes cellules, couplées électriquement en série, caractérisé en ce que, pour au moins une paire de branches (P1 à P6), chaque cellule de la première branche (B1) est en outre couplée électriquement en parallèle d'une cellule de la deuxième branche (B2).

Figure pour l'abrégié : Fig.1



FR 3 149 723 - A1



## Description

### **Titre de l'invention : Module et panneau photovoltaïques et procédé de fabrication d'un tel module**

#### **Domaine technique**

[0001] La présente invention concerne un module photovoltaïque. Elle concerne également un panneau photovoltaïque ainsi que la fabrication de modules photovoltaïques.

#### **ETAT DE LA TECHNIQUE**

[0002] Les modules photovoltaïques comportent plusieurs cellules photovoltaïques interconnectées entre elles pour former un ensemble appelé également « chaîne photovoltaïque ». Les modules sont assemblés entre eux pour former un panneau photovoltaïque. Les panneaux photovoltaïques peuvent être fixes ou mobiles, et peuvent être destinés aussi bien aux particuliers qu'aux industriels. Par exemple, les panneaux peuvent être utilisés pour l'habitat particulier, les fermes solaires, les aires d'autoroute ou encore le domaine spatial tel que des satellites ou encore des missions extra-terrestres.

[0003] Cependant, l'ombrage d'une seule cellule peut entraîner la perte de puissance de l'ensemble du panneau. C'est-à-dire que lorsqu'une cellule ne délivre plus de puissance parce qu'elle est ombragée ou détériorée, le panneau n'en délivre plus non plus.

[0004] Par exemple, une solution consiste à ajouter des diodes de dérivation (appelées également diodes « by-pass » en langue anglaise) pour limiter la perte de puissance du panneau. Dans cet exemple, les cellules sont interconnectées en série pour former des chaînes de cellules, les chaînes sont connectées entre elles en série, et on place une diode de dérivation entre deux chaînes de sorte que les deux chaînes sont en outre connectées –entres elles en parallèle. Ainsi, en fonctionnement normal la diode est bloquée et le courant circule dans toutes les chaînes. Par ailleurs, lorsqu'une cellule ne délivre plus de puissance parce qu'elle est ombragée ou détériorée, la chaîne à laquelle elle appartient ne produit plus de courant et la diode devient passante pour permettre la circulation du courant dans les autres chaînes de cellules. Dans ce cas, lorsqu'une cellule ne produit plus de courant, on perd la production d'une branche en totalité.

[0005] On peut également citer le brevet européen EP0768720 B1, qui divulgue un module photovoltaïque dans lequel une diode de dérivation est couplée en parallèle de chaque cellule photovoltaïque. Mais un tel module est complexe et coûteux à fabriquer. En outre, de nombreuses diodes doivent être connectées aux différentes chaînes de cellules, et le dysfonctionnement d'une seule diode (circuit ouvert) peut entraîner - une perte totale de puissance du panneau.

- [0006] Un autre exemple consiste à doubler la tension finale du panneau (le courant étant divisé par deux) en séparant chaque cellule en deux parties. On obtient ainsi un panneau, de même surface qu'un panneau standard, constitué de plusieurs demi-cellules, et les demi-cellules sont reconnectées en série pour former une chaîne de demi-cellules. Mais la chaîne de demi-cellules doit également être connectée par l'intermédiaire de diodes de dérivation. Un avantage d'une telle structure permet qu'en cas d'ombrage d'une cellule, la perte de puissance est deux fois moins importante (car le courant est divisé par deux) que dans le cas d'un panneau classique, c'est-à-dire un panneau formé de chaînes de cellules photovoltaïques non séparées. Par ailleurs, un ombrage linéaire causé, par exemple, par un fil électrique, une cheminée, une antenne ou une branche d'arbre, peut entraîner la perte de la totalité de la puissance fournie par le panneau.
- [0007] Un objet de la présente invention est donc de proposer une solution pour pallier les inconvénients mentionnés ci-avant, et en particulier, de proposer des moyens pour limiter la perte de production de puissance électrique fournie par un module photovoltaïque qui soient simple et robustes.
- [0008] Les autres objets, caractéristiques et avantages de la présente invention apparaîtront à l'examen de la description suivante et des dessins d'accompagnement. Il est entendu que d'autres avantages peuvent être incorporés.

### **RESUME**

- [0009] Pour atteindre cet objectif, il est proposé un module photovoltaïque, comprenant au moins une paire de branches de cellules photovoltaïques, chaque cellule photovoltaïque étant configurée pour photo-générer des porteurs de charges, chaque paire de branches comprenant une première branche ayant plusieurs cellules photovoltaïques, notées premières cellules, couplées électriquement en série, et une deuxième branche ayant plusieurs cellules photovoltaïques, notées deuxièmes cellules, couplées électriquement en série.
- [0010] Pour au moins une paire de branches, chaque cellule de la première branche est en outre couplée électriquement en parallèle d'une cellule de la deuxième branche.
- [0011] Ainsi, on assure la production de puissance électrique fournie par au moins une branche de cellules du module, lorsqu'une cellule d'une autre branche est ombragée ou détériorée. Un tel module est particulièrement simple et peu coûteux à fabriquer. Ainsi, avec une simple connexion filaire, on peut dévier le courant d'une branche à l'autre. On fournit ainsi un ensemble de production d'énergie électrique simplifié et robuste.
- [0012] Selon un autre aspect, il est proposé un panneau photovoltaïque, comprenant au moins un module photovoltaïque tel que défini ci-avant.
- [0013] Selon un autre aspect, il est proposé un procédé de fabrication d'un module photovoltaïque, comprenant une fourniture d'au moins une paire de branches de cellules

photovoltaïques, chaque cellule photovoltaïque étant configurée pour photo-générer des porteurs de charges, et au moins une paire de branches comprenant une première branche ayant plusieurs cellules, notées premières cellules, couplées électriquement en série, et une deuxième branche ayant plusieurs cellules, notées deuxièmes cellules, couplées électriquement en série.

[0014] Le procédé comprend, pour ladite au moins une paire de branches, un couplage électrique dans lequel chaque cellule de la première branche est en outre couplée électriquement en parallèle d'une cellule de la deuxième branche.

### **BREVE DESCRIPTION DES FIGURES**

[0015] Les buts, objets, ainsi que les caractéristiques et avantages de l'invention ressortiront mieux de la description détaillée d'un mode de réalisation de cette dernière qui est illustré par les dessins d'accompagnement suivants dans lesquels :

[0016] [Fig.1] La [Fig.1] représente schématiquement une vue d'un mode de réalisation d'un module photovoltaïque ;

[0017] [Fig.2] La [Fig.2] représente schématiquement une vue simplifiée du mode de réalisation de la [Fig.1] et pour laquelle on a illustré uniquement une paire de branches et dix cellules par branche ;

[0018] [Fig.3] la [Fig.3] représente schématiquement une vue du module photovoltaïque illustré à la [Fig.1], dans le cas où deux cellules photovoltaïques sont ombragées ;

[0019] [Fig.4] la [Fig.4] représente schématiquement une vue du module photovoltaïque illustré à la [Fig.1], dans le cas où plusieurs cellules photovoltaïques sont ombragées ;

[0020] [Fig.5] la [Fig.5] représente schématiquement une vue de dessus d'un mode de réalisation de cellules photovoltaïques ;

[0021] [Fig.6] la [Fig.6] représente schématiquement une vue de côté du mode de réalisation illustré à la [Fig.5] ;

[0022] [Fig.7] la [Fig.7] représente schématiquement une vue de dessus d'un autre mode de réalisation de cellules photovoltaïques ;

[0023] [Fig.8] la [Fig.8] représente schématiquement une vue de côté du mode de réalisation illustré à la [Fig.7] ;

[0024] [Fig.9]

[0025] [Fig.10]

[0026] [Fig.11]

[0027] [Fig.12]

[0028] [Fig.13]

[0029] [Fig.14] les figures 9 à 14, illustrent de façon schématique des vues de dessus des principales étapes d'un mode de mise en œuvre d'un procédé de fabrication d'un module photovoltaïque ;

- [0030] [Fig.15] la [Fig.15], représente schématiquement une vue en coupe selon la ligne A-A de l'étape illustrée à la [Fig.11] ;
- [0031] [Fig.16] la [Fig.16], représente schématiquement une vue en coupe selon la ligne B-B de l'étape illustrée à la [Fig.12] ; et
- [0032] [Fig.17] la [Fig.17], représente schématiquement une vue d'un panneau photovoltaïque.

[0033] Les dessins sont donnés à titre d'exemples et ne sont pas limitatifs de l'invention. Ils constituent des représentations schématiques de principe destinées à faciliter la compréhension de l'invention et ne sont pas nécessairement à l'échelle des applications pratiques.

### **DESCRIPTION DÉTAILLÉE**

- [0034] Avant d'entamer une revue détaillée de modes de réalisation et de mises en œuvre de l'invention, sont énoncées ci-après des caractéristiques optionnelles qui peuvent éventuellement être utilisées en association ou alternativement.
- [0035] Selon un exemple, les cellules photovoltaïques du module sont disposées selon des colonnes et des lignes de sorte que les cellules d'une même branche sont successivement disposées sur une même colonne et chaque branche présente une unique cellule par ligne, et au moins deux cellules appartenant à une première branche et situées sur deux lignes données sont couplées électriquement en parallèle avec deux cellules appartenant à une deuxième branche et situées sur deux autres lignes distinctes des deux lignes données.
- [0036] On diminue ainsi la perte de production de courant lorsque deux cellules voisines sur une même ligne sont en défaut, notamment lorsque ces deux cellules sont ombragées par une ombre linéaire.
- [0037] Selon un exemple, chaque cellule appartenant à une première branche et située sur une ligne donnée est couplée électriquement en parallèle d'une cellule appartenant à une deuxième branche et située sur une ligne distincte de la ligne donnée.
- [0038] On garantit la production d'énergie fournie par une branche quelle que soit la position de l'ombrage linéaire sur deux cellules en vis-à-vis.
- [0039] Selon un exemple, le module comprend plusieurs paires de branches couplées électriquement en série.
- [0040] Selon un exemple, pour ladite au moins une paire de branches, le nombre de cellules de la première branche est identique au nombre de cellules de la deuxième branche.
- [0041] Selon un exemple, pour ladite au moins une paire de branches, une cellule de la première branche et une cellule de la deuxième branche situées sur une même ligne donnée correspondent respectivement à deux parties d'une même cellule photovoltaïque séparées physiquement.

- [0042] Selon un exemple, pour ladite au moins une paire de branches, chaque cellule de la première branche et chaque cellule de la deuxième branche situées sur une même ligne donnée correspondent respectivement à deux parties d'une même cellule photovoltaïque séparées physiquement.
- [0043] Selon un exemple, pour ladite au moins une branche, chaque cellule photovoltaïque comprend une première structure électriquement conductrice d'une première polarité située sur une première face de la cellule photovoltaïque et une deuxième structure électriquement conductrice d'une deuxième polarité située sur une deuxième face de la cellule photovoltaïque opposée à la première face.
- [0044] Selon un exemple, pour ladite au moins une branche, chaque cellule photovoltaïque comprend une première structure électriquement conductrice d'une première polarité et une deuxième structure électriquement conductrice d'une deuxième polarité, les première et deuxième structures étant situées sur une même face de la cellule photovoltaïque.
- [0045] Selon un exemple, le module comprend, pour chaque première cellule d'une première branche, une paire de connexions électriques couplées électriquement en parallèle d'une deuxième cellule d'une deuxième branche, chaque paire de connexions électriques comprenant au moins une connexion électrique ayant une première partie couplée électriquement à une borne de la première cellule, une deuxième partie couplée électriquement à une borne de la deuxième cellule et une partie intermédiaire couplée électriquement aux première et deuxième parties, les premières et deuxième parties s'étendant parallèlement aux lignes.
- [0046] Selon un exemple, les parties intermédiaires s'étendent perpendiculairement aux premières et deuxièmes parties.
- [0047] Selon un exemple, les parties intermédiaires sont formées sur une première couche d'un premier substrat isolant, les premières et deuxièmes parties sont formées sur une deuxième couche d'un deuxième substrat isolant, et les premières et deuxièmes parties sont couplées aux parties intermédiaires par des via conducteurs électriquement traversant les première et deuxième couches.
- [0048] Selon un exemple, les cellules photovoltaïques du module sont disposées selon des colonnes et des lignes de sorte que les cellules d'une même branche sont successivement disposées sur une même colonne et chaque branche présente une unique cellule par ligne, et le couplage électrique comprend au moins deux cellules appartenant à une première branche et situées sur deux lignes données couplées électriquement en parallèle avec deux cellules appartenant à une deuxième branche et situées sur deux autres lignes distinctes des deux lignes données.
- [0049] Selon un exemple, la fourniture comprend une séparation physique d'au moins une même cellule photovoltaïque de manière à obtenir une première cellule appartenant à

la première branche et une deuxième cellule appartenant à la deuxième branche, la première cellule et la deuxième cellule étant situées sur une même ligne donnée.

[0050] Sur les figures 1, 3 ; 4, et 17 on a représenté un module photovoltaïque 1 à 4 comprenant plusieurs cellules photovoltaïques 10a à 10j ; 11a à 11j. Chaque cellule photovoltaïque 10a à 10j, 11a à 11j est configurée pour photo-générer des porteurs de charges. C'est-à-dire qu'une cellule photovoltaïque 10a à 10j, 11a à 11j convertit une partie du rayonnement lumineux en énergie électrique. A cet effet, une cellule photovoltaïque comporte un substrat 6 configuré pour générer, à réception du rayonnement lumineux, des charges libres à se déplacer et destinées à être collectées pour produire un courant électrique. De manière générale les cellules photovoltaïques 10a à 10j, 11a à 11j sont couplées électriquement entre elles pour produire un courant. Un module photovoltaïque 1 à 4 produit un courant pour fournir une puissance électrique qui dépend, notamment, du nombre de cellules 10a à 10j, 11a à 11j du module 1 à 4. En outre, un panneau photovoltaïque 5 comprend un ou plusieurs modules 1 à 4. Sur la [Fig.17] on a représenté un panneau photovoltaïque 5 comprenant, par exemple, quatre modules photovoltaïques 1 à 4.

[0051] Plus particulièrement, un module photovoltaïque 1 à 4 comprend au moins une paire P1 à P6 de branches B1, B2 de cellules photovoltaïques 10a à 10j ; 11a à 11j, et 30. De manière générale, une branche B1, B2 comprend plusieurs cellules 10a à 10j, 11a à 11j couplées électriquement entre elles en série. En particulier, chaque paire de branches P1 à P6 comprend une première branche B1 ayant plusieurs cellules photovoltaïques 10a à 10j, notées premières cellules, et une deuxième branche B2 ayant plusieurs cellules photovoltaïques 11a à 11j, notées deuxièmes cellules. Par exemple, on a représenté aux figures 1, 3 et 4, un module 1 comprenant six paires de branches P1 à P6 de cellules. Dans cet exemple, chaque branche B1, B2 comprend dix cellules et le module 1 comprend 120 cellules photovoltaïques 10a à 10j ; 11a à 11j. A des fins de simplification, on a référencé les dix premières cellules de la première branche B1 de la première paire de branches P1, par les références 10a à 10j. On a également référencé les dix deuxièmes cellules de la deuxième branche B2 de la première paire de branches P1, par les références 11a à 11j. Les autres cellules photovoltaïques du module 1 ne sont pas référencées. En outre, seules les branches de la première paire de branches P1 sont référencées par les références B1, B2.

[0052] Plus particulièrement, les cellules 10a à 10j d'une première branche B1 sont couplées électriquement en série, par exemple par une première connexion C1 électriquement conductrice, notée connexion principale. Les cellules 11a à 11j d'une deuxième branche B2 sont couplées électriquement en série, par exemple par une deuxième connexion C2 électriquement conductrice, notée connexion secondaire. Les connexions principale et secondaire C1, C2 peuvent être des bandes de métallisation

comprenant de l'aluminium.

- [0053] De préférence, un module 1 à 4 comprend plusieurs paires de branches P1 à P6 couplées électriquement en série. Dans ce cas, les premières cellules 10a à 10j de chaque première branche B1 sont couplées électriquement en série par la même première connexion C1, comme illustré sur la [Fig.1]. Ainsi, dans le cas où le module 1 comprend six paires de branches P1 à P6, le module 1 comprend en outre une connexion principale C1 et six connexions secondaires C2.
- [0054] En particulier, pour au moins une paire de branches P1, chaque cellule 10a à 10j de la première branche B1 est en outre couplée électriquement en parallèle d'une cellule 11a à 11j de la deuxième branche B2.
- [0055] Le couplage électrique de deux cellules en parallèle, peut être réalisé à partir de connexions électriques, par exemple des fils ou des bandes métallisées. Ainsi, en cas de défaut d'une cellule de la première branche B1, le courant fourni par le module 1 peut circuler par l'autre cellule à laquelle la cellule en défaut est couplée en parallèle. On entend ici par une cellule « en défaut », une cellule qui ne produit plus de courant du fait d'un ombrage ou d'une détérioration de la cellule. Ainsi, à partir d'une simple connexion électrique en parallèle, on évite de perdre la puissance totale fournie par le module du fait d'un défaut d'une seule cellule du module. On évite également d'utiliser une diode de dérivation qui est coûteuse, complexe à connecter, et qui peut également entraîner des courts-circuits intempestifs du fait d'un mauvais fonctionnement de la diode de dérivation.
- [0056] Par ailleurs, les cellules photovoltaïques 10a à 10j, 11a à 11j et 30 d'un module 1 à 4 sont disposées selon des colonnes 10 à 21 et des lignes a à j de sorte que les cellules d'une même branche B1, B2 sont successivement disposées sur une même colonne 10 à 21. En outre, chaque branche B1, B2 présente une unique cellule par ligne a à j, et au moins deux cellules 10a à 10j appartenant à une première branche B1 et situées sur deux lignes données a à j sont couplées électriquement en parallèle avec deux cellules 11a à 11j appartenant à une deuxième branche B2 et situées sur deux autres lignes a à j distinctes des deux lignes données a à j. Dans l'exemple illustré à la [Fig.1], le module 1 comprend douze branches B1, B2, comprenant des cellules disposées selon douze colonnes 10 à 21. En outre, le module 1 comprend dix lignes a à j de cellules. Ainsi, la première cellule de la première branche B1 de la première paire de branches P1 est située sur la première ligne a, et a pour référence 10a car cette cellule appartient à la première colonne 10 et est située sur la première ligne a. On notera également que, par exemple, la dixième cellule de la deuxième branche B2 de la première paire de branches P1 est située sur la dixième ligne j, et a pour référence 11j car elle appartient à la deuxième colonne 11 et est située sur la dixième ligne j. On a également représenté le sens du courant par la référence In. Dans le mode de réalisation illustrée à la [Fig.1],

le courant circule dans le module 1 entre la première cellule 10a et la première cellule 20a de la onzième colonne 20 située sur la première ligne a. De manière générale, la référence d'une cellule porte le numéro de colonne 10 à 21 à laquelle la cellule appartient et la lettre de la ligne a à j où la cellule est située.

- [0057] Ainsi, en couplant deux cellules voisines, c'est-à-dire deux cellules situées sur une même ligne a à j donnée, chacune en parallèle d'une autre cellule située sur une ligne distincte de la ligne donnée a à j, empêche qu'un ombrage linéaire sur la ligne donnée arrête la production totale de puissance du module 1 à 4.
- [0058] De préférence, chaque cellule 10a à 10j appartenant à une première branche B1 et située sur une ligne donnée a à j est couplée électriquement en parallèle d'une cellule 11a à 11j appartenant à une deuxième branche B2 et située sur une ligne a à j distincte de la ligne donnée a à j. Plus préférentiellement, les première et deuxième branches B1, B2 appartiennent à la même paire de branches P1 à P6, afin, notamment, de diminuer la longueur des connexions électriques utilisées pour coupler électriquement les cellules en parallèle.
- [0059] Sur la [Fig.2], on a représenté un mode de réalisation d'une paire de branche P1. En particulier, on a représenté un mode de réalisation des connexions électriques CC1 à CC11, notées également connexions de couplage, configurées pour coupler électriquement les premières cellules 10a à 10j de la première branche B1 en parallèle avec les deuxièmes cellules 11a à 11j de la deuxième branche B2. Selon ce mode de réalisation, la première branche B1 comprend dix cellules 10a à 10j couplées électriquement en série par la connexion principale C1, et la deuxième branche B2 comprend dix cellules 11a à 11j couplés électriquement en série par la connexion secondaire C2. La connexion principale C1 est destinée à être couplée à une autre paire de branche P2 à P6. En particulier la connexion principale C1 couple électriquement en série les deux premières branches B1 de deux paires de branches P1 à P6.
- [0060] Par ailleurs, la cellule 10a appartenant à la première branche B1 et située sur la première ligne a est couplée électriquement en parallèle de la cellule 11j appartenant à la deuxième branche B2 et située sur la dixième ligne j, par l'intermédiaire d'une première paire de connexions de couplage CC1, CC2. La cellule 10b appartenant à la première branche B1 et située sur la deuxième ligne b est couplée électriquement en parallèle de la cellule 11i appartenant à la deuxième branche B2 et située sur la neuvième ligne j, par l'intermédiaire d'une deuxième paire de connexions de couplage CC2, CC3. En outre, les huit autres cellules 10c à 10j appartenant à la première branche B1 et situées sur les huit autres lignes respectives c à j sont respectivement couplées électriquement en parallèle des huit autres cellules 11h à 11a appartenant à la deuxième branche B2 et situées respectivement sur les huit autres lignes h à a, par l'intermédiaire de huit autres paires de connexions de couplage respectives CC3 à

CC11.

[0061] En particulier, chaque cellule 10a à 10j, 11a à 11j du module 1 à 4 comporte deux bornes électriques a+, a- entre lesquelles la cellule fournit un courant et une tension. En particulier, les deux bornes a+, a- ont deux polarités opposées lorsqu'un courant circule entre ces deux bornes a+, a-. La mise en parallèle de deux cellules consiste à connecter les deux bornes électriques de même polarité entre elles. Ainsi, chaque paire de connexions de couplage CC1 à CC11 comporte deux connexions électriques pour coupler les deux bornes électriques des cellules entre elles. Par ailleurs, on notera que chaque paire de connexions de couplage CC1 à CC11 ont une connexion électrique en commun, c'est-à-dire que le module 1 comprend, par paire de branches P1 à P6, onze connexions de couplage CC1 à CC11.

[0062] Dans le cas du module 1 illustré à la [Fig.1], le module 1 comporte 120 cellules. Si par exemple, chaque cellule du module 1 est configurée pour fournir un courant de 2,5 A avec une tension de 0,6 V, alors chaque cellule produit, en fonctionnement normale, une puissance électrique égale à 1,5 W. Dans ce cas, chaque branche B1, B2 fournit une puissance électrique égale à  $10 \times 1,5 \text{ W} = 15 \text{ W}$ . En outre, chaque paire de branches P1 à P6 fournit une puissance de  $2 \times 15 \text{ W} = 30 \text{ W}$ . Dans ce cas, lorsque toutes les cellules 10a à 10j, 11a à 11 du module 1 fonctionnent normalement, le module 1 fournit une puissance de  $6 \times 30 \text{ W} = 180 \text{ W}$ . On notera que deux cellules couplées électriquement en parallèle forment un étage de cellules, et une paire de branches P1 à P6 comprend dix étages couplés entre eux en série. Dans cette configuration, chaque étage est parcouru par le même courant. Ainsi, lorsque toutes les cellules fonctionnent normalement, chaque étage est parcouru par un courant égal à  $2 \times 2,5 = 5 \text{ A}$ .

[0063] On a représenté sur la [Fig.3], le module 1, illustré à la [Fig.1], pour lequel, notamment, la cellule 10h est couplée électriquement en parallèle avec la cellule 11c, et la cellule 11h voisine de la cellule 10h, est couplée électriquement en parallèle avec la cellule 10c. Sur la [Fig.3], on a en outre représenté le cas où les deux cellules voisines 10h, 11h sont en défaut. Dans ce cas, la cellule 10h ne produit plus de courant, et la cellule 11c fonctionne et produit au mieux un courant de 2,5 A. En outre, la cellule 11h ne produit plus de courant et la cellule 10c fonctionne et produit au mieux un courant de 2,5 A. Dans ce cas, le courant n'est pas empêché de circuler dans la paire de branches P1, et il circule dans chacune des première et deuxième branches B1, B2. En outre, puisque la paire de branches P1 comprend deux étages produisant, chacun, un courant au mieux égal à 2,5 A, alors chaque étage de la paire de branches P1 est parcouru au mieux par un courant de 2,5 A. Ainsi, la paire de branches P1 fournit une puissance égale à  $2,5 \text{ A} \times 0,6 \text{ V} \times 10$  (car dix étages) = 15 W. En comparaison avec le module 1 en fonctionnement normal pour lequel la paire de branche P1 fournit une puissance de 30 W, on a donc perdu  $15 \text{ W} / 180 \text{ W} = 8,33 \%$  de puissance.

- [0064] Sur la [Fig.4], on a représenté le cas où un ombrage linéaire est situé en partie sur deux lignes g, h, et dans ce cas sept cellules 10h à 16h sur la huitième ligne h sont en défaut, et cinq cellules 16g à 20g sur la septième ligne g sont en défaut. Dans ce cas, chaque paire de branches P1 à P6 fournit au mieux une puissance de  $6 \times 15 \text{ W} = 90 \text{ W}$  et on perd une production de puissance électrique de  $90 \text{ W} / 180 \text{ W} = 50 \%$ . On notera également que si la moitié des cellules du module 1, situées sur les cinq dernières lignes f à j, sont en défaut, on perd seulement une production de 50 % au lieu de 100 % de perte pour un module câblé en standard.
- [0065] De préférence, le nombre de cellules 10a à 10j de la première branche B1 est identique au nombre de cellules 11a à 11j de la deuxième branche B2.
- [0066] Par ailleurs, différents types de cellules photovoltaïques 10a à 10j, 11a à 11j peuvent être utilisés pour réaliser un module 1. Par exemple, un module 1 peut comprendre des cellules du type standard STD. Une cellule standard STD comprend une première structure 30 électriquement conductrice d'une première polarité située sur une première face F1 de la cellule photovoltaïque standard STD et une deuxième structure 31 électriquement conductrice d'une deuxième polarité située sur une deuxième face F2 de la cellule photovoltaïque standard STD opposée à la première face F1. On a représenté, sur les figures 5 et 6 trois cellules photovoltaïques 10a à 10c du type standard STD couplées électriquement en série par la connexion principale C1.
- [0067] Selon un autre exemple, un module 1 peut comprendre des cellules photovoltaïques 10a à 10j, 11a à 11j du type à contacts interdigités en face arrière (ou IBC, selon l'acronyme en langue anglaise, c'est-à-dire « Interdigitated Back Contact »). Une cellule photovoltaïque du type IBC comprend une première structure 30 électriquement conductrice d'une première polarité et une deuxième structure 31 électriquement conductrice d'une deuxième polarité, les première et deuxième structures 30, 31 étant situées sur une même face principale F2 de la cellule photovoltaïque du type IBC. On a représenté, sur les figures 7 et 8 trois cellules photovoltaïques 10a à 10c du type IBC couplées électriquement en série.
- [0068] Les cellules du type IBC ont l'avantage d'avoir leurs structures électriquement conductrices 30, 31 situées sur une même face principale F2, ce qui permet de supprimer l'ombrage d'une structure 30, 31 sur la face opposée F1, dite face active ou face secondaire.
- [0069] Selon un autre mode de réalisation, une cellule 10a à 10j de la première branche B1 et une cellule 11a à 11j de la deuxième branche B2 situées sur une même ligne donnée a à j correspondent respectivement à deux parties d'une même cellule photovoltaïque séparées physiquement. De préférence, chaque cellule 10a à 10j de la première branche B1 et chaque cellule 11a à 11j de la deuxième branche B2 situées sur une même ligne donnée a à j correspondent respectivement à deux parties d'une même cellule photo-

voltaïque séparées physiquement.

- [0070] De préférence, la même cellule photovoltaïque, destinée à être séparée en deux parties, est du type standard STD. Ainsi, on peut fabriquer un module 1 de même taille qu'un module standard ayant une taille adaptée à des cellules photovoltaïques du type standard STD ayant une taille donnée, comme illustrées sur les figures 5 et 6. En séparant chaque cellule du type standard STD en deux parties pour réaliser les paires de branches P1 à P6 telles que définies ci-avant, on n'augmente pas la taille des modules 1 à 4, ni leur poids.
- [0071] Sur la [Fig.14], on a représenté un autre mode de réalisation d'une paire de branche P1 d'un module 1 à 4. Dans cet autre mode de réalisation un module 1 à 4 comprend, pour chaque première cellule 10a à 10j d'une première branche B1, une paire de connexions électriques CC1 à CC11 couplées électriquement en parallèle d'une deuxième cellule 11a à 11j d'une deuxième branche B2. Chaque paire de connexions électriques CC1 à CC11 comprenant au moins une connexion électrique CC1 à CC11 ayant une première partie 60 couplée électriquement à une borne de la première cellule 10a à 10j, une deuxième partie 61 couplée électriquement à une borne de la deuxième cellule 11a à 11j et une partie intermédiaire 62 couplée électriquement aux première et deuxième parties 60, 61. Par exemple, les premières et deuxième parties 60, 61 s'étendent parallèlement aux lignes a à j. Par exemple, une connexion électrique CC6 peut comprendre une seule première partie 60.
- [0072] Selon un autre exemple, les parties intermédiaires 62 s'étendent perpendiculairement aux premières et deuxièmes parties 60, 61.
- [0073] Sur les figures 11, 12 et 15, 16, on a représenté un autre mode de réalisation, dans lequel les parties intermédiaires 62 sont formées sur une première couche 70 d'un premier substrat isolant, comme illustré sur les figures 11 et 15, les premières et deuxièmes parties 60, 61 sont formées sur une deuxième couche 71 d'un deuxième substrat isolant, comme illustré sur les figures 12 et 16, et les premières et deuxièmes parties 60, 61 sont couplées aux parties intermédiaires 62 par des via conducteurs électriquement 72 traversant les première et deuxième couches 70, 71. Par exemple, les premières et deuxièmes parties 60, 61 et les parties intermédiaires 62 peuvent être réalisées par sérigraphie sur les première et deuxième couches 70, 71. Les première et deuxième couches 70, 71 peuvent être obtenues à partir d'un substrat flexible, par exemple un circuit imprimé (ou printed circuit board, PCB en langue anglaise). Les circuits imprimés sont isolants électriquement et sont adaptées pour réaliser des connexions électriques sur plusieurs couches. Par ailleurs, les circuits imprimés permettent facilement de connecter des composants, tels que les cellules photovoltaïques 10a à 10j, 11a à 11j.
- [0074] Sur les figures 9 à 14, on a représenté les principales étapes d'un procédé de fa-

brication d'un module photovoltaïque 1 à 4 tel que défini ci-avant. Le procédé comprend une fourniture d'au moins une paire de branches P1 à P6 de cellules photovoltaïques 10a à 10j, 11a à 11j, comme illustré à la [Fig.10]. Chaque cellule 10a à 10j, 11a à 11j peut être une cellule photovoltaïque du type standard STD. Par exemple, chaque cellule 10a à 10j, 11a à 11j peut être une cellule photovoltaïque du type IBC. De préférence, chaque cellule 10a à 10j, 11a à 11j correspond à une partie d'une cellule du type standard STD, appelée également demi-cellule. Les demi-cellules sont obtenues par une séparation physique d'une même cellule photovoltaïque du type standard STD, comme illustré à la [Fig.9]. La séparation physique peut consister à couper les cellules à l'aide d'un laser, suivi d'une séparation en deux parties, par exemple par clivage. Ainsi, la séparation physique des cellules du type standard STD permet d'obtenir, à partir de chacune des cellules du type standard STD, une première cellule 10a à 10j appartenant à la première branche B1 et une deuxième cellule 11a à 11j appartenant à la deuxième branche B2, comme illustré à la [Fig.10].

[0075] En particulier, on obtient deux demi-cellules, chaque demi-cellule étant configurée pour délivrer la même tension que la cellule entière. En outre, le courant fourni par une demi-cellule correspond à la moitié du courant fourni par la cellule entière. Selon un autre exemple, on peut séparer physiquement une cellule, dite entière, en plusieurs parties, par exemple en trois, quatre, etc. Chaque demi-cellule délivrera la même tension que la cellule entière et fournira un courant divisé par le nombre de séparations physiques. Toutefois, plus le nombre de séparation augmente et plus le nombre de connexions à réaliser augmente. Ainsi, en divisant une cellule entière en deux, on minimise le nombre de connexions à réaliser.

[0076] Puis, on couple électriquement en série les premières cellules 10a à 10j par la connexion principale C1 et on couple électriquement en série les deuxièmes cellules 11a à 11j par la connexion secondaire C2. Puis, le procédé comprend un couplage électrique dans lequel chaque cellule 10a à 10j de la première branche B1 est en outre couplée électriquement en parallèle d'une cellule 11a à 11j de la deuxième branche B2. Par exemple, le couplage électrique comprend une formation des parties intermédiaires 62 sur la première couche 70 d'un premier substrat isolant, comme illustré sur la [Fig.11]. Puis, le couplage électrique comprend une formation des premières et deuxièmes parties 60, 61 sur la deuxième couche 71 d'un deuxième substrat isolant, comme illustré à la [Fig.12]. Puis, comme illustré à la [Fig.13], on peut disposer les cellules 10a à 10j, 11a à 11j de la paire de branche P1 sur la première couche 70. Puis, comme illustré à la [Fig.14], on place la deuxième couche 71 en contact de la première couche 70, pour réaliser les connexions de couplage CC1, CC11.

## Revendications

- [Revendication 1] Module photovoltaïque, comprenant au moins une paire de branches (P1 à P6) de cellules photovoltaïques (10a à 10j, 11a à 11j), chaque cellule photovoltaïque étant configurée pour photo-générer des porteurs de charges, chaque paire de branches (P1 à P6) comprenant une première branche (B1) ayant plusieurs cellules photovoltaïques (10a à 10j), notées premières cellules, couplées électriquement en série, et une deuxième branche (B2) ayant plusieurs cellules photovoltaïques (11a à 11j), notées deuxièmes cellules, couplées électriquement en série, caractérisé en ce que, pour au moins une paire de branches (P1 à P6), chaque cellule de la première branche (B1) est en outre couplée électriquement en parallèle d'une cellule de la deuxième branche (B2).
- [Revendication 2] Module selon la revendication précédente, dans lequel, les cellules photovoltaïques (10a à 10j, 11a à 11j) du module sont disposées selon des colonnes (10 à 21) et des lignes (a à j) de sorte que les cellules d'une même branche (B1, B2) sont successivement disposées sur une même colonne (10 à 21) et chaque branche (B1, B2) présente une unique cellule par ligne (a à j), et au moins deux cellules (10a à 10j) appartenant à une première branche (B1) et situées sur deux lignes données sont couplées électriquement en parallèle avec deux cellules (11a à 11j) appartenant à une deuxième branche (B2) et situées sur deux autres lignes distinctes des deux lignes données.
- [Revendication 3] Module selon la revendication précédente, dans laquelle, chaque cellule (10a à 10j) appartenant à une première branche (B1) et située sur une ligne donnée (a à j) est couplée électriquement en parallèle d'une cellule (11a à 11j) appartenant à une deuxième branche (B2) et située sur une ligne distincte de la ligne donnée (a à j).
- [Revendication 4] Module selon l'une quelconque des revendications précédentes, comprenant plusieurs paires de branches (P1 à P6) couplées électriquement en série.
- [Revendication 5] Module selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel, pour ladite au moins une paire de branches (P1 à P6), le nombre de cellules de la première branche (B1) est identique au nombre de cellules de la deuxième branche (B2).
- [Revendication 6] Module selon l'une quelconque des revendications 2 à 5, dans lequel, pour ladite au moins une paire de branches (P1 à P6), une cellule (10a à 10j) de la première branche (B1) et une cellule (11a à 11j) de la

deuxième branche (B2) situées sur une même ligne donnée (a à j) correspondent respectivement à deux parties d'une même cellule photovoltaïque séparées physiquement.

[Revendication 7]

Module selon la revendication précédente, dans lequel, pour ladite au moins une paire de branches (P1 à P6), chaque cellule (10a à 10j) de la première branche (B1) et chaque cellule (11a à 11j) de la deuxième branche (B2) situées sur une même ligne donnée (a à j) correspondent respectivement à deux parties d'une même cellule photovoltaïque séparées physiquement.

[Revendication 8]

Module selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel, pour ladite au moins une branche (P1 à P6), chaque cellule photovoltaïque comprend une première structure (30) électriquement conductrice d'une première polarité située sur une première face (F1) de la cellule photovoltaïque et une deuxième structure (31) électriquement conductrice d'une deuxième polarité située sur une deuxième face (F2) de la cellule photovoltaïque opposée à la première face (F1).

[Revendication 9]

Module selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, dans lequel, pour ladite au moins une branche (P1 à P6), chaque cellule photovoltaïque comprend une première structure (30) électriquement conductrice d'une première polarité et une deuxième structure (31) électriquement conductrice d'une deuxième polarité, les première et deuxième structures (30, 31) étant situées sur une même face (F2) de la cellule photovoltaïque.

[Revendication 10]

Module selon l'une quelconque des revendications 2 à 9, comprenant, pour chaque première cellule (10a à 10j) d'une première branche (B1), une paire de connexions électriques (CC1 à CC11) couplées électriquement en parallèle d'une deuxième cellule (11a à 11j) d'une deuxième branche (B2), chaque paire de connexions électriques (CC1 à CC11) comprenant au moins une connexion électrique (CC1 à CC11) ayant une première partie (60) couplée électriquement à une borne de la première cellule (10a à 10j), une deuxième partie (61) couplée électriquement à une borne de la deuxième cellule (11a à 11j) et une partie intermédiaire (62) couplée électriquement aux première et deuxième parties (60, 61), les premières et deuxième parties (60, 61) s'étendant parallèlement aux lignes (a à j).

[Revendication 11]

Module selon la revendication précédente, dans lequel les parties intermédiaires (62) s'étendent perpendiculairement aux premières et deuxièmes parties (60, 61).

- [Revendication 12] Module selon l'une quelconque des revendications 10 ou 11, dans lequel, les parties intermédiaires (62) sont formées sur une première couche (70) d'un premier substrat isolant, les premières et deuxièmes parties (60, 61) sont formées sur une deuxième couche (71) d'un deuxième substrat isolant, et les premières et deuxièmes parties (60, 61) sont couplées aux parties intermédiaires (62) par des via conducteurs électriquement (72) traversant les première et deuxième couches (70, 71).
- [Revendication 13] Panneau photovoltaïque, comprenant au moins un module photovoltaïque (1 à 4) selon l'une quelconque des revendications précédentes.
- [Revendication 14] Procédé de fabrication d'un module photovoltaïque, comprenant :
- une fourniture d'au moins une paire de branches (P1 à P6) de cellules photovoltaïques (10a à 10j, 11a à 11j), chaque cellule photovoltaïque étant configurée pour photo-générer des porteurs de charges, et au moins une paire de branches (P1 à P6) comprenant une première branche (B1) ayant plusieurs cellules (10a à 10j), notées premières cellules, couplées électriquement en série, et une deuxième branche (B2) ayant plusieurs cellules (11a à 11j), notées deuxièmes cellules, couplées électriquement en série,
- caractérisé en ce que le procédé comprend, pour ladite au moins une paire de branches (P1 à P6), un couplage électrique dans lequel chaque cellule (10a à 10j) de la première branche (B1) est en outre couplée électriquement en parallèle d'une cellule (11a à 11j) de la deuxième branche (B2).
- [Revendication 15] Procédé selon la revendication précédente, dans lequel, les cellules photovoltaïques (10a à 10j, 11a à 11j) du module sont disposées selon des colonnes (10 à 21) et des lignes (a à j) de sorte que les cellules d'une même branche (B1, B2) sont successivement disposées sur une même colonne (10 à 21) et chaque branche (B1, B2) présente une unique cellule par ligne (a à j), et le couplage électrique comprend au moins deux cellules (10a à 10j) appartenant à une première branche (B1) et situées sur deux lignes données couplées électriquement en parallèle avec deux cellules (11a à 11j) appartenant à une deuxième branche (B2) et situées sur deux autres lignes distinctes des deux lignes données.
- [Revendication 16] Procédé selon la revendication précédente, dans lequel la fourniture

comprend une séparation physique d'au moins une même cellule photovoltaïque de manière à obtenir une première cellule (10a à 10j) appartenant à la première branche (B1) et une deuxième cellule (11a à 11j) appartenant à la deuxième branche (B2), la première cellule (10a à 10j) et la deuxième cellule (11a à 11j) étant situées sur une même ligne donnée.



[Fig. 2]

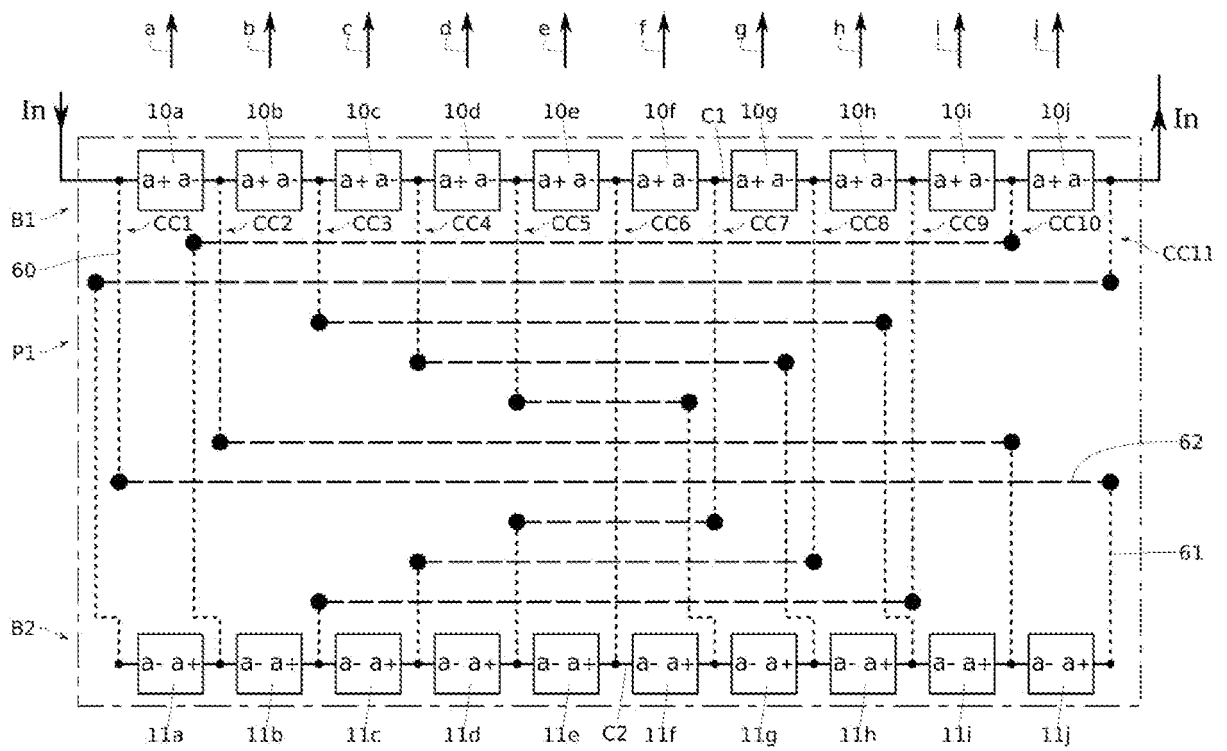


FIG. 2.

[Fig. 3]

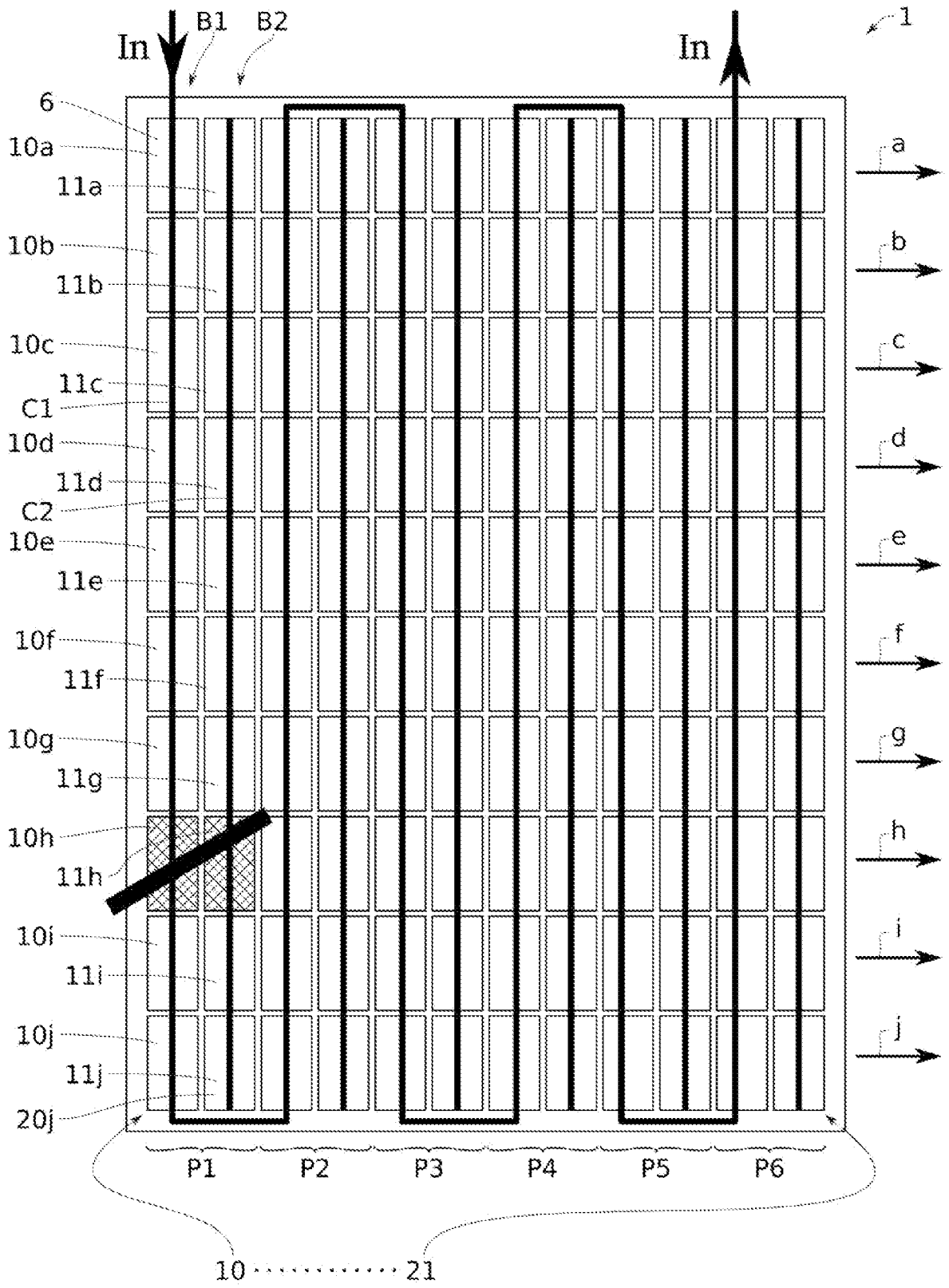


FIG. 3

[Fig. 4]

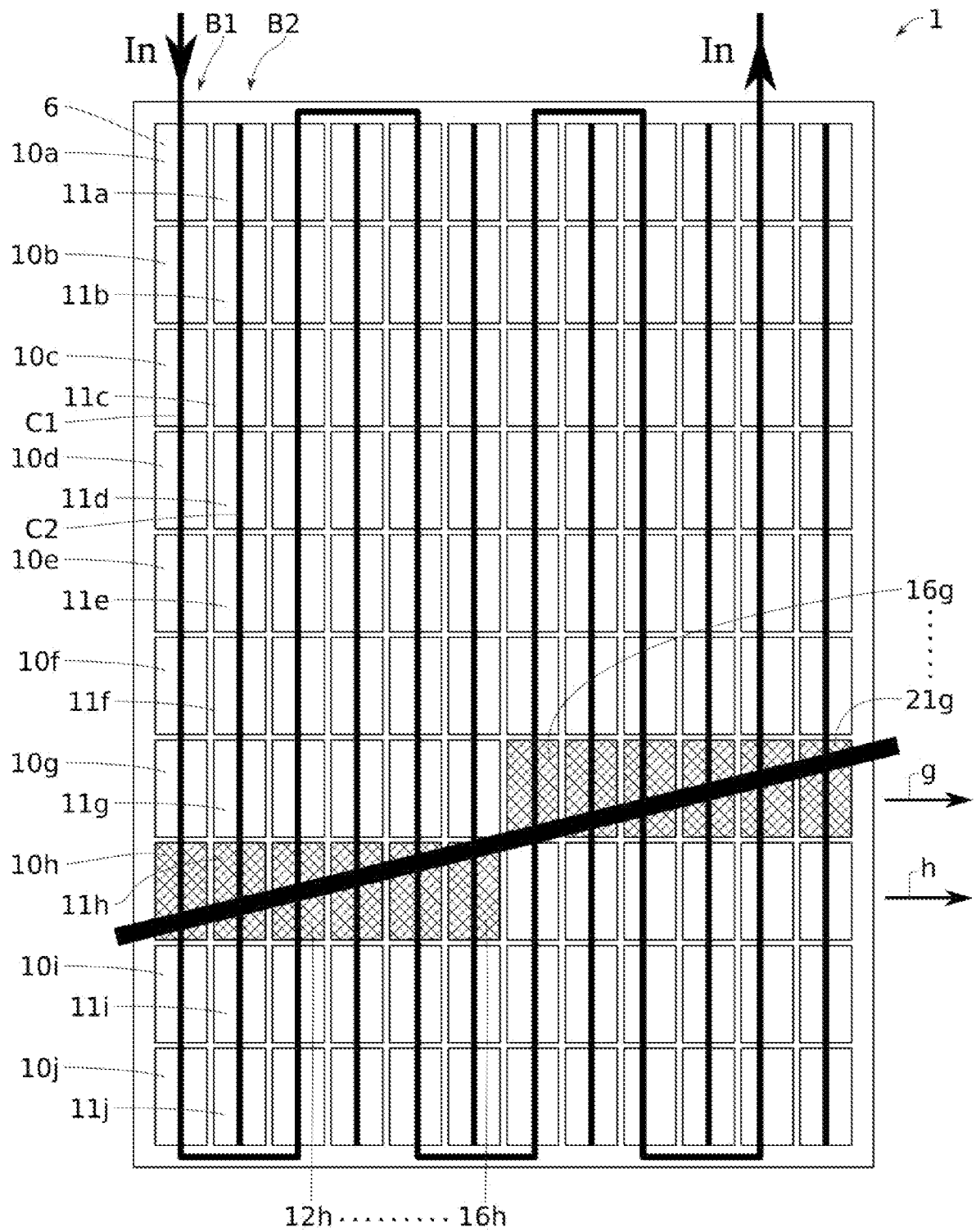


FIG. 4

[Fig. 5]

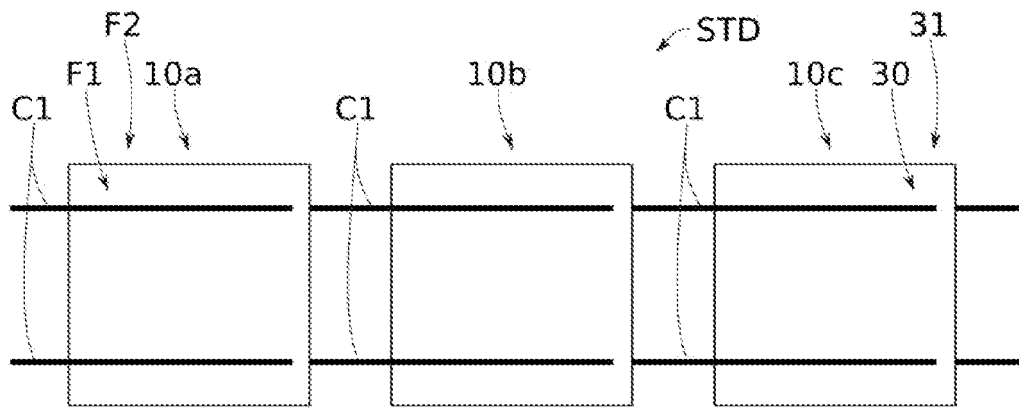


FIG. 5

[Fig. 6]

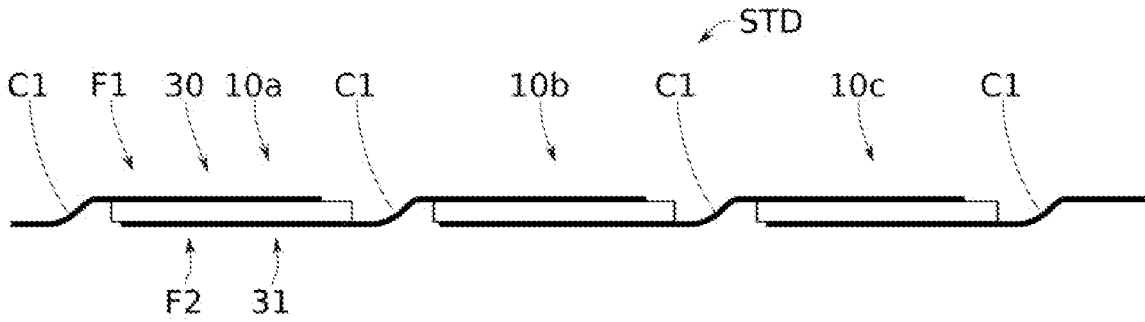


FIG. 6

[Fig. 7]

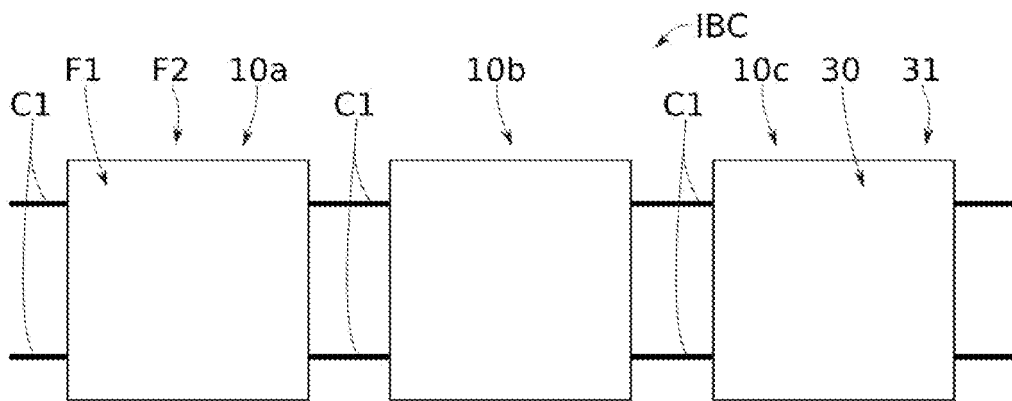


FIG. 7

[Fig. 8]

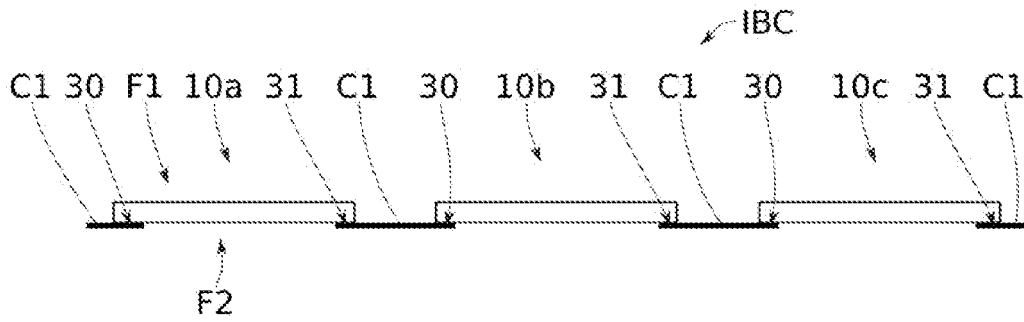


FIG. 8

[Fig. 9]

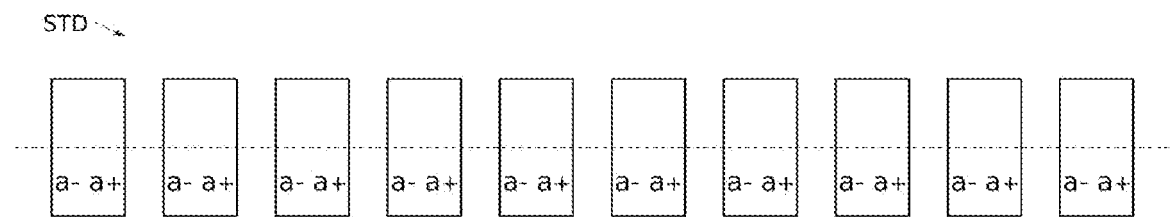


FIG. 9

[Fig. 10]

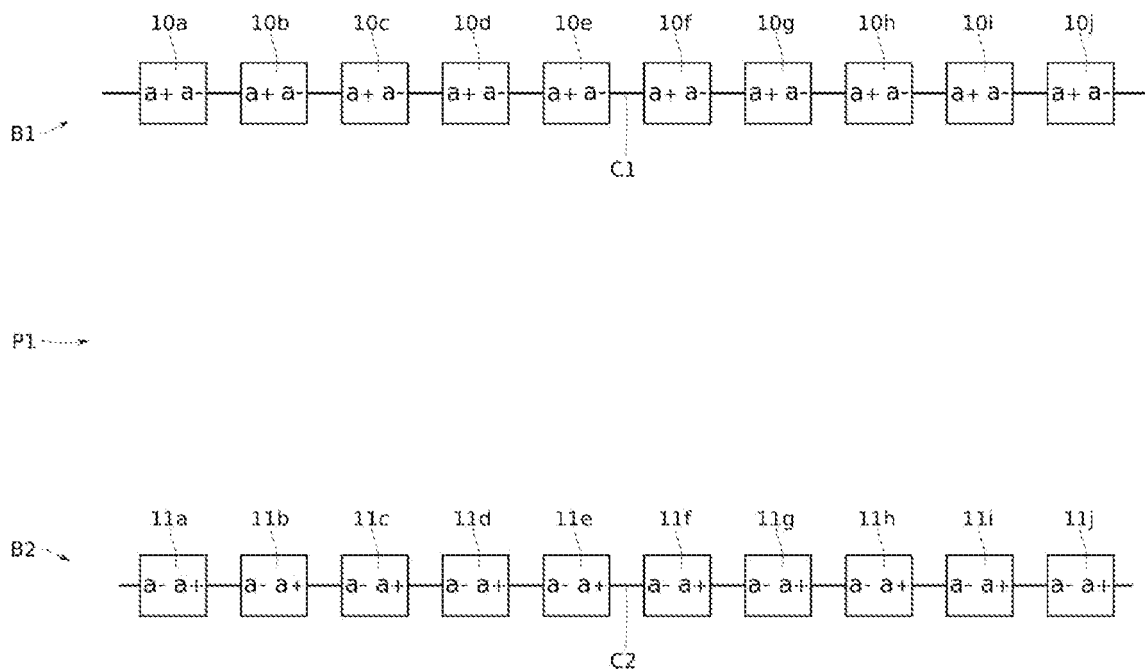


FIG. 10

[Fig. 11]

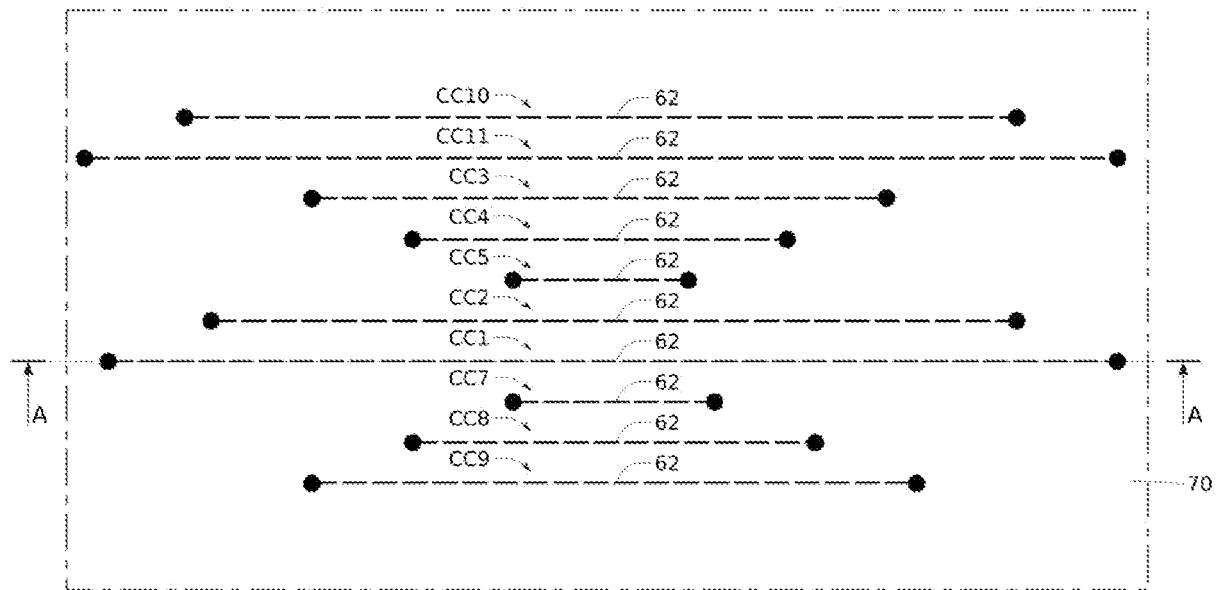


FIG. 11

[Fig. 12]

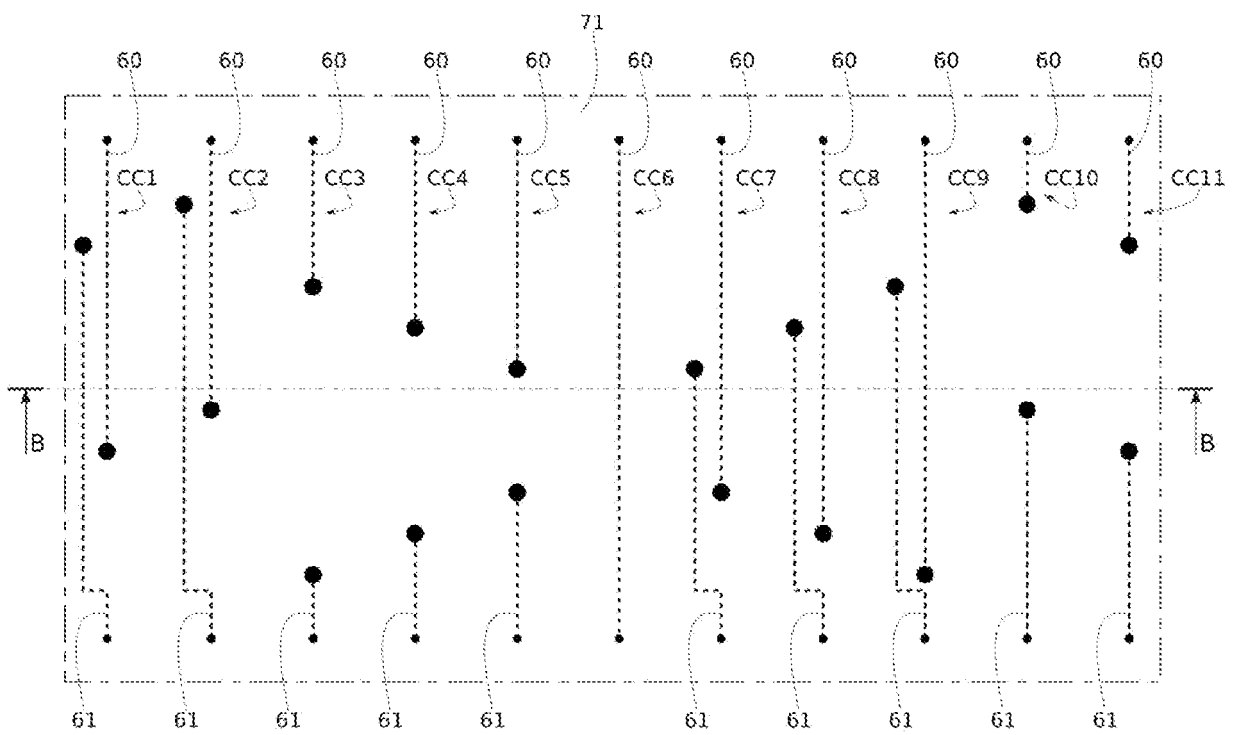


FIG. 12

[Fig. 13]

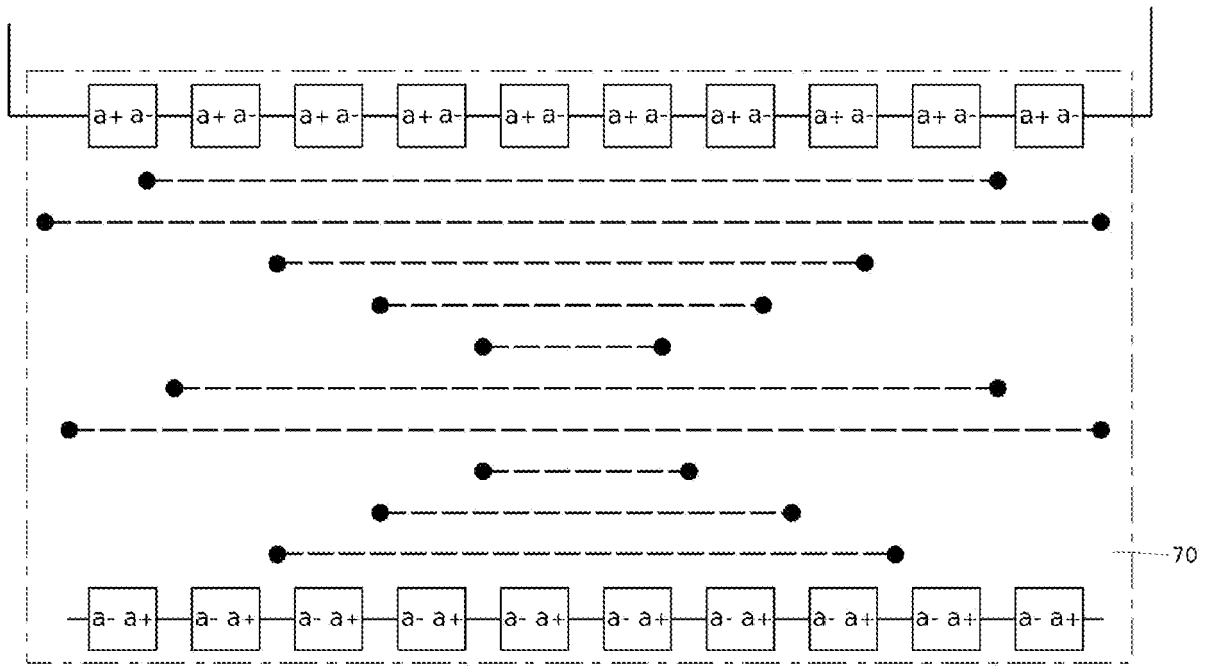


FIG. 13

[Fig. 14]

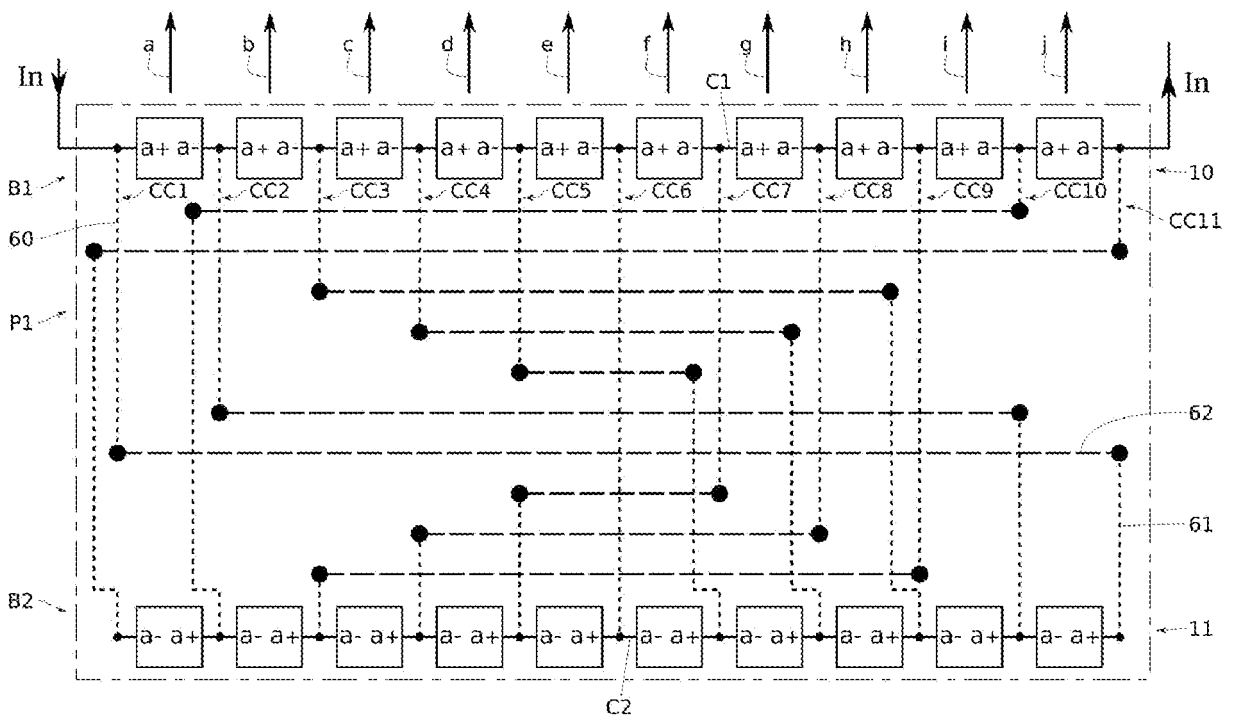


FIG. 14

[Fig. 15]



FIG. 15

[Fig. 16]

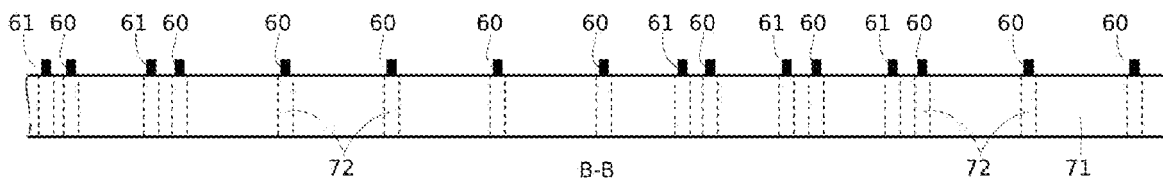


FIG. 16

[Fig. 17]

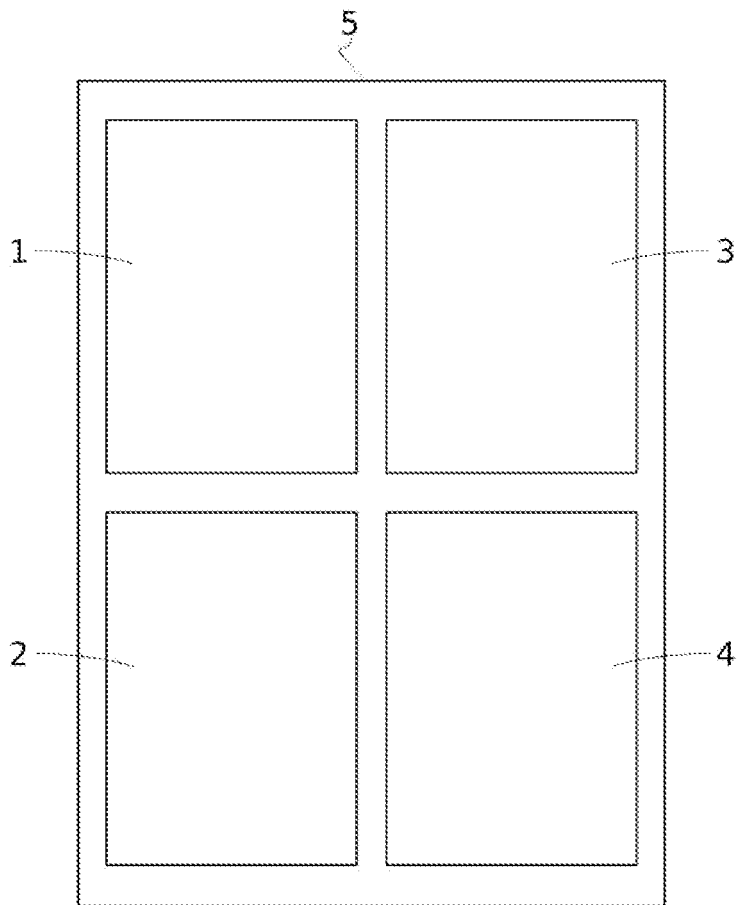


FIG. 17

**RAPPORT DE RECHERCHE  
PRÉLIMINAIRE**

N° d'enregistrement  
national

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

**FA 920888**  
**FR 2305859**

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	CN 108 028 289 A (SOLARWAT LTD) 11 mai 2018 (2018-05-11) * abrégé * * alinéas [0040] - [0056] * * figures 3E, 4 * -----	1-16	H01L 31/0465 H01L 31/05
X A	WO 2016/042480 A1 (ALTENEIJI HAMAD MUSABEH AHMED SAIF [AE]) 24 mars 2016 (2016-03-24) * alinéas [0043], [0071] - [0073], [0078], [0079], [0108], [0114] * * figures 5, 8 * -----	1, 4-9, 13, 14 2, 3, 10-12, 15, 16	
X A	US 6 635 817 B2 (KONINKL PHILIPS ELECTRONICS NV [NL]) 21 octobre 2003 (2003-10-21) * colonne 3, ligne 47 - colonne 4, ligne 44 * * figure 2 * -----	1, 4, 5, 8, 9, 13, 14 2, 3, 6, 7, 10-12, 15, 16	
A	JP 2012 234896 A (KYOCERA CORP) 29 novembre 2012 (2012-11-29) * alinéa [0042] * * figure 5 * -----	1-16	DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC)  H01L
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
18 décembre 2023		Ekoué, Adamah	
CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS		T : théorie ou principe à la base de l'invention	
X : particulièrement pertinent à lui seul		E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure	
Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un		à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date	
autre document de la même catégorie		de dépôt ou qu'à une date postérieure.	
A : arrière-plan technologique		D : cité dans la demande	
O : divulgation non-écrite		L : cité pour d'autres raisons	
P : document intercalaire		.....	
		& : membre de la même famille, document correspondant	

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE  
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 2305859 FA 920888**

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 **18-12-2023**  
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
<b>CN 108028289 A</b>	<b>11-05-2018</b>	<b>CN 108028289 A</b>	<b>11-05-2018</b>
		<b>EP 3345221 A1</b>	<b>11-07-2018</b>
		<b>IL 241029 A</b>	<b>28-02-2017</b>
		<b>JP 6798665 B2</b>	<b>09-12-2020</b>
		<b>JP 2018528612 A</b>	<b>27-09-2018</b>
		<b>US 2018254366 A1</b>	<b>06-09-2018</b>
		<b>WO 2017037710 A1</b>	<b>09-03-2017</b>
-----			
<b>WO 2016042480 A1</b>	<b>24-03-2016</b>	<b>JP 2016063212 A</b>	<b>25-04-2016</b>
		<b>US 2016087132 A1</b>	<b>24-03-2016</b>
		<b>WO 2016042480 A1</b>	<b>24-03-2016</b>
-----			
<b>US 6635817 B2</b>	<b>21-10-2003</b>	<b>AUCUN</b>	
-----			
<b>JP 2012234896 A</b>	<b>29-11-2012</b>	<b>AUCUN</b>	
-----			