



(51) Classification internationale des brevets :
H01L 31/0352 (2006.01) *H01L 31/054* (2014.01)
G02B 6/06 (2006.01) *H02S 40/22* (2014.01)

(21) Numéro de la demande internationale :
PCT/EP2016/055488

(22) Date de dépôt international :
15 mars 2016 (15.03.2016)

(25) Langue de dépôt : français

(26) Langue de publication : français

(30) Données relatives à la priorité :
1552118 16 mars 2015 (16.03.2015) FR

(71) Déposant : COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE ET AUX ENERGIES ALTERNATIVES [FR/FR]; 25 Rue Leblanc, Bâtiment "Le Ponant D", 75015 Paris (FR).

(72) Inventeurs : VOARINO, Philippe; Le Saint Roman A, 63 Boulevard de la Madeleine, 06000 Nice (FR). MES-SAOUDI, Paul; 177 Route de Plaimpalais, 73230 Saint-Alban Laysse (FR).

(74) Mandataires : VUILLERMOZ, Bruno et al.; Cabinet Laurent & Charras, Le Contemporain, 50 Chemin de la Bruyère, 69574 Dardilly Cédex (FR).

(81) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de protection nationale disponible) : AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de protection régionale disponible) : ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasien (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), européen (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

[Suite sur la page suivante]

(54) Title : BIFACIAL PHOTOVOLTAIC SYSTEM EQUIPPED WITH OPTICAL FIBRES FOR ILLUMINATION OF THE REAR FACE OF PHOTOVOLTAIC CELLS

(54) Titre : SYSTEME PHOTOVOLTAÏQUE BIFACIAL MUNI DE FIBRES OPTIQUES POUR L'ECLAIREMENT DE LA FACE ARRIERE DE CELLULES PHOTOVOLTAÏQUES

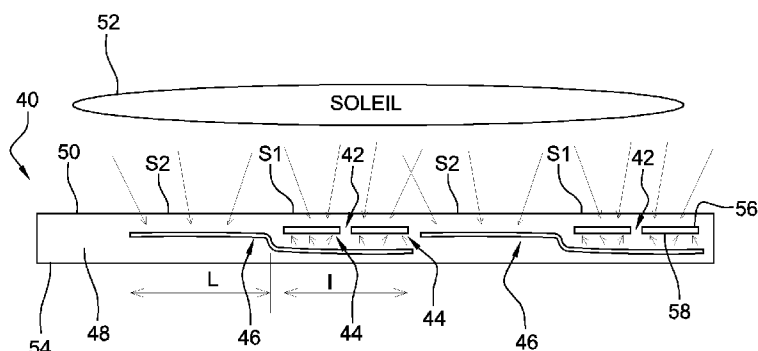


Fig. 3

52 SUNLIGHT

(57) Abstract : A photovoltaic system comprises a transparent volume (48), bifacial photovoltaic cells (44) arranged in the transparent volume (48) and defining a predetermined irradiation surface (S1), and optical fibres (46) for redirecting a portion of said electromagnetic radiation incident on the volume (48) to the rear face (58) of the cells (44), said fibres comprising: - a first length of fibre (L), arranged outside the radiation surface (S1) and comprising openings (60) in the sheaths (62) of the optical fibres (46) exposing the core (64) of same in such a way as to collect and transport said portion of the radiation; and - a second length of fibre (I) arranged opposite the rear face (58) of the photovoltaic cells (44) and capable of emitting said portion of the radiation collected in the first length (L) of the optical fibres (46) in the direction of the rear faces (58) of the photovoltaic cells (44).

(57) Abrégé :

[Suite sur la page suivante]



Publiée :

— avec rapport de recherche internationale (Art. 21(3))

Un système photovoltaïque comprend un volume transparent (48), des cellules photovoltaïques bifaciales (44) disposées dans le volume transparent (48) et définissant une surface d'irradiation prédéterminée (S1), et des fibres optiques (46) pour rediriger une partie dudit rayonnement électromagnétique incident sur le volume (48) vers la face arrière (58) des cellules (44), lesdites fibres comprenant : - une première longueur de fibre (L), disposée en dehors de la surface d'irradiation (S1) et comprenant des ouvertures (60) dans les gaines (62) des fibres optiques (46) mettant à nu le cœur (64) de celles-ci de manière à collecter et transporter ladite partie du rayonnement; et - une seconde longueur de fibre (I) disposée en regard des faces arrière (58) des cellules photovoltaïques (44) et apte à émettre ladite partie du rayonnement collectée dans la première longueur (L) des fibres optiques (46) en direction des faces arrière (58) des cellules photovoltaïques (44).

**SYSTEME PHOTOVOLTAÏQUE BIFACIAL MUNI DE FIBRES OPTIQUES POUR
L'ECLAIREMENT DE LA FACE ARRIERE DE CELLULES PHOTOVOLTAÏQUES**

DOMAINE DE L'INVENTION

5

L'invention concerne les modules photovoltaïques comprenant des cellules photovoltaïques bifaciales.

ETAT DE LA TECHNIQUE

10

En se référant à la vue en perspective en écorché de la figure 1, un module photovoltaïque **10** de l'état de la technique comprend des cellules photovoltaïques identiques **12**. Les cellules photovoltaïques **12** comprennent chacune une face avant **14** et une face arrière **16**, la face avant **14** d'une cellule étant destinée à recevoir le rayonnement solaire à convertir en électricité, ainsi que des électrodes **18** pour la collecte du courant produit. Des conducteurs électriques **20** sont également prévus pour le transport du courant électrique collecté et pour la connexion électrique, usuellement en série, des cellules photovoltaïques **12** entre elles. Les cellules et les conducteurs sont encapsulés dans un volume de polymère transparent **22**, usuellement de l'éthylène-acétate de vinyle (« EVA »), et l'ensemble est intercalé entre une plaque avant en verre **24**, en regard des faces avant **14** des cellules **12**, et une plaque arrière **26**. L'empilement de polymère et de plaques avant et arrière protège ainsi les cellules photovoltaïques **12** de l'environnement extérieur, tout en perturbant à minima le rayonnement solaire incident. Une boîte de jonction électrique **28** est en outre prévue et raccordée aux conducteurs électriques **20** pour la jonction du module photovoltaïque **10** avec l'extérieur. Enfin, l'ensemble ainsi constitué est généralement logé dans un cadre en aluminium **30** comprenant des joints en silicone **32** de manière à exposer de manière étanche que la plaque de verre **24**.

L'un des enjeux majeurs de la production d'électricité solaire étant d'obtenir une efficacité de conversion photoélectrique maximale, les cellules photovoltaïques sont le plus souvent « bifaciales », c'est-à-dire capables de produire du courant électrique en fonction d'un rayonnement solaire incident sur leurs faces avant, mais également en fonction d'un rayonnement solaire incident sur leurs faces arrière. La plaque arrière **26** est alors munie d'une face réfléchissante tournée vers les faces arrière des cellules. Ainsi, le rayonnement solaire qui est incident entre les cellules **12** est renvoyé vers les faces arrière de celles-ci pour sa conversion en électricité, ce qui augmente la production d'électricité.

Le gain obtenu étant jugé insuffisant, de nombreuses solutions ont été imaginées pour augmenter la part de rayonnement solaire qui est non captée par les faces avant des cellules, et qui est capté par les faces arrière de celles-ci. Notamment, des solutions consistent à prévoir entre les cellules solaires, des mécanismes optiques (miroir, réseau de diffraction...) qui redirigent de manière plus efficace, le plus souvent en combinaison avec le réflecteur sur la plaque arrière, le rayonnement solaire vers les faces arrière des cellules. Ces solutions sont généralement complexes à produire, et certaines d'entre elles ne peuvent être conçues que pour une longueur d'onde particulière. De plus, conscients que l'espace entre les cellules photovoltaïques induit une perte de rendement du module photovoltaïque, les constructeurs développent des solutions pour réduire cet espace. Le gain apporté par ces solutions devient donc de plus en plus faible à mesure que l'espace inter-cellule diminue.

On connaît par ailleurs des systèmes photovoltaïques qui découplent la fonction de collecte du rayonnement solaire et la fonction de production photovoltaïque d'électricité. Par exemple, le document CN102800732 décrit un système photovoltaïque comprenant des fibres optiques qui éclairent la surface d'un module photovoltaïque. Une première extrémité de chaque fibre optique est raccordée à une lentille, convexe ou de Fresnel, qui reçoit le rayonnement solaire et le dirige vers le cœur de la fibre. Le rayonnement ainsi collecté à la première extrémité de la fibre est transporté vers la seconde extrémité de celle-ci, seconde extrémité qui est raccordée à la face avant du module photovoltaïque au travers d'une lentille focalisatrice. Ainsi, le rayonnement solaire n'est pas incident directement sur le module, qui ne nécessite plus d'être exposé au soleil. Toutefois, un tel système n'est pas compact, nécessite la réalisation d'optiques et requiert vraisemblablement l'emploi de colle pour fixer les fibres aux optiques, colle qui est usuellement une importante source de fragilité mécanique. En outre, ce type de système concerne essentiellement la conversion photovoltaïque par la face avant des cellules photovoltaïques.

Un autre exemple est décrit dans l'article « *The PV-Fiber CPV Project* », 3rd World Conference on Photovoltaïque Energy Conversion, May 2003 OSAKA. Ce document décrit un collecteur de rayonnement solaire sous forme de parabole montée sur un moteur pour suivre la course du soleil. Le rayonnement capté par la parabole est ensuite transmis à la première extrémité de fibres optiques au moyen d'un couplage optique. Les fibres transportent le rayonnement vers des cellules photovoltaïques disposées à distance de la parabole, notamment dans la pièce d'une maison. Plus particulièrement, la seconde extrémité de chaque fibre est raccordée à la face avant des cellules photovoltaïques, vraisemblablement à l'aide d'un élément optique. Là encore, cette solution n'est pas

compacte et nécessite l'emploi d'optique pour le couplage des fibres. De même, ce système ne traite que de la conversion photovoltaïque par la face avant de cellules photovoltaïques.

- 5 D'une manière générale, les systèmes décrits précédemment conçoivent la production de courant électrique en fonction d'une surface donnée d'irradiation définie par les faces avant des cellules photovoltaïques. Ainsi, à supposer qu'un module intégrerait, ou serait couplé, à une solution optimale pour convertir le rayonnement incident sur le module, la seule voie pour produire encore plus d'électricité serait donc d'augmenter le nombre de
- 10 cellules photovoltaïques. Ceci présente cependant des désavantages puisque, par exemple, la surface supplémentaire de cellule renchérit sensiblement le coût de production du module.

EXPOSE DE L'INVENTION

15

Le but de la présente invention est de proposer un système photovoltaïque permettant, pour une même surface de cellules photovoltaïques, une production accrue de courant électrique.

- 20 A cet effet l'invention a pour objet un système photovoltaïque pour produire du courant électrique en fonction d'un rayonnement électromagnétique d'une gamme prédéterminée de longueurs d'onde incident sur le système, comprenant :
- un volume de milieu transparent audit rayonnement et comprenant une face de réception dudit rayonnement ;
 - 25 - un ensemble de cellules photovoltaïques bifaciales disposées dans le volume transparent et comprenant chacune une face avant dirigée vers la face de réception du volume, et une face arrière opposée à la face avant, les cellules photovoltaïques définissant une surface d'irradiation prédéterminée ; et
 - des moyens de redirection aptes à rediriger une partie dudit rayonnement
 - 30 électromagnétique incident sur la face de réception du volume vers la face arrière des cellules photovoltaïques.

Selon l'invention, les moyens de redirection comprennent des fibres optiques formées chacune d'un cœur recouvert d'une gaine, lesdites fibres comprenant dans le volume

35 transparent:

- une première longueur de fibre disposée en regard de la face de réception du volume et en dehors de la surface d'irradiation pour recevoir ladite partie du rayonnement incident, et comprenant des ouvertures dans les gaines des fibres optiques mettant à nu le cœur de celles-ci de manière à collecter et transporter ladite partie du rayonnement ; et
- une seconde longueur de fibre disposée en regard des faces arrière des cellules photovoltaïques et apte à émettre ladite partie du rayonnement collectée dans la première longueur des fibres optiques en direction des faces arrière des cellules photovoltaïques.

10

En d'autres termes, les cellules photovoltaïques bifaciales sont capables de produire une quantité importante d'électricité lorsque l'on éclaire leur face arrière. Notamment, certaines cellules présentent un coefficient de bifacialité supérieur ou égal à 90%. Ainsi, en éclairant la face arrière de la cellule avec une fluence électromagnétique donnée (W/m^2), la cellule produit un courant supérieur ou égal à 90% du courant qu'elle produit lorsque sa face avant est éclairée par cette même fluence. Cette propriété des cellules bifaciales est sous exploitée dans l'état de la technique. En effet, lorsqu'une solution est intégrée à un module photovoltaïque pour rediriger la partie du rayonnement solaire incident sur la face avant du module qui n'est pas capté par la face avant des cellules, cette partie de rayonnement redirigé constitue une part très minoritaire du rayonnement incident. Quelle que soit la solution envisagée, le courant électrique produit par la face arrière est très inférieur à ce que cette dernière pourrait produire avec un éclairage plus important. Les fibres optiques permettent donc de capter une part plus importante du rayonnement solaire et de rediriger celui-ci vers les faces arrière. Pour une même surface de cellule photovoltaïque, une quantité plus importante de courant électrique est alors produite. Comme cela sera d'ailleurs décrit ci-dessous, des mesures sont même parfois souhaitables pour dimensionner les fibres afin que les cellules ne produisent pas une quantité trop importante d'électricité en raison des circuits électriques auxquelles elles sont connectées.

30

Par ailleurs, les fibres optiques, dont la gaine est traitée pour réaliser des ouvertures jusqu'à leur cœur, constituent une solution privilégiée pour la redirection du rayonnement électromagnétique. En effet, le rayonnement entre dans le cœur des fibres par les ouvertures pratiquées dans la gaine, est transporté sous les faces arrière des cellules photovoltaïques où il est réémis. Il n'est donc pas nécessaire de prévoir des éléments de couplage optique, ni pour collecter le rayonnement solaire, ni pour éclairer les faces arrière des cellules. Notamment, les fibres peuvent être disposées parallèlement aux cellules, ce qui permet d'obtenir, si besoin, un système compact. En outre, les fibres

35

n'ayant pas leurs extrémités raccordées aux faces arrière des cellules, elles ne présentent pas de courbure importante. Elles peuvent donc être laminées dans la matrice de polymère avec les techniques usuelles sans provoquer leur cassure.

5 Selon un mode de réalisation, la seconde longueur de fibre comporte, en regard des faces arrière des cellules photovoltaïques, des ouvertures dans les gaines des fibres optiques mettant à nu le cœur de celles-ci. La première et la seconde longueurs des fibres optiques peuvent ainsi subir le même traitement.

10 En variante, la seconde longueur de fibre comporte des extrémités des fibres optiques en regard des faces arrière des cellules photovoltaïques. Plus particulièrement, des extrémités des fibres optiques sont disposées en regard de chacune des faces arrière des cellules photovoltaïques, et sont réparties différemment le long d'un côté de ladite face arrière. Il est ainsi possible de contrôler plus aisément l'uniformité de l'éclairage sur les
15 faces arrière des cellules.

Selon un mode de réalisation, le système comporte un réflecteur apte à réfléchir ledit rayonnement, la seconde longueur de fibre étant disposée entre le réflecteur et les faces arrière des cellules photovoltaïques, ce qui permet d'augmenter encore la quantité de
20 rayonnement absorbé par les cellules et donc la production de courant.

Selon un mode de réalisation, la seconde longueur des fibres optiques et les faces arrière des cellules photovoltaïques étant séparées uniquement par le milieu transparent audit rayonnement. Ainsi, il n'existe aucun élément mécanique ou optique raccordant les fibres
25 aux faces arrière des cellules photovoltaïques.

Plus particulièrement, les faces arrière des cellules photovoltaïques sont disposées dans un premier plan, et, dans la seconde longueur de fibre, les fibres optiques sont parallèles et disposées dans un second plan, le premier plan et le second plan étant parallèles. Un
30 système compact est ainsi obtenu. En outre, les fibres ne présentent pas de courbures importantes, ce qui facilite l'emploi d'une lamination dans une matrice de polymère.

Selon un mode de réalisation, au moins dans la seconde longueur de fibres, les fibres optiques sont tissées, les fibres optiques constituant par exemple les fils de trame et/ou les
35 fils de chaînes du tissu. En d'autres termes, l'emploi d'une technique de tissage permet de contrôler de manière précise la répartition des fibres optiques, de faciliter le traitement des gaines pour réaliser les ouvertures ainsi que faciliter la manipulation des fibres lors de la fabrication du système.

Selon un mode de réalisation :

$$n_{coeur} \geq n_{milieu} \geq n_{gaine}$$

5 expression dans laquelle n_{milieu} , n_{coeur} et n_{gaine} sont respectivement les indices de réfraction du milieu transparent, du cœur des fibres optiques et des gaines des fibres optiques.

Selon un mode de réalisation :

- 10 - dans la première longueur, les fibres optiques sont parallèles et disposées dans un plan ;
- les ouvertures de la première longueur de fibre comprennent des parois formant un motif évasé depuis le cœur des fibres optiques et présentant un angle θ prédéterminé par rapport à la normale à un axe longitudinal des fibres optiques compris entre 15° et 35°.

15

Un tel angle permet d'optimiser la collecte du rayonnement solaire par les fibres optiques lorsque le soleil est en position basse dans le ciel. Ainsi, les fibres sont optimisées pour accroître la production d'électricité aux moments de la journée et de l'année pendant lesquels le rayonnement solaire est faible, et par conséquent compenser la baisse de production d'électricité réalisée par les faces avant des cellules photovoltaïques.

20

En particulier, l'angle est égal à 30°. Un tel angle permet d'optimiser la collecte lorsque le soleil est positionné sur l'axe est-ouest à une latitude de 50°N.

25 Selon un mode de réalisation :

- dans la première longueur, les fibres optiques sont droites, parallèles à un axe prédéterminé et disposées dans un plan ;
- le système est destiné à être monté avec ledit axe positionné dans une direction prédéterminée par rapport à la direction Nord-Sud ;
- 30 - les ouvertures de la première longueur de fibre comprennent des parois formant un motif évasé depuis le cœur des fibres optiques et présentant un angle θ prédéterminé par rapport à la normale audit axe satisfaisant les relations :

$$\sin(i_2) = \frac{n_{trans}}{n_{coeur}} \cdot \cos(\theta + i)$$

$$\cos(i_2 + \theta) \geq \frac{n_{gaine}}{n_{coeur}}$$

35

expressions dans lesquelles :

- n_{trans} , n_{coeur} et n_{gaine} sont respectivement les indices de réfraction du milieu remplissant les ouvertures, du cœur des fibres optiques et des gaines des fibres optiques ;
- 5 ▪ i est un angle d'incidence du rayonnement électromagnétique depuis le milieu transparent par rapport à la normale audit l'axe lorsque le soleil est positionné sur ledit axe ou perpendiculairement audit axe; et
- 10 ▪ i_2 est un angle de réfraction dans le cœur des fibres, repéré à l'angle de réflexion interne total des fibres, du rayonnement entrant dans les ouvertures de la gaine des fibres optiques avec l'angle d'incidence i .

En d'autres termes, les ouvertures dans la première longueur des fibres permettent de collecter de manière optimale le rayonnement solaire en fonction d'une position particulière de ce dernier dans le ciel, cette position déterminant l'angle i . La production
15 d'électricité par les faces arrière des cellules photovoltaïque peut ainsi être optimisée en fonction d'une heure particulière de la journée et/ou d'une journée particulière de l'année.

Selon un mode de réalisation, les cellules photovoltaïques et les fibres optiques sont encapsulées ensemble dans un volume de polymère transparent. En d'autres termes, les
20 fibres optiques font partie d'un module photovoltaïque.

En variante, l'invention concerne un système photovoltaïque pour produire du courant électrique en fonction d'un rayonnement électromagnétique d'une gamme prédéterminée de longueurs d'onde incident sur le système. Ce système comprend :

- 25 - un volume de milieu transparent audit rayonnement et comprenant une face de réception dudit rayonnement ;
- un ensemble de cellules photovoltaïques bifaciales disposées dans le volume transparent et comprenant chacune une face avant tournée vers la face de réception du volume et une face arrière opposée à la face avant, les cellules photovoltaïques définissant une surface d'irradiation prédéterminée ; et
- 30 - des moyens de redirection aptes à rediriger une partie dudit rayonnement électromagnétique incident sur la face de réception du volume vers la face arrière des cellules photovoltaïques, les moyens de redirection comprenant des fibres optiques formées chacune d'un cœur recouvert d'une gaine, lesdites fibres comprenant :
- 35 ▪ une première longueur de fibre s'étendant en dehors du volume pour recevoir ladite partie du rayonnement incident, et comprenant des ouvertures dans les gaines des fibres optiques mettant à nu le cœur de celles-ci de manière à collecter et transporter ladite partie du rayonnement ; et

- une seconde longueur de fibre disposée dans le volume en regard des faces arrière des cellules photovoltaïques et apte à émettre ladite partie du rayonnement collectée dans la première longueur des fibres optiques en direction des faces arrière des cellules photovoltaïques.

5

En d'autres termes, la première longueur des fibres peut être disposée à un endroit différent du module photovoltaïque.

10 Selon un mode de réalisation, la première longueur de fibre et la seconde longueur de fibre sont séparées par une troisième longueur de fibre dépourvue d'ouvertures mettant à nu le cœur des fibres optiques.

BREVE DESCRIPTION DES FIGURES

15 L'invention sera mieux comprise à la lecture de la description qui va suivre, donnée uniquement à titre d'exemple, et faite en relation avec les dessins annexés, dans lesquels des références identiques désignent des éléments identiques ou analogues, et dans lesquels :

- la figure 1 est une vue en perspective écorchée d'un module photovoltaïque de l'état de la technique, déjà décrit ci-dessus ;
- 20 - la figure 2 est une vue schématique de dessus d'un système photovoltaïque selon l'invention ;
- la figure 3 est une vue schématique en coupe du système de la figure 2 selon le plan III-III ;
- 25 - la figure 4 est une vue schématique en perspective d'ouvertures réalisées dans la gaine d'une fibre optique dans la portion L de celle-ci ;
- la figure 5 est une vue schématique en couple selon le plan V-V de la figure 4 ;
- la figure 6 est une vue schématique du dessous illustrant la disposition des fibres optiques sous la face arrière des cellules photovoltaïques du système selon
- 30 l'invention ;
- la figure 7 est une vue schématique illustrant une première variante pour l'éclairage des faces arrière des cellules photovoltaïques ;
- la figure 8 est une vue schématique illustrant une seconde variante pour l'éclairage des faces arrière des cellules photovoltaïques ;
- 35 - la figure 9A est une vue schématique illustrant un nombre d'ouvertures croissant dans la gaine d'une fibre optique en fonction de la longueur de celle-ci, et la figure 9B illustre la densité surfacique de cœur mis à nu correspondante ;
- la figure 10 est une vue schématique en coupe illustrant la réfraction d'un rayon incident sur le cœur d'une fibre au travers d'une ouverture ;

- la figure 11 est une courbe illustrant l'évolution de l'angle d'incidence du rayonnement optimal pour la collecte en fonction de l'angle formé par la paroi d'une ouverture dans la gaine d'une fibre optique ;
- la figure 12 est une courbe illustrant l'évolution de l'éclairement des faces arrière des cellules en fonction de l'angle d'incidence du rayonnement lorsque la surface de cœur mis à nu dans une ouverture est insuffisante ;
- les figures 13 et 14 illustrent l'orientation des fibres lorsque les ouvertures sont des entailles ;
- la figure 15 est une vue schématique en coupe d'un autre mode de réalisation du système selon l'invention ; et
- la figure 16 est une vue schématique illustrant le déploiement de la portion de collecte des fibres dans un endroit différent de celui des cellules photovoltaïques.

DESCRIPTION DÉTAILLÉE DE L'INVENTION

15

En se référant aux figures 2 et 3, un système photovoltaïque **40** selon un mode de réalisation de l'invention comporte :

20

- au moins un ensemble **42** de cellules photovoltaïques bifaciales **44**, par exemple des cellules photovoltaïques identiques, à section rectangulaire, et disposées dans un même plan. L'ensemble **42** de cellules **44** définit une première surface d'irradiation **S1** sur laquelle le rayonnement solaire est incident;

25

- pour chaque ensemble **42**, un ensemble de fibres optiques cylindriques parallèles monomode ou multimode **46** collectant du rayonnement solaire en dehors de la surface **S1**, transportant le rayonnement collecté vers les faces arrière des cellules **44** et réémettant le rayonnement collecté pour éclairer les faces arrière, d'une manière expliquée ci-dessous; et

30

- un volume **48** de matériau transparent, c'est-à-dire laissant passer du rayonnement solaire, dans lequel sont encapsulées les cellules **44** et les fibres optiques **46**. Le volume **48** comprend une face avant plane **50**, destinée à recevoir le rayonnement solaire **52** et une face arrière **54** destinée à ne pas être éclairée directement par le soleil **52**. Par exemple une matrice de polymère EVA sur laquelle est disposée une plaque avant en verre et une plaque arrière munie d'une couche réflectrice du rayonnement solaire, tel que décrit en relation avec la figure 1.

35

Les cellules photovoltaïques bifaciales **44** comportent chacune une face avant **56**, tournée vers la face avant **50** du volume **48**, et une face arrière **58**, tournée vers la face arrière **54** du volume **48**, et sont aptes à produire du courant électrique en fonction d'un rayonnement incident sur leur face avant mais également sur leur face arrière. Les
5 cellules solaires **44** sont par exemple des cellules à base de silicium réalisées à partir d'une tranche de silicium, qui subit un ensemble de traitement (réalisation de jonction PN, réalisation de contact ohmique pour les électrodes, etc.), puis est ensuite découpée pour produire des cellules parallélepipède rectangle. De telles cellules sont bien connues de l'état de la technique et ne seront donc pas décrites plus en détail par la suite. Ces
10 cellules sont connectées électriquement entre elles, par exemple en série, d'une manière connue en soi, et délivrent leur courant électrique par exemple à un boîtier de jonction (non représenté).

Avantageusement, les cellules présentent un coefficient de bifacialité $C_{bifacial}$ supérieur
15 ou égal à 80%, par exemple supérieur ou égal à 90%, signifiant que pour une fluence de rayonnement donnée (exprimée en W/m^2), une cellule produit par sa face arrière un courant électrique $I_{arrière}$ égal à $C_{bifacial} \times I_{avant}$, où I_{avant} est le courant électrique produit par la face avant pour ladite fluence.

20 Les fibres optiques **46** comprennent une première longueur **L** disposée en regard de la face avant **50** du volume **48** pour recevoir du rayonnement solaire, définissant ainsi une seconde surface d'irradiation **S2** sur laquelle le rayonnement solaire est incident, la seconde surface **S_L** étant différente de la première surface **S1** et donc dépourvue de
25 cellules photovoltaïques. Les fibres optiques **46**, par exemple à saut d'indice de réfraction, comprennent chacune un cœur enrobé d'une gaine ayant subi un traitement de sa surface sur la première longueur **L**, de manière à mettre à nu des portions de leur cœur.

En se référant aux figures 4 et 5, qui illustrent une portion de la longueur **L** d'une fibre
30 optique **46**, des ouvertures **60** sont ainsi réalisées dans l'épaisseur de la gaine **62** enrobant le cœur **64** de la fibre jusqu'à ce dernier. Du rayonnement solaire peut ainsi pénétrer dans le cœur des fibres au travers des ouvertures **60** et se propager dans les fibres. Les ouvertures **60** sont réalisées d'une manière connue en soi, par exemple par sablage, attaque laser ou attaque chimique. De préférence, les ouvertures **60** sont réalisées uniquement sur une portion de gaine directement en regard de la face **50** du volume **48**.
35 De préférence, le diamètre d'une portion de cœur mise à nu par une ouverture **60** est inférieur ou égal à deux fois le diamètre du cœur **64** des fibres **44**.

Les fibres optiques **46** comprennent par ailleurs une seconde longueur **I** disposée sous les cellules photovoltaïques **44**, les fibres étant configurées dans cette seconde longueur pour émettre au moins une partie du rayonnement solaire collecté dans la première longueur **L** directement vers les faces arrière **58** des cellules **44**, notamment uniquement au travers du matériau transparent du volume **48**, et donc sans l'intermédiaire d'éléments optiques (lentille, prisme, miroir...). De préférence, la seconde longueur **I** des fibres est encapsulée dans un matériau du volume **48** dont l'indice de réfraction vérifie la relation :

$$n_{\text{coeur}} \geq n_{\text{milieu}} \geq n_{\text{gaine}}$$

expression dans laquelle n_{milieu} , n_{coeur} et n_{gaine} sont respectivement les indices de réfraction du matériau du volume **48**, du cœur des fibres optiques et des gaines des fibres optiques. De préférence, l'indice n_{milieu} est égal à l'indice n_{coeur} du cœur des fibres, à tout le moins choisi aussi proche que possible de l'indice n_{coeur}

Dans une première variante illustrée à la figure 6, les fibres optiques **46** n'ont pas d'ouverture dans leur gaine dans la seconde longueur **I**, de sorte que le rayonnement est émis uniquement par leurs extrémités **66**. Les extrémités **66** sont positionnées en regard des faces arrière **56** des cellules **44**. De préférence, les extrémités **66** sont réparties à différents endroits en face des cellules **44**, notamment de manière uniforme. Par exemple, les extrémités **66** sont décalées les unes par rapport aux autres selon un axe **x** parallèle à l'axe des fibres. De cette manière, la quantité de rayonnement collectée par l'extrémité **66** d'une fibre optique **46** est limitée. De plus l'éclairage des faces arrière des cellules est plus uniforme, ce qui limite notamment l'apparition de points chauds, qui sont une source de vieillissement prématuré des cellules photovoltaïques.

Tel qu'illustré à la figure 7, lorsqu'une fibre optique **46** émet un rayonnement par son extrémité **66**, elle émet également dans une direction opposée à celle des faces arrière des cellules. De manière avantageuse, le volume **48** comprend sur sa face arrière, une couche de matériau réfléchissant **68** qui renvoie le rayonnement vers les cellules **44**, ce qui augmente donc la quantité de rayonnement absorbé par les faces arrière de celles-ci.

Dans une seconde variante, pouvant être combinée à la première variante, et illustrée à la figure 8, une portion de la gaine **62** de chaque fibre optique positionnée en face d'une cellule **44** est ôtée de sorte que du rayonnement sorte de la fibre par la portion **70** du cœur **64** mis à nu. Cette variante permet d'obtenir une émission plus directive par les fibres optiques. Les portions **70** sont avantageusement réparties de la manière décrite ci-dessus en relation avec les extrémités **66** et la couche réfléchissante peut être prévue.

Dans une troisième variante, illustrée aux figures 9A et 9B, les gaines **62** des fibres optiques **46** subissent dans la seconde longueur **I** un traitement de surface pour réaliser des ouvertures **70** mettant à nu le cœur des fibres, permettant ainsi à du rayonnement de s'échapper par lesdites ouvertures **70**.

5

De manière avantageuse, la densité surfacique **D** de cœur mis à nu augmente à mesure que l'on s'approche des extrémités **66** des fibres optiques, ce qui permet d'obtenir une émission plus uniforme sur la seconde longueur **I**. Par exemple, les fibres optiques peuvent parcourir la totalité d'une face arrière de cellules **44**, et même la totalité des faces

10 arrière des cellules, ce qui permet d'augmenter l'aire éclairée des faces arrière des cellules **44** directement par les fibres optiques.

Les ouvertures **70** sont réalisées d'une manière connue en soi, par exemple, attaque laser, attaque chimique ou mécanique.

15

Les fibres optiques sont de préférence non localisées sous les électrodes arrière (bus bars) des cellules photovoltaïques, ce qui permet de gagner près de 4% de rendement. De préférence, le diamètre des fibres est inférieur à 500 micromètres, ce qui permet de totalement intégrer dans une matrice polymère de l'état de la technique.

20

Par exemple, le système comporte dans la première longueur **L**, l'empilement suivant :

- une plaque avant, en verre ou en polymère transparent ;
- une première couche d'encapsulant, par exemple de l'EVA, d'une épaisseur standard de 380 micromètres ;
- 25 - les fibres optiques, d'épaisseur inférieure à 500 micromètres ;
- une deuxième couche encapsulant, par exemple de l'EVA, d'une épaisseur standard de 380 micromètres ;
- une troisième couche d'encapsulant, par exemple de l'EVA, d'une épaisseur standard de 380 micromètres ;
- 30 - une plaque arrière, par exemple en verre ou en polymère transparent.

Dans la longueur **I** des fibres, le système comporte l'empilement réalisé suivant :

- une plaque avant, en verre ou en polymère transparent ;
- une première couche d'encapsulant, par exemple de l'EVA, d'une épaisseur standard
- 35 de 380 micromètres ;
- les cellules photovoltaïques ;
- une deuxième couche d'encapsulant, par exemple de l'EVA, d'une épaisseur standard de 380 micromètres ;

- les fibres optiques, d'épaisseur inférieure à 500 micromètres et égale à 0 à l'extrémité du système ;
 - une troisième couche encapsulant, par exemple de l'EVA, d'une épaisseur standard de 380 micromètres ;
- 5 - une plaque arrière, par exemple en verre ou en polymère transparent

Le procédé d'encapsulation est par exemple identique à celle d'un module photovoltaïque de l'état de la technique réalisé avec les mêmes matériaux.

- 10 Il va à présent être décrit en relation avec les figures 10 à 14 un mode de réalisation privilégié des ouvertures **60** réalisées dans la première longueur **L** des fibres optiques **46**.

L'angle d'incidence du rayonnement sur les fibres optiques peut impacter la quantité de rayonnement collectée, et donc émise. Par exemple, si le rayonnement frappe perpendiculairement les fibres optiques par rapport à leur axe longitudinal, alors une partie non négligeable du rayonnement est réfléchi, y compris lorsqu'il est incident sur le cœur au niveau des ouvertures **60**. Les inventeurs ont par ailleurs noté que la forme des ouvertures **60** impacte également la quantité de rayonnement collectée et transportée par les fibres.

20

La figure 10 illustre de manière schématique une ouverture **60** tronconique, et donc de forme évasée, et remplie d'un milieu transparent par exemple d'indice de réfraction n_{trans} satisfaisant $n_{gaine} > n_{trans} > n_{cœur}$, où :

- n_{gaine} est l'indice de réfraction de la gaine **62**, et
- $n_{cœur}$ est l'indice de réfraction du cœur **64**.

25

En repérant les angles par rapport à la normale **y** à l'axe longitudinal **x** de la fibre optique **46**, la paroi latérale **76** de l'ouverture **60** forme un angle θ et le rayonnement est incident sur le cœur **64** au travers de l'ouverture **60** avec un angle i . En repérant le rayonnement réfracté dans le cœur par l'angle i_2 l'angle θ et l'angle i satisfont avantageusement les relations suivantes :

30

$$\sin(i_2) = \frac{n_{trans}}{n_{cœur}} \cdot \cos(\theta + i) \quad (1)$$

$$\cos(i_2 + \theta) \geq \frac{n_{gaine}}{n_{cœur}} \quad (2)$$

35

De cette manière, le rayonnement pénétrant dans le cœur de la fibre optique subit une réflexion totale et est donc efficacement propagé dans la fibre optique.

En outre, en posant θ (resp. i), il existe une valeur particulière $i_{opt}(\theta)$ de l'angle i (resp. une valeur particulière $\theta_{opt}(i)$ de l'angle θ) pour laquelle le rayonnement collecté et transporté par la fibre, et donc émis vers la face arrière des cellules photovoltaïques, est maximal.

La figure 11 illustre l'angle d'incidence optimal du rayonnement solaire $i_{opt}(\theta)$ en fonction de l'angle θ de la paroi latérale **76** de l'ouverture **60**, avec $n_{cœur} = 1,7$, $n_{gaine} = 1,4$, un cœur de diamètre égal à $10\ \mu\text{m}$ et une gaine de diamètre $125\ \mu\text{m}$. La fibre optique **46** est ici plongée dans l'air ($n_{trans} = 1$) et reçoit donc directement le rayonnement solaire.

La relation entre $i_{opt}(\theta)$ et θ (où de manière équivalente entre $\theta_{opt}(i)$ et i) permet notamment de régler le fonctionnement et le montage du système selon l'invention en fonction de la position du soleil dans le ciel. Par exemple il y a une chute de production d'électricité le matin et le soir en raison de la faible puissance du rayonnement solaire qui est rasant. En réalisant des ouvertures dont l'angle des parois correspond à l'angle d'incidence optimal $i_{opt}(\theta)$ correspond au rayonnement solaire sur les fibres le matin et le soir, les fibres ont donc leur collecte optimisée, ce qui induit donc un éclairage optimisé des faces arrière des cellules photovoltaïques. La production plus importante d'électricité par les faces arrière compense donc la faible production d'électricité des faces avant.

Les inventeurs ont également noté que la quantité de rayonnement collecté par les fibres optiques **46** dépend également de la surface de cœur mis à nu par une ouverture **60**. Plus particulièrement, lorsque l'aire **78** (figure 11) du cœur mis à nu par une ouverture **60** est insuffisante, il a été observé que l'évolution illustrée à la figure 11 se dégrade, ce phénomène étant à la figure 12. De préférence, la surface de cœur mise à nue par ouverture est donc choisie pour maximiser la collecte du rayonnement, et donc le rayonnement émis par les fibres.

Les courbes « sortie 1 » et « sortie 2 » sont respectivement la fluence émise par les fibres **46** dans la seconde longueur **I** et la fluence émise par les fibres **46** à leurs autres extrémités, fluence exprimée en pourcentage d'une fluence sur la première longueur **L** égale à 1000W/m^2 en fonction de l'angle $180-i$ du rayonnement solaire incident sur la longueur **L** des fibres (repéré par rapport à l'horizontale). Comme on le noté, on observe

un maximum de rayonnement collecté, transporté et réémis par la longueur **I** des fibres pour un angle incident différent de l'angle $i_{opt}(\theta)$ de la figure 11. On note également que la courbe présente un optimum.

- 5 Un procédé de fabrication des fibres optiques **46** et un procédé de montage du système photovoltaïque selon l'invention comprennent ainsi les étapes suivantes :
1. déterminer les caractéristiques des fibres optiques **46** (diamètre, indice, etc.), du
volume **48** dans lequel les fibres sont encapsulées, et de l'agencement des fibres **46**
10 dans le volume **48**. Généralement, il s'agit de contraintes de conception, de prix, etc...
 2. déterminer une position de montage pour les fibres, par exemple à plat (i.e. : les
fibres **46** dans la portion **L** sont horizontales) ;
15
 3. déterminer l'angle du soleil sur la face avant du volume **48** pour un moment
particulier du jour et de l'année pour lequel on souhaite une collecte de rayonnement
optimale par les fibres **46**, par exemple lorsque le soleil est positionné à l'ouest ou à
l'est lors du solstice d'été ou d'hiver afin d'optimiser la collecte le matin et le soir ;
20
 4. connaissant l'angle d'incidente sur le volume **48**, déterminer l'angle d'incidence i du
rayonnement sur le cœur des fibres au travers des ouvertures **60** des fibres **46** par les
relations de Fresnel pour tenir compte des couches de matériau du volume **48** au-
dessus des fibres. Notamment, le laminage pour encapsuler les cellules
25 photovoltaïques **44** et les fibres optiques **46** dans un polymère, par exemple de
l'EVA, ne remplit pas totalement les ouvertures **60** qui conservent donc de l'air au
niveau du cœur mis à nu, et par conséquent un milieu d'indice inférieur à l'indice du
cœur. Pour faciliter la détermination de l'angle d'incidence dans les ouvertures **60**
et/ou contrôler plus précisément celui-ci, les fibres **46** sont par exemple enrobées
30 d'une gaine externe d'indice supérieur à l'indice du cœur. La gaine externe remplit
ainsi complètement les ouvertures **60** et sa paroi externe étant cylindrique, les lois de
Fresnel sont plus simples de mise en œuvre puisque les interfaces dans le volume **48**
sont planes, et de préférence parallèles ;
 - 35 5. déterminer l'angle des ouvertures $\theta_{opt}(i)$ et une aire de cœur mis à nu S par les
ouvertures **60**, de préférence l'aire minimale, pour que la relation entre l'angle
 $\theta_{opt}(i)$ et l'angle i d'incidence sur le cœur au travers des ouvertures s'applique. Les
courbes précédentes peuvent être mesurées ou bien estimées informatiquement en se

fondant sur une modélisation optogéométrique. Par exemple, le logiciel TRACEPRO de la société Lambda Research Corp. est utilisé.

- 5 6. appliquer un traitement de surface des fibres dans la longueur L afin de réaliser des ouvertures **60** selon l'angle $\theta_{opt}(i)$ et la surface S , par exemple par gravure laser ou poinçage mécanique à chaud ;
7. fabriquer le système photovoltaïque afin de reproduire les conditions de conception des fibres des étapes précédentes ;
- 10 8. monter le système tel que les fibres sont dans la position de montage. Si les ouvertures sont des entailles, les orienter dans la direction du soleil utilisée pour le calcul de l'angle $\theta_{opt}(i)$, comme par exemple illustré par les figures 13 et 14 lorsque l'orientation choisie est la direction est-ouest.

15 Concernant l'encapsulation des fibres dans le matériau polymère, une lamination est utilisée, par exemple une lamination telle qu'utilisée dans l'état de la technique. Les cellules et les fibres sont recouvertes de part et d'autre par une ou plusieurs couches de matériau polymère et une thermocompression est appliquée. Dans une variante
20 privilégiée du système, les fibres optiques présentent une courbure minimale, les fibres étant planes dans les longueurs L et I . La lamination ne fragilise donc pas les fibres.

Selon l'invention, il peut ainsi être obtenu une forte production d'électricité. Dans certains cas de figures, il est même préférable de limiter la production d'électricité. Par
25 exemple, les circuits auxquels sont connectés les cellules photovoltaïques, comme par exemple le boîtier de jonction, sont conçus pour fonctionner avec un ampérage de 12 ampères. En effet au-delà, il est difficile de se procurer une boîte de jonction et la résistance série des câbles est trop grande, ce qui génère des pertes par effet joule trop importantes.

30 Un module photovoltaïque de l'état de la technique tel que décrit produit 8 ampères à l'aide des seules faces avant des cellules pour un rayonnement solaire incident de 1000W/m^2 . Ainsi, les faces arrière des cellules ne doivent pas produire plus de 4 ampères. En considérant un coefficient de bifacialité $C_{bifacial}$ égal à 90%, une capacité de collecte,
35 de transport, et d'éclairage des faces arrière (par exemple selon la variante des figures 6 et 7) égal à 5%, le rapport $Y = L/I$ doit donc être inférieur ou égal à 9.

Un procédé de fabrication d'un système photovoltaïque prenant en compte une limitation du courant électrique produit à une valeur I^{max} est avantageusement le suivant :

- 5 1. fabriquer (ou simuler) un système photovoltaïque de test présentant toutes les caractéristiques du système final à la différence de la surface S_L délimitée par les fibres optiques dans leur première longueur L qui est choisie égale à une valeur de test ;
- 10 2. déterminer le courant I_{avant} produit uniquement par les faces avant sous une fluence particulière, par exemple 1000W/m^2 . Ce courant est usuellement une donnée de l'état de la technique. En variante, ce courant est mesuré en éclairant uniquement les faces avant des cellules photovoltaïques, en masquant par exemple les fibres optiques et en mesurant le courant électrique produit par le système.
- 15 3. déterminer le courant $I_{arrière}$ produit uniquement par les faces arrière des cellules sous la fluence particulière. Par exemple ce courant est mesuré en éclairant uniquement les fibres optiques, en masquant les faces avant des cellules.
- 20 4. déterminer la surface S_L^{max} de fibres optiques dans la première longueur L produisant le courant maximal $I_{arrière}^{max} = I^{max} - I_{avant}$ selon la relation :
$$S_L^{max} = \frac{I_{arrière}^{max}}{I_{arrière}} \times S_L$$
- 25 5. construire un système photovoltaïque donc la longueur L des fibres optiques définit une surface supérieure ou égale à $0,9 \times S_L^{max}$, par exemple égale à S_L^{max} . Le coefficient 0,9 permet de garantir une marge de sécurité.

Il a été décrit des modes de réalisation particuliers de l'invention.

- 30 En variante, comme illustrée à la figure 15, la première longueur L des fibres optiques n'est pas encapsulée avec les cellules photovoltaïques. Par exemple, les fibres sont tissées au moins dans cette partie, et encapsulées dans une matrice polymère transparente et souple. Cette première longueur L peut ainsi être posée à un endroit différent des cellules, sur une toiture ou tout autre support, y compris dans un environnement jugé hostile pour un modèle photovoltaïque.

En se référant à la figure 16, la première longueur **L** peut par exemple être déployée dans des zones ombrées difficiles d'accès pour le montage d'un module photovoltaïque classique. Notamment, comme il a été décrit précédemment, l'exploitation des faces arrière permet de produire une quantité importante de courant sans avoir à prévoir des
5 cellules photovoltaïques supplémentaires.

En variante, la première longueur de fibre **L** est constituée de premières fibres et la seconde longueur de fibres **I** est constituée de secondes fibres différentes, les premières fibres et les secondes fibres étant optiquement raccordées par des connecteurs optiques.
10 Ceci permet notamment le remplacement des premières fibres en cas de dégradation.

En variante, le système est conçu pour que les faces avant et les faces arrière produisent sensiblement le même courant, les cellules étant ainsi mieux appareillées. Notamment, les cellules peuvent être montées dans des zones sous-éclairées.

15 En variante, les cellules comprennent des faces arrière en verre structuré, ce qui améliore le rendement optique du système selon l'invention.

Il a été décrit des fibres optiques comportant un cœur enrobé d'une gaine. Au lieu
20 d'utiliser des fibres optiques avec un indice de cœur et de gaine, on peut réaliser des canaux entaillés avec un haut indice.

REVENDICATIONS

1. Système photovoltaïque (40) pour produire du courant électrique en fonction d'un rayonnement électromagnétique (52) d'une gamme prédéterminée de longueurs d'onde incident sur le système (40) comprenant :
 - un volume (48) de milieu transparent audit rayonnement et comprenant une face de réception (50) dudit rayonnement ;
 - un ensemble (42) de cellules photovoltaïques bifaciales (44) disposées dans le volume transparent (48) et comprenant chacune une face avant (56) tournée vers la face de réception (50) du volume (48) et une face arrière (58) opposée à la face avant (56), les cellules photovoltaïques (44) définissant une surface d'irradiation prédéterminée (S1) ; et
 - des moyens (46) de redirection aptes à rediriger une partie dudit rayonnement électromagnétique incident (52) sur la face de réception du volume (50) vers la face arrière (58) des cellules photovoltaïques (44),
caractérisé en ce que les moyens de redirection comprennent des fibres optiques (46) formées chacune d'un cœur (64) recouvert d'une gaine (62), lesdites fibres (46) comprenant dans le volume transparent (48):
 - une première longueur de fibre (L) disposée en regard de la face de réception (50) du volume (48) et en dehors de la surface d'irradiation (S1) pour recevoir ladite partie du rayonnement incident, et comprenant des ouvertures (60) dans les gaines (62) des fibres optiques (46) mettant à nu le cœur (64) de celles-ci de manière à collecter et transporter ladite partie du rayonnement ; et
 - une seconde longueur de fibre (I) disposée en regard des faces arrière (58) des cellules photovoltaïques (44) et apte à émettre ladite partie du rayonnement collectée dans la première longueur (L) des fibres optiques (46) en direction des faces arrière (58) des cellules photovoltaïques (44).
2. Système photovoltaïque selon la revendication 1, *caractérisé* en ce que la seconde longueur de fibre (I) comporte, en regard des faces arrière (58) des cellules photovoltaïques (44), des ouvertures (60) dans les gaines (62) des fibres optiques (44) mettant à nu le cœur (62) de celles-ci.
3. Système photovoltaïque selon la revendication 1, *caractérisé* en ce que la seconde longueur de fibre (I) comporte des extrémités (66) des fibres optiques (46) en regard des faces arrière (58) des cellules photovoltaïques (44).

4. Système photovoltaïque selon la revendication 3, *caractérisé* en ce que des extrémités (66) des fibres optiques sont disposées en regard de chacune des faces arrière (58) des cellules photovoltaïques (44) et sont réparties différemment le long d'un côté (X) de ladite face arrière (58).

5

5. Système photovoltaïque selon l'une des revendications précédentes, *caractérisé* en ce que la seconde longueur (I) des fibres optiques (44) et les faces arrière (58) des cellules photovoltaïques (44) sont séparées uniquement par le milieu (48) transparent audit rayonnement.

10

6. Système photovoltaïque selon la revendication 5, *caractérisé* en ce que les faces arrière (58) des cellules photovoltaïques (44) sont disposées dans un premier plan, et en ce que, dans la seconde longueur de fibre (I), les fibres optiques (44) sont parallèles et disposées dans un second plan, le premier plan et le second plan étant parallèles.

15

7. Système photovoltaïque selon l'une quelconque des revendications précédentes, *caractérisé* en ce que, au moins dans la seconde longueur de fibre (I), les fibres optiques sont tissées.

20

8. Système photovoltaïque selon l'une quelconque des revendications précédentes, *caractérisé* en ce que :

$$n_{\text{coeur}} \geq n_{\text{milieu}} \geq n_{\text{gaine}}$$

expression dans laquelle n_{milieu} , n_{coeur} et n_{gaine} sont respectivement les indices de réfraction du milieu transparent (48), du cœur (62) des fibres optiques (46) et des gaines (64) des fibres optiques (46).

25

9. Système photovoltaïque selon l'une quelconque des revendications précédentes, *caractérisé* :

30

- en ce que dans la première longueur (L), les fibres optiques (46) sont parallèles et disposées dans un plan ;
- et en ce que les ouvertures (60) de la première longueur de fibre comprennent des parois (76) formant un motif évasé depuis le cœur (62) des fibres optiques (46) et présentant un angle θ prédéterminé par rapport à la normale à un axe longitudinal des fibres optiques compris entre 15° et 35°.

35

10. Système photovoltaïque selon la revendication 9, *caractérisé* en ce que l'angle est égal à 30°.

11. Système photovoltaïque selon l'une quelconque des revendications précédentes, *caractérisé* :

- en ce que dans la première longueur (L), les fibres optiques (44) sont droites, parallèles à un axe prédéterminé (X) et disposées dans un plan ;
- en ce que le système est destiné à être monté avec ledit axe positionné dans une direction prédéterminée par rapport à la direction Nord-Sud ;
- et en ce que les ouvertures (60) de la première longueur de fibre (L) comprennent des parois (76) formant un motif évasé depuis le cœur (62) des fibres optiques (46) et présentant un angle θ prédéterminé par rapport à la normale audit axe (X) satisfaisant les relations :

$$\sin(i_2) = \frac{n_{trans}}{n_{coeur}} \cdot \cos(\theta + i)$$

$$\cos(i_2 + \theta) \geq \frac{n_{gaine}}{n_{coeur}}$$

expressions dans lesquelles :

- n_{trans} , n_{coeur} et n_{gaine} sont respectivement les indices de réfraction du milieu remplissant les ouvertures, du cœur des fibres optiques et des gaines des fibres optiques ;
- i est un angle d'incidence du rayonnement électromagnétique depuis le milieu transparent par rapport à la normale audit axe lorsque le soleil est positionné sur ledit axe ou perpendiculairement audit axe; et
- i_2 est un angle de réfraction, repéré à l'angle de réflexion interne total des fibres, dans le cœur des fibres du rayonnement entrant dans les ouvertures de la gaine des fibres optiques avec l'angle d'incidence i .

12. Système photovoltaïque selon l'une quelconque des revendications précédentes, *caractérisé* en ce que le volume (48) est réalisé en polymère transparent.

13. Système photovoltaïque (40) pour produire du courant électrique en fonction d'un rayonnement électromagnétique (52) d'une gamme prédéterminée de longueurs d'onde incident sur le système (40) comprenant :

- un volume (48) de milieu transparent audit rayonnement et comprenant une face de réception (50) dudit rayonnement ;

- un ensemble (42) de cellules photovoltaïques bifaciales (44) disposées dans le volume transparent (48) et comprenant chacune une face avant (56) tournée vers la face de réception (50) du volume (48) et une face arrière (58) opposée à la face avant (56), les cellules photovoltaïques (44) définissant une surface d'irradiation prédéterminée (S1) ; et
 - des moyens (46) de redirection aptes à rediriger une partie dudit rayonnement électromagnétique incident (52) sur la face de réception du volume (50) vers la face arrière (58) des cellules photovoltaïques (44),
- caractérisé* en ce que les moyens de redirection comprennent des fibres optiques (46) formées chacune d'un cœur (64) recouvert d'une gaine (62), lesdites fibres (46) comprenant :
- une première longueur de fibre (L) s'étendant en dehors du volume (48) pour recevoir ladite partie du rayonnement incident, et comprenant des ouvertures (60) dans les gaines (62) des fibres optiques (46) mettant à nu le cœur (64) de celles-ci de manière à collecter et transporter ladite partie du rayonnement ; et
 - une seconde longueur de fibre (I) disposée dans le volume (48) en regard des faces arrière (58) des cellules photovoltaïques (44) et apte à émettre ladite partie du rayonnement collectée dans la première longueur (L) des fibres optiques (46) en direction des faces arrière (58) des cellules photovoltaïques (44).

1 / 6

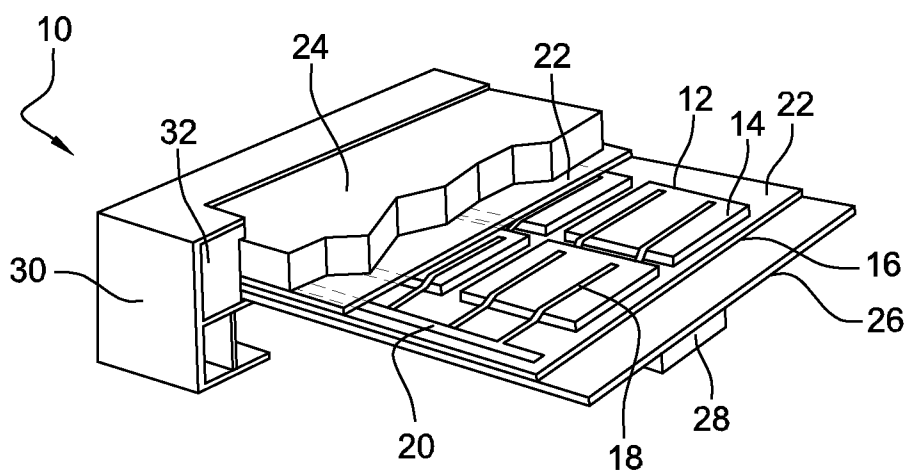


Fig. 1

(Etat de la technique)

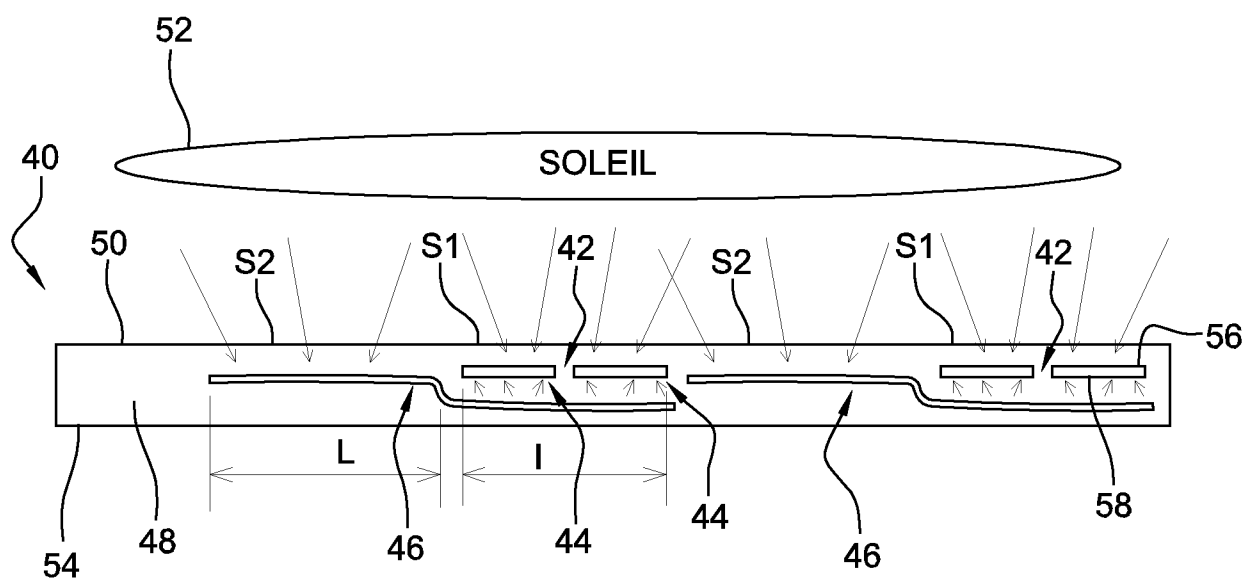


Fig. 3

2 / 6

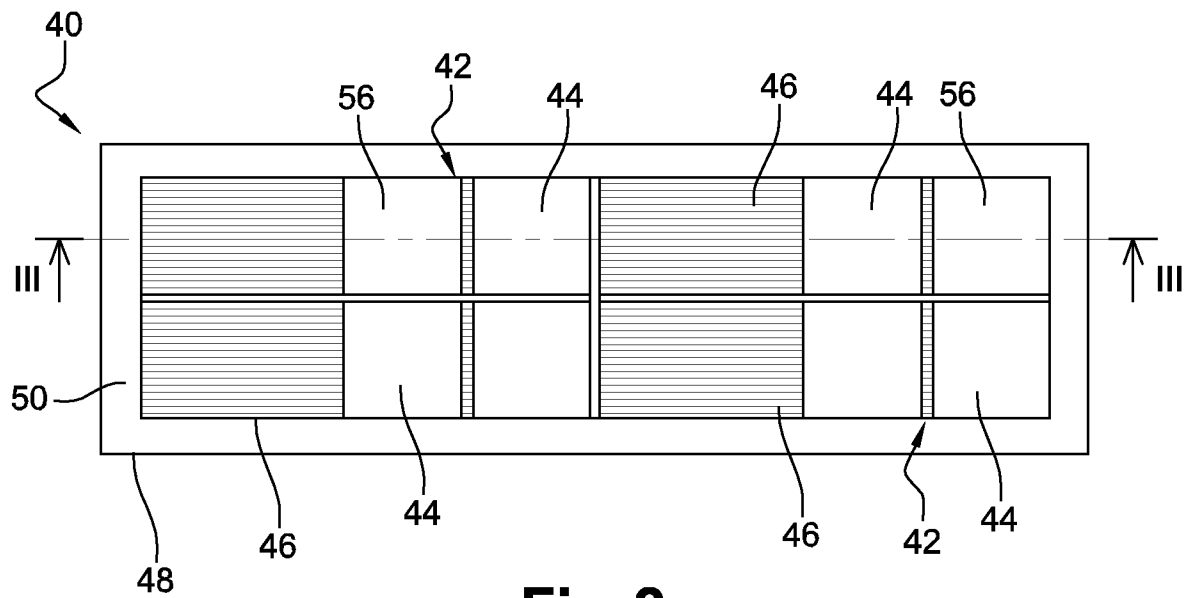


Fig. 2

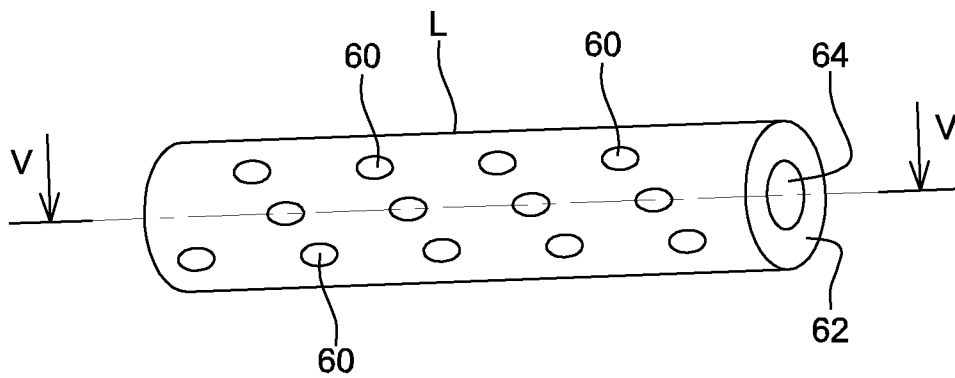


Fig. 4

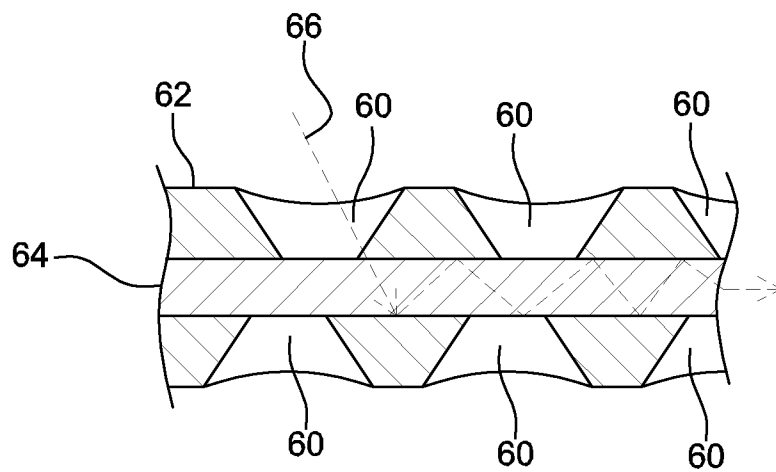


Fig. 5

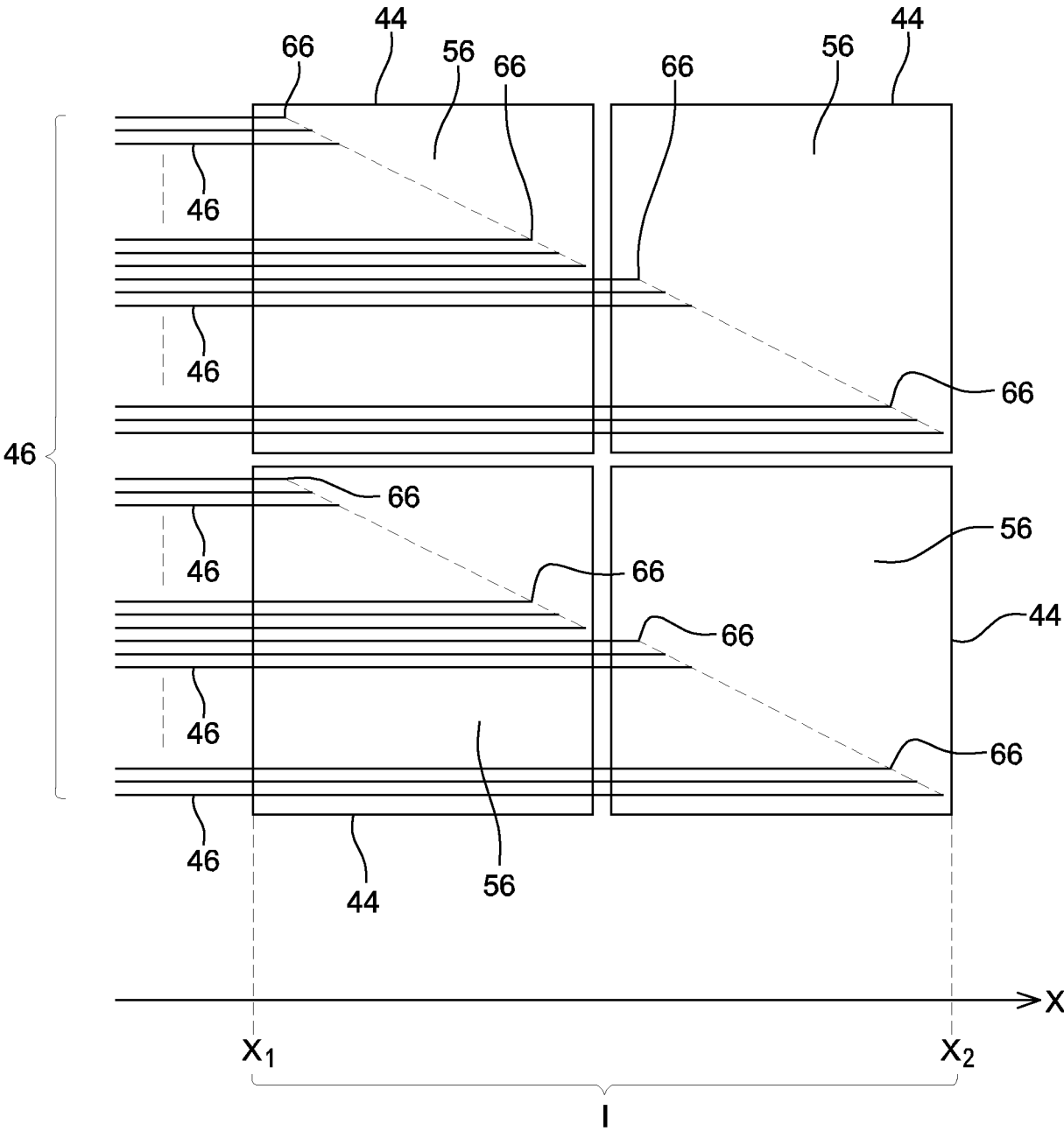
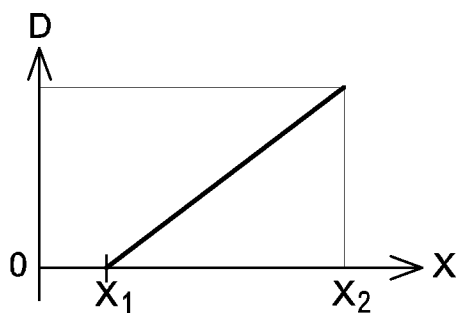
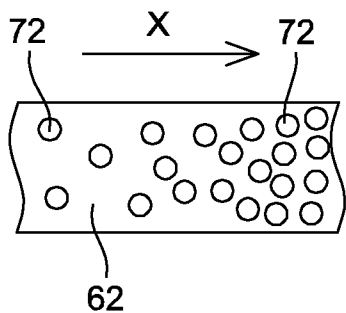
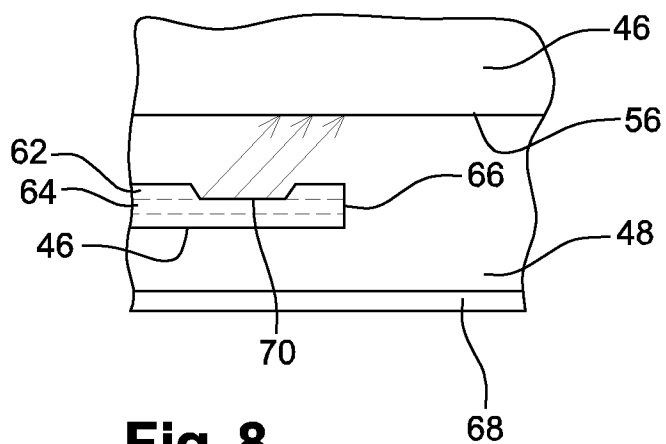
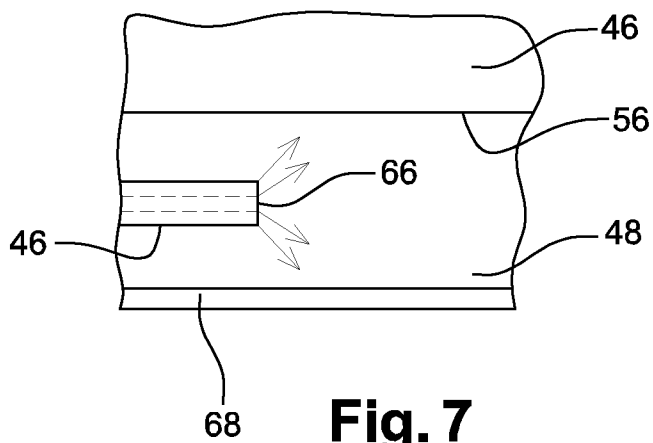


Fig. 6

4 / 6



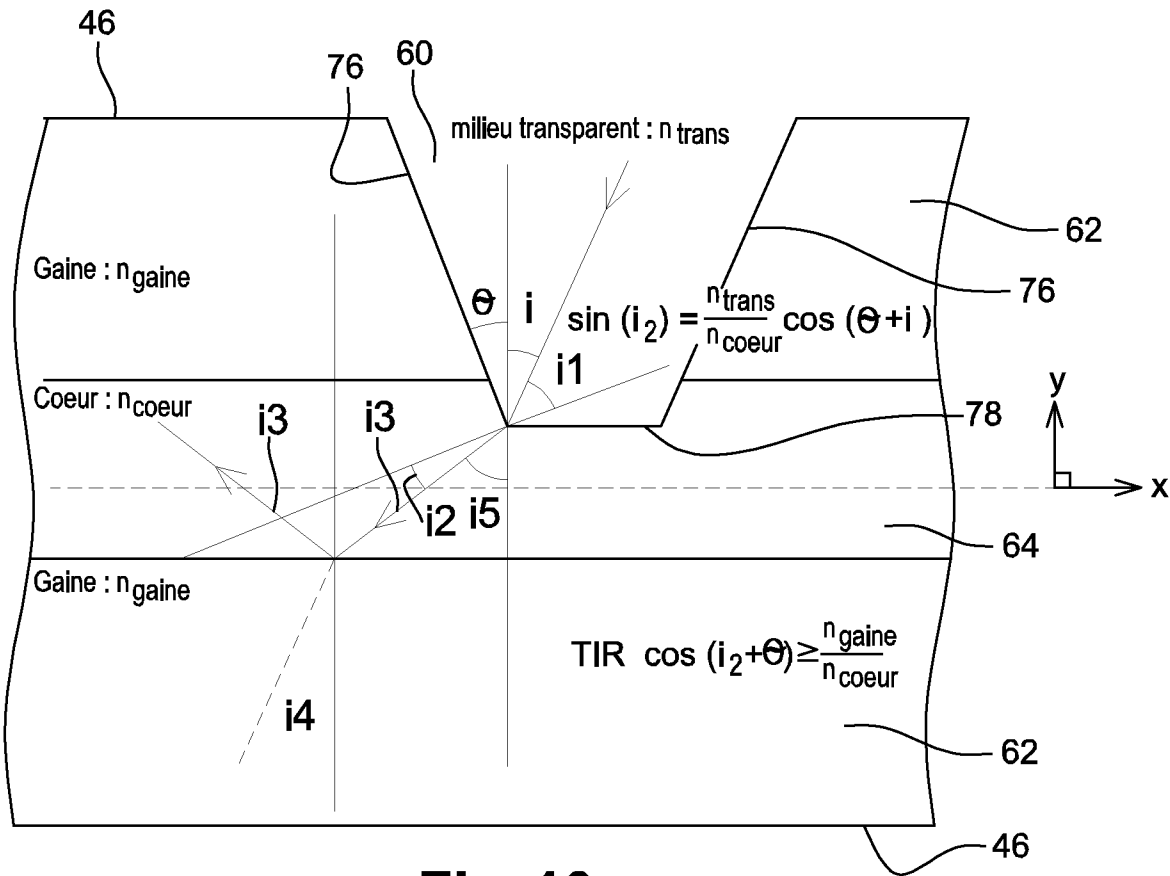


Fig. 10

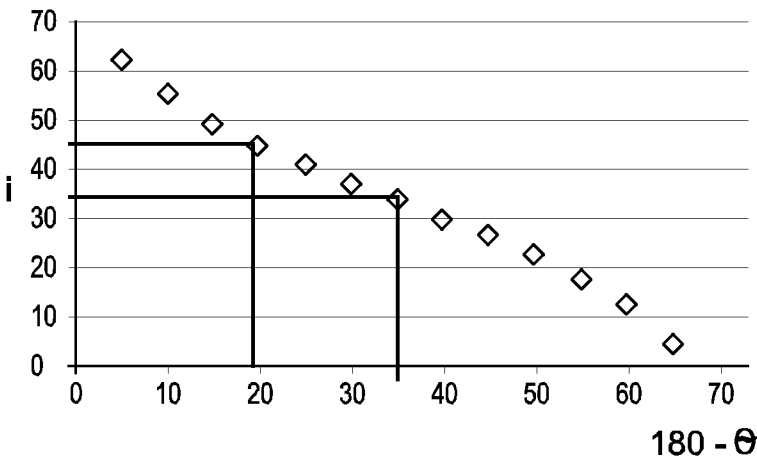


Fig. 11

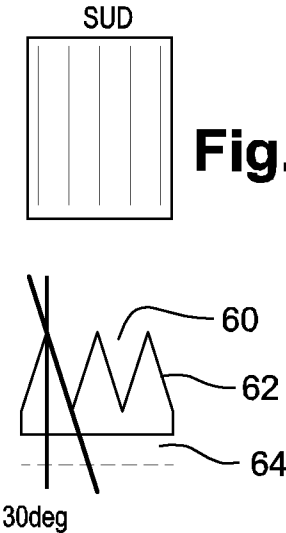


Fig. 13

Fig. 14

6 / 6

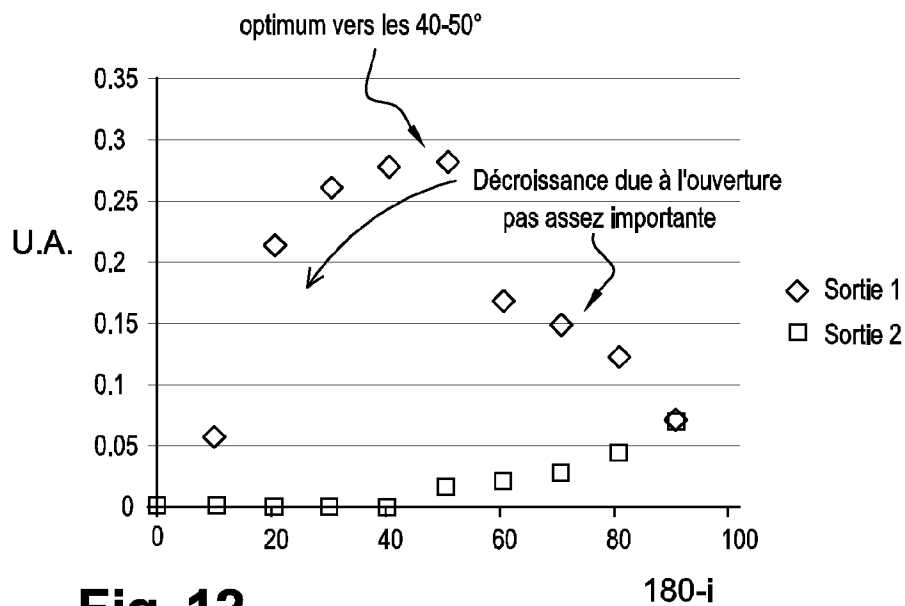


Fig. 12

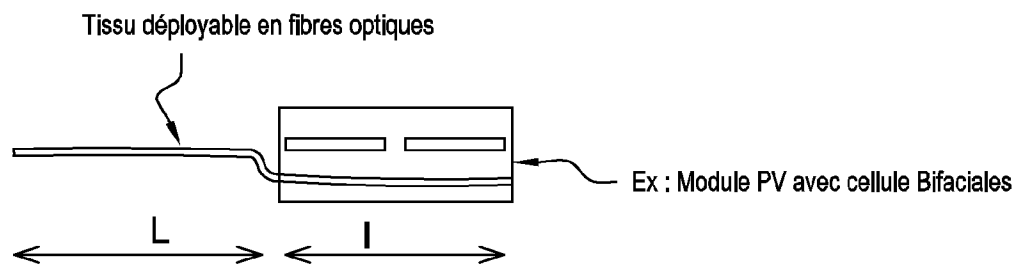


Fig. 15

Zones ombrées ou partiellement ombrées ou difficile d'accès (façade...) → déploiement de la toile en fibre optique connectée optiquement aux modules PV installés

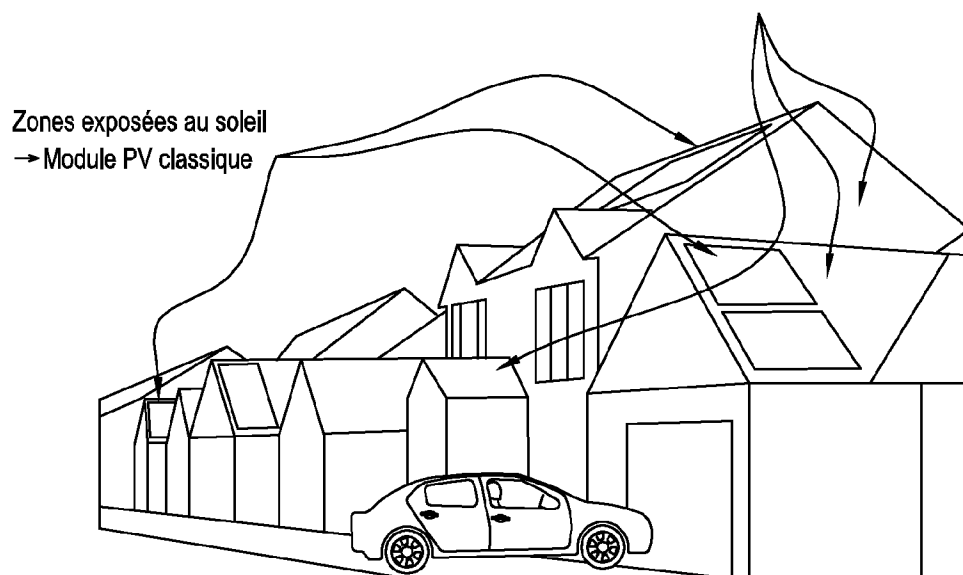


Fig. 16

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2016/055488

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
INV. H01L31/0352 G02B6/06 H01L31/054 H02S40/22
ADD.

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
H01L G02B H02S

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

EPO-Internal, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2013 214643 A (SHARP KK) 17 October 2013 (2013-10-17) abstract; figures 1a,1b paragraphs [0003], [0009] - [0013], [0017] - [0021] -----	1-13
A	WO 2012/054477 A2 (UNIV WAKE FOREST [US]; CARROLL DAVID L [US]) 26 April 2012 (2012-04-26) abstract; figures 8-11 -----	8-11
A	US 2014/150865 A1 (KWON JIN HYUK [KR] ET AL) 5 June 2014 (2014-06-05) abstract; figures 4-6 paragraphs [0009], [0011], [0013] - [0014], [0017], [0043] - [0044], [0052] - [0053], [0056] ----- -/-	1-13



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents :

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

13 May 2016

Date of mailing of the international search report

23/05/2016

Name and mailing address of the ISA/

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

Authorized officer

Cichos, Anna

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2016/055488

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 2014/273338 A1 (KUMAR PRABHAT [US] ET AL) 18 September 2014 (2014-09-18) abstract; figure 2D paragraphs [0028], [0031] - [0032] -----	1-13
A	PARADA J ET AL: "EXPERIMENTAL COMPARISON BETWEEN A PHOTOVOLTAIC STATIC CONCENTRATOR MODULE AND A PHOTOVOLTAIC STANDARD MODULE", 11TH. E.C. PHOTOVOLTAIC SOLAR ENERGY CONFERENCE. PROCEEDINGS OF THE INTERNATIONAL CONFERENCE, MONTREUX, OCT. 12 - 16, 1992; [PROCEEDINGS OF THE INTERNATIONAL PHOTOVOLTAIC SOLAR ENERGY CONFERENCE], CHUR, HARWOOD ACADEMIC, CH, vol. CONF. 11, 12 October 1992 (1992-10-12), pages 1077-1079, XP001137758, ISBN: 978-3-7186-5380-5 the whole document -----	1-13

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/EP2016/055488

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
JP 2013214643	A	17-10-2013	NONE
WO 2012054477	A2	26-04-2012	CN 103283032 A 04-09-2013 EP 2630665 A2 28-08-2013 US 2013316491 A1 28-11-2013 US 2014080248 A1 20-03-2014 WO 2012054477 A2 26-04-2012
US 2014150865	A1	05-06-2014	KR 20130007076 A 18-01-2013 US 2014150865 A1 05-06-2014 WO 2013002537 A2 03-01-2013
US 2014273338	A1	18-09-2014	NONE

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale n°

PCT/EP2016/055488

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE INV. H01L31/0352 G02B6/06 H01L31/054 H02S40/22 ADD.		
Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB		
B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement) H01L G02B H02S		
Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents relèvent des domaines sur lesquels a porté la recherche		
Base de données électronique consultée au cours de la recherche internationale (nom de la base de données, et si cela est réalisable, termes de recherche utilisés) EPO-Internal, WPI Data		
C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		
Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
A	JP 2013 214643 A (SHARP KK) 17 octobre 2013 (2013-10-17) abrégé; figures 1a,1b alinéas [0003], [0009] - [0013], [0017] - [0021]	1-13
A	WO 2012/054477 A2 (UNIV WAKE FOREST [US]; CARROLL DAVID L [US]) 26 avril 2012 (2012-04-26) abrégé; figures 8-11	8-11
A	US 2014/150865 A1 (KWON JIN HYUK [KR] ET AL) 5 juin 2014 (2014-06-05) abrégé; figures 4-6 alinéas [0009], [0011], [0013] - [0014], [0017], [0043] - [0044], [0052] - [0053], [0056]	1-13
	-/-	
☒ Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents ☒ Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe		
* Catégories spéciales de documents cités: "A" document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent "E" document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date "L" document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée) "O" document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens "P" document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée "T" document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention "X" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément "Y" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier "&" document qui fait partie de la même famille de brevets		
Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée 13 mai 2016		Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale 23/05/2016
Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016		Fonctionnaire autorisé Cichos, Anna

C(suite). DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		
Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
A	US 2014/273338 A1 (KUMAR PRABHAT [US] ET AL) 18 septembre 2014 (2014-09-18) abrégé; figure 2D alinéas [0028], [0031] - [0032] -----	1-13
A	PARADA J ET AL: "EXPERIMENTAL COMPARISON BETWEEN A PHOTOVOLTAIC STATIC CONCENTRATOR MODULE AND A PHOTOVOLTAIC STANDARD MODULE", 11TH. E.C. PHOTOVOLTAIC SOLAR ENERGY CONFERENCE. PROCEEDINGS OF THE INTERNATIONAL CONFERENCE, MONTREUX, OCT. 12 - 16, 1992; [PROCEEDINGS OF THE INTERNATIONAL PHOTOVOLTAIC SOLAR ENERGY CONFERENCE], CHUR, HARWOOD ACADEMIC, CH, vol. CONF. 11, 12 octobre 1992 (1992-10-12), pages 1077-1079, XP001137758, ISBN: 978-3-7186-5380-5 le document en entier -----	1-13

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Demande internationale n°

PCT/EP2016/055488

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
JP 2013214643	A	17-10-2013	AUCUN	

WO 2012054477	A2	26-04-2012	CN 103283032 A	04-09-2013
			EP 2630665 A2	28-08-2013
			US 2013316491 A1	28-11-2013
			US 2014080248 A1	20-03-2014
			WO 2012054477 A2	26-04-2012

US 2014150865	A1	05-06-2014	KR 20130007076 A	18-01-2013
			US 2014150865 A1	05-06-2014
			WO 2013002537 A2	03-01-2013

US 2014273338	A1	18-09-2014	AUCUN	
