



(51) Clasificación Internacional de Patentes:

H01L 31/052 (2006.01) H01L 31/032 (2006.01)  
H01L 31/06 (2012.01)

(21) Número de la solicitud internacional:

PCT/ES2011/000346

(22) Fecha de presentación internacional:

2 de diciembre de 2011 (02.12.2011)

(25) Idioma de presentación:

español

(26) Idioma de publicación:

español

(30) Datos relativos a la prioridad:

P201001538

3 de diciembre de 2010 (03.12.2010)

ES

(71) Solicitantes (para todos los Estados designados salvo US):

**UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID** [ES/ES]; Avda. Séneca, 2, E-28040 Madrid (ES).  
**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID** [ES/ES]; C/ Ramiro de Maeztu, 7, E-28040 Madrid (ES).

(72) Inventores; e

(75) Inventores/Solicitantes (para US solamente): **OLEA ARIZA, Javier** [ES/ES]; Facultad de Ciencias Físicas, Dpto. Física Aplicada III, Avda. Complutense, s/n, Ciudad Universitaria, E-28040 Madrid (ES). **PASTOR PASTOR,**

**David** [ES/ES]; Facultad de Ciencias Físicas, Dpto. Física Aplicada III, Avda. Complutense, s/n, Ciudad Universitaria, E-28040 Madrid (ES). **DEL PRADO MILLÁN, Álvaro** [ES/ES]; Facultad de Ciencias Físicas, Dpto. Física Aplicada III, Avda. Complutense, s/n, Ciudad Universitaria, E-28040 Madrid (ES). **MÁRTIL DE LA PLAZA, Ignacio** [ES/ES]; Facultad de Ciencias Físicas, Dpto. Física Aplicada III, Avda. Complutense, s/n, Ciudad Universitaria, E-28040 Madrid (ES). **GONZÁLEZ DÍAZ, Germán** [ES/ES]; Facultad de Ciencias Físicas, Dpto. Física Aplicada III, Avda. Complutense, s/n, Ciudad Universitaria, E-28040 Madrid (ES). **ANTOLÍN FERNÁNDEZ, Elisa** [ES/ES]; Instituto de Energía Solar - UPM, E.T.S.I. Telecomunicación, Ciudad Universitaria, E-28040 Madrid (ES). **MARTÍ VEGA, Antonio** [ES/ES]; Instituto de Energía Solar - UPM, E.T.S.I. Telecomunicación, Ciudad Universitaria, E-28040 Madrid (ES). **LUQUE LÓPEZ, Antonio** [ES/ES]; Instituto de Energía Solar - UPM, E.T.S.I. Telecomunicación, Ciudad Universitaria, E-28040 Madrid (ES).

(81) Estados designados (a menos que se indique otra cosa, para toda clase de protección nacional admisible): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH,

[Continúa en la página siguiente]

(54) Title: METHOD FOR MANUFACTURING A LATERAL INTERMEDIATE-BAND SOLAR CELL

(54) Título : MÉTODO PARA LA FABRICACIÓN DE UNA CÉLULA SOLAR LATERAL DE BANDA INTERMEDIA

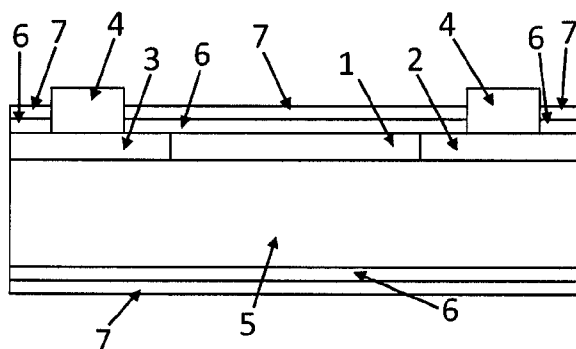


Figura 1

(57) Abstract: In order to manufacture an intermediate-band solar cell, it is necessary to connect the intermediate band material (1) with an n-type semiconductor (2) and another p-type semiconductor (3), which will act as emitters. Said emitters must have external contact (4). In comparison with the traditional design of superimposed layers, the present invention proposes a lateral configuration, the 3 different materials being arranged horizontally across a support substrate. Said configuration solves the problem of thermal instability of the B1 material manufactured by ion implantation and the effect of implantation tails.

(57) Resumen: Para fabricar una célula solar de banda intermedia es necesario conectar al material de banda intermedia (1) un semiconductor tipo n (2) y otro tipo p (3), que actuarían como emisores. Son dichos emisores los que deben ser contactados externamente (4). Frente al diseño tradicional de capas superpuestas, en esta patente se propone una configuración lateral, quedando los 3 materiales diferentes distribuidos de forma horizontal sobre un sustrato de soporte. Con esta configuración se resuelve el problema de la inestabilidad térmica del material de BI fabricado por implantación iónica y el efecto de las colas de la implantación.



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, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

**Publicada:**

- (84) **Estados designados** (a menos que se indique otra cosa, para toda clase de protección regional admisible):  
ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), euroasiática (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europea (AL, AT, BE,

- con informe de búsqueda internacional (Art. 21(3))
- antes de la expiración del plazo para modificar las reivindicaciones y para ser republicada si se reciben modificaciones (Regla 48.2(h))

## TÍTULO

Método para la fabricación de una célula solar lateral de banda intermedia

5

## SECTOR TÉCNICO

Células solares, industria fotovoltaica, energía solar.

## 10 ESTADO DE LA TÉCNICA

Las células solares de banda intermedia (BI) (ver patente WO0077829, "Célula solar fotovoltaica de semiconductor de banda intermedia") tienen una eficiencia máxima teórica mayor que la de las células solares tradicionales de una única unión. La base de funcionamiento son los materiales de BI. Estos materiales tienen una banda adicional de estados permitidos entre las tradicionales banda de valencia y banda de conducción, la BI. De esta forma, los materiales de BI son capaces de absorber fotones con energía menor a la de la banda prohibida del semiconductor. Mediante una transición desde la banda de valencia hasta la BI y otra transición desde la BI hasta la banda de conducción un portador puede pasar desde la banda de valencia a la banda de conducción absorbiendo fotones de energía menor a la de la banda prohibida. Si estas transiciones se añaden a las transiciones directas desde la banda de valencia hasta la banda de conducción (absorción de un fotón de energía igual o mayor a la de la banda prohibida), se obtiene un incremento de la fotocorriente generada. Si el material de BI (1) se conecta a un semiconductor tipo n (2) y a otro tipo p (3), contactando únicamente estos últimos desde el exterior (4), el material de BI permanece aislado. De esta manera se evita la pérdida de voltaje que se produciría si la BI fuera conectada directamente al circuito exterior, y así se maximiza la eficiencia de la célula solar.

Una posible vía para fabricar materiales de BI es la introducción de impurezas que actúen como centros profundos en un determinado semiconductor, siguiendo el método expuesto en la patente ES2276624 ("Método para la supresión de la recombinación no radiativa en materiales dopados con centros profundos"). Dicho método implica alcanzar concentraciones de impurezas muy altas, de en torno a  $6 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ . Debido a la alta concentración necesaria, generalmente superior al límite de solubilidad sólida del centro profundo en el semiconductor, el material resultante puede ser altamente inestable a temperaturas relativamente bajas. Por esta razón, se debe minimizar la carga térmica aportada al material tras su formación. En este sentido, no son aconsejables estrategias de diseño en las que el material tipo p, o el material tipo n, o ambos, se fabriquen después que el material de BI, y que requieran una temperatura de proceso relativamente alta en dicha fabricación.

Usando la técnica de implantación iónica se puede introducir el centro profundo requerido a la concentración necesaria en el semiconductor para fabricar un material de BI. Tras la implantación iónica, la estructura cristalina del semiconductor queda dañada, y es necesario un tratamiento térmico para reconstruirla. Debido a la alta concentración de impurezas requerida, suele ser necesaria una técnica fuera del equilibrio termodinámico para recuperar la estructura cristalina y al mismo tiempo superar el límite de solubilidad sólida del centro profundo en el semiconductor huésped. Actualmente, la técnica idónea es el recocido con láser de excímeros, como se describe en J. Olea et. al., Journal of Applied Physics 107, 103524 (2010). Un procedimiento para obtener un material de BI basado en silicio es la implantación de titanio en altas dosis, que actúa como centro profundo en silicio, y el posterior recocido con láser de excímeros (ver J. Olea et. al., Journal of Physics D: Applied Physics 42, 085110 (2009)).

Existen dos problemas fundamentales asociados al silicio implantado con titanio en altas dosis y recocido con láser pulsado como material de BI, que podrían ser comunes a todos los materiales de BI fabricados por implantación iónica y recocido láser. En primer lugar, debido a la alta

concentración de impurezas requerida, el material puede ser inestable, y procesos térmicos posteriores a su fabricación podrían deteriorarlo. Y por otro lado, las colas de la implantación son zonas en las que la concentración del centro profundo no es lo suficientemente alta como para formar una BI. El

5 método de fabricación que se propone en esta patente puede solucionar el primer problema y reducir o incluso eliminar los efectos del segundo.

## EXPLICACIÓN DE LA INVENCION

10 Esta patente proporciona una estrategia de diseño alternativa para las células solares de BI, diferente de la estructura en capas superpuestas de una célula solar tradicional (como se propone en la patente WO0077829), que puede conllevar numerosas ventajas, como por ejemplo la posibilidad de obtener el material de BI en la última fase de fabricación, evitando así una

15 posible carga térmica posterior sobre el mismo.

Como puede observarse en la figura 1, la estrategia de fabricación consiste en disponer los tres materiales, el material de BI (1), el semiconductor tipo n (2) y el semiconductor tipo p (3), en una configuración lateral sobre un sustrato determinado (5), formando una capa superficial

20 heterogénea, en vez de disponerlos superpuestos verticalmente como en una estructura tradicional. De esta forma el material de BI (1) no queda oculto por ninguno de los otros dos emisores (2), (3). Así, se podría diseñar un proceso en el que se fabricaran los tres materiales simultáneamente, o bien fabricar los tres materiales en fases distintos, en el orden deseado. En la estructura

25 tradicional de capas superpuestas, el orden de fabricación de los tres materiales viene impuesto por la disposición misma de las capas. Por otro lado, en una estructura alternativa, el sustrato podría incluso actuar como emisor tipo n (2) o tipo p (3), pudiendo entonces eliminarse ese tipo de semiconductor de la capa superficial (figura 2).

30 La estrategia tradicional de capas superpuestas obliga a fabricar al menos uno de los dos emisores después de la fabricación del material de BI. Si la inestabilidad térmica del material de BI es un inconveniente, la carga

térmica aportada en el proceso podría ser importante, y el material de BI se deterioraría. Con la estrategia expuesta en esta patente sería posible fabricar los semiconductores tipo n (2) y tipo p (3) antes que el material de BI (1), y a continuación el material de BI (1), o bien fabricar los 3 materiales en el mismo proceso, ya que están dispuestos en la misma capa.

En cuanto al pasivado de la superficie del material de BI (6), necesario para eliminar la recombinación superficial, debe realizarse en un proceso también a baja temperatura, por la misma razón. Es posible conseguir velocidades de recombinación superficial extremadamente bajas en procesos a bajas temperaturas (ver S. Dauwe et. al., Proceedings of 3rd World Conference on Photovoltaic Energy Conversion, Vol. A – C, 1395 – 1398, (2003)), quedando por tanto solventado el problema de la inestabilidad térmica.

Por otro lado, un defecto que pueden sufrir las células solares de BI basadas en la implantación iónica de centros profundos en altas dosis es el efecto de las colas de implantación. El efecto de estas colas aumenta debido a la canalización de los iones en la estructura cristalina del semiconductor durante la implantación. En la zona de las colas, la concentración de impurezas no sería la suficiente como para formar una BI, de tal forma que se podría producir una recombinación no radiativa muy alta, fenómeno muy pernicioso para los dispositivos fotovoltaicos. Para reducir el efecto de las colas de implantación, se puede realizar un proceso de preamorfización implantando Si. Si la dosis de implantación es lo suficientemente alta, una capa superficial será amorfizada, destruyendo los canales de la estructura cristalina y reduciendo por tanto el fenómeno de canalización en la implantación del elemento de interés, en este caso un centro profundo (ver M. Kase et. al., Applied Physics Letters 56, 1231 – 1232 (1990)).

Además, al realizar la preamorfización con Si no existe contaminación en el proceso. Posteriormente, la red cristalina es recuperada mediante un proceso de recocido láser. Este recocido láser también reduce el efecto de las colas de la implantación, ya que produce perfiles de concentración de impurezas muy abruptos.

La estrategia de diseño que se propone en esta patente es novedosa en varios aspectos:

- Se diferencia de otras patentes basadas en materiales de BI en que tiene una configuración lateral, es decir, que el material de BI (1) y los semiconductores tipo n (2) y tipo p (3) se fabrican en la misma capa. Esto permite fabricar el material de BI (1) en último lugar, pudiendo minimizar la carga térmica aplicada, solucionando así el problema de la inestabilidad térmica.
- Para obtener el material de BI (1) se usa la implantación iónica con alta dosis de un centro profundo y el recocido con láser pulsado de excímeros. En general, los centros profundos son siempre evitados en la fabricación de células solares.
- Para reducir el efecto de las colas de la implantación iónica se realiza un proceso de preamorfización del sustrato, reduciendo así el fenómeno de canalización. Además, la configuración lateral propuesta favorece la reducción de estas colas, ya que al poder fabricar el material de BI (1) de forma independiente, se pueden usar los parámetros de proceso óptimos, tanto en las implantaciones (preamorfización e implantación del centro profundo) como en el recocido láser.
- En el documento ES2324013A1 también se propone un método para la fabricación de una célula solar de banda intermedia por implantación iónica, pero la invención que proponemos en el presente documento se diferencia del anterior en varios aspectos fundamentales. En primer lugar, la estructura de los dispositivos finales son completamente diferentes, y la receta de fabricación también. Y por otro lado, la invención propuesta en el documento ES2324013A1 no soluciona ni el problema de inestabilidad térmica del material de banda intermedia ni el efecto perjudicial de las colas de la implantación iónica en el dispositivo final, que sin duda son determinantes para el funcionamiento del dispositivo.
- Se usa un proceso de pasivado a baja temperatura para evitar inducir una carga térmica elevada en el material de BI (1).
- Si se fabrica el material de BI (1) en último lugar, y no se realizan procesos térmicos importantes a posteriori (como se ha propuesto, para evitar la posible inestabilidad del material), también se reduce el efecto de

las colas de implantación: debido a que es necesaria una alta concentración del centro profundo para formar el material de BI (1), un proceso térmico podría producir una difusión de dicho centro, aumentando la extensión de las colas. Por lo tanto, la configuración lateral por si misma también es efectiva para reducir el efecto de las colas de la implantación.

- La célula solar propuesta puede funcionar como célula solar con contactos traseros, ya que por definición el material de BI (1) no debe ser contactado eléctricamente para maximizar la tensión de circuito abierto, quedando éste descubierto. Por lo tanto cualquiera de las dos caras del dispositivo podría ser orientadas hacia la fuente de luz.
- La introducción del material de BI (1) en el diseño plantea una diferencia conceptual sustancial con las células solares de contacto trasero (ver por ejemplo la patente US4927770, "Method of fabricating back surface point contact solar cells"), que es el aprovechamiento de fotones con energía menor a la de la banda prohibida del semiconductor huésped. Si la cara con material de BI (1) es orientada hacia la fuente de luz, los fotones incidentes con energía menor a la de la banda prohibida del semiconductor base serían absorbidos al incidir en el dispositivo. Si la cara del sustrato es la que se orienta hacia la fuente de luz, los fotones con energía menor a la de la banda prohibida del semiconductor atravesarían toda la estructura, llegando hasta el material de BI (1), y siendo absorbidos en la cara trasera.

## DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

25

Figura 1. Ilustración que representa una célula solar lateral de BI con el material de BI (1) y los semiconductores tipo n (2) y tipo p (3) en la misma capa.

Figura 2. Ilustración que representa una célula solar lateral de BI con el material de BI (1) y el semiconductor tipo p (3) en la misma capa, sobre un sustrato semiconductor tipo n (2).

Figura 3. Ilustración del proceso de fabricación de una célula solar lateral de banda intermedia. Estructura tras el texturizado y la implantación de la impureza tipo n (2).

Figura 4. Ilustración del proceso de fabricación de una célula solar lateral de banda intermedia. Estructura tras la implantación de la impureza tipo p (3).

Figura 5. Ilustración del proceso de fabricación de una célula solar lateral de banda intermedia. Estructura tras la implantación del material de BI (1).

Figura 6. Ilustración del proceso de fabricación de una célula solar lateral de banda intermedia. Estructura tras el depósito de la capa pasivante (6) y de la capa anti-reflectante (7).

Figura 7. Ilustración del proceso de fabricación de una célula solar lateral de banda intermedia. Estructura tras la fabricación de los contactos (4).

### Exposición detallada de un modo de realización de la invención

A continuación se expondrá un procedimiento detallado para la fabricación de una célula solar lateral de BI sobre una oblea de silicio tipo n, que pretende ser ilustrativo, y nunca limitativo del alcance de la presente invención:

1. Se parte de una oblea (5) de silicio cristalino tipo n de alta resistividad ( $\rho \approx 200 \text{ } \Omega\text{cm}$ , FZ) crecido en la dirección 100. La alta resistividad es necesaria para disminuir la absorción por portadores libres, ya que se busca que los fotones con energía menor a la de la banda prohibida del silicio sean absorbidos en el material de BI.
2. Se realiza una limpieza de la oblea, consistente en un baño en acetona seguido de un baño en metanol y secado con nitrógeno para limpiar la superficie de compuestos orgánicos.
3. Mediante un ataque químico en una disolución al 2% de NaOH en 2-propanol a temperatura ambiente durante una hora se texturiza una de las superficies de la oblea (figura 3). Para ello se introducen 2 obleas con las caras enfrentadas en la disolución, con el fin de que solo las caras opuestas sean atacadas. El texturizado proporcionará un atrapamiento de luz que incrementará la absorción.

4. Mediante un proceso de fotolitografía se definirán las máscaras para las marcas de alineamiento. Dichas marcas de alineamiento irán en la cara no texturizada. En este paso, la cara texturizada se protegerá con resina fotosensible para que no sea atacada en el proceso de creación de las marcas de alineamiento.
5. Se realiza un ataque en una disolución de  $\text{HF:HNO}_3:\text{H}_2\text{O}$  1:1:1 a temperatura ambiente durante 3 minutos para crear las marcas de alineamiento.
6. Se realiza una limpieza de la oblea, consistente en un baño en acetona seguido de un baño en metanol y secado con nitrógeno para eliminar de la superficie la resina fotosensible del proceso de fotolitografía.
7. Mediante un proceso de fotolitografía se define la máscara (8) para la implantación iónica de la impureza tipo n (2) (figura 3).
8. Se realiza la implantación iónica para producir el semiconductor tipo n (2).  
15 Se implanta  $^{31}\text{P}$  a 32 keV con una dosis de  $10^{13} \text{ cm}^{-2}$  y a continuación se implanta  $^{31}\text{P}$  a 110 keV con una dosis de  $4 \times 10^{13} \text{ cm}^{-2}$ . Ambas implantaciones se realizan con una inclinación de la oblea de  $7^\circ$  con respecto a la perpendicular del haz para reducir el efecto de la canalización.
- 20 9. Se realiza una limpieza como se detalla en el paso 6 para eliminar la máscara de implantación creada en el paso 7.
10. De nuevo, mediante fotolitografía se define la máscara (8) para la implantación iónica de la impureza tipo p (3) (figura 4).
11. Se realiza la implantación iónica para producir el semiconductor tipo p (3).  
25 Se implanta  $^{11}\text{B}$  a 20 keV con una dosis de  $10^{13} \text{ cm}^{-2}$  y a continuación se implanta  $^{11}\text{B}$  a 50 keV con una dosis de  $4 \times 10^{13} \text{ cm}^{-2}$ . Ambas implantaciones se realizan con una inclinación de la oblea de  $7^\circ$  con respecto a la perpendicular del haz para reducir el efecto de la canalización.
- 30 12. Se realiza una limpieza como se detalla en el paso 6 para eliminar la máscara de implantación creada en el paso 10.

13. Se realiza un proceso de recocido térmico rápido a 900 °C durante 20 segundos en atmósfera inerte para reconstruir la estructura cristalina en las zonas implantadas (2), (3), y para activar eléctricamente las impurezas de boro y fósforo.
- 5 14. Nuevamente, mediante fotolitografía se define una máscara (8) para la implantación iónica de la impureza profunda, en este caso titanio, con el que se formará el material de BI (1) (figura 5).
15. Se realiza una pre-implantación de silicio para producir una amorfización que sirva para reducir el fenómeno de canalización en la implantación de titanio. Se implanta  $^{28}\text{Si}$  a 170 keV con una dosis de  $5 \times 10^{15} \text{ cm}^{-2}$  con una inclinación de la oblea de 7° con respecto a la perpendicular del haz para reducir el efecto de la canalización en la implantación de Si.
- 10 16. Se realiza un proceso de implantación de titano para fabricar el material de BI (1). Primeramente se implanta  $^{48}\text{Ti}$  a 35 keV con una dosis de  $10^{15} \text{ cm}^{-2}$  y a continuación se implanta  $^{48}\text{Ti}$  a 150 keV con una dosis de  $4 \times 10^{15} \text{ cm}^{-2}$ . Ambas implantaciones se realizan con una inclinación de la oblea de 7° con respecto a la perpendicular del haz para reducir el efecto de la canalización.
- 15 17. Se realiza una limpieza como se detalla en el paso 6 para eliminar la máscara de implantación creada en el paso 14.
- 20 18. Se realiza un recocido a 450 °C durante 30 minutos para obtener una intercara plana entre el sustrato y la capa superficial amorfizada en la implantación. De esta forma se conseguirá una mejor recuperación de la estructura cristalina en el recocido láser posterior.
- 25 19. Se realiza un recocido en toda la oblea, en la cara implantada, con un láser de excímeros de KrF (248 nm) con un pulso con una duración de 20 ns con una densidad de energía de  $1.8 \text{ J/cm}^2$ . Este paso se usa para reconstruir la estructura cristalina en la zona implantada con titanio y producir el material de BI.
- 30 20. Se realiza un depósito en ambas caras de la oblea, de silicio amorfo hidrogenado de alta calidad (6), mediante un depósito químico en fase de vapor asistido por plasma de resonancia ciclotrónica de electrones a 200

°C. Este proceso pasiva la superficie de las dos caras de la oblea (figura 6).

21. Mediante un depósito químico en fase de vapor asistido por plasma de resonancia ciclotrónica de electrones a 200 °C se deposita, sobre la capa de silicio amorfo hidrogenado, una capa de oxinitruro de silicio (7), que servirá como capa antirreflectante (figura 6).
22. Se realiza un proceso de fotolitografía para definir una máscara que descubra las zonas a contactar eléctricamente en los semiconductores tipo n (2) y tipo p (3).
23. Se realiza un ataque seco mediante un plasma reactivo usando como precursor  $\text{SF}_6$  a temperatura ambiente. Este ataque elimina la capa de oxinitruro (7) y la capa de silicio amorfo hidrogenado (6) en las zonas a contactar.
24. Se realiza una evaporación de aluminio en toda la oblea, de tal forma que se contacten los semiconductores tipo n (2) y tipo p (3) a través de las aberturas realizadas en el paso anterior (4).
25. Mediante un proceso de reflow, el resto de resina fotosensible es eliminada, levantando parte del depósito de aluminio previo, y dejando tan solo aluminio en las aberturas (4), contactando de forma separada los semiconductores tipo n (2) y tipo p (3) (figura 7), quedando terminado el dispositivo.

## REIVINDICACIONES

1. Procedimiento para la fabricación de una célula solar de BI caracterizado porque comprende, al menos, las siguientes etapas:
  - 5           - una primera etapa de preamorfización de la capa que soportará el material de BI (1);
  - una segunda etapa de fabricación del material de BI (1) por implantación iónica de un centro profundo;
  - 10       - una tercera etapa de recocido láser;
  - una cuarta etapa de pasivado de ambas caras de la célula (6);
  - una quinta etapa de creación de una capa antirreflectante (7) en ambas caras de la célula;y porque el material de BI (1), el material del semiconductor tipo n (2) y el  
15   material semiconductor tipo p (3) se disponen en una configuración lateral sobre un sustrato de soporte (5).
2. Procedimiento para la fabricación de una célula solar de BI según la reivindicación 1 caracterizado porque el sustrato (5) es un material  
20   aislante o semiaislante.
3. Procedimiento para la fabricación de una célula solar de BI según la reivindicación 1 caracterizado porque el sustrato es un semiconductor tipo n (2) o tipo p (3).
- 25   4. Procedimiento para la fabricación de una célula solar de BI según las reivindicaciones 1 y 3 caracterizado porque el material del semiconductor tipo n (2) y el material de BI (1) se disponen en una configuración horizontal sobre un sustrato semiconductor tipo p (3).
- 30   5. Procedimiento para la fabricación de una célula solar de BI según las reivindicaciones 1 y 3 caracterizado porque el material del semiconductor

tipo p (3) y el material de BI (1) se disponen en una configuración horizontal sobre un sustrato semiconductor tipo n (2).

- 5 6. Procedimiento para la fabricación de una célula solar de BI, según la reivindicación 1, caracterizado porque el pasivado de ambas caras de la célula se realiza con silicio amorfo hidrogenado de alta calidad.
- 10 7. Procedimiento para la fabricación de una célula solar de BI, según las reivindicaciones 1 y 6, caracterizado porque el pasivado de ambas caras de la célula se realiza mediante un depósito químico de silicio amorfo hidrogenado de alta calidad en fase de vapor asistido por plasma de resonancia ciclotrónica de electrones a baja temperatura.
- 15 8. Procedimiento para la fabricación de una célula solar de BI, según las reivindicaciones 1, 6 y 7, caracterizado porque el pasivado de ambas caras de la célula se realiza a temperaturas inferiores a 200 °C.
- 20 9. Procedimiento para la fabricación de una célula solar de BI, según la reivindicación 1 caracterizado porque la capa antirreflectante creada en ambas caras de la célula es de oxinitruro de silicio.
- 25 10. Procedimiento para la fabricación de una célula solar de BI, según las reivindicaciones 1 y 9, caracterizado porque la capa antirreflectante creada en ambas caras de la célula se realiza mediante un depósito químico en fase de vapor asistido por plasma de resonancia ciclotrónica de electrones a baja temperatura.
- 30 11. Procedimiento para la fabricación de una célula solar de BI, según las reivindicaciones 1, 9 y 10, caracterizado porque el depósito de la capa antirreflectante en ambas caras de la célula se realiza a temperaturas inferiores a 200 °C.

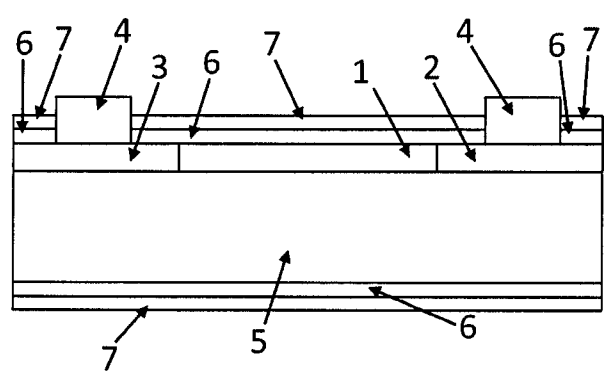


Figura 1

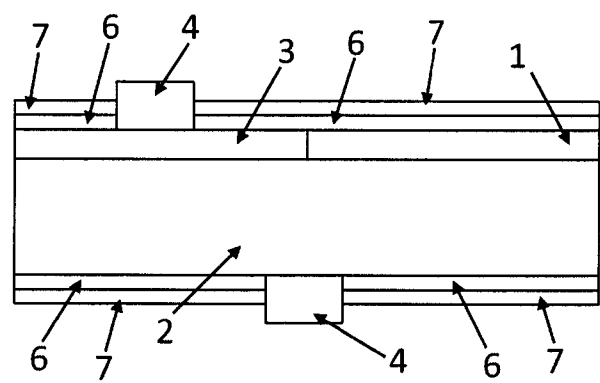


Figura 2

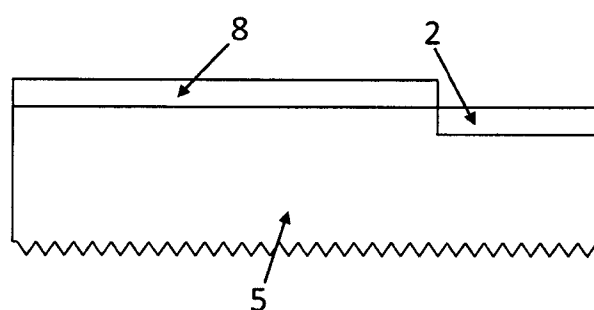


Figura 3

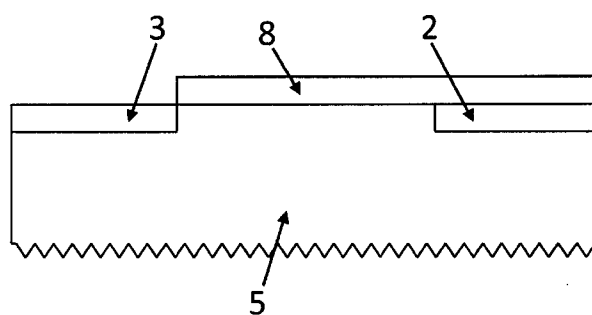


Figura 4

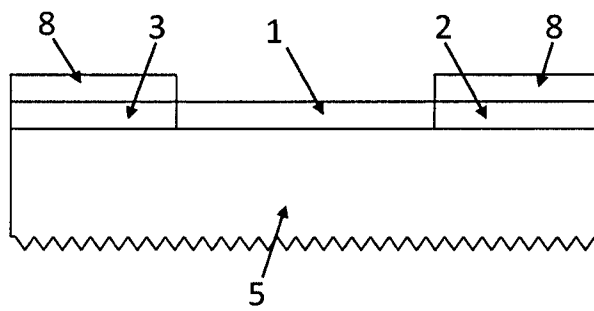


Figura 5

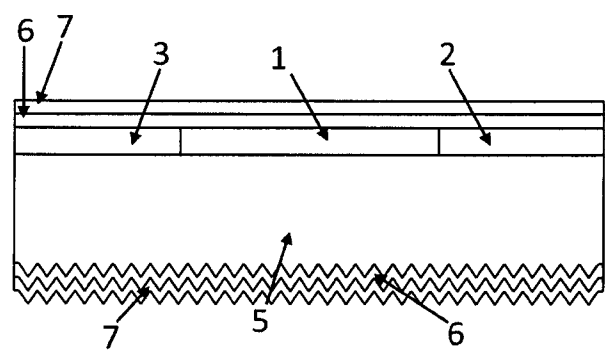


Figura 6

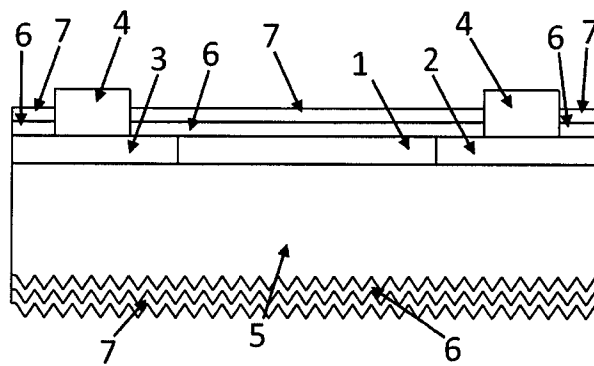


Figura 7

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/ES2011/000346

## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

**See extra sheet**

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 practicable, search terms used)

EPODOC, INVENES, NPL, XPESP,XPAIP, WPI

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

| Category* | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages                                                                                                                                                                                                      | Relevant to claim No. |
|-----------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|
| A         | ES 2149137 A1 (UNIV MADRID POLITECNICA ET AL) 16.10.2000 , Abstract; column 3, line 54- column 4, line 53                                                                                                                                                                               | 1-11                  |
| A         | 01.11.2010, OLEA J; PASTOR D; MARTIL I; GONZALEZ-DIAZ G. thermal stability of intermediate band behavior in Ti implanted Si ,solar energy materials and solar cells, -20101101 - ELSEVIER SCIENCE PUBLISHERS, Amsterdam, nl pd 01.11.2010. vol. 94, nr 11 pg. 1907-1911. ISSN 0927-0248 | 1-11                  |

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.☒ See patent family annex.

|                                                                                                                                                                         |                                                                                                                                                                                                                                              |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| * Special categories of cited documents:                                                                                                                                | "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                                          |
| "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) | "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                                                                 |
| "O" document referring to an oral disclosure use, exhibition, or other means.                                                                                           | "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 documents , such combination being obvious to a person skilled in the art |
| "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed                                                                  | "&" document member of the same patent family                                                                                                                                                                                                |

Date of the actual completion of the international search

19/04/2012

Date of mailing of the international search report

(25/04/2012)

Name and mailing address of the ISA/

OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS

Paseo de la Castellana, 75 - 28071 Madrid (España)

Facsimile No.: 91 349 53 04

Authorized officer

L. García Aparicio

Telephone No. 91 3493057

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/ES2011/000346

| C (continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                       |
|-------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|
| Category *                                            | Citation of documents, with indication, where appropriate, of the relevant passages                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | Relevant to claim No. |
| A                                                     | 07.06.2009, MARTI A; ANTOLIN E; LINARES P G; CANOVAS E; FUERTES MARRON D; TABLERO C; MENDES M; MELLOR A; TOBIAS I; LEVY M Y; HERNANDEZ E; LUQUE A; FARMER C D; STANLEY C R; CAMPION R P; HALL J L; NOVIKOV S V; FOXON C T; SCHEER R; MARSEN B; SCHOCK H W; PICAULT M; CHAIX C. IBPOWER: Intermediate band materials and solar cells for photovoltaics with high efficiency and reduced cost. Photovoltaic Specialists Conference (PVSC), 2009 34th IEEE, 07.06.2009 IEEE, Piscataway, NJ, USA. PG2486 – 2491. ISBN 978-1-4244-2949-3 ; ISBN 1-4244-2949-8 | 1-11                  |
| A                                                     | 01.09.2009, GONZALEZ-DIAZ G; OLEA J; MARTIL I; PASTOR D; MARTI A; ANTOLIN E; LUQUE A. Intermediate band mobility in heavily titanium-doped silicon layers. SOLAR ENERGY MATERIALS AND SOLAR CELLS, 2009090. ELSEVIER SCIENCE PUBLISHERS, AMSTERDAM, NL. Pub 01.09.2009. Vol. 93. Nr. 9, pg. 1668-1673. ISSN 0927-0248                                                                                                                                                                                                                                     | 1-11                  |
| A                                                     | 30.08.2008, CANOVAS E; MARTI A; LOPEZ N; ANTOLIN E; LINARES P G; FARMER C D; STANLEY C R; LUQUE A. Application of the photoreflectance technique to the characterization of quantum dot intermediate band materials for solar cells. THIN SOLID FILMS, 20080830 .ELSEVIER-SEQUOIA S.A. LAUSANNE, CH. Pub 30.08.2008. Vol 516. Nr. 20. Pg 6943-6947. doi:10.1016/j.tsf.2007.12.038                                                                                                                                                                         | 1-11                  |

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/ES2011/000346

Information on patent family members

| Patent document cited<br>in the search report | Publication<br>date | Patent family<br>member(s) | Publication<br>date |
|-----------------------------------------------|---------------------|----------------------------|---------------------|
| ES2149137 AB                                  | 16.10.2000          | WO0077829 A                | 21.12.2000          |
|                                               |                     | EP1130657 A                | 05.09.2001          |
|                                               |                     | EP20000936909              | 09.06.2000          |
|                                               |                     | US6444897 B                | 03.09.2002          |
| -----                                         | -----               | -----                      | -----               |

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/ES2011/000346

## CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

*H01L31/052* (2006.01)

*H01L31/06* (2012.01)

*H01L31/032* (2006.01)

# INFORME DE BÚSQUEDA INTERNACIONAL

Solicitud internacional nº

PCT/ES2011/000346

## A. CLASIFICACIÓN DEL OBJETO DE LA SOLICITUD

### Ver Hoja Adicional

De acuerdo con la Clasificación Internacional de Patentes (CIP) o según la clasificación nacional y CIP.

## B. SECTORES COMPRENDIDOS POR LA BÚSQUEDA

Documentación mínima buscada (sistema de clasificación seguido de los símbolos de clasificación)

H01L

Otra documentación consultada, además de la documentación mínima, en la medida en que tales documentos formen parte de los sectores comprendidos por la búsqueda

Bases de datos electrónicas consultadas durante la búsqueda internacional (nombre de la base de datos y, si es posible, términos de búsqueda utilizados)

EPODOC, INVENES, NPL, XPESP, XPAIP, WPI

## C. DOCUMENTOS CONSIDERADOS RELEVANTES

| Categoría* | Documentos citados, con indicación, si procede, de las partes relevantes                                                                                                                                                                                                                | Relevante para las reivindicaciones nº |
|------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------|
| A          | ES 2149137 A1 (UNIV MADRID POLITECNICA ET AL) 16.10.2000 , Resumen; Columna 3, línea 54- columna 4, línea 53                                                                                                                                                                            | 1-11                                   |
| A          | 01.11.2010, OLEA J; PASTOR D; MARTIL I; GONZALEZ-DIAZ G. thermal stability of intermediate band behavior in Ti implanted Si ,solar energy materials and solar cells, -20101101 - ELSEVIER SCIENCE PUBLISHERS, Amsterdam, nl pd 01.11.2010. vol. 94, nr 11 pg. 1907-1911. ISSN 0927-0248 | 1-11                                   |

☒ En la continuación del recuadro C se relacionan otros documentos☒ Los documentos de familias de patentes se indican en el anexo

\* Categorías especiales de documentos citados:

"A" documento que define el estado general de la técnica no considerado como particularmente relevante.

"E" solicitud de patente o patente anterior pero publicada en la fecha de presentación internacional o en fecha posterior.

"L" documento que puede plantear dudas sobre una reivindicación de prioridad o que se cita para determinar la fecha de publicación de otra cita o por una razón especial (como la indicada).

"O" documento que se refiere a una divulgación oral, a una utilización, a una exposición o a cualquier otro medio.

"P" documento publicado antes de la fecha de presentación internacional pero con posterioridad a la fecha de prioridad reivindicada.

"T" documento ulterior publicado con posterioridad a la fecha de presentación internacional o de prioridad que no pertenece al estado de la técnica pertinente pero que se cita por permitir la comprensión del principio o teoría que constituye la base de la invención.

"X" documento particularmente relevante; la invención reivindicada no puede considerarse nueva o que implique una actividad inventiva por referencia al documento aisladamente considerado.

"Y" documento particularmente relevante; la invención reivindicada no puede considerarse que implique una actividad inventiva cuando el documento se asocia a otro u otros documentos de la misma naturaleza, cuya combinación resulta evidente para un experto en la materia.

"&amp;" documento que forma parte de la misma familia de patentes.

Fecha en que se ha concluido efectivamente la búsqueda internacional.  
19/04/2012Fecha de expedición del informe de búsqueda internacional.  
N 25 de abril de 2012 (25/04/2012)Nombre y dirección postal de la Administración encargada de la búsqueda internacional  
OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS  
Paseo de la Castellana, 75 - 28071 Madrid (España)  
Nº de fax: 91 349 53 04Funcionario autorizado  
L. García Aparicio

Nº de teléfono 91 3493057

# INFORME DE BÚSQUEDA INTERNACIONAL

Solicitud internacional nº

PCT/ES2011/000346

| C (Continuación). |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | DOCUMENTOS CONSIDERADOS RELEVANTES     |
|-------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------|
| Categoría *       | Documentos citados, con indicación, si procede, de las partes relevantes                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | Relevante para las reivindicaciones nº |
| A                 | 07.06.2009, MARTI A; ANTOLIN E; LINARES P G; CANOVAS E; FUERTES MARRON D; TABLERO C; MENDES M; MELLOR A; TOBIAS I; LEVY M Y; HERNANDEZ E; LUQUE A; FARMER C D; STANLEY C R; CAMPION R P; HALL J L; NOVIKOV S V; FOXON C T; SCHEER R; MARSEN B; SCHOCK H W; PICAULT M; CHAIX C. IBPOWER: Intermediate band materials and solar cells for photovoltaics with high efficiency and reduced cost. Photovoltaic Specialists Conference (PVSC), 2009 34th IEEE, 07.06.2009 IEEE, Piscataway, NJ, USA. PG2486 – 2491. ISBN 978-1-4244-2949-3 ; ISBN 1-4244-2949-8 | 1-11                                   |
| A                 | 01.09.2009, GONZALEZ-DIAZ G; OLEA J; MARTIL I; PASTOR D; MARTI A; ANTOLIN E; LUQUE A. Intermediate band mobility in heavily titanium-doped silicon layers. SOLAR ENERGY MATERIALS AND SOLAR CELLS, 2009090. ELSEVIER SCIENCE PUBLISHERS, AMSTERDAM, NL. Pub 01.09.2009. Vol. 93. Nr. 9, pg. 1668-1673. ISSN 0927-0248                                                                                                                                                                                                                                     | 1-11                                   |
| A                 | 30.08.2008, CANOVAS E; MARTI A; LOPEZ N; ANTOLIN E; LINARES P G; FARMER C D; STANLEY C R; LUQUE A. Application of the photorefectance technique to the characterization of quantum dot intermediate band materials for solar cells. THIN SOLID FILMS, 20080830 .ELSEVIER-SEQUOIA S.A. LAUSANNE, CH. Pub 30.08.2008. Vol 516. Nr. 20. Pg 6943-6947. doi:10.1016/j.tsf.2007.12.038                                                                                                                                                                          | 1-11                                   |

# INFORME DE BÚSQUEDA INTERNACIONAL

Solicitud internacional nº

Informaciones relativas a los miembros de familias de patentes

PCT/ES2011/000346

| Documento de patente citado<br>en el informe de búsqueda | Fecha de<br>Publicación | Miembro(s) de la<br>familia de patentes | Fecha de<br>Publicación |
|----------------------------------------------------------|-------------------------|-----------------------------------------|-------------------------|
| ES2149137 AB                                             | 16.10.2000              | WO0077829 A                             | 21.12.2000              |
|                                                          |                         | EP1130657 A                             | 05.09.2001              |
|                                                          |                         | EP20000936909                           | 09.06.2000              |
|                                                          |                         | US6444897 B                             | 03.09.2002              |
| -----                                                    | -----                   | -----                                   | -----                   |

# INFORME DE BÚSQUEDA INTERNACIONAL

Solicitud internacional n°

PCT/ES2011/000346

## CLASIFICACIONES DE INVENCION

*H01L31/052* (2006.01)

*H01L31/06* (2012.01)

*H01L31/032* (2006.01)