

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 605 635**

51 Int. Cl.:

**H01L 31/072** (2012.01)

**H01L 31/0747** (2012.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **24.09.2013 PCT/EP2013/069880**

87 Fecha y número de publicación internacional: **27.03.2014 WO14044871**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **24.09.2013 E 13774098 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **07.09.2016 EP 2898542**

54 Título: **Célula fotovoltaica con heterounión y procedimiento de fabricación de dicha célula**

30 Prioridad:

**24.09.2012 FR 1258942**

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

**15.03.2017**

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

**BUCKLEY, JULIEN y  
MUR, PIERRE**

74 Agente/Representante:

**CURELL AGUILÁ, Mireia**

ES 2 605 635 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 con heterounión y procedimiento de fabricación de dicha célula.

### 5 **Campo de la invención**

La presente invención se refiere a una célula fotovoltaica con heterounión así como a un procedimiento de fabricación de dicha célula.

### 10 **Técnica anterior de la invención**

Una célula fotovoltaica con heterounión está formada por un apilamiento de capas que permite convertir directamente los fotones recibidos en una señal eléctrica.

15 Tal célula puede comprender un sustrato semiconductor dopado, preferentemente un sustrato de silicio cristalino dopado n o p y, a ambos lados de dicho sustrato, dos capas semiconductoras (por ejemplo de sílice amorfo o microcristalino) dopadas n y p, o fuertemente dopadas n+ y p+, una del mismo tipo eléctrico que el sustrato y la otra del tipo opuesto.

20 La heterounión está formada por el sustrato y la capa dopada del tipo opuesto, que forma el emisor de la célula fotovoltaica.

La célula está destinada a ser iluminada por la cara que comprende el emisor, denominada cara anterior. Dicha cara anterior está generalmente texturizada y recubierta de una capa antirreflejos a fin de minimizar la reflexión de la radiación solar.

25 En la cara posterior, la capa dopada del mismo tiempo que la del sustrato forma un campo eléctrico repulsivo posterior o (Back Surface Field" (BSF) según la terminología anglosajona.

30 Esta capa tiene como función alejar los portadores minoritarios del sustrato (es decir los electrones si el sustrato es dopado p y los orificios si el sustrato es dopado n), para evitar la recombinación con los contactos formados en la cara posterior.

35 La absorción de un fotón por la célula se traduce por la creación de un par electrón/orificio que, bajo el efecto del campo eléctrico intrínseco generado por la heterounión, se disocia de tal manera que los portadores minoritarios fotogenerados se dirigen hacia la región en la que estos portadores son mayoritarios.

40 Así, en un sustrato de tipo p, los electrones fotogenerados son dirigidos hacia el emisor de tipo n+ mientras que los orificios son dirigidos hacia la capa de campo repulsivo posterior de tipo p+; en un sustrato de tipo n, los orificios fotogenerados son dirigidos hacia el emisor de tipo p+ mientras que los electrones son dirigidos hacia la capa de campo repulsivo posterior de tipo n+.

45 Se forman unos contactos eléctricos en la cara anterior y la cara posterior de la célula para recoger dichos portadores fotogenerados.

Para evitar las recombinaciones en las interfaces y aumentar la eficacia de la conversión, es habitual intercalar una capa de pasivación entre el sustrato y cada una de las capas dopadas o fuertemente dopadas.

50 La capa de pasivación es generalmente un silicio amorfo intrínseco o un material dieléctrico, tal como un óxido o un nitruro.

Así, el documento FR 2 955 702 divulga una célula fotovoltaica en la que las capas de pasivación anterior y posterior son de óxido de silicio cristalino.

55 Sin embargo, las capas de pasivación constituyen una barrera de potencial para los portadores y son por lo tanto susceptibles de limitar el paso de los portadores fotogenerados hacia el emisor o la capa de campo repulsivo a nivel de los cuales deben ser recogidos.

60 El documento EP 2 385 561 describe una célula fotovoltaica con heterounión en la que las capas de pasivación permiten además el paso de los portadores por efecto túnel.

Tales capas de pasivación no permiten no obstante optimizar la recogida de los portadores al mismo tiempo del lado del emisor y del lado de la capa de campo repulsivo posterior.

65 La figura 1 es un esquema del diagrama de banda de una célula conforme al documento EP 2 385 561.

Debajo del diagrama se esquematiza la estructura de dicha célula, que comprende un sustrato 1 de silicio dopado n, dos capas de pasivación 2A y 2B de óxido de silicio (de fórmula general SiOx), comprendiendo el emisor E una capa 3A de silicio amorfo dopado p+ de manera gradual y comprendiendo el campo repulsivo BSF una capa 3B de silicio amorfo dopado n+.

5 La banda de conducción y la banda de valencia se designan respectivamente por los signos de referencia BC y BV.

Los electrones e- están esquematizados por unos discos oscuros mientras que los orificios h+ están representados por unos discos claros.

10 Como se puede observar en este diagrama, en el lado del emisor E, la altura de barrera es más grande para los electrones ( $\Phi_{Ee}$ ) que para los orificios ( $\Phi_{Eh}$ ), de manera que se favorece el paso de los orificios por efecto túnel a través de la capa de pasivación 2A hacia el colector de corriente (no representado) del emisor.

15 Sin embargo, en el lado de campo repulsivo BSF, la altura de barrera es también más grande para los electrones ( $\Phi_{Be}$ ) que para los orificios ( $\Phi_{Bh}$ ), de manera que se favorece el paso de los orificios hacia el colector de corriente (no representado) del campo repulsivo posterior. Ahora bien, a nivel del campo repulsivo posterior, lo que se busca de manera preferida es recoger los electrones.

20 Un objetivo de la invención es por lo tanto definir una elección óptima de materiales para las capas de pasivación.

### Breve descripción de la invención

25 Para este objetivo, se propone una célula fotovoltaica con heterounión que comprende un sustrato de un material semiconductor dopado, en la que:

30 - una primera cara principal de dicho sustrato está recubierta sucesivamente de una capa de pasivación, de una capa de un material semiconductor dopado del tipo opuesto al del sustrato, que forma el emisor de dicha célula, y de un electrodo,

- la segunda cara principal de dicho sustrato está recubierta sucesivamente de una capa de pasivación, de una capa de un material semiconductor dopado del mismo tipo que el sustrato, que forma un campo repulsivo para los portadores minoritarios del sustrato, y de un electrodo.

35 Según la invención:

40 - el material de la capa de pasivación en el lado de emisor se selecciona por presentar una barrera de potencial más baja para los portadores minoritarios fotogenerados que para los portadores mayoritarios del sustrato, a fin de favorecer el paso de dichos portadores minoritarios fotogenerados del sustrato hacia el emisor, con respecto al de los portadores mayoritarios, y

45 - el material de la capa de pasivación en el lado campo repulsivo se selecciona por presentar una barrera de potencial más baja para los portadores mayoritarios fotogenerados que para los portadores minoritarios del sustrato, a fin de favorecer el paso de los portadores mayoritarios fotogenerados del sustrato hacia la capa de campo repulsivo, con respecto al de los portadores minoritarios.

Ventajosamente, las capas que forman el emisor y el campo repulsivo son fuertemente dopadas.

50 Por "fuertemente dopadas" se entiende que la capa presenta un nivel de dopaje superior en al menos un orden de tamaño con respecto al nivel de dopaje del sustrato. Se habla entonces de dopaje n+ o p+ en caso de fuerte dopaje en lugar de n o p en caso de dopaje del mismo orden de tamaño que el del sustrato.

55 A título de ejemplo, una capa denominada "fuertemente dopada" puede presentar un dopaje con una concentración de dopantes superior a  $10^{17}$  at.cm<sup>3</sup>.

El sustrato puede presentar en particular una resistividad comprendida entre 0,5 y 10  $\Omega$ .cm.

60 Según una forma de ejecución de la invención, el sustrato es de silicio cristalino dopado de tipo n y las capas dopadas respectivamente de tipo p o p+ y de tipo n o n+ son de silicio amorfo o microcristalino.

En este caso, el material de la capa de pasivación en el lado de emisor se selecciona ventajosamente entre un silicato de hafnio nitrurado y un nitruro de silicio, y el material de la capa de pasivación en el lado de campo repulsivo se selecciona ventajosamente entre un óxido de silicio y un óxido de tantalio.

65 Según una forma de ejecución alternativa, el sustrato es de silicio cristalino dopado de tipo p y las capas dopadas respectivamente de tipo n o n+ y de tipo p o p+ son de silicio amorfo o microcristalino.

En este caso, el material de la capa de pasivación en el lado de emisor se selecciona ventajosamente entre un óxido de silicio y un óxido de tantalio, y el material de la capa de pasivación en el lado de campo repulsivo se selecciona ventajosamente entre un silicato de hafnio nitrurado y un nitruro de silicio.

5 Preferentemente, el grosor de dichas capas de pasivación está comprendido entre 0,1 nm y 5 nm y aún más preferentemente comprendido entre 0,1 nm y aproximadamente 1 nm.

10 Según una forma de realización particular de la invención, dicha célula comprende además, entre cada capa de pasivación y la capa de silicio amorfo o microcristalino dopado, una capa de silicio amorfo intrínseco.

De manera particularmente ventajosa, al menos una cara de dicha célula está texturizada.

15 Otro objeto de la invención se refiere a un procedimiento de fabricación de tal célula.

Dicho procedimiento comprende las etapas siguientes:

20 (a) formación, en la primera cara principal del sustrato, de una capa de pasivación de un material seleccionado por presentar una barrera de potencial más baja para los portadores minoritarios fotogenerados que para los portadores mayoritarios del sustrato, a fin de favorecer el paso de dichos portadores minoritarios fotogenerados del sustrato hacia el emisor, con respecto al de los portadores mayoritarios,

25 (b) formación, en la segunda cara principal de dicho sustrato, de una capa de pasivación de un material seleccionado por presentar una barrera de potencial más baja para los portadores mayoritarios fotogenerados que para los portadores minoritarios del sustrato, a fin de favorecer el paso de dichos portadores mayoritarios fotogenerados del sustrato hacia la capa de campo repulsivo, con respecto al de los portadores minoritarios.

30 Según una forma de realización de dicho procedimiento, el sustrato es de silicio cristalino dopado de tipo n y las capas dopadas respectivamente de tipo p o p+ y de tipo n o n+ son de silicio amorfo o microcristalino.

En este caso, la capa de pasivación en el lado de emisor puede ser de silicato de hafnio nitrurado, estando dicha capa ventajosamente formada por depósito, sobre la primera cara principal del sustrato, de una capa de silicato de hafnio seguida de la nitruración de dicha capa.

35 Por otra parte, la capa de pasivación en el lado campo repulsivo puede ser de óxido de silicio, estando dicha capa formada por oxidación por plasma del sustrato.

Según otra forma de realización del procedimiento, el sustrato es de silicio cristalino dopado de tipo p y las capas dopadas respectivamente de tipo n+ y de tipo p+ son de silicio amorfo o microcristalino.

40 En este caso, la capa de pasivación en el lado campo repulsivo (BSF) es ventajosamente de silicato de hafnio nitrurado, estando dicha capa formada por depósito, sobre la segunda cara principal del sustrato, de una capa de silicato de hafnio seguida de la nitruración de dicha capa.

45 Por otro lado, la capa de pasivación en el lado de emisor puede ser de óxido de silicio, estando dicha capa formada por oxidación por plasma del sustrato.

50 Preferentemente, el grosor de dichas capas de pasivación está comprendido entre 0,1 nm y 5 nm, y más preferentemente comprendido entre 0,1 y aproximadamente 1 nm.

### Breve descripción de los dibujos

Otras características y ventajas de la invención se pondrán de manifiesto a partir de la descripción detallada siguiente, haciendo referencia a los dibujos adjuntos en los que:

- 55 - la figura 1 es un esquema del diagrama de banda de una célula según la técnica anterior (EP 2 385 561),
- la figura 2 es un esquema de una célula fotovoltaica según una forma de realización de la invención,
- 60 - la figura 3 es un esquema del diagrama de banda de una célula según una forma de realización de la invención, siendo el sustrato de silicio dopado de tipo n,
- la figura 4 es un esquema del diagrama de banda de una célula que, al contrario de la invención, comprende unas capas de pasivación realizadas del mismo material en el lado del emisor y en el lado de la capa de campo repulsivo posterior, siendo el sustrato de silicio dopado de tipo n.

**Descripción detallada de las formas de realización de la invención**

La figura 2 es una vista en sección de una célula fotovoltaica según una forma de realización de la invención.

5 La célula comprende un sustrato 1 que es de un material semiconductor dopado, por ejemplo silicio cristalino dopado.

Alternativamente, dicho sustrato puede también ser de otro material semiconductor, por ejemplo Ge, InGaN, GaAs (lista no limitativa).

10 Ventajosamente, la cara de la célula destinada a recibir la radiación solar está texturizada a fin de minimizar las reflexiones.

15 En el ejemplo ilustrado en la figura 2, las dos caras de la célula son texturizadas, presentándose la textura en forma de pirámides adyacentes. Sin embargo, resulta evidente que ninguna o una sola de las caras podría ser texturizada, y que la textura podría presentarse en una forma diferente, sin por ello salirse del ámbito de la invención.

El emisor E de la célula está formado sobre una primera cara principal 1A de dicho sustrato.

20 Para este propósito, se recubre dicha cara 1A sucesivamente de una capa de pasivación 2A, de una capa 3A de material semiconductor dopado y fuertemente dopado del tipo opuesto al del sustrato 1, que forma con el sustrato 1 la heterounión, y de un electrodo 4A-.

25 La capa de pasivación 2A está formada directamente sobre la primera cara principal 1A del sustrato 1, sin que una capa de otro material esté intercalada entre el sustrato y dicha capa 2A.

La capa 2A es de un material dieléctrico, por lo tanto tiene por efecto pasivizar la cara 1A del sustrato 1.

30 A fin de asegurar una pasivación de buena calidad, se puede realizar previamente una oxidación y/o hidrogenación radicalar de la superficie del sustrato de silicio.

El material semiconductor de la capa 3A es ventajosamente silicio amorfo o microcristalino.

35 Dicho electrodo 4A es típicamente de óxido de indio y de estaño (ITO), que es transparente a la radiación solar.

Sobre el electrodo 4A se forma un colector de corriente 10A que se presenta, en la forma de realización ilustrada, en forma de un peine metálico.

40 De manera opcional, una capa 5A de silicio amorfo intrínseco (es decir no intencionalmente dopado) puede estar intercalada entre la capa de pasivación 2A y la capa dopada 3A.

Dicha capa 5A puede permitir mejorar la pasivación del lado de emisor, en complemento de la capa de pasivación 2A.

45 Por otro lado, la capa de campo repulsivo BSF está formada en la segunda cara principal 1B del sustrato.

50 Para este propósito, se recubre la segunda cara principal 1B del sustrato sucesivamente de una capa de pasivación 2B, de una capa 3B de un material semiconductor dopado o fuertemente dopado del mismo tipo que el sustrato, formando un campo repulsivo BSF para los portadores minoritarios del sustrato, y de un electrodo 4B.

La capa de pasivación 2B está formada directamente en la primera cara principal 1A del sustrato 1, sin que una capa de otro material esté intercalada entre el sustrato y dicha capa 2A.

55 Al ser la capa 2B de un material dieléctrico, tiene por efecto pasivizar la cara 1B del sustrato 1.

El material semiconductor de la capa 3B es ventajosamente silicio amorfo o microcristalino.

Dicho electrodo 4B es, por ejemplo, de óxido de indio y de estaño (ITO).

60 En el electrodo 4B se forma un colector de corriente 10B que se presenta, en la forma de realización ilustrada, en forma de un peine metálico.

65 De manera opcional, una capa 5B de silicio amorfo intrínseco puede estar intercalada entre la capa de pasivación 2B y la capa dopada 3B.

Dicha capa 5B puede permitir mejorar la pasivación en el lado de campo repulsivo posterior, en complemento de la capa de pasivación 2B.

5 Las diferentes capas mencionadas anteriormente se depositan sobre cada una de las caras del sustrato 1 según unos procedimientos bien conocidos por el experto en la materia.

Estas capas se depositan de manera apropiada, es decir presentan un grosor constante en cualquier punto de la célula. Reproducen así el relieve proporcionado por la textura de la cara del sustrato sobre la cual se depositan.

10 Dichas capas pueden estar formadas simultáneamente sobre las dos caras del sustrato, o bien sucesivamente sobre una cara y después sobre la otra.

15 Contrariamente a las células fotovoltaicas conocidas, la capa de pasivación 2A formada en el lado del emisor y la capa de pasivación 2B formada en el lado de la capa de campo repulsivo posterior no están realizadas del mismo material.

20 En efecto, cada una de las capas de pasivación 2A y 2B es de un material seleccionado para permitir recoger, respectivamente en el emisor y en la capa de campo repulsivo posterior, un máximo de portadores fotogenerados con respecto a los portadores no fotogenerados.

Según el tipo de dopaje del sustrato, se definen así unas parejas de materiales diferentes para la capa de pasivación 2A en el lado de emisor y para la capa de pasivación 2B en el lado campo repulsivo.

25 La figura 3 ilustra un diagrama de banda de tal célula para un sustrato de tipo n. Los portadores fotogenerados (electrones e- y orificios h+ están representados respectivamente sobre la banda de conducción BC y sobre la banda de valencia BV).

30 Se recuerda que en un sustrato de tipo n, los orificios fotogenerados (que corresponden a los portadores minoritarios) se dirigen hacia el emisor de tipo p+ mientras que los electrones fotogenerados (que corresponden a los portadores mayoritarios) se dirigen hacia la capa de campo repulsivo posterior de tipo n+.

En el diagrama de la figura 3, se representan los tamaños siguientes:

35  $\Phi_{Ee}$ : altura de barrera para los electrones a nivel del emisor E;

$\Phi_{Be}$ : altura de barrera para los electrones a nivel del campo repulsivo posterior BSF;

$\Phi_{Eh}$ : altura de barrera para los orificios a nivel del emisor;

40  $\Phi_{Bh}$ : altura de barrera para los orificios a nivel del campo repulsivo posterior.

45 Como se puede observar en la figura 3, en el lado del emisor E, la altura de la barrera  $\Phi_{Ee}$  generada por la capa de pasivación 2A es superior a la altura de barrera  $\Phi_{Eh}$ , lo que se traduce por el hecho de que el paso de los orificios fotogenerados hacia el colector de corriente 10A se favorece con respecto al de los electrones (portadores no fotogenerados).

50 Por el contrario, en el lado de campo repulsivo posterior BSF, la altura de barrera  $\Phi_{Be}$  generada por la capa de pasivación 2B es inferior a la altura de barrera  $\Phi_{Bh}$ , lo que se traduce por el hecho de que el paso de los electrones fotogenerados hacia el colector de corriente 10B se favorece con respecto al de los orificios (portadores no fotogenerados).

55 A la inversa, cuando el sustrato es de tipo p, los electrones fotogenerados (que corresponden a los portadores minoritarios) se dirigen hacia el emisor de tipo n+ mientras que los orificios fotogenerados (que corresponden a los portadores mayoritarios) se dirigen hacia la capa de campo repulsivo posterior de tipo p.

En este caso, se seleccionan los materiales de las capas de pasivación de la siguiente manera:

60 - en el lado de emisor, se selecciona una capa de pasivación que genera una altura de barrera  $\Phi_{Ee}$  inferior a la altura de barrera  $\Phi_{Eh}$ , a fin de favorecer el paso de los electrones fotogenerados con respecto al de los orificios hacia el colector de corriente 10A;

65 - en el lado de campo repulsivo, se selecciona una capa de pasivación que genera una altura de barrera  $\Phi_{Be}$  superior a la altura de barrera  $\Phi_{Bh}$ , a fin de favorecer el paso de los orificios fotogenerados con respecto al de los electrones hacia el recolector de corriente 10B.

La tabla siguiente proporciona algunos ejemplos de pares de materiales apropiados según el tipo de dopaje del sustrato.

Tipo de dopaje del sustrato	Capa de pasivación en el lado de emisor	Capa de pasivación en el lado campo repulsivo
n	HfSiON	SiO <sub>2</sub>
n	SiN	SiO <sub>2</sub>
n	SiN	Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
n	HfSiON	Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
p	SiO <sub>2</sub>	HfSiON
p	SiO <sub>2</sub>	SiN
p	Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	HfSiON
p	Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	SiN

- 5 En el caso en el que el sustrato no es de silicio, sino de otro material semiconductor, se pueden utilizar las parejas de materiales indicadas en la tabla anterior, con la excepción de las parejas de materiales que comprenden óxido de silicio.
- 10 Se precisa que la denotación utilizada para los diferentes materiales considerados no tiene como objetivo especificar una composición química precisa que incluya la estequiometría de los diferentes elementos, sino indicar una familia de materiales que contenga los elementos mencionados.
- 15 Según una forma de realización en la que el sustrato 1 es de tipo n, la capa de pasivación 2A (lado emisor) se realiza de silicato de hafnio nitrurado (también designado HfSiON) y la capa de pasivación 2B ( lado de campo repulsivo) se realiza de óxido de silicio (también designado SiO<sub>2</sub> o más generalmente SiO<sub>x</sub>).
- 20 El HfSiON presenta una altura de barrera con respecto al silicio de aproximadamente 1,6 eV para los orificios y 2,1 eV para los electrones [Barrett06].
- La optimización del procedimiento de pasivación por una capa de HfSiON se ha descrito en [O'Connor09].
- La capa 2A se puede realizar por depósito químico en fase vapor (CVD) de una capa de silicato de hafnio (designado HfSiO<sub>2</sub>) seguida de una nitruración de dicha capa a 750°C por NH<sub>3</sub>.
- 25 El grosor de dicha capa está típicamente comprendido entre 0,1 y 5 nm, y ventajosamente es inferior o igual a 1 nm.
- El SiO<sub>x</sub> presenta una altura de barrera con respecto al silicio de aproximadamente 3 eV para los electrones y superior a 4 eV para los orificios [Gritsenko03].
- 30 La capa 2B se puede realizar por oxidación por plasma de la cara 1B del sustrato 1, permitiendo obtener una capa de óxido de silicio de un grosor de aproximadamente 1 nm.
- 35 Según una forma de realización alternativa en la que el sustrato 1 es también de tipo n, la capa de pasivación 2A (en el lado de emisor) se realiza de nitruro de silicio (SiN) y la capa de pasivación 2B (en el lado de campo repulsivo) se realiza de SiO<sub>2</sub>.
- El SiN presenta una altura de barrera con respecto al silicio de aproximadamente 1,5 eV para los orificios y 2 eV para los electrones [Gritsenko03].
- 40 Dicha capa de SiN se forma ventajosamente por un depósito químico en fase de vapor.
- Según una forma de realización en la que el sustrato 1 es de tipo p, la capa de pasivación 2A (en el lado de emisor) se realiza de SiO<sub>2</sub> y la capa de pasivación 2B (en el lado de campo repulsivo) se realiza de HfSiON.
- 45 Según una forma de realización alternativa, en la que el sustrato 1 es también de tipo p, la capa de pasivación 2A (en el lado de emisor) se realiza de SiO<sub>2</sub> y la capa de pasivación 2B (en el lado de campo repulsivo) se realiza de SiN.
- 50 A título de comparación con el diagrama de banda de la figura 3, que correspondía a una célula conforme a una forma de realización de la invención, la figura 4 presenta el diagrama de banda de una célula que presenta un apilamiento de capas similar al de la figura 2, pero en el que, contrariamente a la invención, las capas de pasivación en el lado de emisor y en el lado campo repulsivo son ambas de óxido de silicio (SiO<sub>x</sub>).
- 55 Se observa por lo tanto que las alturas de barrera  $\Phi_{Ee}$ ,  $\Phi_{Be}$  para los electrones son más elevadas que para las alturas de barrera  $\Phi_{Eh}$ ,  $\Phi_{Bh}$  para los orificios.

Esto implica que, según el tipo de sustrato, para uno de los lados de la célula (emisor o campo repulsivo posterior), el paso de los portadores fotogenerados que se desea coleccionar se ve desfavorecido con respecto al de los portadores no fotogenerados.

5

**Referencias**

FR 2 955 702

10

EP 2 385 561

[Barrett06] "Band offsets of nitrided ultrathin hafnium silicate films", N. T. Barrett, O. Renault, P. Besson, Y. Le Tiec, Y F. Martin, APL 88, 162906, 2006

15

[Gritsenko03] "Valence band offset at silicon/silicon nitride and silicon nitride/silicon oxide interfaces", Vladimir A. Gritsenko, Alexandr V. Shaposhnikov, W.M. Kwok, Hei Wong, Georgii M. Jidomirov, Thin Solid Films 437 (2003) 135-139

20

[O'Connor09] "The Role of Nitrogen in HfSiON Defect Passivation", R. O'Connor, M. Aoulaiche, L. Pantisano, A. Shickova, R. Degraeve, B. Kaczer, G. Groeseneken, International Reliability Physics Symposium, p. 921-924, 2009.

**REIVINDICACIONES**

1. Célula fotovoltaica con heterounión que comprende un sustrato (1) de un material semiconductor dopado, en la que:

- 5 - una primera cara principal (1A) de dicho sustrato (1) está recubierta sucesivamente de una capa de pasivación (2A), de una capa (3A) de un material semiconductor dopado del tipo opuesto al del sustrato (1), que forma el emisor de dicha célula, y de un electrodo (4A),
- 10 - la segunda cara principal (1B) de dicho sustrato está recubierta sucesivamente de una capa de pasivación (2B), de una capa (3B) de un material semiconductor dopado del mismo tipo que el sustrato, que forma un campo repulsivo (BSF) para los portadores minoritarios del sustrato, y de un electrodo (4B),

estando dicha célula caracterizada por que:

- 15 - el material de la capa de pasivación (2A) en el lado de emisor (E) se selecciona para presentar una barrera de potencial más bajo para los portadores minoritarios fotogenerados que para los portadores mayoritarios del sustrato, de manera que favorezca el paso de dichos portadores minoritarios fotogenerados del sustrato (1) hacia el emisor (3A), con respecto al de los portadores mayoritarios, y
- 20 - el material de la capa de pasivación (2B) en el lado de campo repulsivo (BSF) se selecciona para presentar una barrera de potencial más bajo para los portadores mayoritarios fotogenerados que para los portadores minoritarios de sustrato, de manera que favorezca el paso de los portadores mayoritarios fotogenerados de sustrato (1) hacia la capa de campo repulsivo (3B), con respecto al de los portadores minoritarios.

2. Célula fotovoltaica según la reivindicación 1, caracterizada por que el sustrato (1) es de silicio cristalino dopado de tipo n y por que las capas (3A, 3B) dopadas respectivamente de tipo p o p+ y de tipo n o n+ son de silicio amorfo o microcristalino.

3. Célula fotovoltaica según la reivindicación 2, caracterizada por que:

- el material de la capa de pasivación (2A) en el lado de emisor se selecciona de entre un silicato de hafnio nitrurado y un nitruro de silicio, y
- 35 - el material de la capa de pasivación (2B) en el lado de campo repulsivo se selecciona de entre un óxido de silicio y un óxido de tantalio.

4. Célula fotovoltaica según la reivindicación 1, caracterizada por que el sustrato (1) es de silicio cristalino dopado de tipo p y por que las capas (3A, 3B) dopadas respectivamente de tipo n o n+ y de tipo p o p+ son de silicio amorfo o microcristalino.

5. Célula fotovoltaica según la reivindicación 4, caracterizada por que:

- 45 - el material de la capa de pasivación (2A) en el lado de emisor se selecciona de entre un óxido de silicio y un óxido de tantalio, y
- el material de la capa de pasivación (2B) en el lado de campo repulsivo se selecciona de entre un silicato de hafnio nitrurado y un nitruro de silicio.

6. Célula fotovoltaica según una de las reivindicaciones 1 a 5, caracterizada por que el grosor de dichas capas de pasivación (2A, 2B) está comprendido entre 0,1 nm y 5 nm, y comprendido preferentemente entre 0,1 y aproximadamente 1 nm.

7. Célula fotovoltaica según una de las reivindicaciones 2 a 5, caracterizada por que comprende, entre cada capa de pasivación (2A, 2B) y la capa (3A, 3B) de silicio amorfo o microcristalino dopado, una capa (5A, 5B) de silicio amorfo intrínseco.

8. Célula fotovoltaica según una de las reivindicaciones 1 a 7, caracterizada por que por lo menos una cara de dicha célula está texturizada.

9. Procedimiento de fabricación de una célula fotovoltaica con heterounión que comprende un sustrato (1) de un material semiconductor dopado, en el que:

- 65 - una primera cara principal (1A) de dicho sustrato (1) está recubierta sucesivamente de una capa de pasivación (2A), de una capa (3A) de un material semiconductor dopado del tipo opuesto al del sustrato (1), que forma el emisor (E) de dicha célula, y de un electrodo (4A),

- la segunda cara principal (1B) de dicho sustrato (1) está recubierta sucesivamente de una capa de pasivación (2B), de una capa (3B) de un material semiconductor dopado del mismo tipo que el sustrato (1), que forma un campo repulsivo (BSF) para los portadores minoritarios del sustrato, y de un electrodo (4B),

5

estando dicho procedimiento caracterizado por que comprende las etapas siguientes:

10

(a) formar, sobre la primera cara principal (1A) de dicho sustrato, una capa de pasivación (2A) de un material seleccionado para presentar una barrera de potencial más baja para los portadores minoritarios fotogenerados que para los portadores mayoritarios del sustrato, de manera que favorezca el paso de dichos portadores minoritarios fotogenerados de sustrato (1) hacia el emisor (E), con respecto al de los portadores mayoritarios,

15

(b) formar, sobre la segunda cara principal (1B) de dicho sustrato, una capa de pasivación (2B) de un material seleccionado para presentar una barrera de potencial más bajo para los portadores mayoritarios fotogenerados que para los portadores minoritarios del sustrato, de manera que favorezca el paso de dichos portadores mayoritarios fotogenerados de sustrato (1) hacia la capa de campo repulsivo (3B), con respecto al de los portadores minoritarios.

20

10. Procedimiento según la reivindicación 9, caracterizado por que el sustrato (1) es de silicio cristalino dopado de tipo n y por que las capas (3A, 3B) dopadas respectivamente de tipo p o p+ y de tipo n o n+ son de silicio amorfo o microcristalino.

25

11. Procedimiento según la reivindicación 10, caracterizado por que la capa de pasivación (2A) en el lado del emisor es de silicato de hafnio nitrurado y por que dicha capa (2A) está formada por depósito, sobre la primera cara principal (1A) del sustrato, de una capa de silicato de hafnio seguido de la nitruración de dicha capa.

30

12. Procedimiento según una de las reivindicaciones 10 o 11, caracterizado por que la capa de pasivación (2B) en el lado de campo repulsivo es de óxido de silicio, estando formada dicha capa por oxidación por plasma del sustrato (1).

35

13. Procedimiento según la reivindicación 9, caracterizado por que el sustrato (1) es de silicio cristalino dopado de tipo p y por que las capas (3A, 3B) dopadas respectivamente de tipo n+ y de tipo p+ son de silicio amorfo o microcristalino.

40

14. Procedimiento según la reivindicación 13, caracterizado por que la capa de pasivación (2B) en el lado de campo repulsivo (BSF) es de silicato de hafnio nitrurado y por que dicha capa (2B) está formada por depósito, sobre la segunda cara principal (1B) del sustrato, de una capa de silicato de hafnio seguido de la nitruración de dicha capa.

15. Procedimiento según una de las reivindicaciones 13 o 14, caracterizado por que la capa de pasivación (2A) en el lado de emisor es de óxido de silicio, estando dicha capa formada por oxidación por plasma del sustrato (1).

FIG. 1

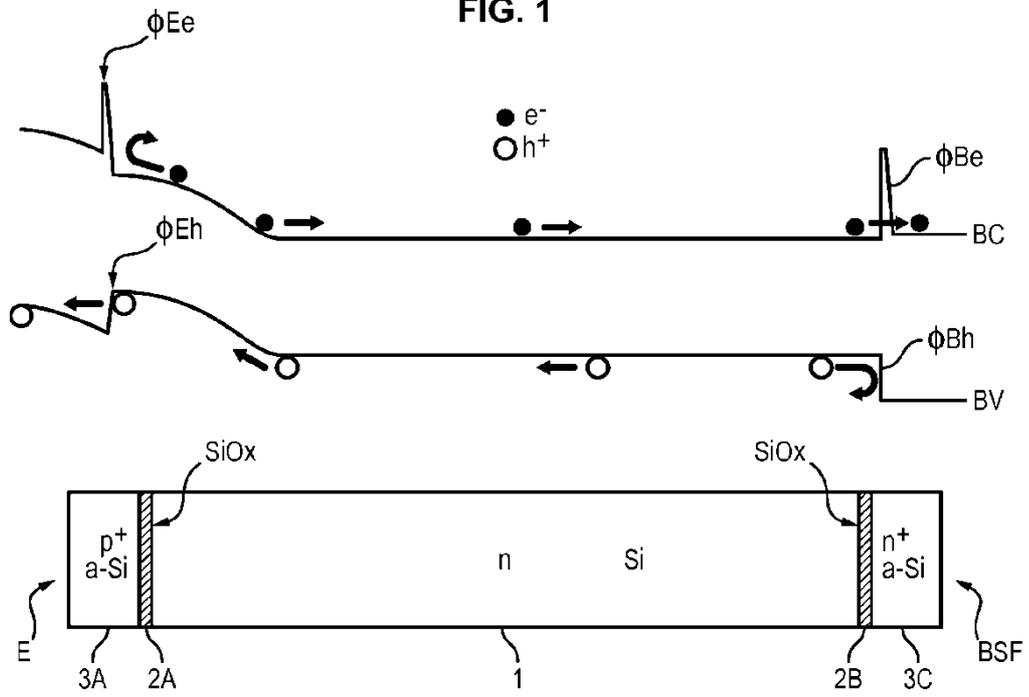


FIG. 2

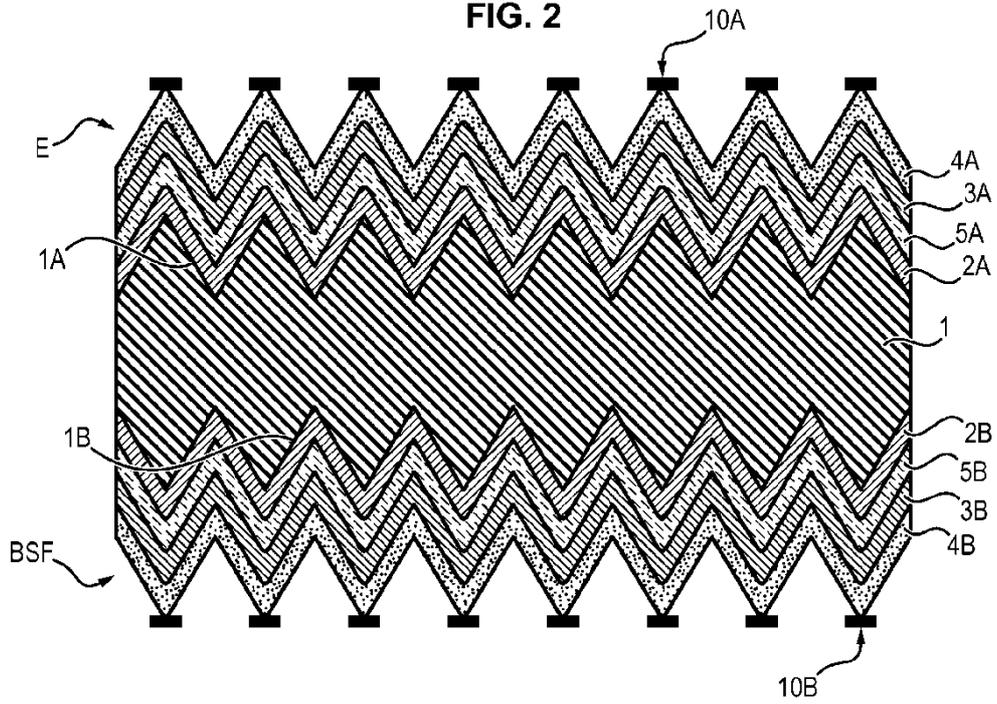


FIG. 3

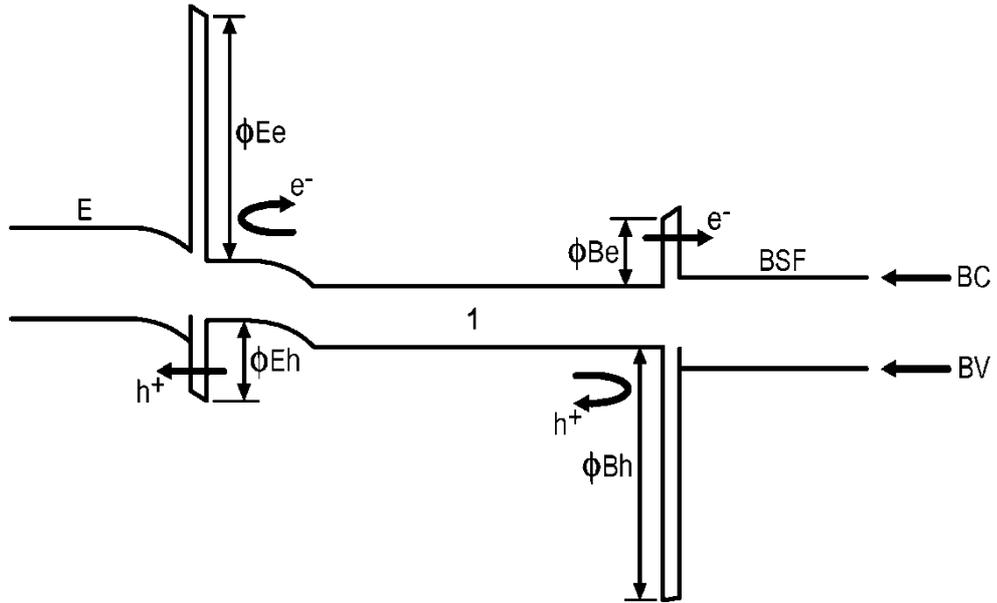


FIG. 4

