(12) DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITÉ DE COOPÉRATION EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)

(19) Organisation Mondiale de la Propriété Intellectuelle
Bureau international

(43) Date de la publication internationale
25 juin 2009 (25.06.2009)

PCT

(10) Numéro de publication internationale
WO 2009/077562 A1

(51) Classification internationale des brevets :
H01L 31/058 (2006.01) *H01L 35/32* (2006.01)
H01L 35/02 (2006.01) *H01L 35/34* (2006.01)

(21) Numéro de la demande internationale :
PCT/EP2008/067748

(22) Date de dépôt international :
17 décembre 2008 (17.12.2008)

(25) Langue de dépôt : français

(26) Langue de publication : français

(30) Données relatives à la priorité :
07 59890 17 décembre 2007 (17.12.2007) FR

(71) Déposants *(pour tous les États désignés sauf US)* : **COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE** [FR/FR]; 25 rue Leblanc, Bâtiment "Le Ponant D", F-75015 Paris (FR). **SAINT GOBAIN GLASS FRANCE** [FR/FR]; 18 avenue d'Alsace, F-92400 Courbevoie (FR).

(72) Inventeurs; et

(75) Inventeurs/Déposants *(pour US seulement)* : **PLISSONNIER, Marc** [FR/FR]; 2 impasse des Camélias, F-38320 Eybens (FR). **CAPDEVILLE, Stéphanie** [FR/FR]; 7 rue Désiré Ruggieri, F-75018 Paris (FR). **GAILLARD, Frédéric** [FR/FR]; 53, rue des Tallifardières, F-38500 Voiron (FR). **MULET, Jean-Philippe** [FR/FR]; 23 rue des Laitières, F-94300 Vincennes (FR). **NOEL, Sébastien** [FR/FR]; 83C rue Taillefer, F-38140 Rives (FR). **SCHWEITZER, Jean-Philippe** [FR/FR]; 8 avenue Jean Lecourt, F-77240 Seine-Port (FR). **GILLES, Jérôme** [FR/FR]; Résidence Fresnes aux Renards, 1 Allée des Mésanges, F-94240 L'hay les Roses (FR).

(74) Mandataire : **ILGART, Jean-Christophe**; Brevalex, 3, rue du Docteur Lancereaux, F-75008 Paris (FR).

(81) États désignés *(sauf indication contraire, pour tout titre de protection nationale disponible)* : AE, AG, AL, AM, AO,

[Suite sur la page suivante]

(54) Title: POWER GENERATING DEVICE INCLUDING A PHOTOVOLTAIC CONVERTER AS WELL AS A THERMOELECTRIC CONVERTER INCLUDED IN THE CARRIER SUBSTRATE OF THE PHOTOVOLTAIC CONVERTER

(54) Titre : DISPOSITIF GENERATEUR D'ENERGIE COMPRENANT UN CONVERTISSEUR PHOTOVOLTAIQUE ET UN CONVERTISSEUR THERMOELECTRIQUE, CE DERNIER ETANT INCLUS AU SEIN DU SUBSTRAT SUPPORT DU CONVERTISSEUR PHOTOVOLTAIQUE

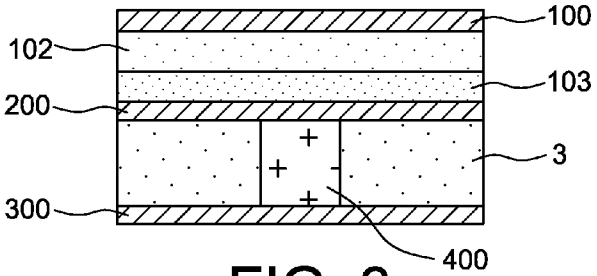


FIG. 3

(57) Abstract: The invention relates to an elementary electric-power generating device that includes a photovoltaic converter and a thermoelectric converter, wherein the photovoltaic converter includes a stack of layers bearing on a carrier substrate (3) made of thermally insulating material, the stack of layers including a first conducting layer used as an upper electrode (100) and a second conducting layer used as a lower electrode (200), the upper and lower electrodes having a layer of a photoactive material arranged between them, the thermoelectric converter including a third conducting layer used as a hot junction (200) and a fourth conducting layer used as a cold junction (300), the hot and cold junction having a member (400) made of a thermoelectric electrically-conducting material arranged between them, characterised in that the thermoelectric electrically-conducting member (400) is included in the body of the carrier substrate (3) so that an end of said member is in contact with the hot junction (200) while the other end of said member is in contact with the cold junction (300).

(57) Abrégé : L'invention concerne un dispositif élémentaire générateur d'énergie électrique comprenant un convertisseur photovoltaïque et un convertisseur thermoélectrique, le convertisseur photovoltaïque comprenant un empilement de couches reposant sur un substrat support (3) en matériau thermiquement isolant, l'empilement de couches comprenant une première couche conductrice, servant d'électrode supérieure (100), et une seconde couche conductrice, servant d'électrode inférieure (200), les électrodes supérieure et inférieure prenant en sandwich une couche de matériau photoactif, le convertisseur thermoélectrique comprenant une troisième couche conductrice servant de jonction chaude (200), une quatrième couche conductrice servant de jonction froide (300), les jonctions chaude et froide prenant en sandwich un élément (400) en matériau thermoélectrique et électriquement conducteur, caractérisé en ce que l'élément (400) thermoélectrique et électriquement conducteur est inclus dans l'épaisseur du substrat support (3) de manière à ce qu'une extrémité dudit élément soit en contact avec la jonction chaude (200) et l'autre extrémité dudit élément soit en contact avec la jonction froide (300).

WO 2009/077562 A1

AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, 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, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, 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, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasien (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), européen (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MT, NL, NO, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Publiée :

— *avec rapport de recherche internationale*

DISPOSITIF GENERATEUR D'ENERGIE COMPRENANT UN CONVERTISSEUR PHOTOVOLTAIQUE ET UN CONVERTISSEUR THERMOELECTRIQUE, CE DERNIER ETANT INCLUS AU SEIN DU SUBSTRAT SUPPORT DU CONVERTISSEUR PHOTOVOLTAIQUE

DESCRIPTION

DOMAINE TECHNIQUE

L'invention a trait au domaine des systèmes de récupération et de conversion d'énergie. En particulier, elle concerne un dispositif capable de coupler un convertisseur photovoltaïque avec un convertisseur thermoélectrique pour produire de l'énergie électrique.

ÉTAT DE LA TECHNIQUE ANTÉRIEURE

Les convertisseurs photovoltaïques, également appelées cellules solaires, sont utilisés pour convertir de l'énergie lumineuse en énergie électrique. Ils consistent essentiellement en un substrat support, réalisé en matériau électriquement isolant et thermiquement isolant, sur lequel repose un empilement de couches constitué d'une jonction n/p comportant deux couches semi-conductrices (l'une de type n et l'autre de type p) et de deux couches électriquement conductrices situées de part et d'autre de la jonction n/p, une des faces de la jonction n/p étant destinée à être soumise à des radiations lumineuses.

Le problème des convertisseurs photovoltaïques est que leur puissance en sortie décroît de manière significative lorsque la température

augmente. Par exemple, pour des convertisseurs photovoltaïques en silicium cristallin, la perte de puissance en sortie est d'environ 0,4 à 0,5% pour chaque degré Celsius ajouté (voir le document **[1]** référencé à la fin de cette description).

Une solution utilisée pour atténuer cette diminution de la puissance consiste à coupler le convertisseur photovoltaïque avec un convertisseur thermoélectrique. En effet, un convertisseur thermoélectrique permet de transformer de la chaleur en énergie électrique en exploitant la différence de température existant entre deux extrémités d'un matériau thermoélectrique.

Dans l'art antérieur, deux types de couplage entre un convertisseur photovoltaïque et un convertisseur thermoélectrique sont connus.

Tout d'abord, selon le document **[2]** référencé à la fin de cette description, un convertisseur thermoélectrique et un convertisseur photovoltaïque peuvent être couplés en plaçant le convertisseur thermoélectrique 2 sous le convertisseur photovoltaïque 1, le convertisseur photovoltaïque étant orienté de manière à faire face aux radiations lumineuses.

Comme illustré dans la figure 1, on obtient ainsi un dispositif comprenant un substrat support 3 sur lequel repose, sur une face, un convertisseur photovoltaïque 2, comprenant un empilement d'une couche de matériau semi-conducteur dopé n 12 et une couche de matériau semi-conducteur dopé p 13 (formant une jonction n/p 14) pris en sandwich entre une couche

électriquement conductrice (électrode supérieure 10) et une autre couche électriquement conductrice (électrode inférieure 11), et, sur la face opposée, un convertisseur thermoélectrique 2, comprenant une couche de matériau thermoélectrique 24 prise en sandwich entre une couche électriquement conductrice 20 et une autre couche électriquement conductrice 21 (l'effet thermoélectrique est symbolisé sur la figure 1 par le symbole ΔT).

Le problème de cette configuration particulière est qu'elle ne permet pas d'exploiter le gradient thermique maximal produit dans le convertisseur photovoltaïque, à savoir le gradient thermique généré par le substrat support du convertisseur photovoltaïque du fait de ses propriétés thermiquement isolantes.

De plus, le couplage thermique entre le convertisseur photovoltaïque et le convertisseur thermoélectrique, par le biais du substrat support, est relativement mauvais à cause des propriétés thermiquement isolantes du substrat support. Ainsi, l'écart de température chaud-froid dans le convertisseur thermoélectrique est d'autant plus faible et peu rentable en termes de production d'énergie électrique.

L'autre type de couplage connu est décrit dans le document **[3]**, référencé à la fin de cette description. Deux électrodes réalisées dans des matériaux thermoélectriques et électriquement conducteurs sont disposées, pour l'une, sur la face du convertisseur photovoltaïque faisant face aux

radiations lumineuses et, pour l'autre, enterrée sous le convertisseur photovoltaïque.

Ce type de couplage est schématisé dans la figure 2. Sur un substrat support 3, on place un empilement de couches comprenant une couche de matériau semi-conducteur de type n 120 et une couche de matériau semi-conducteur de type p 130 (formant une jonction n/p 140), l'empilement étant pris en sandwich entre une couche en matériau électriquement conducteur et thermoélectrique (formant à la fois l'électrode supérieur 30 du convertisseur photovoltaïque et la jonction chaude 30 du convertisseur thermoélectrique) et une couche en matériau électriquement conducteur et thermoélectrique (formant à la fois l'électrode inférieur 31 du convertisseur photovoltaïque et la jonction froide 31 du convertisseur thermoélectrique).

Avec ce type de couplage, on exploite la différence de température existant au travers de l'épaisseur de la jonction n/p du convertisseur photovoltaïque, à savoir entre la face avant du convertisseur photovoltaïque et sa partie enterrée. Une différence de température peut apparaître lorsque la jonction n/p du convertisseur photovoltaïque est soumise à des radiations lumineuses, par exemple au rayonnement solaire.

En déposant des matériaux thermoélectriques sur les faces opposées du convertisseur photovoltaïque (face avant et face enterrée en contact avec le substrat support du convertisseur photovoltaïque), on peut donc exploiter cette différence de température par conversion thermoélectrique.

De manière générale, sachant que la puissance électrique récupérée par un convertisseur thermoélectrique est d'autant plus importante que la différence de température est grande, on constate que cette deuxième configuration n'est intéressante que si la résistance thermique des matériaux formant la jonction n/p du convertisseur photovoltaïque est grande. Par conséquent, on en déduit que ce type de couplage est limité aux convertisseurs photovoltaïques réalisés dans des matériaux à faible conductivité thermique, comme par exemple dans un matériau photovoltaïque de type GaN, afin que les radiations lumineuses puissent échauffer la partie supérieure du convertisseur photovoltaïque et que la partie inférieure reste « froide ».

Ce type de couplage n'est donc pas envisageable avec des convertisseurs photovoltaïques réalisés à base de silicium, dans lesquels la résistance thermique est très faible, car la différence de température, et donc par conséquent l'énergie électrique récupérée par effet thermoélectrique, serait négligeable. Or les convertisseurs photovoltaïques à base de silicium sont les convertisseurs photovoltaïques les plus courants.

Par ailleurs, dans le cas particulier des convertisseurs photovoltaïques en couches minces, ce type de couplage ne fonctionne pas du tout car le gradient thermique du convertisseur photovoltaïque reste nul.

Sachant que la puissance thermique générée par l'absorption de la lumière, c'est à dire 80 % de la

puissance lumineuse, n'est pas exploitée par un simple convertisseur photovoltaïque et que les solutions connues pour remédier à ce problème ne sont pas satisfaisantes, les inventeurs se sont fixés comme but de récupérer une partie de cette énergie thermique en couplant de manière originale un convertisseur photovoltaïque avec un convertisseur thermoélectrique.

EXPOSÉ DE L'INVENTION

Ce but est atteint par un dispositif élémentaire générateur d'énergie électrique comprenant un convertisseur photovoltaïque et un convertisseur thermoélectrique,

le convertisseur photovoltaïque comprenant un empilement de couches reposant sur un substrat support en matériau thermiquement isolant, l'empilement de couches comprenant une première couche électriquement conductrice, servant d'électrode supérieure, et une seconde couche électriquement conductrice, servant d'électrode inférieure, les électrodes supérieure et inférieure prenant en sandwich une couche de matériau photoactif,

le convertisseur thermoélectrique comprenant une troisième couche électriquement conductrice servant de jonction chaude, une quatrième couche électriquement conductrice servant de jonction froide, les jonctions chaude et froide prenant en sandwich un élément en matériau thermoélectrique et électriquement conducteur,

caractérisé en ce que l'élément thermoélectrique et électriquement conducteur est inclus dans l'épaisseur du substrat support en matériau

thermiquement isolant du convertisseur photovoltaïque de manière à ce qu'une extrémité dudit élément soit en contact avec la jonction chaude et l'autre extrémité dudit élément soit en contact avec la jonction froide.

Ici, selon l'invention, un convertisseur photovoltaïque est couplé avec un convertisseur thermoélectrique de telle manière à pouvoir exploiter le gradient thermique généré par le substrat support en matériau électriquement isolant, généralement en verre, du convertisseur photovoltaïque

Avantageusement, la première couche électriquement conductrice est transparente aux rayonnements incidents.

Avantageusement, la jonction chaude et l'électrode inférieure sont une seule et même couche électriquement conductrice.

Avantageusement, l'élément thermoélectrique et électriquement conducteur est inclus dans la totalité de l'épaisseur du substrat support.

Selon un mode de réalisation, le substrat support est un substrat en verre, c'est-à-dire en silice.

Selon un autre mode de réalisation, le substrat support est un substrat en aérogel. Avantageusement, le substrat support est un substrat en aérogel de silice.

On rappelle qu'un aérogel est un matériau semblable à un gel dans lequel le composant liquide est remplacé par du gaz. Un aérogel est un solide à très faible densité et qui possède de grandes propriétés

d'isolation thermique (conductivité thermique inférieure à 0,2 $W.m^{-1}.K^{-1}$).

Avantageusement, la couche de matériau photoactif du convertisseur photovoltaïque comprend une couche de premier matériau semi-conducteur de type n et une couche de second matériau semi-conducteur de type p.

L'élément thermoélectrique et électriquement conducteur peut être un matériau métallique ou semi-conducteur

Avantageusement, l'élément thermoélectrique et électriquement conducteur comprend un premier matériau thermoélectrique et électriquement conducteur de type n et un second matériau thermoélectrique et électriquement conducteur de type p.

Avantageusement, l'élément thermoélectrique et électriquement conducteur comprend un premier matériau thermoélectrique et semi-conducteur de type n et un second matériau thermoélectrique et semi-conducteur de type p.

L'invention concerne également un système générateur d'énergie électrique. Ce système comprend i convertisseurs photovoltaïques et i convertisseurs thermoélectriques, i étant un nombre entier supérieur ou égal à 2, lesdits i convertisseurs photovoltaïques et lesdits i convertisseurs thermoélectriques étant respectivement reliés électriquement en série,

chaque convertisseur photovoltaïque comprenant un empilement de couches reposant sur un substrat support en matériau thermiquement isolant,

l'empilement de couches comprenant une première couche électriquement conductrice, servant d'électrode supérieure, et une seconde couche électriquement conductrice, servant d'électrode inférieure, les électrodes supérieure et inférieure prenant en sandwich une couche de matériau photoactif,

chaque convertisseur thermoélectrique comprenant une troisième couche électriquement conductrice servant de jonction chaude, une quatrième couche électriquement conductrice servant de jonction froide, les jonctions chaude et froide prenant en sandwich un élément en matériau thermoélectrique et électriquement conducteur de type n et un élément en matériau thermoélectrique et électriquement conducteur de type p, les éléments de type n et de type p étant espacés l'un de l'autre,

caractérisé en ce que l'élément de type n et l'élément de type p de chaque convertisseur thermoélectrique est inclus dans l'épaisseur du substrat support de chaque convertisseur photovoltaïque en matériau thermiquement isolant de manière à ce qu'une extrémité de l'élément de type n et une extrémité de l'élément de type p soient en contact avec une même jonction chaude et que l'autre extrémité de l'élément de type n et l'autre extrémité de l'élément de type p soient en contact avec des jonctions froides appartenant à des convertisseurs thermoélectriques adjacents.

Avantageusement, les substrats supports des convertisseurs photovoltaïques sont un seul et même

substrat support pour l'ensemble des convertisseurs photovoltaïques

Avantageusement, chaque jonction chaude et chaque électrode inférieure sont une seule et même couche électriquement conductrice.

Avantageusement, les matériaux thermoélectriques de type n et de type p sont des matériaux semi-conducteurs de type n et de type p.

Selon un mode de réalisation, les substrats supports sont des substrats en verre, c'est-à-dire en silice.

Selon un autre mode de réalisation, les substrats supports sont des substrats en aérogel. Avantageusement, les substrats supports sont des substrats en aérogel de silice.

L'invention concerne un procédé de réalisation d'un dispositif élémentaire générateur d'énergie tel que décrit ci-dessus. Ce procédé comprend les étapes suivantes :

a) fourniture d'un substrat support en matériau thermiquement isolant et électriquement isolant,

b) dépôt d'une couche électriquement conductrice sur une des faces du substrat support,

c) gravure d'un trou dans l'épaisseur du substrat support en partant de la face opposée à celle comprenant la couche électriquement conductrice déposée à l'étape b), jusqu'à atteindre ladite couche électriquement conductrice,

d) remplissage dudit trou avec un composé thermoélectrique et électriquement conducteur et frittage dudit composé,

e) dépôt d'une couche électriquement conductrice sur la face du substrat support opposée à celle comprenant la couche électriquement conductrice déposée à l'étape b),

f) dépôt d'une couche de matériau photoactif sur l'une des couches électriquement conductrices,

g) dépôt d'une couche électriquement conductrice sur la couche de matériau photoactif,

la couche électriquement conductrice déposée à l'étape g) formant l'électrode supérieure du convertisseur photovoltaïque,

la couche électriquement conductrice sur laquelle est déposée la couche de matériau photoactif à l'étape f) formant à la fois l'électrode inférieure du convertisseur photovoltaïque et la jonction chaude du convertisseur thermoélectrique,

la couche électriquement conductrice restante formant la jonction froide du convertisseur thermoélectrique.

On précise que le frittage du composé thermoélectrique et électriquement conducteur se fait à une température et à une pression qui dépend du matériau choisi, cette température et cette pression pouvant facilement être déterminés par l'homme du métier.

Selon un mode de réalisation, l'étape f) est réalisée après l'étape b) et avant l'étape c).

Selon un autre mode de réalisation, les étapes f) et g) sont réalisées après l'étape b) et avant l'étape c).

Avantageusement, le procédé comprend en outre, après l'étape b) et avant l'étape f), une étape m) de dépôt d'une couche électriquement conductrice sur une couche électriquement conductrice déjà déposée, l'étape f) étant remplacée par une étape f') de dépôt d'une couche de matériau photoactif sur la face du substrat support comportant deux couches électriquement conductrices,

la couche électriquement conductrice déposée à l'étape g) formant l'électrode supérieure du convertisseur photovoltaïque,

la couche électriquement conductrice déposée à l'étape m) formant l'électrode inférieure du convertisseur photovoltaïque,

la couche électriquement conductrice présente entre le substrat support et la couche électriquement conductrice déposée à l'étape m) formant la jonction chaude du convertisseur thermoélectrique,

la couche électriquement conductrice restante formant la jonction froide du convertisseur thermoélectrique.

Avantageusement, la couche électriquement conductrice formant l'électrode supérieure est en matériau transparent aux radiations lumineuses.

Selon un mode de réalisation particulier, le procédé comprend en outre une étape h) de structuration de la couche électriquement conductrice déposée à l'étape g) pour obtenir une couche

électriquement conductrice ajourée. Cette structuration peut être une gravure destinée à donner à la couche électriquement conductrice la forme d'une grille.

Avantageusement, le substrat support est un substrat en verre ou en aérogel, de préférence en aérogel de silice.

L'invention concerne également un procédé de réalisation d'un système générateur d'énergie tel que décrit ci-dessus. Ce procédé comprend les étapes suivantes :

a) fourniture d'un substrat support en matériau thermiquement isolant et électriquement isolant,

b) dépôt d'une couche électriquement conductrice sur la face avant du substrat support,

c) structuration de la couche électriquement conductrice déposée à l'étape b) pour former i pistes conductrices électriquement isolées les unes des autres, i étant un nombre entier supérieur ou égal à 2,

d) gravure de 2i trous dans l'épaisseur du substrat support en partant de la face arrière dudit substrat support jusqu'à atteindre les pistes conductrices de la face avant du substrat support, de manière à obtenir un couple de deux trous par piste conductrice,

e) formation de 2i éléments en matériaux thermoélectriques et électriquement conducteurs au niveau des 2i trous, un des éléments de chaque couple de deux trous étant en un composé thermoélectrique de

type n et l'autre élément de chaque couple de deux trous étant en un composé thermoélectrique de type p,

f) dépôt d'une couche électriquement conductrice sur la face arrière du substrat support,

g) structuration de la couche électriquement conductrice déposée à l'étape f) pour former j pistes conductrices électriquement isolées les unes des autres, avec j=i+1, les i pistes conductrices de la face avant et les j pistes conductrices de la face arrière étant disposées de manière à relier en série les éléments de type n et les éléments de type p, chaque élément d'un type étant relié à deux éléments de l'autre type respectivement par une piste i et par une piste j,

h) dépôt d'une couche en matériau photoactif sur une des faces du substrat support comprenant une couche électriquement conductrice structurée,

i) structuration de cette couche en matériau photoactif pour former des blocs reliant deux pistes conductrices obtenues à l'étape g) adjacentes,

j) dépôt d'une couche électriquement conductrice sur la face du substrat support comprenant la couche en matériau photoactif,

k) structuration de la couche électriquement conductrice déposée à l'étape j) pour former des pistes conductrices électriquement isolées les unes des autres et reliant deux blocs adjacents,

la couche électriquement conductrice structurée à l'étape k) formant l'électrode supérieure de chaque convertisseur photovoltaïque,

la couche électriquement conductrice structurée située entre la couche de matériau photoactif structurée et le substrat support formant à la fois l'électrode inférieure de chaque convertisseur photovoltaïque et la jonction chaude de chaque convertisseur thermoélectrique,

la couche électriquement conductrice structurée restante formant la jonction froide de chaque convertisseur thermoélectrique.

Selon un mode de réalisation, les étapes h) et i) sont réalisées après l'étape c) et avant l'étape d).

Selon un autre mode de réalisation, les étapes h), i), j) et k) sont réalisées après l'étape c) et avant l'étape d).

Selon une variante, le procédé comprend en outre, après l'étape b) et avant l'étape c), une étape b') de dépôt d'une couche électriquement conductrice sur la couche électriquement conductrice déposée à l'étape b), l'étape c) se transformant en une étape c') de structuration des couches électriquement conductrices déposées aux étapes b) et b') pour former i pistes conductrices électriquement isolées les unes des autres, i étant un nombre entier supérieur ou égal à 2, et l'étape h) se transformant en étape h') de dépôt d'une couche en matériau photoactif sur la face avant du substrat support,

la couche électriquement conductrice structurée à l'étape k) formant l'électrode supérieure de chaque convertisseur photovoltaïque,

la couche électriquement conductrice déposée à l'étape b') et structurée à l'étape c') formant l'électrode inférieure de chaque convertisseur photovoltaïque,

la couche électriquement conductrice déposée à l'étape b) et structurée à l'étape c') formant la jonction chaude de chaque convertisseur thermoélectrique,

la couche électriquement conductrice structurée restante formant la jonction froide de chaque convertisseur thermoélectrique.

Selon une autre variante, le procédé comprend en outre, après l'étape f) et avant l'étape g), une étape f') de dépôt d'une couche électriquement conductrice sur la couche électriquement conductrice déposée à l'étape f), l'étape g) se transformant en une étape g') de structuration des couches électriquement conductrices déposées aux étapes f) et f') pour former j pistes conductrices électriquement isolées les unes des autres, avec j=i+1, les i pistes conductrices de la face avant et les j pistes conductrices de la face arrière étant disposées de manière à relier en série les éléments de type n et les éléments de type p, chaque élément d'un type étant relié à deux éléments de l'autre type respectivement par une piste i et par une piste j,

la couche électriquement conductrice structurée à l'étape k) formant l'électrode supérieure de chaque convertisseur photovoltaïque,

la couche électriquement conductrice déposée à l'étape f') et structurée à l'étape g')

formant l'électrode inférieure de chaque convertisseur photovoltaïque,

la couche électriquement conductrice déposée à l'étape f) et structurée à l'étape g') formant la jonction chaude de chaque convertisseur thermoélectrique,

la couche électriquement conductrice structurée restante formant la jonction froide de chaque convertisseur thermoélectrique.

Avantageusement, l'étape e) de formation des 2i éléments comprend les étapes suivantes :

- remplissage des 2i trous, un des trous de chaque couple de deux trous étant rempli avec un composé thermoélectrique de type n et l'autre trou de chaque couple de deux trous étant rempli avec un composé thermoélectrique de type p,

- frittage des composés.

Avantageusement, les matériaux thermoélectriques sont sous forme de poudre ou sous forme de pâtes obtenues par mélange de poudres et d'un liant.

Avantageusement, à l'étape h), la couche en matériau photoactif comprend une couche en matériau semi-conducteur de type n et une couche en matériau semi-conducteur de type p.

Enfin, l'invention concerne, d'une part, l'utilisation du convertisseur thermoélectrique du dispositif élémentaire générateur d'énergie tel que décrit ci-dessus pour refroidir le convertisseur photovoltaïque dudit dispositif élémentaire, et d'autre

part, l'utilisation des convertisseurs thermoélectriques du système générateur d'énergie tel que décrit ci-dessus pour refroidir les convertisseurs photovoltaïques dudit système.

BRÈVE DESCRIPTION DES DESSINS

L'invention sera mieux comprise et d'autres avantages et particularités apparaîtront à la lecture de la description qui va suivre, donnée à titre d'exemple non limitatif, accompagnée des dessins annexés parmi lesquels :

- la figure 1, déjà décrite ci-dessus, représente un type de couplage entre un convertisseur photovoltaïque et un convertisseur thermoélectrique selon l'art antérieur,
- la figure 2, déjà décrite ci-dessus, représente un autre type de couplage entre un convertisseur photovoltaïque et un convertisseur thermoélectrique connu de l'art antérieur,
- la figure 3 représente le dispositif élémentaire générateur d'énergie selon l'invention,
- la figure 4 représente le système générateur d'énergie selon l'invention,
- la figure 5 représente le schéma électrique équivalent au système représenté dans la figure 4,
- les figures 6A à 6D illustrent les étapes du procédé de réalisation du dispositif élémentaire générateur d'énergie selon l'invention,
- les figures 7A à 7F illustrent les étapes du procédé de réalisation du système générateur d'énergie selon l'invention.

EXPOSÉ DÉTAILLÉ DE MODES DE RÉALISATION PARTICULIERS

Nous allons à présent décrire la réalisation d'un dispositif élémentaire générateur d'énergie selon l'invention, comme représenté par exemple dans la figure 3.

Selon un premier mode de réalisation, on dépose une couche électriquement conductrice sur la face supérieure d'un substrat support 3 en matériau électriquement isolant et thermiquement isolant. On peut par exemple déposer une couche de molybdène sur un substrat en verre (figure 6A). Dans ce mode de réalisation, une même couche électriquement conductrice va servir à la fois d'électrode inférieure 200 du convertisseur photovoltaïque et de jonction chaude 200 du convertisseur thermoélectrique. On peut toutefois choisir de déposer deux couches électriquement conductrices l'une sur l'autre, l'une servant d'électrode inférieure du convertisseur photovoltaïque et l'autre servant de jonction chaude du convertisseur thermoélectrique.

On réalise ensuite un trou traversant dans l'épaisseur du substrat support 3 en partant de la face inférieure du substrat support jusqu'à atteindre la couche électriquement conductrice présente sur sa face supérieure, par exemple par gravure chimique (lithogravure) (figure 6B).

Le trou est ensuite rempli à l'aide d'un matériau thermoélectrique et électriquement conducteur.

Il est préférable d'utiliser un matériau sous forme de poudre, ou de pâte obtenue par mélange de poudre(s) et d'un liant, afin de combler convenablement

le trou. Le matériau sous forme de poudre ou de pâte est ensuite fritté de manière à obtenir une bonne cohésion du matériau thermoélectrique au sein du trou et également d'assurer un bon contact ohmique entre le matériau thermoélectrique et la couche électriquement conductrice. On obtient alors un élément thermoélectrique 400, qui a ici la forme d'un barreau (selon la forme du trou) (figure 6C).

Par exemple, le frittage peut être réalisé à une température de 410°C et à une pression de 2 tonnes/cm^2.

On procède ensuite à la métallisation de la face arrière du substrat support. On forme ainsi ce qui constituera la jonction froide 300 du convertisseur thermoélectrique (figure 6C).

Puis, on dépose sur la face supérieure du substrat support 3, c'est-à-dire ici sur la couche de molybdène, une couche de matériau semi-conducteur de type p 103, suivie par le dépôt d'une couche de matériau semi-conducteur de type n 102 afin d'obtenir une jonction n/p. Les matériaux en question peuvent être respectivement du silicium dopé p et du silicium dopé n.

Enfin, on dépose sur cette jonction n/p une couche électriquement conductrice, par exemple une couche métallique en Ni-Cu, pour réaliser l'électrode supérieure 100 du convertisseur photovoltaïque (figure 6D). Cette couche métallique est gravée de manière à former une grille afin que la couche sous-jacente puisse recevoir les radiations lumineuses. Afin d'améliorer la collection des porteurs de charges, la

couche métallique gravée peut être associée à une couche transparente et électriquement conductrice (par exemple en TCO) déposée directement sur la jonction.

Selon un autre mode de réalisation, on peut réaliser deux trous traversants dans l'épaisseur du substrat support. Dans ce cas, on remplit les deux trous respectivement avec un matériau thermoélectrique de type n et un matériau thermoélectrique de type p ; on peut par exemple remplir l'un des trous avec un matériau semi-conducteur de type p et l'autre trou avec un matériau semi-conducteur de type n sous forme de poudre et on effectue le frittage du matériau. On obtient alors un barreau de type n et un barreau de type p.

On procède alors comme expliqué ci-dessus en déposant une couche électriquement conductrice sur la face arrière du substrat support selon un motif conçu pour que l'extrémité du barreau semi-conducteur de type p et l'extrémité du barreau semi-conducteur de type n ne soient pas électriquement en contact par l'intermédiaire de cette couche de métallisation. La métallisation peut par exemple être obtenue par sérigraphie ou par photolithographie d'une couche électriquement conductrice.

Les autres étapes non décrites sont identiques à celles du premier mode de réalisation.

Nous allons à présent décrire la réalisation d'un système générateur d'énergie comprenant plusieurs convertisseurs photovoltaïques et

plusieurs convertisseurs thermoélectriques reliés en série, comme représenté par exemple dans la figure 4. Le schéma électrique équivalent d'un tel système générateur d'énergie est représenté dans la figure 5.

Sur la face avant d'un substrat support 3 en matériau électriquement et thermiquement isolant, par exemple un substrat en verre, on dépose une couche électriquement conductrice et on la grave selon un motif de manière à obtenir des pistes électriquement conductrices (on forme ainsi les électrodes inférieures 200 des convertisseurs photovoltaïques et les jonctions chaudes 200 des convertisseurs thermoélectriques) (figure 7A). La couche électriquement conductrice peut par exemple être une couche en molybdène.

Puis, on grave la face arrière du substrat 3 de verre de manière à obtenir des couples de deux trous, chaque couple de deux trous débouchant sur une piste conductrice située sur la face avant du substrat support (figure 7B).

On remplit ensuite les trous avec de la poudre ou de la pâte de matériaux thermoélectriques et électriquement conducteurs de type n et p, par exemple des matériaux semi-conducteurs, de sorte à obtenir après frittage, un barreau en matériau de type n 401 et un barreau en matériau de type p 402 pour chaque piste conductrice. Le frittage permet d'obtenir une cohésion des matériaux au sein des trous et d'assurer un bon contact ohmique entre les barreaux et leurs pistes conductrices respectives (figure 7D).

La face arrière du substrat support est ensuite métallisée selon un motif destiné à réaliser

une connexion électrique entre des barreaux adjacents mais appartenant à des couples différents, l'un de type p et l'autre de type n (figure 7D). On obtient ainsi des convertisseurs thermoélectriques connectés en série.

Pour réaliser les convertisseurs photovoltaïques du dispositif, on dépose une couche de premier matériau semi-conducteur 103 sur la face avant du substrat support, ainsi qu'une couche de second matériau semi-conducteur 102. Il peut s'agir d'un matériau semi-conducteur de type n et un matériau semi-conducteur de type p, ou vice et versa, par exemple une couche en silicium dopé n et un couche en silicium dopé p. Ces deux couches sont ensuite gravées dans toute leur épaisseur selon un motif, par exemple des bandes, de manière à relier deux pistes conductrices adjacentes (figure 7E). On précise que dans les exemples illustrés, les convertisseurs photovoltaïques comportent toujours une jonction n/p (c'est-à-dire deux couches, une couche semi-conductrice de type n et une de type p), mais il est bien évident que la jonction n/p peut être remplacée par une unique couche de matériau photoactif.

Enfin, on dépose une couche électriquement conductrice sur la face avant du substrat support et on la structure, par exemple par gravure, afin qu'elle recouvre au moins en partie deux jonctions n/p adjacentes, de manière à relier électriquement les jonctions n/p adjacentes (figure 7F).

Dans le système ainsi réalisé, on exploite les interconnexions en série des convertisseurs

photovoltaïques et de l'isolation électrique de leur électrode inférieure par le biais du substrat support pour réaliser une connexion en série des convertisseurs thermoélectriques. En effet, contrairement aux dispositifs connus dans l'art antérieur, l'électrode inférieure des convertisseurs photovoltaïques sert à connecter électriquement en série les convertisseurs photovoltaïques, mais sert également de jonction chaude pour les convertisseurs thermoélectriques, en l'occurrence l'électrode inférieure sert de connexion entre les barreaux n et p d'un même convertisseur thermoélectrique.

Dans le cas particulier d'un système de génération d'énergie selon l'invention comportant plusieurs convertisseurs photovoltaïques et plusieurs convertisseurs thermoélectriques, il est particulièrement important de respecter une configuration particulière pour le placement des couches et leur gravure selon un motif, afin qu'il n'y ait pas de court-circuit électrique à l'intérieur dudit système générateur d'énergie.

Dans les deux modes de réalisation présentés ci-dessus, le dispositif et le système obtenus résultent de l'intégration d'un ou de plusieurs convertisseurs thermoélectriques dans l'épaisseur d'un substrat support servant à supporter un ou plusieurs convertisseurs photovoltaïques, l'électrode inférieure des convertisseurs photovoltaïques jouant le rôle de la jonction chaude des convertisseurs thermoélectriques. Selon l'invention, on tire profit de la nature

thermiquement isolante du substrat support du ou des convertisseur(s) photovoltaïque(s), généralement réalisé en verre, et on fonctionnalise le substrat support, qui, outre de servir de support pour le ou les convertisseur(s) photovoltaïque(s), sert également à générer un gradient thermique exploitable par le ou les convertisseur(s) thermoélectrique(s).

Selon un mode de réalisation particulier, le substrat support peut être une couche d'aérogel en matériau à conductivité thermique faible (inférieure à 0,2 $W.m^{-1}.T^{-1}$), par exemple un aérogel de silice. L'utilisation d'un aérogel permet d'obtenir une couche dans laquelle il est plus aisé de graver des trous. Dans ce cas, afin de renforcer la fonction de support du substrat support en aérogel, on peut éventuellement placer un support supplémentaire plus rigide que la couche d'aérogel, par exemple un substrat en verre, sous la couche de métallisation servant de jonction froide au(x) convertisseur(s) thermoélectrique(s). Ce support supplémentaire peut être placé à la fin du procédé de réalisation du dispositif sous la couche de métallisation servant de jonction froide. Il peut également être placé au début du procédé de réalisation à condition d'inverser l'ordre des étapes du procédé décrit ci-dessus, c'est-à-dire former la jonction froide sur le support, y déposer le substrat support en aérogel et y former des trous dans son épaisseur, former des barreaux de type p et n dans les trous, former les jonctions chaudes, former les jonctions n/p et les électrodes supérieures des convertisseurs photovoltaïques

En tous les cas, selon l'invention, quelle que soit la rigidité du substrat support choisi, il est important de choisir un matériau ayant une conductivité thermique très faible et qui soit électriquement isolant, en sachant que plus le matériau aura une bonne isolation thermique, et plus il sera possible d'optimiser les performances de la partie convertisseur thermoélectrique du dispositif. Il est donc possible d'adapter le rendement d'exploitation de la chaleur générée par le ou les convertisseur(s) photovoltaïque(s) du dispositif en fonction du matériau choisi pour constituer le substrat support.

L'avantage du dispositif élémentaire et du système selon l'invention est qu'on peut optimiser leur puissance. En effet, étant donné qu'on exploite simultanément le courant photovoltaïque et le courant thermoélectrique, il est nécessaire d'effectuer une optimisation des résistances internes du (des) convertisseur(s) photovoltaïque(s) et du (des) convertisseur(s) thermoélectrique(s) pour obtenir un maximum de puissance électrique des deux sources d'énergie et un rendement de conversion optimal.

Comme schématisé dans la figure 5, le fonctionnement d'un convertisseur photovoltaïque 4 peut être assimilé au fonctionnement d'une diode et d'une résistance en série (R_s) et en parallèle (R_{sh}), tandis que le fonctionnement d'un convertisseur thermoélectrique 5 peut être assimilé à une résistance R_{th} où $R_{th} = R_{th}(n) + R_{th}(p)$, $R_{th}(n)$ étant la résistance

du barreau de type n et $R_{th}(p)$ la résistance du barreau de type n.

Grâce à la figure 5, on constate que pour que le courant ne débite pas dans le convertisseur thermoélectrique 5, il est nécessaire d'avoir la condition $\frac{R_{sh}}{R_{th}} \leq 1$.

Ainsi, la disposition optimale du système selon l'invention est obtenue lorsque

$$\frac{R_{sh}}{R_{th}} \leq 1$$

On sait que la valeur de la résistance R_{sh} dépend des caractéristiques de la jonction du convertisseur photovoltaïque, c'est-à-dire des matériaux constituant cette jonction n/p. Si les matériaux n et p sont obtenus à partir de silicium dopé, la valeur de la résistance R_{sh} n'est pas modulable si l'on désire obtenir un rendement de conversion optimale.

On sait que la valeur de la résistance R_{th} quant à elle dépend des propriétés électriques des matériaux constituants le convertisseur thermoélectrique. Il est donc possible de moduler la valeur de R_{th} en modifiant la composition des matériaux thermoélectriques. On peut également modifier la valeur de R_{th} en choisissant une géométrie particulière adaptée pour réaliser la jonction chaude du convertisseur thermoélectrique connectant les barreaux n et p, afin de remplir la condition nécessaire au bon fonctionnement du dispositif.

Un autre avantage du système selon l'invention est que le ou les convertisseurs thermoélectriques du système peuvent également fonctionner en mode Peltier, c'est-à-dire utiliser un courant électrique pour produire une baisse de température, permettant ainsi de refroidir le convertisseur photovoltaïque et de réduire ainsi la chute de performance du convertisseur photovoltaïque générée par la chaleur. Ce refroidissement peut également être utilisé dans le dispositif élémentaire générateur d'énergie selon l'invention.

Nous allons à présent décrire un exemple de réalisation d'un module photovoltaïque de type chalcopyrite.

L'électrode inférieure est à base de molybdène et est revêtue d'une couche fonctionnelle constituée d'un agent absorbeur à chalcopyrite.

L'agent absorbeur à chalcopyrite peut être préférentiellement constitué de composés ternaires chalcopyrites qui contiennent généralement du cuivre, de l'indium et du sélénium. On peut aussi ajouter à la couche d'agent absorbeur du gallium (par exemple, $Cu(In,Ga)Se_2$ ou $CuGaSe_2$), de l'aluminium (par exemple, $Cu(In,Al)Se_2$), ou du soufre (par exemple, CuIn(Se,S). Tous ces composés sont désignés de manière générale ci-après par le terme de couches d'agent absorbeur à chalcopyrite.

La couche fonctionnelle d'agent absorbeur à chalcopyrite est revêtue d'une fine couche en sulfure de cadmium (CdS) permettant de créer avec la couche à

chalcopyrite une jonction n/p. En effet, comme l'agent absorbeur à chalcopyrite est généralement dopé n et que la couche en CdS est dopée p, cela permet de créer la jonction n/p nécessaire à l'établissement d'un courant électrique.

Cette fine couche de CdS est elle-même recouverte d'une couche d'accrochage généralement formée d'oxyde de zinc dit intrinsèque (ZnO : i).

Afin de former l'électrode supérieure, la couche de ZnO :i est recouverte d'une couche conductrice en TCO (« Transparent Conductive Oxide » en anglais). Elle peut être choisie parmi les matériaux suivants : oxyde d'étain dopé, notamment en fluor ou à l'antimoine (les précurseurs utilisables en cas de dépôt par CVD peuvent être des organométalliques ou halogénures d'étain associés avec un précurseur de fluor du type acide fluorhydrique ou acide trifluoracétique), l'oxyde de zinc dopé, notamment à l'aluminium (les précurseurs utilisables, en cas de dépôt par CVD, peuvent être des organo-métalliques ou halogénures de zinc et d'aluminium), ou encore l'oxyde d'indium dopé, notamment à l'étain (les précurseurs utilisables en cas de dépôt par CVD peuvent être des organo-métalliques ou halogénures d'étain et d'indium). Cette couche conductrice doit être aussi transparente que possible, et présenter une transmission élevée de la lumière dans l'ensemble des longueurs d'onde correspondant au spectre d'absorption du matériau constituant la couche fonctionnelle, afin de ne pas réduire inutilement le rendement du module solaire.

L'empilement de couches minces est emprisonné entre deux substrats par l'intermédiaire d'un intercalaire de feuilletage par exemple en PU, PVB ou EVA. Le premier substrat se distingue du second substrat par le fait qu'il est nécessairement en verre, à base d'alcalins (pour des raisons qui ont été explicitées dans le préambule de l'invention), comme un verre silico-sodo-calcique de manière à conformer une cellule solaire ou photovoltaïque. L'ensemble est ensuite encapsulé périphériquement à l'aide d'un joint ou d'une résine d'étanchéité. Un exemple de composition de cette résine et de ses modalités de mise en oeuvre est décrit dans le document **[4]** référencé à la fin de cette description.

BIBLIOGRAPHIE

[1] M. Najarian et E. Garnett, "Thermoelectrics and Photovoltaics : Integration Challenges and Benefits", MSE 226, 12/13/06.

[2] US 2006/0225782.

[3] US 4,710,588 (A).

[4] EP 739042

REVENDICATIONS

1. Dispositif élémentaire générateur d'énergie électrique comprenant un convertisseur photovoltaïque et un convertisseur thermoélectrique,

le convertisseur photovoltaïque comprenant un empilement de couches reposant sur un substrat support (3) en matériau thermiquement isolant, l'empilement de couches comprenant une première couche électriquement conductrice, servant d'électrode supérieure (100), et une seconde couche électriquement conductrice, servant d'électrode inférieure (200), les électrodes supérieure et inférieure prenant en sandwich une couche de matériau photoactif,

le convertisseur thermoélectrique comprenant une troisième couche électriquement conductrice servant de jonction chaude (200), une quatrième couche électriquement conductrice servant de jonction froide (300), les jonctions chaude et froide prenant en sandwich un élément (400) en matériau thermoélectrique et électriquement conducteur,

caractérisé en ce que l'élément (400) thermoélectrique et électriquement conducteur est inclus dans l'épaisseur du substrat support (3) en matériau thermiquement isolant du convertisseur photovoltaïque de manière à ce qu'une extrémité dudit élément soit en contact avec la jonction chaude (200) et l'autre extrémité dudit élément soit en contact avec la jonction froide (300).

2. Dispositif élémentaire générateur d'énergie électrique selon la revendication 1, dans lequel la première couche électriquement conductrice est transparente aux rayonnements incidents.

3. Dispositif élémentaire générateur d'énergie électrique selon la revendication 1, dans lequel la jonction chaude (200) et l'électrode inférieure (200) sont une seule et même couche électriquement conductrice.

4. Dispositif élémentaire générateur d'énergie électrique selon la revendication 1 ou 3, dans lequel l'élément (400) thermoélectrique et électriquement conducteur est inclus dans la totalité de l'épaisseur du substrat support (3).

5. Dispositif élémentaire générateur d'énergie électrique selon la revendication 1, dans lequel le substrat support (3) est un substrat en verre.

6. Dispositif élémentaire générateur d'énergie électrique selon la revendication 1, dans lequel le substrat support (3) est un substrat en aérogel.

7. Dispositif élémentaire générateur d'énergie électrique selon la revendication 6, dans lequel le substrat support (3) est un substrat en aérogel de silice.

8. Dispositif élémentaire générateur d'énergie électrique selon la revendication 1, dans lequel la couche de matériau photoactif comprend une couche de premier matériau semi-conducteur de type n (102) et une couche de second matériau semi-conducteur de type p (103).

9. Dispositif élémentaire générateur d'énergie électrique selon la revendication 1 ou 3, dans lequel l'élément (400) thermoélectrique et électriquement conducteur comprend un premier matériau thermoélectrique et électriquement conducteur de type n et un second matériau thermoélectrique et électriquement conducteur de type p.

10. Dispositif élémentaire générateur d'énergie électrique selon la revendication 1 ou 3, dans lequel l'élément (400) thermoélectrique et électriquement conducteur comprend un premier matériau thermoélectrique et semi-conducteur de type n et un second matériau thermoélectrique et semi-conducteur de type p.

11. Système générateur d'énergie électrique comprenant i convertisseurs photovoltaïques et i convertisseurs thermoélectriques, i étant un nombre entier supérieur ou égal à 2, lesdits i convertisseurs photovoltaïques et lesdits i convertisseurs thermoélectriques étant respectivement reliés électriquement en série,

chaque convertisseur photovoltaïque comprenant un empilement de couches reposant sur un substrat support (3) en matériau thermiquement isolant, l'empilement de couches comprenant une première couche électriquement conductrice, servant d'électrode supérieure (100), et une seconde couche électriquement conductrice, servant d'électrode inférieure (200), les électrodes supérieure et inférieure prenant en sandwich une couche de matériau photoactif,

chaque convertisseur thermoélectrique comprenant une troisième couche électriquement conductrice servant de jonction chaude (200), une quatrième couche électriquement conductrice servant de jonction froide (300), les jonctions chaude et froide prenant en sandwich un élément en matériau thermoélectrique et électriquement conducteur de type n (401) et un élément en matériau thermoélectrique et électriquement conducteur de type p (402), les éléments de type n et de type p étant espacés l'un de l'autre,

caractérisé en ce que l'élément de type n (401) et l'élément de type p (402) de chaque convertisseur thermoélectrique est inclus dans l'épaisseur du substrat support (3) de chaque convertisseur photovoltaïque en matériau thermiquement isolant de manière à ce qu'une extrémité de l'élément de type n (401) et une extrémité de l'élément de type p (402) soient en contact avec une même jonction chaude (200) et que l'autre extrémité de l'élément de type n (401) et l'autre extrémité de l'élément de type p (402) soient en contact avec des jonctions froides (300)

appartenant à des convertisseurs thermoélectriques adjacents.

12. Système générateur d'énergie électrique selon la revendication 11, dans lequel les substrats supports des convertisseurs photovoltaïques sont un seul et même substrat support (3) pour l'ensemble des convertisseurs photovoltaïques

13. Système générateur d'énergie électrique selon la revendication 11, dans lequel chaque jonction chaude (200) et chaque électrode inférieure (200) sont une seule et même couche électriquement conductrice.

14. Système générateur d'énergie électrique selon l'une quelconque des revendications 11 à 13, dans lequel les matériaux thermoélectriques de type n (401) et de type p (402) sont des matériaux semi-conducteurs de type n et de type p.

15. Système générateur d'énergie électrique selon la revendication 11, dans lequel les substrats supports (3) sont des substrats en verre.

16. Système générateur d'énergie électrique selon la revendication 11, dans lequel les substrats supports (3) sont des substrats en aérogel.

17. Système générateur d'énergie électrique selon la revendication 16, dans lequel les substrats supports (3) sont des substrats en aérogel de silice.

18. Procédé de réalisation d'un dispositif élémentaire générateur d'énergie selon l'une quelconque des revendications 1 à 10, comprenant les étapes suivantes :

a) fourniture d'un substrat support (3) en matériau thermiquement isolant et électriquement isolant,

b) dépôt d'une couche électriquement conductrice sur une des faces du substrat support (3),

c) gravure d'un trou dans l'épaisseur du substrat support (3) en partant de la face opposée à celle comprenant la couche électriquement conductrice déposée à l'étape b), jusqu'à atteindre ladite couche électriquement conductrice,

d) remplissage dudit trou avec un composé thermoélectrique et électriquement conducteur et frittage dudit composé,

e) dépôt d'une couche électriquement conductrice sur la face du substrat support (3) opposée à celle comprenant la couche électriquement conductrice déposée à l'étape b),

f) dépôt d'une couche de matériau photoactif sur l'une des couches électriquement conductrices,

g) dépôt d'une couche électriquement conductrice sur la couche de matériau photoactif,

la couche électriquement conductrice déposée à l'étape g) formant l'électrode supérieure (100) du convertisseur photovoltaïque,

la couche électriquement conductrice sur laquelle est déposée la couche de matériau photoactif à

l'étape f) formant à la fois l'électrode inférieure (200) du convertisseur photovoltaïque et la jonction chaude (200) du convertisseur thermoélectrique,

la couche électriquement conductrice restante formant la jonction froide (300) du convertisseur thermoélectrique.

19. Procédé de réalisation d'un dispositif élémentaire générateur d'énergie selon la revendication 18, dans lequel l'étape f) est réalisée après l'étape b) et avant l'étape c).

20. Procédé de réalisation d'un dispositif élémentaire générateur d'énergie selon la revendication 18, dans lequel les étapes f) et g) sont réalisées après l'étape b) et avant l'étape c).

21. Procédé de réalisation d'un dispositif élémentaire générateur d'énergie selon l'une quelconque des revendications 18 à 20, comprenant en outre, après l'étape b) et avant l'étape f), une étape m) de dépôt d'une couche électriquement conductrice sur une couche électriquement conductrice déjà déposée, l'étape f) étant remplacée par une étape f') de dépôt d'une couche de matériau photoactif sur la face du substrat support comportant deux couches électriquement conductrices,

la couche électriquement conductrice déposée à l'étape g) formant l'électrode supérieure (100) du convertisseur photovoltaïque,

la couche électriquement conductrice déposée à l'étape m) formant l'électrode inférieure du convertisseur photovoltaïque,

la couche électriquement conductrice présente entre le substrat support et la couche électriquement conductrice déposée à l'étape m) formant la jonction chaude du convertisseur thermoélectrique,

la couche électriquement conductrice restante formant la jonction froide (300) du convertisseur thermoélectrique.

22. Procédé de réalisation d'un dispositif élémentaire générateur d'énergie selon la revendication 18 ou 21, dans lequel la couche électriquement conductrice formant l'électrode supérieure (100) est en matériau transparent aux radiations lumineuses.

23. Procédé de réalisation d'un dispositif élémentaire générateur d'énergie selon la revendication 18, comprenant en outre une étape h) de structuration de la couche électriquement conductrice déposée à l'étape g) pour obtenir une couche électriquement conductrice ajourée.

24. Procédé de réalisation d'un dispositif élémentaire générateur d'énergie selon la revendication 18, dans lequel le substrat support (3) est un substrat en verre ou en aérogel, de préférence en aérogel de silice.

25. Procédé de réalisation d'un système générateur d'énergie selon l'une quelconque des revendications 11 à 17, comprenant les étapes suivantes :

a) fourniture d'un substrat support (3) en matériau thermiquement isolant et électriquement isolant,

b) dépôt d'une couche électriquement conductrice sur la face avant du substrat support,

c) structuration de la couche électriquement conductrice déposée à l'étape b) pour former i pistes conductrices électriquement isolées les unes des autres, i étant un nombre entier supérieur ou égal à 2,

d) gravure de 2i trous dans l'épaisseur du substrat support en partant de la face arrière dudit substrat support jusqu'à atteindre les pistes conductrices de la face avant du substrat support, de manière à obtenir un couple de deux trous par piste conductrice,

e) formation de 2i éléments en matériaux thermoélectriques et électriquement conducteurs (401 ; 402) au niveau des 2i trous, un des éléments de chaque couple de deux trous étant en un composé thermoélectrique de type n et l'autre élément de chaque couple de deux trous étant en un composé thermoélectrique de type p,

f) dépôt d'une couche électriquement conductrice sur la face arrière du substrat support,

g) structuration de la couche électriquement conductrice déposée à l'étape f) pour

former j pistes conductrices électriquement isolées les unes des autres, avec j=i+1, les i pistes conductrices de la face avant et les j pistes conductrices de la face arrière étant disposées de manière à relier en série les éléments de type n et les éléments de type p, chaque élément d'un type étant relié à deux éléments de l'autre type respectivement par une piste i et par une piste j,

h) dépôt d'une couche en matériau photoactif sur une des faces du substrat support comprenant une couche électriquement conductrice structurée,

i) structuration de cette couche en matériau photoactif pour former des blocs reliant deux pistes conductrices obtenues à l'étape g) adjacentes,

j) dépôt d'une couche électriquement conductrice sur la face du substrat support comprenant la couche en matériau photoactif,

k) structuration de la couche électriquement conductrice déposée à l'étape j) pour former des pistes conductrices électriquement isolées les unes des autres et reliant deux blocs adjacents,

la couche électriquement conductrice structurée à l'étape k) formant l'électrode supérieure (100) de chaque convertisseur photovoltaïque,

la couche électriquement conductrice structurée située entre la couche de matériau photoactif structurée et le substrat support formant à la fois l'électrode inférieure (200) de chaque convertisseur photovoltaïque et la jonction chaude (200) de chaque convertisseur thermoélectrique,

la couche électriquement conductrice structurée restante formant la jonction froide (300) de chaque convertisseur thermoélectrique.

26. Procédé de réalisation d'un système générateur d'énergie selon la revendication 25, dans lequel les étapes h) et i) sont réalisées après l'étape c) et avant l'étape d).

27. Procédé de réalisation d'un système générateur d'énergie selon la revendication 25, dans lequel les étapes h), i), j) et k) sont réalisées après l'étape c) et avant l'étape d).

28. Procédé de réalisation d'un système générateur d'énergie selon l'une quelconque des revendications 25 à 27, comprenant en outre, après l'étape b) et avant l'étape c), une étape b') de dépôt d'une couche électriquement conductrice sur la couche électriquement conductrice déposée à l'étape b), l'étape c) se transformant en une étape c') de structuration des couches électriquement conductrices déposées aux étapes b) et b') pour former i pistes conductrices électriquement isolées les unes des autres, i étant un nombre entier supérieur ou égal à 2, et l'étape h) se transformant en étape h') de dépôt d'une couche en matériau photoactif sur la face avant du substrat support,

la couche électriquement conductrice structurée à l'étape k) formant l'électrode supérieure (100) de chaque convertisseur photovoltaïque,

la couche électriquement conductrice déposée à l'étape b') et structurée à l'étape c') formant l'électrode inférieure de chaque convertisseur photovoltaïque,

la couche électriquement conductrice déposée à l'étape b) et structurée à l'étape c') formant la jonction chaude de chaque convertisseur thermoélectrique,

la couche électriquement conductrice structurée restante formant la jonction froide (300) de chaque convertisseur thermoélectrique.

29. Procédé de réalisation d'un système générateur d'énergie selon l'une quelconque des revendications 25 à 27, comprenant en outre, après l'étape f) et avant l'étape g), une étape f') de dépôt d'une couche électriquement conductrice sur la couche électriquement conductrice déposée à l'étape f), l'étape g) se transformant en une étape g') de structuration des couches électriquement conductrices déposées aux étapes f) et f') pour former j pistes conductrices électriquement isolées les unes des autres, avec j=i+1, les i pistes conductrices de la face avant et les j pistes conductrices de la face arrière étant disposées de manière à relier en série les éléments de type n et les éléments de type p, chaque élément d'un type étant relié à deux éléments de l'autre type respectivement par une piste i et par une piste j,

la couche électriquement conductrice structurée à l'étape k) formant l'électrode supérieure (100) de chaque convertisseur photovoltaïque,

la couche électriquement conductrice déposée à l'étape f') et structurée à l'étape g') formant l'électrode inférieure de chaque convertisseur photovoltaïque,

la couche électriquement conductrice déposée à l'étape f) et structurée à l'étape g') formant la jonction chaude de chaque convertisseur thermoélectrique,

la couche électriquement conductrice structurée restante formant la jonction froide (300) de chaque convertisseur thermoélectrique.

30. Procédé de réalisation d'un système générateur d'énergie selon la revendication 25, dans lequel l'étape e) de formation des 2i éléments (401 ; 402) comprend les étapes suivantes :

- remplissage des 2i trous, un des trous de chaque couple de deux trous étant rempli avec un composé thermoélectrique de type n et l'autre trou de chaque couple de deux trous étant rempli avec un composé thermoélectrique de type p,
- frittage des composés.

31. Procédé de réalisation d'un système générateur d'énergie selon la revendication 25, dans lequel les matériaux thermoélectriques sont sous forme de poudre ou sous forme de pâtes obtenues par mélange de poudres et d'un liant.

32. Procédé de réalisation d'un système générateur d'énergie selon la revendication 25, dans lequel la couche en matériau photoactif comprend une couche en matériau semi-conducteur de type n (102) et une couche en matériau semi-conducteur de type p (103).

33. Utilisation du convertisseur thermoélectrique du dispositif élémentaire générateur d'énergie selon l'une quelconque des revendications 1 à 10 pour refroidir le convertisseur photovoltaïque dudit dispositif élémentaire.

34. Utilisation des convertisseurs thermoélectriques du système générateur d'énergie selon l'une quelconque des revendications 11 à 17 pour refroidir les convertisseurs photovoltaïques dudit système.

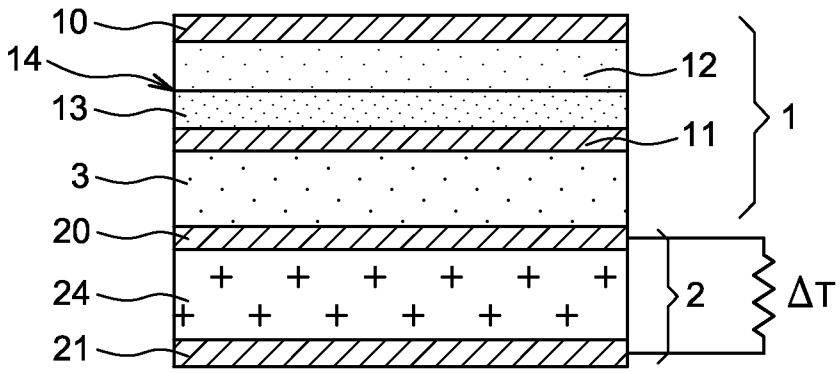


FIG. 1

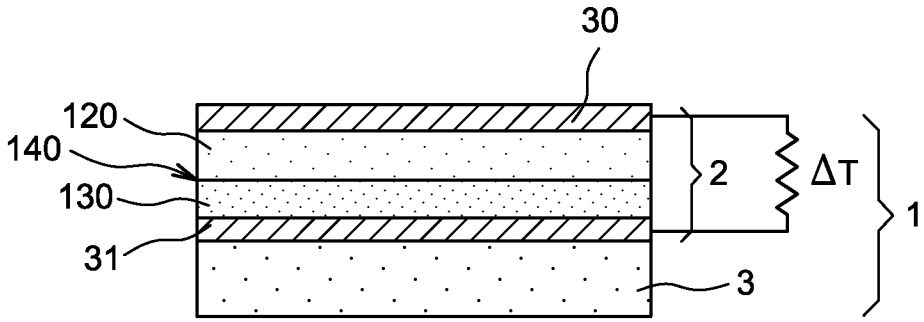


FIG. 2

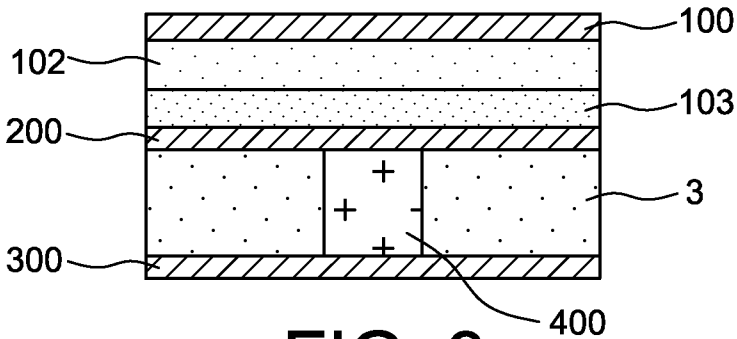
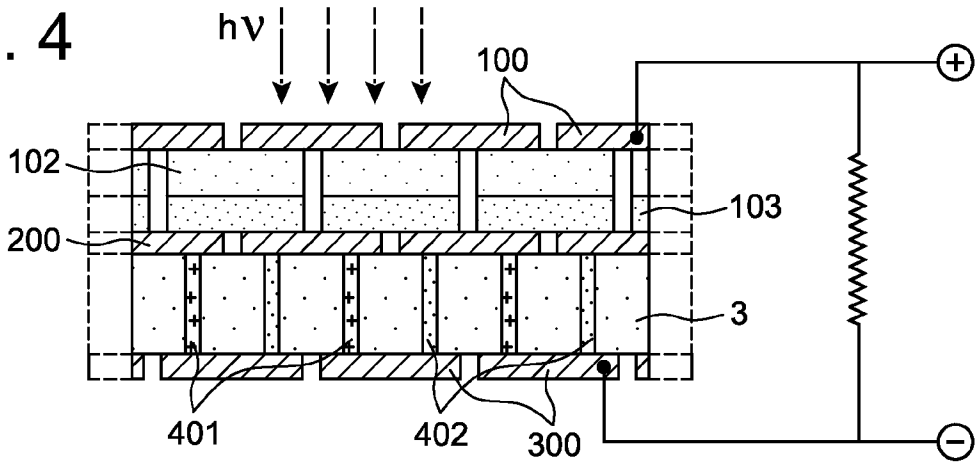


FIG. 3

FIG. 4



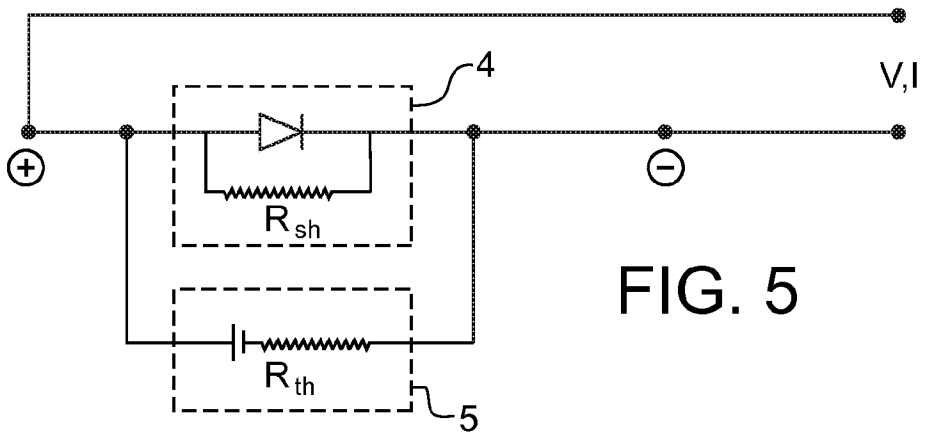


FIG. 5

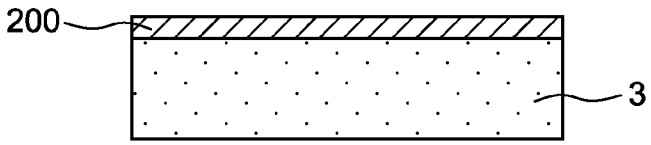


FIG. 6A

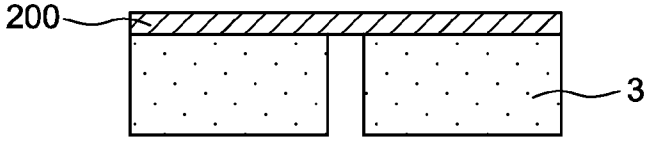
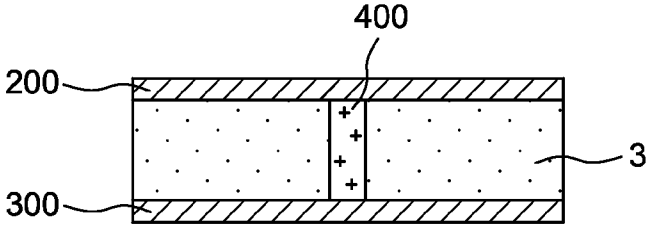


FIG. 6B

FIG. 6C



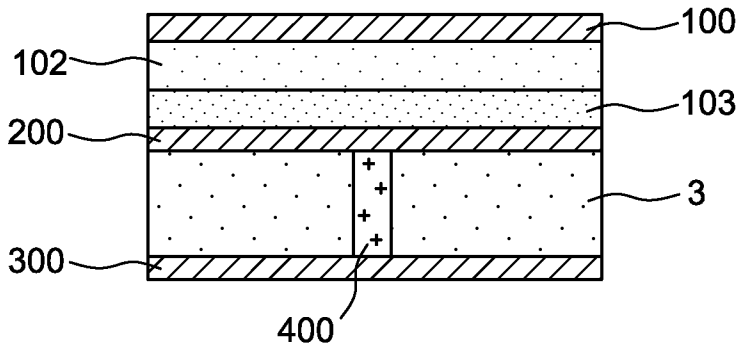


FIG. 6D

FIG. 7A

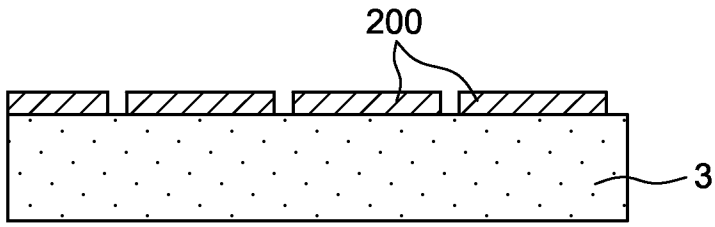


FIG. 7B

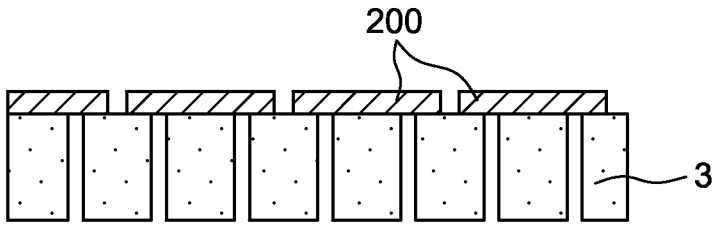
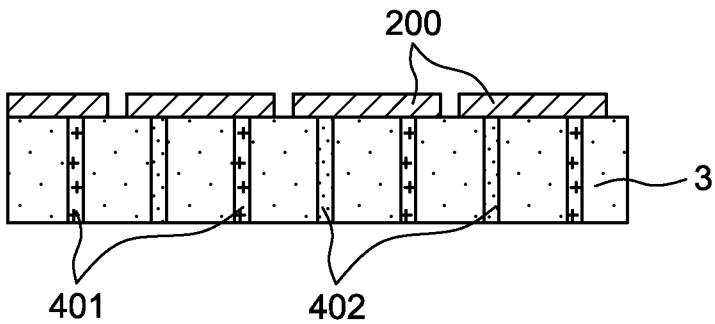


FIG. 7C



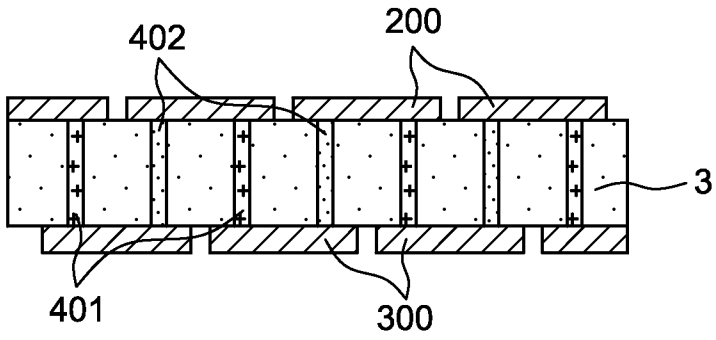


FIG. 7D

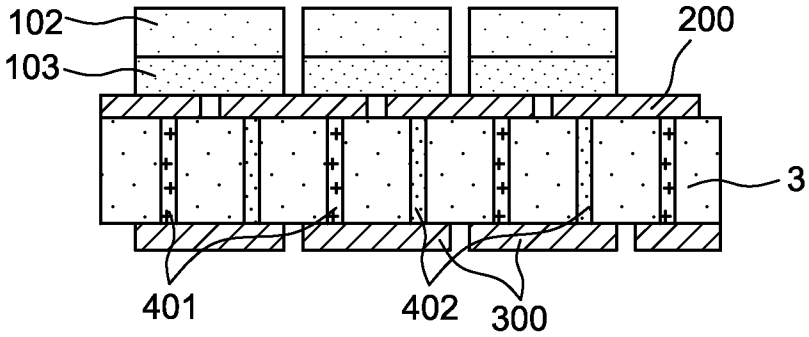


FIG. 7E

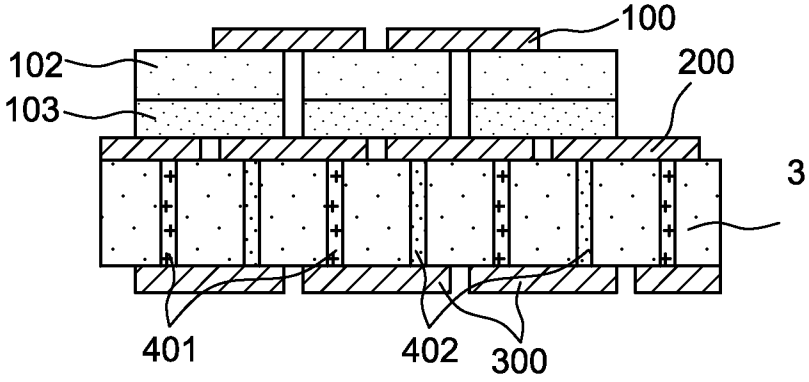


FIG. 7F

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2008/067748

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
INV. H01L31/058 H01L35/02 H01L35/32 H01L35/34

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

B. FIELDS SEARCHED

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

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

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)
EPO-Internal

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X Y	DE 36 19 327 A1 (VOLKRODT WOLFGANG [DE]) 10 December 1987 (1987-12-10) the whole document	1-17,33, 34 18-32
Y	US 2005/112872 A1 (OKAMURA YOSHIMASA [US] ET AL) 26 May 2005 (2005-05-26) abstract; figures 1-8	18-32
A	US 3 956 017 A (SHIGEMASA JUNICHIRO) 11 May 1976 (1976-05-11)	1-34
A	US 2006/090475 A1 (SAKAMOTO JEFF S [US] ET AL) 4 May 2006 (2006-05-04)	1-34

-/--

[X] Further documents are listed in the continuation of Box C.

[X] See patent family annex.

* Special categories of cited documents :

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

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

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

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

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

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

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

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

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report
27 janvier 2009	03/02/2009

Name and mailing address of the ISA/	Authorized officer
European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL – 2280 HV Rijswijk Tel. (+31–70) 340–2040, Fax: (+31–70) 340–3016	Heising, Stephan

3

Form PCT/ISA/210 (second sheet) (April 2005)

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2008/067748

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	IORDANISHVILI E K ET AL: "MANUFACTURING PROCEDURE AND BASIC DESIGN OF PHOTOTHERMOELECTRIC BATTERIES" APPLIED SOLAR ENERGY (GELIOTEKHNIKA), ALLERTON PRESS INC, NEW YORK, US, vol. 31, no. 6, 1 January 1995 (1995-01-01), pages 12-15, XP000639248 ISSN: 0003-701X the whole document	1-34
A	US 5 221 364 A (HOTALING STEVEN P [US]) 22 June 1993 (1993-06-22)	1,6,7, 11,16,17
A	JP 60 260166 A (FUJI DENKI SOGO KENKYUSHO KK) 23 December 1985 (1985-12-23)	1-34

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No
PCT/EP2008/067748

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
DE 3619327 A1	10-12-1987	NONE	
US 2005112872 A1	26-05-2005	NONE	
US 3956017 A	11-05-1976	JP 50134391 A	24-10-1975
US 2006090475 A1	04-05-2006	US 2006157101 A1	20-07-2006
US 5221364 A	22-06-1993	NONE	
JP 60260166 A	23-12-1985	NONE	

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale n°
PCT/EP2008/067748

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE
INV. H01L31/058 H01L35/02 H01L35/32 H01L35/34

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

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 estréalisable, termes de *recherche utilisés*)
EPO-Internal

C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
X Y	DE 36 19 327 A1 (VOLKRODT WOLFGANG [DE]) 10 décembre 1987 (1987-12-10) le document en entier	1-17,33, 34 18-32
Y	US 2005/112872 A1 (OKAMURA YOSHIMASA [US] ET AL) 26 mai 2005 (2005-05-26) abrégé; figures 1-8	18-32
A	US 3 956 017 A (SHIGEMASA JUNICHIRO) 11 mai 1976 (1976-05-11)	1-34
A	US 2006/090475 A1 (SAKAMOTO JEFF S [US] ET AL) 4 mai 2006 (2006-05-04)	1-34

-/--

[X] Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents

[X] 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'appartenenant 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'inven tion revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément
"Y" *document particulièrement pertinent; l'inven tion 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	Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale
27 janvier 2009	03/02/2009

Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale	Fonctionnaire autorisé
Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL – 2280 HV Rijswijk Tel. (+31–70) 340–2040, Fax: (+31–70) 340–3016	Heising, Stephan

3

Formulaire PCT/ISA/210 (deuxième feuille) (avril 2005)

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	IORDANISHVILI E K ET AL: "MANUFACTURING PROCEDURE AND BASIC DESIGN OF PHOTOTHERMOELECTRIC BATTERIES" APPLIED SOLAR ENERGY (GELIOTEKHNIKA), ALLERTON PRESS INC, NEW YORK, US, vol. 31, no. 6, 1 janvier 1995 (1995-01-01), pages 12-15, XP000639248 ISSN: 0003-701X le document en entier	1-34
A	US 5 221 364 A (HOTALING STEVEN P [US]) 22 juin 1993 (1993-06-22)	1,6,7, 11,16,17
A	JP 60 260166 A (FUJI DENKI SOGO KENKYUSHO KK) 23 décembre 1985 (1985-12-23)	1-34

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Demande internationale n°
PCT/EP2008/067748

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
DE 3619327 A1	10-12-1987	AUCUN	
US 2005112872 A1	26-05-2005	AUCUN	
US 3956017 A	11-05-1976	JP 50134391 A	24-10-1975
US 2006090475 A1	04-05-2006	US 2006157101 A1	20-07-2006
US 5221364 A	22-06-1993	AUCUN	
JP 60260166 A	23-12-1985	AUCUN	