

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 400 989**

51 Int. Cl.:

**H01L 31/0352** (2006.01)

**H01L 31/0384** (2006.01)

**H01L 31/068** (2012.01)

**H01L 31/072** (2012.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **20.11.2009 E 09756307 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **05.12.2012 EP 2351095**

54 Título: **Célula fotovoltaica de emisor distribuido en un sustrato y procedimiento de realización de una célula de ese tipo**

30 Prioridad:

**21.11.2008 FR 0857926**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:

**16.04.2013**

73 Titular/es:

**COMMISSARIAT À L'ÉNERGIE ATOMIQUE ET  
AUX ÉNERGIES ALTERNATIVES (100.0%)  
Bâtiment "Le Ponant D" 25, rue Leblanc  
75015 Paris, FR**

72 Inventor/es:

**GARANDET, JEAN-PAUL;  
FEDERZONI, LUC y  
VESCHETTI, YANNICK**

74 Agente/Representante:

**LINAGE GONZÁLEZ, Rafael**

ES 2 400 989 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín europeo de patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre concesión de Patentes Europeas).

## DESCRIPCIÓN

Célula fotovoltaica de emisor distribuido en un sustrato y procedimiento de realización de una célula de ese tipo.

5 **Campo técnico**

La invención se refiere al sector de las células fotovoltaicas, y en especial al de las células fotovoltaicas de contactos traseros, es decir, de contactos situados en la cara de la célula que no recibe los fotones. La invención se refiere igualmente a la realización de células fotovoltaicas a partir de semiconductores de calidad inferior a la calidad estándar utilizados en microelectrónica.

10 **Estado de la técnica anterior**

Las células fotovoltaicas se fabrican principalmente a partir de sustratos de silicio monocristalino o policristalino, obtenidos al solidificar lingotes a partir de un baño líquido de silicio, y a continuación cortando en lonchas este lingote para obtener los sustratos, o placas. A continuación se llevan a cabo diferentes técnicas de depósito sobre estas placas de silicio en "cuarto limpio" para realizar las células fotovoltaicas.

15 Durante la realización de una célula fotovoltaica mediante la tecnología clásica conocida como "homounión", los lingotes de silicio cristalizados son todos cortados inicialmente en placas sobre las que se fabrican las células. Estas placas son texturadas a continuación por ataque químico para mejorar la captura de la luz por las células fotovoltaicas que se realizarán a partir de estas placas. Las uniones p-n se realizan a continuación por difusión gaseosa en estas placas. A continuación se realiza un depósito PECVD para mejorar las propiedades anti-reflectantes de la célula y para pasivar los defectos recombinantes. A continuación se depositan capas conductoras mediante serigrafía sobre las dos caras para permitir la colecta de portadores foto-generados y la disposición de los contactos eléctricos de la célula fotovoltaica.

20 Sin embargo, con este tipo de tecnología conocida como "homounión", los rendimientos energéticos alcanzados a nivel industrial son limitados, típicamente del orden del 15%, y lo mismo ocurre con un silicio de base de calidad "microelectrónica".

25 Para obtener rendimientos superiores al 20%, es necesario recurrir a células fotovoltaicas de estructura diferente, tal como las células fotovoltaicas con heterouniones (Si amorfo / Si cristalino) y/o células de tipo RCC (Rear Contact Cell, o célula con contactos traseros), que permiten en particular librarse de la sospecha asociada a la presencia de conductores de colecta en la cara delantera de la célula (todos los contactos se encuentran entonces en la cara trasera de la célula).

30 Cualquiera que sea el tipo de célula que se realice, la obtención de resultados energéticos interesantes supone que el máximo de portadores minoritarios foto-generados en el núcleo de la célula deben poder alcanzar la unión p-n para ser recolectados, y por tanto que su longitud de difusión sea superior al espesor de la placa. Éste es en particular el caso en que las células RRC, en la medida en que los portadores son generados principalmente en las primeras micras del silicio iluminado, a nivel de la cara delantera de la célula, y por tanto deben atravesar toda la placa antes de ser recogidos. La realización de una célula de tipo RCC necesita así la utilización de monocristales elaborados a partir de silicio de calidad microelectrónica que ofrezca una gran longitud de difusión de los portadores minoritarios, pero que tiene el inconveniente de ser más costoso.

35 Existen otros tipos de silicio menos costosos pero presentan una pureza menor, lo que se traduce en una longitud de difusión de los portadores minoritarios reducida. Estos silicios de calidad menos buena no pueden ser por tanto utilizados para la realización de células de tipo RCC.

40 Existen asimismo células fotovoltaicas de tipo EWT (Emitter Wrap Through). Estas células se realizan a partir de una placa de silicio, por ejemplo de tipo p. Se realizan orificios (cuyo diámetro es igual a aproximadamente 60  $\mu\text{m}$ , y separados 2 mm aproximadamente) mediante grabado con láser a través de la placa de silicio. El emisor de la célula se forma a continuación mediante la realización de una capa de tipo n+ por difusión gaseosa sobre la cara delantera, en las paredes de los orificios, así como sobre una parte de la cara trasera de la célula. De ese modo, se reparte la unión p-n+ en el volumen de la célula por zonas, permitiendo reducir la distancia a recorrer por un portador minoritario con anterioridad a su colecta.

45 Tales células EWT tienen siempre el inconveniente principal de tener un coste de fabricación elevado debido a su realización que debe hacerse necesariamente en cuarto limpio, y a la utilización de un láser para la realización de orificios en el sustrato.

Se conocen células fotoeléctricas tales como las descritas en el preámbulo de la reivindicación 1 en virtud del documento JP 61292381 A.

**Exposición de la invención**

Un objeto de la presente invención consiste en proponer una nueva arquitectura de célula fotovoltaica que optimice la colecta y el transporte de los portadores de carga minoritarios en la célula fotovoltaica, y cuyo coste de realización sea reducido y que pueda ser realizada a partir de un semiconductor de calidad inferior a la calidad microelectrónica.

5 Para ello, la presente invención propone una célula fotovoltaica según la reivindicación 1.

El emisor de esta célula fotovoltaica está distribuido a modo de varias porciones semiconductoras repartidas en orificios ciegos, en el corazón del sustrato. De ese modo, con relación a las arquitecturas existentes de células fotovoltaicas, esta disposición de uniones p-n en la célula fotovoltaica permite optimizar la colecta y el transporte de portadores de cargas minoritarias en el interior de la célula fotovoltaica, permitiendo así la utilización de semiconductores de calidad inferior a la calidad microelectrónica para su realización, como por ejemplo los polvos de semiconductor mezclados por ejemplo con polímeros. Esta célula puede ser así realizada a bajo coste gracias por ejemplo a técnicas derivadas del micro-plástico.

Además, con relación a las células fotovoltaicas de tipo EWT, la célula fotovoltaica según la invención ofrece mayores posibilidades de ajuste de dimensiones, de posicionamientos y de espaciamento de las porciones del semiconductor que forman el emisor de la célula. Con relación a la tecnología EWT, esta arquitectura de célula fotovoltaica permite además la utilización de niveles bajos de dopaje de los semiconductores para una conductancia equivalente.

Cada orificio ciego puede incluir un eje de simetría central sensiblemente perpendicular a las dos caras principales del sustrato. El emisor de la célula está así formado por porciones longitudinales de semiconductor dispuestas en el sustrato de la célula fotovoltaica.

Cada orificio ciego puede incluir, en un plano que pasa por la cara principal del sustrato que comprende las aberturas de los orificios ciegos, una sección de superficie superior a la superficie de la pared de fondo de dicho orificio ciego. De ese modo, seleccionando tales orificios ciegos, y por tanto tales porciones de semiconductor para formar el emisor de la célula fotovoltaica, la superficie de la sección de estos orificios ciegos varía con la altura del orificio ciego en el sustrato para tomar en consideración la absorción espectral de los fotones incidentes por parte del semiconductor dispuesto en el sustrato, lo que permite mejorar el transporte de los portadores de cargas minoritarios.

En este caso, por cada orificio ciego, la relación entre la superficie de la sección de dicho orificio ciego a nivel del plano que pasa por la cara principal del sustrato que comprende las aberturas de los orificios ciegos y la superficie de la pared de fondo de dicho orificio ciego, puede estar comprendida entre 1 y 3.

Cada orificio ciego puede tener una forma sensiblemente cónica o de ojiva truncada.

Cada orificio ciego puede incluir, en un plano paralelo a una de las caras principales del sustrato, una sección de forma poligonal, o por ejemplo en forma de estrella. Así, eligiendo perfiles particulares para las porciones de semiconductor que forman el emisor de la célula, se aumenta la probabilidad de colecta de los portadores de cargas minoritarios con el aumento de la superficie del emisor con relación a un volumen dado en el sustrato, por medio de formas transversales originales de estas porciones semiconductoras que forman el emisor de la célula fotovoltaica.

Al menos una de las caras principales del sustrato puede estar estructurada, mejorando con ello la captura de la luz por la célula fotovoltaica.

La concentración de átomos dopantes, o átomos portadores, por centímetro cúbico, en el semiconductor del segundo tipo de conductividad del emisor, puede estar comprendida entre  $10^{16}$  y  $10^{21}$ , y con preferencia comprendida entre  $10^{18}$  y  $10^{20}$ . La concentración de átomos dopantes por centímetro cúbico en el semiconductor del primer tipo de conductividad del sustrato puede estar comprendida entre  $10^{15}$  y  $10^{18}$ , y con preferencia comprendida entre  $10^{16}$  y  $10^{17}$ .

De manera ventajosa, el espesor del sustrato puede ser inferior a 300  $\mu\text{m}$  y la profundidad de cada orificio ciego puede ser ventajosamente superior a la mitad del espesor del sustrato.

La célula fotovoltaica incluye, además, en la cara principal del sustrato que incluye las aberturas de los orificios ciegos, primeros dedos de colecta a base de al menos un semiconductor del segundo tipo de conductividad, en contacto con el emisor de la célula, y segundos dedos de colecta a base de al menos un semiconductor del primer tipo de conductividad en contacto con el sustrato e interdigitados con los primeros dedos de colecta.

En este caso, las concentraciones de átomos dopantes por centímetro cúbico en los semiconductores del primer tipo de conductividad de los segundos dedos de colecta y del segundo tipo de conductividad de los primeros dedos de colecta, pueden estar comprendidas entre  $10^{19}$  y  $10^{21}$ .

La invención se refiere además a un procedimiento de realización de una célula fotovoltaica según la reivindicación

11.

La etapa a) puede ser llevada a cabo mediante una inyección de un material a base de semiconductor de un primer tipo de conductividad en un molde.

5 En el transcurso de este procedimiento, es posible mantener el sustrato en el molde inicial retirando el fondo de este último para facilitar cualquier problema de alineamiento.

10 La etapa c) de rellenado se realiza además sobre la cara principal del sustrato que incluye las aberturas de los orificios ciegos, y a través de una primera máscara dispuesta contra la citada cara del sustrato que incluye las aberturas de los orificios ciegos, de los primeros dedos de colecta a base de al menos un semiconductor del segundo tipo de conductividad en contacto con el emisor de la célula, y que incluye además, tras la etapa c), la retirada de la primera máscara y la realización de segundos dedos de colecta a base de al menos un semiconductor del primer tipo de conductividad en contacto con el sustrato e interdigitados con los primeros dedos de colecta por inyección a través de una segunda máscara dispuesta contra la citada cara del sustrato que incluye las aberturas de los orificios ciegos.

15 El sustrato y/o el emisor y/o los dedos de colecta pueden ser realizados a partir de una mezcla de materiales a base de polvos de semiconductores y de polímeros, y el procedimiento puede incluir además, tras la etapa c) de rellenado, una etapa de eliminación del ligante de la mezcla utilizada a una temperatura comprendida entre alrededor de 300 °C y 600 °C, durante un período de tiempo comprendido entre 12 horas y 36 horas, y una etapa de sinterización de los polvos obtenidos tras la eliminación del ligante realizada a una temperatura comprendida entre alrededor de 1.000 °C y 1.350 °C, durante un intervalo de tiempo comprendido entre alrededor de 1 hora y 8 horas.

20 La etapa de eliminación del ligante y/o la etapa de sinterización pueden ser realizadas bajo atmósfera reductora, por ejemplo bajo atmósfera de hidrógeno.

#### Breve descripción de los dibujos

La presente invención podrá ser mejor comprendida con la lectura de la descripción de ejemplos de realización dados a título únicamente indicativo y no limitativo, haciendo referencia a los dibujos anexos, en los que:

25 La Figura 1 representa una vista parcial, en corte y de perfil, de una célula fotovoltaica, objeto de la presente invención, según un modo de realización particular;

La Figura 2 representa una vista parcial desde debajo de una célula fotovoltaica, objeto de la presente invención, según un modo de realización particular;

30 La Figura 3 representa una vista en corte parcial de una célula fotovoltaica, objeto de la presente invención, según un modo de realización particular, y

La Figura 4 representa ejemplos de perfiles y de secciones de orificios ciegos realizados en sustratos de células fotovoltaicas, objetos de la presente invención.

Las partes idénticas, similares o equivalentes de las diferentes Figuras descritas con anterioridad, llevan las mismas referencias numéricas con el fin de facilitar el paso de una Figura a otra.

35 Las diferentes partes representadas en las Figuras no están necesariamente a una escala uniforme, para hacer que las Figuras resulten más legibles.

Las diferentes posibilidades (variantes y nodos de realización) deben ser entendidas como no exclusivas las unas respecto a las otras, y pueden combinarse entre sí.

#### Exposición detallada de modos de realización particulares

40 En primer lugar se hace referencia a la Figura 1, la cual representa una vista parcial, en corte y de perfil, de una célula fotovoltaica 100 según un modo de realización particular.

45 La célula fotovoltaica 100, en este caso de tipo p, incluye un sustrato 102 a base de silicio de tipo p. Este sustrato 102 incluye una cara delantera 104 destinada a recibir los rayos luminosos, y una cara trasera 106. En el ejemplo de la Figura 1, la cara delantera 104 está texturada con el fin de capturar mejor la luz que llega a la célula fotovoltaica 100. En una variante de realización, la cara trasera 106 podría estar igualmente estructurada, de manera similar o no a la cara delantera 104. El espesor del sustrato 102 está comprendido por ejemplo entre alrededor de 50 µm y 300 µm, y ventajosamente comprendido entre alrededor de 100 µm y 200 µm.

50 Se han formado orificios ciegos 108 en el sustrato 102, presentando cada orificio ciego 108 una abertura a nivel de la cara trasera 106 del sustrato 102. Según se ha representado en la Figura 1, los orificios ciegos 108 tienen perfiles tales que la superficie de la sección de los orificios ciegos 108 a nivel de la cara trasera 106 es superior a la

superficie de la pared de fondo de los orificios ciegos 108. La Figura 3, que es una vista en corte de la célula fotovoltaica 100 según el eje AA representado en la Figura 1, permite apreciar que los orificios ciegos 108 tienen en este caso una sección, en un plano paralelo a la cara trasera 106, de forma triangular.

5 Los orificios ciegos 108 están rellenos de un semiconductor 110, en este caso de silicio de tipo n+. Así, las porciones de silicio 110 forman el emisor de la célula fotovoltaica 100 y el sustrato 102 forma la base de la célula fotovoltaica 100. De ese modo, se obtienen uniones p-n distribuidas en todo el volumen de la célula fotovoltaica 100.

10 La colecta de la corriente generada en la célula fotovoltaica 100 se realiza por medio de primeros dedos de colecta 112, a base de silicio de tipo n+ y en contacto con las porciones de silicio 110, y los cuales están interdigitados con segundos dedos de colecta 114, a base de silicio de tipo p+ y en contacto con la cara trasera 106 del sustrato 102 (véanse las Figuras 1 y 2).

15 Las secciones de los orificios ciegos 108, en un plano paralelo a una de las caras principales 104 y 106 del sustrato 102, pueden ser de una forma distinta de la triangular, por ejemplo circular (véase, por ejemplo, la sección 110c representada en la Figura 4). Sin embargo, las secciones de los orificios ciegos 108 se eligen con preferencia con una forma distinta de la circular, por ejemplo triangular como en la Figura 3, cuadrada, en estrella (véanse, por ejemplo, las secciones 110d y 110f representadas en la Figura 4), o poligonal regular o no (véase, por ejemplo, la sección octogonal 110e representada en la Figura 4). Estas otras formas permiten aumentar la superficie de contacto entre el semiconductor 110 y el sustrato 102, lo que permite aumentar la probabilidad de colecta de los portadores de carga minoritarios en la célula fotovoltaica 100. A un volumen dado, una sección de forma triangular permite aumentar aproximadamente un 30% la superficie del emisor con relación a una sección de forma circular. Siempre con relación a una sección de forma circular, se obtiene un aumento de superficie cercano a un factor de 2 con una sección en forma de hexagrama regular, constituida por la superposición de dos triángulos equiláteros. Por último, en caso de necesidad, se pueden prever formas más complejas (polígonos regulares o no de n lados, o superposición de triángulos y/o de estrellas de n ramas).

25 Según la calidad del semiconductor utilizado y en especial de su longitud de difusión, la distancia entre dos porciones de semiconductor 110 contiguas, correspondiente a la separación entre dos orificios ciegos 108 contiguos, puede estar comprendida entre alrededor de 40  $\mu\text{m}$  y de 300  $\mu\text{m}$ , y con preferencia entre alrededor de 60  $\mu\text{m}$  y de 100  $\mu\text{m}$ .

30 En el ejemplo de la Figura 1, los orificios ciegos 108 tienen un perfil tal que las dimensiones de las secciones de los orificios ciegos 108 disminuyen de forma regular en función de la distancia de la sección con relación a la cara trasera 106, por ejemplo un perfil en forma de cono 110a (Figura 4). En una variante, los orificios ciegos 108 pueden tener perfiles de forma diferente, como por ejemplo una forma ojival truncada (referencia 110b en la Figura 4), en la que la reducción de dimensiones de las secciones no es regular a todo lo largo del perfil, sino que tiene lugar principalmente a nivel de fondo de los orificios ciegos 108. Asimismo resulta posible que los orificios ciegos 108 tengan perfiles de forma diferente (por ejemplo, de forma cilíndrica, es decir, que las dimensiones de las secciones sean idénticas a lo largo de todo el perfil). Ventajosamente, cada orificio ciego 108 incluye, en un plano que pasa por la cara trasera 106, una sección de superficie superior a la superficie de la pared de fondo de dicho orificio ciego 108, como es el caso de, por ejemplo, la Figura 1. Así, la superficie de las secciones de los orificios ciegos 108 varía con la altura de la célula fotovoltaica 100 para que se pueda tener en cuenta la absorción espectral de los fotones incidentes por parte del material semiconductor del sustrato 102. Se puede tener, por ejemplo, una relación entre la superficie de la sección del orificio 108 a nivel de la cara trasera 106 y la superficie de la pared de fondo del orificio 108 comprendida entre aproximadamente 1 y 3, y con preferencia comprendida entre aproximadamente 1,2 y 2. El valor de esta relación se elige normalmente en función de la fuente luminosa a través de la curva de absorción de los fotones en el material utilizado.

45 Para limitar la pérdida de volumen activo asociada a la fuerte actividad recombinante de las zonas n+ formadas por las porciones de silicio 110, se puede limitar al máximo el volumen de los orificios ciegos 108 teniendo en cuenta las limitaciones tecnológicas asociadas a la realización de los orificios ciegos 108 en cuanto al factor de forma de los orificios. La relación entre la altura, es decir la dimensión según el eje "y" representado en la Figura 1, y la dimensión de uno de los lados (o del diámetro en el caso de un círculo) de una sección de uno de los orificios ciegos 108, puede ser por ejemplo igual o inferior a 10. Además, la altura de las porciones de semiconductor, que corresponden a la profundidad de los orificios ciegos 108, es al menos igual a la mitad del espesor del sustrato 102.

50 La célula fotovoltaica 100 descrita anteriormente es de tipo p, es decir incluye uniones p-n formadas por un sustrato 102 a base de silicio de tipo p y por silicio 110 de tipo n+ dispuesto en los orificios ciegos 108. En una variante, la célula fotovoltaica 100 podría ser de tipo n, es decir incluir uniones p-n formadas por un sustrato 102 a base de silicio de tipo n y por silicio 110 de tipo p+ dispuesto en los orificios ciegos 108. Además, el semiconductor utilizado para la realización de la célula fotovoltaica 100 puede ser un semiconductor distinto del silicio, por ejemplo germanio. En el ejemplo descrito anteriormente, los dedos de colecta 112, 114 son por tanto respectivamente de tipo n+ y p+.

De forma general, el sustrato (de tipo p o n) presenta una concentración de átomos dopantes por centímetro cúbico comprendida entre  $10^{15}$  y  $10^{18}$ , y ventajosamente entre  $10^{16}$  y  $10^{17}$ . El emisor presenta una concentración de átomos dopantes por centímetro cúbico comprendida entre  $10^{16}$  y  $10^{21}$ , y ventajosamente comprendida entre  $10^{18}$  y  $10^{20}$ . Los

dedos de colecta presentan concentraciones de átomos dopantes superiores a las de los semiconductores con los que establecen contacto. Así, los primeros dedos de colecta presentan una concentración de átomos dopantes por centímetro cúbico comprendida entre  $10^{19}$  y  $10^{21}$ . Si el semiconductor que forma el emisor tiene una concentración suficientemente elevada, éste puede convenir para constituir también los segundos dedos de colecta. Estos segundos dedos de colecta (base) pueden presentar por tanto una concentración de átomos dopantes por centímetro cúbico comprendida entre aproximadamente  $10^{19}$  y  $10^{21}$ , y ventajosamente comprendida entre aproximadamente  $5 \cdot 10^{19}$  y  $5 \cdot 10^{20}$ .

Ahora se va a describir un procedimiento de realización de la célula fotovoltaica 100. Este procedimiento hace uso de tecnologías de bajo coste derivadas del micro-plástico, a partir de mezclas principales que contienen polvos de silicio en una matriz portadora de polímeros.

Para la realización de la célula fotovoltaica 100 de tipo p, se preparan en primer lugar 3 mezclas principales, o cargas, basadas en polvos de silicio de tipo p, p+ y n+ y de polímeros que en particular protegen los polvos de silicio frente a su oxidación natural. Los polímeros portadores de estas mezclas son del tipo de una poliolefina, basados en monómeros de tipo alqueno. Se pueden usar igualmente copolímeros de varios poli-alquenos. En el ejemplo descrito en la presente memoria, los polvos de silicio se mezclan con polietileno, y la fracción volúmica de polvos de silicio es asimismo de aproximadamente un 50%. En este ejemplo de realización, la carga de tipo p presenta una concentración de átomos de boro por centímetro cúbico que es igual a aproximadamente  $5 \cdot 10^{16}$ . La carga de tipo p+ presenta una concentración de átomos de boro por centímetro cúbico igual a aproximadamente  $2 \cdot 10^{20}$ . Por último, la carga de tipo n+ presenta una concentración de átomos de fósforo por centímetro cúbico igual a aproximadamente  $2 \cdot 10^{20}$ .

La primera etapa del procedimiento consiste en inyectar la carga de tipo p en un molde para formar el substrato 102. Cuando se desea realizar una cara delantera texturada, el molde puede reproducir la textura deseada para esta cara delantera. Ventajosamente, se puede estructurar así la cara trasera 106 de la célula 100 para mejorar aún más la óptica de la célula 100. La altura del molde puede ser ligeramente superior al espesor deseado del substrato 102. En el ejemplo descrito en la presente memoria, el molde tiene dimensiones laterales (correspondientes a las dimensiones según los ejes X y Z representados en la Figura 2) iguales a alrededor de 10 cm, y una altura igual a alrededor de 250  $\mu\text{m}$ .

La parte baja del molde, es decir el fondo del molde contra el que se encuentra la cara trasera 106 del substrato 102, se retira, y el substrato 102 se imprime después mediante una matriz para formar de manera global los orificios ciegos 108 en el substrato 102. En el ejemplo descrito en la presente memoria, para un material de longitud de difusión igual a aproximadamente 100  $\mu\text{m}$  y un substrato de 250  $\mu\text{m}$  de espesor, este substrato 102 se imprime mediante una matriz a base de níquel que puede incorporar dedos (destinados a hundirse en el substrato 102 para formar los orificios ciegos 108) en forma de tronco de cono y con sección de forma triangular, teniendo el lado del triángulo equilátero una dimensión de evolución desde 30  $\mu\text{m}$  a 40  $\mu\text{m}$  entre la altura y la parte baja del orificio. Los orificios ciegos 108 se realizan sobre una profundidad igual a aproximadamente 200  $\mu\text{m}$ , y están separados unos de otros por una distancia igual a aproximadamente 200  $\mu\text{m}$ . De manera general, la separación se elegirá en función de la calidad del semiconductor que constituye el substrato: ventajosamente será inferior a 2 veces el valor de la longitud de difusión de los portadores minoritarios.

Una primera máscara, que solamente deja al descubierto los emplazamientos de los dedos de colecta 112 destinados a ponerse en contacto con las porciones de semiconductor 110, se aplica a continuación contra la cara trasera 106, y la carga n+ se inyecta en los orificios ciegos 108 para formar las porciones de semiconductor 110 que forman el emisor de la célula fotovoltaica 100. Esta máscara tiene una cierta altura, por ejemplo es igual a alrededor de 20  $\mu\text{m}$ , para formar igualmente los primeros dedos de colecta 112.

La primera máscara se retira y a continuación se aplica, contra la cara trasera 106, una segunda máscara que permite realizar los segundos dedos de colecta 114 a partir de la carga de silicio p+.

Según la naturaleza del polímero portador utilizado, la célula 100 se somete a una etapa de eliminación del ligante cuya duración varía entre aproximadamente 12 horas y 36 horas, preferentemente comprendida entre aproximadamente 18 horas y 30 horas, a una temperatura comprendida entre alrededor de 300 °C y 600 °C, con preferencia comprendida entre alrededor de 400 °C a 500 °C. En el ejemplo descrito en la presente memoria, la etapa de eliminación del ligante se realiza en un horno resistivo durante aproximadamente 24 horas, a una temperatura igual a aproximadamente 450 °C.

La estructura obtenida a la terminación de la etapa de eliminación del ligante, se somete a una etapa de sinterización, cuya duración varía entre alrededor de 1 hora y 8 horas, preferentemente entre alrededor de 3 horas y 6 horas, a una temperatura comprendida entre alrededor de 1.000 °C y 1.350 °C, con preferencia comprendida entre alrededor de 1.200 °C y 1.300 °C. En el ejemplo descrito en la presente memoria, la etapa de sinterización se realiza durante alrededor de 4 horas a 1.300 °C.

Estas etapas de eliminación del ligante y/o de sinterización, se realizan preferentemente en atmósfera reductora, con preferencia bajo hidrógeno o argón hidrogenado para permitir la hidrogenación en el núcleo de silicio de la célula fotovoltaica 100.

## REIVINDICACIONES

- 5 1.- Célula fotovoltaica (100) que incluye un substrato (102) a base de semiconductor de un primer tipo de conductividad que incluye dos caras principales (104, 106) paralelas entre sí, comprendiendo el substrato (102) una pluralidad de orificios ciegos (108) cuyas aberturas están dispuestas a nivel de una sola (106) de las dos caras principales, estando los orificios ciegos (108) rellenos con un semiconductor (110) de un segundo tipo de conductividad opuesta al primer tipo de conductividad, que forma el emisor de la célula fotovoltaica (100), formando el substrato (102) la base de la célula fotovoltaica (100), caracterizada porque la célula fotovoltaica (100) incorpora además, sobre la cara principal (106) del substrato (102) que incluye las aberturas de los orificios ciegos (108), primeros dedos de colecta (112) a base de al menos un semiconductor del segundo tipo de conductividad, en contacto con el emisor (110) de la célula fotovoltaica (100), y segundos dedos de colecta (114) a base de al menos un semiconductor del primer tipo de conductividad en contacto con el substrato (102) e interdigitados con los primeros dedos de colecta (112).
- 10 2.- Célula fotovoltaica (100) según la reivindicación 1, en la que cada orificio ciego (108) incluye un eje de simetría central perpendicular a las dos caras principales (104, 106) del substrato (102).
- 15 3.- Célula fotovoltaica (100) según una de las reivindicaciones anteriores, en la que cada orificio ciego (108) incluye, en un plano que pasa por la cara principal (106) del substrato (102) que comprende las aberturas de los orificios ciegos (108), una sección de superficie superior a la superficie de la pared de fondo de dicho orificio ciego (108).
- 20 4.- Célula fotovoltaica (100) según la reivindicación 3, en la que, por cada orificio ciego (108), la relación entre la superficie de la sección de dicho orificio ciego (108) a nivel del plano que pasa por la cara principal (106) del substrato (102) que comprende las aberturas y la superficie de la pared de fondo de dicho orificio ciego (108), está comprendida entre 1 y 3.
- 5.- Célula fotovoltaica (100) según una de las reivindicaciones anteriores, en la que cada orificio ciego (108) tiene una forma cónica u ojival truncada.
- 25 6.- Célula fotovoltaica (100) según una de las reivindicaciones anteriores, en la que cada orificio ciego (108) incluye, en un plano paralelo a una de las caras principales (104, 106) del substrato (102), una sección de forma poligonal.
- 7.- Célula fotovoltaica (100) según una de las reivindicaciones anteriores, en la que al menos una de las caras principales (104, 106) del substrato (102) está estructurada.
- 30 8.- Célula fotovoltaica (100) según una de las reivindicaciones anteriores, en la que la concentración de átomos dopantes por centímetro cúbico en el semiconductor (110) del segundo tipo de conductividad del emisor está comprendida entre  $10^{16}$  y  $10^{21}$ , o comprendida entre  $10^{18}$  y  $10^{20}$ , y la concentración de átomos dopantes por centímetro cúbico en el semiconductor del primer tipo de conductividad del substrato (102) está comprendida entre  $10^{15}$  y  $10^{18}$ , o comprendida entre  $10^{16}$  y  $10^{17}$ .
- 35 9.- Célula fotovoltaica (100) según una de las reivindicaciones anteriores, en la que el espesor del substrato (102) es inferior a  $300 \mu\text{m}$  y la profundidad de cada orificio ciego (108) es superior a la mitad del espesor del substrato (102).
- 10.- Célula fotovoltaica según una de las reivindicaciones anteriores, en la que las concentraciones de átomos dopantes por centímetro cúbico en los semiconductores del primer tipo de conductividad de los segundos dedos de colecta (114) y del segundo tipo de conductividad de los primeros dedos de colecta (112), está comprendida entre  $10^{19}$  y  $10^{21}$ .
- 40 11.- Procedimiento de realización de una célula fotovoltaica (100) que incluye al menos las etapas de:
- a) realización de un substrato (102) a base de semiconductor de un primer tipo de conductividad, que incluye dos caras principales (104, 106) paralelas cada una con la otra;
- b) realización de una pluralidad de orificios ciegos (108) en el substrato (102), estando las aberturas de los orificios ciegos (108) dispuestas a nivel de una sola (106) de las dos caras principales;
- 45 c) relleno de los orificios ciegos (108) con un material a base de un semiconductor de un segundo tipo de conductividad, opuesta al primer tipo de conductividad, que forma el emisor (110) de la célula fotovoltaica (100),
- en el que la etapa c) de relleno realiza además, sobre la cara principal (106) del substrato (102) que incluye las aberturas de los orificios ciegos (108) y a través de una primera máscara dispuesta contra la citada cara (106) del substrato (102) que incluye las aberturas de los orificios ciegos (108), primeros dedos de colecta (112) a base de al menos un semiconductor del segundo tipo de conductividad en contacto con el emisor (110) de la célula (100), y que incluye además, tras la etapa c), la retirada de la primera máscara y la realización de segundos dedos de colecta (114) a base de al menos un semiconductor del primer tipo de conductividad en contacto con el substrato (102) e
- 50

interdigitados con los primeros dedos de colecta (112) mediante inyección a través de una segunda máscara dispuesta contra la citada cara (106) del sustrato (102) que incluye las aberturas de los orificios ciegos (108).

12.- Procedimiento de realización según la reivindicación 11, en el que la etapa a) se lleva a cabo mediante una inyección de un material a base de semiconductor de un primer tipo de conductividad en un molde.

5 13.- Procedimiento de realización según una de las reivindicaciones 11 ó 12, en el que el sustrato (102) y/o el emisor (110) y/o los dedos de colecta (112, 114) se realizan a partir de una mezcla de materiales a base de polvos de semiconductores y de polímeros, y el procedimiento incluye además, tras la etapa c) de rellenado, una etapa de eliminación de ligante de la mezcla realizada a una temperatura comprendida entre alrededor de 300 °C y 600 °C, durante un intervalo de tiempo comprendido entre alrededor de 12 horas y 36 horas, y una etapa de sinterización de los polvos obtenidos tras la eliminación del ligante realizada a una temperatura comprendida entre 1.000 °C y 1.350 °C, durante un intervalo de tiempo de entre 1 hora y 8 horas.

10

14.- Procedimiento de realización según la reivindicación 13, en el que la etapa de eliminación de ligante y/o la etapa de sinterización se realizan bajo atmósfera reductora.

15

20

25

30

35

40



