

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 382 924**

51 Int. Cl.:
H01L 31/0236 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 96 Número de solicitud europea: **08786243 .9**
96 Fecha de presentación: **18.07.2008**
97 Número de publicación de la solicitud: **2165371**
97 Fecha de publicación de la solicitud: **24.03.2010**

54 Título: **Método para producir una estructura de emisor y estructuras de emisor que resultan del mismo**

30 Prioridad:
18.07.2007 US 950531 P

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
14.06.2012

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
14.06.2012

73 Titular/es:
**IMEC
KAPELDREEF 75
3001 LEUVEN, BE**

72 Inventor/es:
**VAN NIEUWENHUYSEN, Kris y
DUERINCKX, Filip**

74 Agente/Representante:
de Elzaburu Márquez, Alberto

ES 2 382 924 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

Método para producir una estructura de emisor y estructuras de emisor que resultan del mismo.

Campo de la invención

5 La presente invención se refiere a un método para formar una estructura de emisor, por ejemplo un emisor de un dispositivo fotovoltaico, y a estructuras de emisor que resultan del mismo, así como a dispositivos que comprenden dichas estructuras de emisor.

Antecedentes de la invención

10 El emisor de las células solares de silicio se forman en la mayoría de los casos por medio de una etapa de difusión. Por ejemplo, en el caso de células solares de silicio cristalino en grueso hechas sobre obleas de silicio de tipo p, se difunde un dopante de tipo n (como, por ejemplo, P) en la oblea, donde el dopante tipo n sobre-compensa el dopante tipo p (por ejemplo, B o Ga) de la oblea de silicio, de modo que se forma una unión p-n. La etapa de difusión del emisor se lleva a cabo normalmente en la superficie frontal de la célula fotovoltaica, después de texturizar la superficie frontal (siendo la superficie frontal la cara de la célula fotovoltaica que están pensada para recibir iluminación). El objetivo principal de esta texturización es disminuir la reflexión de luz en la superficie frontal. La etapa de difusión del emisor da típicamente como resultado un perfil de distribución Gaussiano del dopante de tipo n, con una alta concentración del dopante (por ejemplo, $\sim 10^{20} \text{ cm}^{-3}$) en la superficie frontal. Esta elevada concentración superficial es necesaria para conseguir una buena resistencia de contacto para la malla metálica del lado frontal, especialmente cuando la malla metálica se forma por medio de un proceso industrial de impresión por serigrafía. Sin embargo, la elevada concentración superficial también da como resultado una pobre respuesta para longitudes de onda cortas debido a los efectos del fuerte dopado y a un aumento de la recombinación en la región del emisor.

En US-A-5378289 se describe una célula solar cristalina que tiene una superficie frontal texturizada, con una región de lado frontal formada por medio de epitaxia en fase sólida y una capa de contacto transparente de lado frontal hecha de óxido de indio estaño.

25 Para mejorar la respuesta para longitudes de onda cortas, se puede utilizar una estructura de emisor selectiva (como, por ejemplo, se describe en US 6,552,414), donde se proporciona una región de emisor fuertemente dopada bajo la malla metálica y donde se proporciona una región de emisor poco dopada entre los contactos metálicos de la malla, dando como resultado la región de emisor poco dopada una menor recombinación superficial y una respuesta azul mejorada en comparación con un emisor altamente dopado. Sin embargo, las estructuras de emisor selectivas requieren etapas de procesamiento adicionales que pueden incluir litografía, que no es aplicable industrialmente para la producción a gran escala de células solares. Además, una mala alineación de la malla metálica con respecto de la región de emisor fuertemente dopada de la estructura de emisor selectiva puede provocar pérdidas en la unión como consecuencia de la penetración del metal a través de la unión, y a una reducción del voltaje en circuito abierto como resultado de esta pérdida.

35 Como alternativa para formar el emisor de una célula fotovoltaica por difusión, también es posible hacer crecer el emisor sobre el sustrato, por ejemplo mediante Deposición de Vapor Químico (CVD según sus siglas en inglés, Chemical Vapour Deposition), como describe por ejemplo para células epitaxiales Schmich et al. en "Epitaxia de emisor para células solares de silicio cristalino de capa delgada", actas de la conferencia y exposición europea de energía solar y fotovoltaica, Dresden, 2006, página 734. La formación de un emisor formado mediante CVD se consigue sobre una superficie no texturizada. Por tanto, las pérdidas por reflexión en la superficie frontal son relativamente altas.

Objeto de la invención

45 Es un objeto de la presente invención proporcionar un método para producir una estructura de emisor que alivie o evite los problemas de la técnica anterior. Es otro objeto de la presente invención proporcionar una estructura de emisor y una célula fotovoltaica que comprenda dicha estructura de emisor.

Compendio de la invención

En un aspecto, la presente invención proporciona un método para formar una estructura de emisor sobre un sustrato de acuerdo con la reivindicación 1.

50 En realizaciones de acuerdo con la presente invención, la formación de la primera capa puede comprender el crecimiento epitaxial de la primera capa sobre una superficie del sustrato.

En realizaciones de acuerdo con la presente invención, texturizar la primera capa puede comprender el grabado con plasma de la primera capa.

En realizaciones de acuerdo con la presente invención, formar la segunda región de emisor puede comprender el

crecimiento de la segunda región de emisor sobre la primera superficie texturizada. El crecimiento de la segunda región de emisor puede comprender el crecimiento epitaxial de la segunda región de emisor.

5 En realizaciones alternativas de acuerdo con la presente invención, formar la segunda región de emisor puede comprender formar la segunda región de emisor en una parte superior de la primera región de emisor. Formar la segunda región de emisor puede comprender formar la segunda región de emisor por medio de la introducción de dopantes, por ejemplo mediante difusión, implantación o dopado láser.

10 Las realizaciones de la presente invención, por tanto, proporcionan un método para formar una estructura de emisor doble con texturizado intermedio, donde al menos parte de la estructura de emisor puede hacerse crecer epitaxialmente sobre un sustrato. El método para formar la doble estructura de emisor comprende formar, sobre un sustrato, una primera región de emisor gruesa y moderadamente dopada, por ejemplo con un grosor dentro del rango de entre 0,2 μm y 10 μm , y una concentración de dopado dentro del rango de entre 10^{15} cm^{-3} y 10^{19} cm^{-3} , con una superficie texturizada, y formar una segunda región de emisor delgada y altamente dopada, por ejemplo con un grosor de entre 5 nm y 1 μm y una concentración de dopado dentro del rango de entre $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ y 10^{22} cm^{-3} , en la superficie texturizada de la primera región de emisor.

15 En otro aspecto, la presente invención proporciona una estructura de emisor de acuerdo con la reivindicación 8.

La interfaz texturizada entre la primera región de emisor y la segunda región de emisor proporciona un buen factor de llenado y unas buenas corrientes de cortocircuito en células fotovoltaicas fabricadas utilizando dicha estructura de emisor de acuerdo con las realizaciones de la presente invención.

20 En una estructura de emisor de acuerdo con realizaciones de la presente invención, el grosor medio de la primera región de emisor puede estar entre 0,2 μm y 10 μm . En una estructura de emisor de acuerdo con realizaciones de la presente invención, la primera región de emisor puede tener una concentración de dopado de entre 10^{15} cm^{-3} y 10^{19} cm^{-3} . En realizaciones de la presente invención, la primera región de emisor puede tener una concentración de dopado constante a lo largo de su grosor. En realizaciones alternativas de la presente invención, la primera región de emisor puede tener una concentración de dopado no constante a lo largo de su grosor, por ejemplo puede tener una concentración de dopado que cambia gradualmente a lo largo de su grosor, en particular puede tener, por ejemplo, una concentración de dopado que es mayor en el nivel de la interfaz entre la primera región de emisor y la segunda región de emisor que en otros niveles de la primera región de emisor.

30 En una estructura de emisor de acuerdo con realizaciones de la presente invención, el grosor medio de la segunda región de emisor puede ser menor que el grosor medio de la primera región de emisor. En realizaciones de la presente invención, el grosor de la segunda región de emisor puede ser de entre 5 nm y 1 μm . En realizaciones de la presente invención, la segunda región de emisor puede tener una concentración de dopado que es mayor que la concentración de dopado de la primera región de emisor. En realizaciones de la presente invención, la segunda región de emisor puede tener una concentración de dopado de entre $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ y 10^{22} cm^{-3} . En realizaciones de la presente invención, la segunda región de emisor puede tener una concentración de dopado constante a lo largo de su grosor. En realizaciones alternativas de la presente invención, la segunda región de emisor puede tener una concentración de dopado no constante a lo largo de su grosor, por ejemplo puede tener una concentración de dopado que cambia gradualmente a lo largo de su grosor, en particular puede tener por ejemplo una concentración de dopado que es menor en el nivel de la interfaz entre la primera región de emisor y la segunda región de emisor que en otros niveles de la segunda región de emisor. En la presente invención, la concentración de dopado de la segunda región de emisor en la interfaz puede ser al menos un factor 10 mayor que la concentración de dopado de la primera región de emisor en la interfaz. En una ventaja de una estructura de emisor de acuerdo con las realizaciones de la presente invención que la diferencia de concentración de dopado entre la primera región de emisor y la segunda región de emisor puede resultar en la formación de un Campo de Superficie Frontal que tiene un efecto pasivador superficial.

45 Otro aspecto más de la presente invención proporciona un dispositivo fotovoltaico que comprende una región base y una estructura de emisor de acuerdo con cualesquiera realizaciones de estructura de emisor de acuerdo con la presente invención. Dicho dispositivo fotovoltaico de acuerdo con las realizaciones de la presente invención puede comprender además una capa inintencionadamente dopada entre la región base y la estructura de emisor.

50 Realizaciones de la presente invención proporcionan además una estructura de emisor formada mediante el método anterior y una célula fotovoltaica que comprende dicha estructura de emisor. La doble estructura de emisor de las realizaciones de la presente invención comprende una primera región de emisor que es relativamente gruesa, por ejemplo con un grosor dentro del rango de entre 0,2 μm y 10 μm , y moderadamente dopada, por ejemplo con una concentración de dopado en el rango entre 10^{15} cm^{-3} y 10^{19} cm^{-3} , y, adyacente a la primera región de emisor, una segunda región de emisor que es delgada, por ejemplo con un grosor de entre 5 nm y 1 μm , y altamente dopada, por ejemplo con una concentración de dopado en el rango entre $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ y 10^{22} cm^{-3} . La interfaz entre la primera región de emisor y la segunda región de emisor es una interfaz texturizada. Cuando se utiliza en un dispositivo fotovoltaico, la estructura de emisor de acuerdo con realizaciones de la presente invención puede dar como resultado una buena respuesta para longitudes de onda cortas debido a la moderada concentración de dopado de la primera región de emisor y una buena resistencia de contacto frontal debido a la alta concentración de dopado de la

segunda región de emisor. Es una ventaja de realizaciones de la presente invención que se evita la necesidad de alinear la malla metálica de la superficie frontal de un dispositivo fotovoltaico con una región altamente dopada, por ejemplo para evitar pérdidas en la unión. Una célula fotovoltaica que comprende una estructura de emisor de acuerdo con realizaciones de la presente invención puede ser menos sensible a las pérdidas que resultan de la penetración de metal a través de la unión en comparación con los dispositivos de la técnica anterior, debido a que la estructura de emisor es relativamente gruesa, por ejemplo tiene un grosor de entre 205 nm y 11 μm , y por tanto la unión es relativamente profunda. Las pérdidas por reflexión en la superficie frontal de la célula fotovoltaica se pueden reducir proporcionando una superficie texturizada.

5

Breve descripción de las figuras

10 La Fig. 1 muestra una estructura de emisor de acuerdo con realizaciones de la presente invención e ilustra la profundidad d de la interfaz entre la segunda región de emisor y la primera región de emisor.

La Fig. 2 ilustra un proceso para formar una estructura de emisor de acuerdo con realizaciones de la presente invención.

15

La Fig. 3 muestra una sección transversal de una célula fotovoltaica epitaxial con una estructura de emisor de acuerdo con realizaciones de la presente invención.

La Fig. 4 muestra una sección transversal de una célula fotovoltaica con un sustrato en grueso y una estructura de emisor de acuerdo con realizaciones de la presente invención, directamente formada sobre el sustrato en grueso.

La Fig. 5 ilustra una realización de la presente invención donde se proporciona una capa no dopada o inintencionadamente dopada entre la región de base y la estructura de emisor.

20

La Fig. 6 ilustra la diferencia entre: (figura izquierda) texturizar la pila completa del emisor (es decir, después de formar la segunda región de emisor); y (figura derecha) texturizar la primera región de emisor seguido de formar, por ejemplo por crecimiento, la segunda región de emisor de acuerdo con realizaciones de la presente invención.

La Fig. 7a muestra una imagen SEM de la superficie texturizada de la primera región de emisor.

25

La Fig. 7a muestra una imagen SEM de la superficie frontal después del crecimiento de una segunda región de emisor altamente dopada sobre una superficie texturizada de la primera región de emisor de acuerdo con realizaciones de la presente invención.

La Fig. 8 muestra un gráfico con el IQE (Eficiencia Cuántica Interna, Internal Quantum Efficiency según sus siglas en inglés).

Descripción de realizaciones ilustrativas

30 La presente invención se describirá con relación a realizaciones particulares y haciendo referencia a ciertas figuras, aunque la invención no está limitada por las mismas sino por las reivindicaciones. Las figuras descritas son sólo esquemáticas y no limitantes. En las figuras, el tamaño de alguno de los elementos puede ser exagerado y no estar dibujado a escala por motivos ilustrativos.

35

Además, los términos primero, segundo, tercero, y similar en la descripción y en las figuras se utilizan para distinguir entre elementos similares y no necesariamente para describir un orden secuencial o cronológico. Se debe entender que los términos así utilizados son intercambiables bajo las circunstancias adecuadas y que las realizaciones de la invención descritas en el presente documento pueden funcionar según otras secuencias diferentes de las descritas o ilustradas en el presente documento.

40

Además, los términos superior, inferior, encima, debajo, y similares en la descripción y en las figuras se utilizan por motivos descriptivos y no necesariamente para describir posiciones relativas. Se debe entender que los términos utilizados son intercambiables bajo las circunstancias adecuadas y que las realizaciones de la invención descritas en el presente documento pueden funcionar según otras orientaciones que la descrita o ilustrada en el presente documento.

45

Para la siguiente descripción, dentro del contexto de las células fotovoltaicas, el texturizado se realiza para reducir (sustancialmente) la reflexión de la luz en la superficie frontal de una célula, de modo que está relacionado con la rugosidad a escala macroscópica, con tamaños característicos por ejemplo de 100 nm más, por ejemplo al menos 500 nm.

50

Para la presente descripción, se define una estructura de emisor como una capa de semiconductor delgada (con un grosor de hasta 12 μm , por ejemplo entre 0,2 y 10 μm , por ejemplo entre 2 y 10 μm , por ejemplo entre 5 y 10 μm) en la superficie de un dispositivo, por ejemplo un dispositivo fotovoltaico, estando dopada esta estructura de emisor con dopantes de un primer tipo de dopante, estando dopada una base subyacente más gruesa del dispositivo con dopantes de un segundo tipo de dopante que tiene una polaridad opuesta con relación al primer tipo de dopante. Por

ejemplo, en las realizaciones de la presente invención, la estructura de emisor puede estar dopada con átomos donantes resultando en una polaridad opuesta en comparación con la base subyacente más gruesa del dispositivo que está dopada con átomos aceptores. En realizaciones alternativas, la estructura de emisor puede estar dopada con átomos aceptores resultando en una polaridad opuesta en comparación con la base subyacente más gruesa del dispositivo que está dopada con átomos donadores. En combinación con la base, la estructura de emisor forma la unión pn o la unión np del dispositivo, por ejemplo del dispositivo fotovoltaico.

La invención describe además una estructura de emisor que se aplica a la superficie frontal de un dispositivo fotovoltaico. La superficie frontal de un dispositivo fotovoltaico, al contrario que la superficie posterior, es la superficie adaptada para orientarse hacia una fuente de luz y por tanto para recibir iluminación. Sin embargo, también son posibles otras configuraciones. Por ejemplo, en realizaciones de la presente invención, se puede aplicar una estructura de emisor a la superficie posterior de un dispositivo fotovoltaico. En otras realizaciones alternativas, se puede proporcionar una estructura de emisor tanto a la superficie frontal como a la superficie posterior de un dispositivo fotovoltaico.

En la siguiente descripción, se utiliza un grosor medio para indicar el grosor de la primera región de emisor y la segunda región de emisor. El grosor de estas regiones generalmente no es uniforme, porque tienen superficies texturizadas. En los experimentos llevados a cabo, el grosor medio de la primera región de emisor se calculó basándose en el peso de las muestras. El grosor medio de una segunda región de emisor crecida sobre una primera región de emisor se determinó midiendo el grosor de una capa crecida sobre una superficie plana con las mismas condiciones de crecimiento utilizadas para crecer la segunda región de emisor.

La presente invención se refiere a un método para formar una estructura de emisor y a una estructura de emisor así obtenida, así como a un dispositivo fotovoltaico que comprende dicha estructura de emisor.

En un primer aspecto, la presente invención proporciona una estructura 5 de emisor que comprende una primera región 11 de emisor y una segunda región 12 de emisor adyacente a la primera región 11 de emisor. Una interfaz 14 entre la primera región 11 de emisor adyacente y la segunda región 12 de emisor es una interfaz 14 texturizada.

Una estructura 5 de emisor de acuerdo con realizaciones de la presente invención comprende dos partes o regiones adyacentes una a la otra, más en particular una primera región 11 de emisor y una segunda región 12 de emisor, como por ejemplo se ilustra en la Fig. 1. La primera región 11 de emisor puede ser una capa o pila de capas moderadamente dopada y relativamente gruesa. En realizaciones de la presente invención, la concentración de dopado de la primera región 11 de emisor puede estar en el rango de entre 10^{15} cm^{-3} y 10^{19} cm^{-3} . El grosor medio de la primera región de emisor puede por ejemplo estar en el rango de entre $0,2 \mu\text{m}$ y $10 \mu\text{m}$ o entre $0,2 \mu\text{m}$ y $7 \mu\text{m}$ o entre $0,2 \mu\text{m}$ y $4 \mu\text{m}$. La segunda región 12 de emisor puede ser una capa o pila de capas altamente dopada y delgada. La concentración de dopado de la segunda región 12 de emisor puede ser mayor que la concentración de dopado de la primera región 11 de emisor. La concentración de dopado de la segunda región 12 de emisor puede estar en el rango de entre $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ y 10^{22} cm^{-3} . El grosor de la segunda región 12 de emisor puede ser menor que el grosor de la primera región 11 de emisor. La segunda región 12 de emisor puede tener un grosor medio mayor de 5 nm y menor que $1 \mu\text{m}$, menor que 500 nm , menor que 250 nm , menor que 200 nm , menor que 150 nm , menor que 100 nm , menor que 50 nm , menor que 40 nm , o menor que 25 nm .

La estructura de emisor de acuerdo con realizaciones de la presente invención se puede utilizar como un emisor de un dispositivo fotovoltaico. En este caso, la segunda región 12 de emisor está ubicada lo más cerca posible de la superficie frontal del dispositivo fotovoltaico y la primera región 11 de emisor está ubicada entre la segunda región 12 de emisor y la región 13 de base del dispositivo fotovoltaico. La segunda región 12 de emisor altamente dopada asegura un buen contacto eléctrico con la metalización en la superficie frontal de la célula fotovoltaica. Además, la fuerte diferencia en concentración de dopante en la interfaz 14 entre la primera región 11 de emisor y la segunda región 12 de emisor crea un fuerte y beneficioso campo eléctrico. En realizaciones de la presente invención, la interfaz 14 entre la primera región 11 de emisor y la segunda región 12 de emisor puede ser una interfaz texturizada.

En un segundo aspecto, la presente invención proporciona un método para formar una estructura 5 de emisor sobre un sustrato 10. El método comprende formar una primera capa 20 que comprende un material semiconductor en el sustrato 10; texturizar una superficie de la primera capa 20, formando así una primera región 11 de emisor desde la primera capa 20, teniendo la primera región 11 de emisor una primera superficie 21 texturizada; y formar una segunda región 12 de emisor en la primera superficie 21 texturizada, teniendo la segunda región 12 de emisor una segunda superficie 22 texturizada.

En la Fig. 2 se ilustra un método para formar una estructura 5 de emisor de acuerdo con una realización de la presente invención sobre un sustrato 10. La presente invención se describe además para sustratos 10 que comprenden silicio. Sin embargo, cualquier otro sustrato conocido por un experto en la materia, como por ejemplo sustratos que comprenden materiales semiconductores diferentes del silicio, como sustratos de vidrio o cerámica de alta temperatura, pueden también ser utilizados. La presente invención se describe además para estructuras 5 de emisor que comprenden silicio, aunque se pueden utilizar otros materiales semiconductores conocidos por un experto en la materia para formar la estructura 5 de emisor. El método se describe para la formación de una estructura 5 de emisor de tipo n, donde la estructura 5 de emisor está por ejemplo dopada con dopantes tipo n,

como fósforo o arsénico. Sin embargo, el método también se puede utilizar para formar estructuras de emisor de tipo p, donde la estructura 5 de emisor está dopada, por ejemplo, con dopantes tipo n, por ejemplo utilizando boro o aluminio como dopante.

5 En un método de acuerdo con la presente invención, una primera capa de semiconductor de un primer tipo de dopante, por ejemplo una primera capa 20 de silicio con dopado n, se forma sobre un sustrato 10 (Fig. 2(a)) para formar una primera región 11 de emisor. Cuando se fabrica un dispositivo fotovoltaico, el sustrato 10 puede actuar como una región 13 base o puede proporcionarse una región 13 base sobre el sustrato 10 antes de formar la primera región 11 de emisor. La capa de semiconductor del primer tipo de dopante, por ejemplo la primera capa 20 de silicio con dopado n, puede hacerse crecer epitaxialmente sobre el sustrato 10, por ejemplo mediante Deposición de Vapor Químico (CVD), como por ejemplo CVD atmosférico, CVD a presión reducida, CVD de baja presión o CVD asistido por plasma. El crecimiento CVD puede realizarse, por ejemplo, a partir de precursores, como por ejemplo silano (SiH_4) o cualquiera de los clorosilanos (por ejemplo, triclorosilano (TCS) o diclorosilano (DCS)) como fuente de silicio, en combinación con una fuente de dopado n (por ejemplo, arsina (AsH_3) o fosfina (PH_3)). La temperatura a la que se lleva a cabo el crecimiento CVD depende de la fuente de silicio utilizada; por ejemplo, puede estar dentro del rango de entre 700°C (con el silano como fuente de silicio) y 1175°C (con TCS como fuente de silicio).

Después de formar la primera capa de semiconductor del primer tipo de dopante, por ejemplo, la primera capa 20 de silicio con dopado n, la superficie de esta capa, es decir, la superficie de la primera capa 20 de silicio con dopado n puede ser texturizada, formando así una primera región 11 de emisor y una primera superficie 21 texturizada (Fig. 2(b)). La texturización de la superficie puede llevarse a cabo para reducir la reflexión de luz incidente y por tanto para mejorar la corriente de corto-circuito (J_{sc}) de un dispositivo fotovoltaico. Es un método para atrapar la luz el mejorar el grosor óptico de la capa activa de un dispositivo fotovoltaico. Aunque en las figuras la superficie texturizada se representa como una superficie que comprende formas de tipo piramidal, también son posibles otras texturas (por ejemplo, como se muestra en la Fig. 7(a)), dependiendo del método utilizado para texturizar la superficie. La texturización puede conducir a formas regulares o irregulares en la superficie de la primera capa de semiconductor. El texturizado se puede llevar a cabo por medio de cualquier método de extracción de semiconductor, como por ejemplo grabado, por ejemplo grabado en húmedo o en seco. El paso de la texturización quita parte de la primera capa 10 de silicio crecida anteriormente. En realizaciones de la presente invención, el paso de la texturización no quita ningún material de ninguna capa subyacente, es decir, la cantidad de material que se quita durante el proceso de texturizado puede ser tal que al menos una parte de la primera capa 20 de silicio permanece en toda la primera superficie 21 texturizada donde se va a formar una estructura 5 de emisor, de modo que se obtiene la primera región 11 de emisor en toda la superficie donde se va a formar la estructura 5 de emisor. Como el crecimiento epitaxial es un proceso caro, la extracción de material semiconductor, por ejemplo extracción de silicio, durante el proceso de texturizado puede ser limitada (por ejemplo, 0,5 μm hasta 2,5 μm de extracción de material semiconductor). Además, el proceso de texturizado puede ser un proceso fiable y reproducible sobre pequeñas superficies epitaxiales. Idealmente, la superficie texturizada es un refractor Lambertian.

El grabado por plasma basado en la química halógena (texturizado por plasma con flúor o cloro) puede utilizarse, por ejemplo, para conseguir estos objetivos. Utilizando esta técnica se ha conseguido una reflexión superficial dentro del rango entre 10% y 15% (30-35% antes del texturizado) con una extracción de material semiconductor muy limitada (0,5 hasta 2 μm de extracción). El texturizado por plasma aporta muchas ventajas a nivel de célula fotovoltaica en comparación con dispositivos no texturizados, como por ejemplo una reflexión más baja, un acoplamiento oblicuo de la luz y una menor resistencia de contacto (debido al mayor área de contacto entre el material semiconductor y el metal). La mejora de la corriente de cortocircuito se puede cuantificar dentro del rango de entre 1,0 y 1,5 mA/cm^2 .

Aparte del grabado con plasma, se pueden utilizar otras técnicas, como por ejemplo el grabado químico en húmedo (por ejemplo, grabado con ácido basado en soluciones que comprenden ácido fluorhídrico (HF) y/o ácido nítrico (HNO_3), y opcionalmente que comprenden ácido acético (CH_3COOH) y/o agua, o grabado alcalino basado en soluciones que contienen hidróxido de potasio (KOH) y agua o hidróxido de sodio (NaOH) y agua), posiblemente en combinación con una máscara litográfica. Además, se pueden utilizar aditivos, como por ejemplo alcohol isopropilo para el grabado alcalino. Sin embargo, en general se extrae más material semiconductor, por ejemplo, silicio, con estos métodos de grabado en comparación con el grabado con plasma.

Después de texturizar la superficie de la primera región 11 de emisor, se forma una segunda región 12 de emisor en la primera superficie 21 texturizada mediante la creación de una capa delgada de material semiconductor con una alta concentración de dopante en la primera superficie 21 texturizada. El dopado de la segunda capa de material semiconductor puede llevarse a cabo con dopantes del primer tipo de dopante, por ejemplo, tipo n. En una realización de la presente invención la segunda región 12 de emisor puede formarse encima de la primera región 11 de emisor, por ejemplo por medio de la deposición de material semiconductor, por ejemplo, por Deposición de Vapor Químico, como se ilustra en la Fig. 2(c). El dopado puede llevarse a cabo in situ durante la deposición de la segunda capa de material semiconductor. Alternativamente, el dopado puede llevarse a cabo después de que se haya dispuesto la segunda capa de material semiconductor. En otra realización de la presente invención, la segunda región 12 de emisor puede formarse en la parte superior de la primera región 11 de emisor, por ejemplo por medio de la difusión de un dopante, por ejemplo del primer tipo de dopante, por ejemplo de tipo n, como se ilustra en la Fig.

2(d). La parte superior de la primera región 11 de emisor es la parte de la primera región 11 de emisor adyacente a la primera superficie 21 texturizada. Después de la formación de la segunda región 12 de emisor, se obtiene una segunda superficie 22 texturizada en la superficie frontal. La interfaz entre la primera región 11 de emisor y la segunda región de emisor es una interfaz 14 texturizada. En realizaciones de la presente invención donde la segunda región 12 de emisor se forma en la parte superior de la primera región 11 de emisor, la segunda superficie 22 texturizada coincide con la primera superficie 21 texturizada.

La formación de la primera región 11 de emisor puede comprender formar una primera pila de emisor que comprende al menos una primera capa de emisor. La primera pila de emisor puede consistir en una única capa de emisor.

La primera región 11 de emisor (o la primera pila de emisor que comprende al menos una primera capa de emisor) puede tener un grosor total medio dentro del rango de entre 0,2 μm y 10 μm o entre 0,2 μm y 7 μm , o entre 0,2 μm y 4 μm . La concentración de dopado de la primera región 11 de emisor puede estar en el rango entre 10^{15} cm^{-3} y 10^{19} cm^{-3} . En caso de que la pila de emisor consista en una única primera capa de emisor, se puede proporcionar un perfil de dopado en la primera capa de emisor única con una concentración de dopado que crece gradualmente en una dirección sustancialmente perpendicular a una superficie del sustrato 10 y en una dirección desde la superficie posterior en dirección a la superficie frontal del sustrato 10. En realizaciones de la presente invención, la concentración de dopado más baja de la concentración de dopado que crece gradualmente puede ser al menos 10^{15} cm^{-3} , y la concentración de dopado más alta no debe ser mayor de 10^{19} cm^{-3} , es decir, la concentración de dopado del perfil de dopado puede estar en el rango de entre 10^{15} cm^{-3} y 10^{19} cm^{-3} . En caso de que la pila de emisor consista en más de una capa de emisor, se puede proporcionar una concentración de dopado que crece gradualmente en las diferentes capas de la primera pila de emisor en una dirección sustancialmente perpendicular a la superficie del sustrato 10 y en una dirección desde la superficie posterior en dirección a la superficie frontal del sustrato 10. La concentración de dopado de cada capa puede ser constante o puede crecer gradualmente en una dirección sustancialmente perpendicular a la superficie del sustrato 10 y en una dirección desde la superficie posterior hacia la superficie frontal del sustrato 10. En realizaciones de la presente invención, la concentración de dopado más baja de una capa de la pila de emisor puede ser al menos de 10^{15} cm^{-3} y la concentración de dopado más alta de una capa de la pila de emisor no puede ser mayor de 10^{19} cm^{-3} , es decir, la concentración de dopado de las capas de la pila pueden estar en el rango de entre 10^{15} cm^{-3} y 10^{19} cm^{-3} .

De acuerdo con realizaciones de la presente invención, la formación de la segunda región 12 de emisor en la primera superficie 21 texturizada comprende formar la segunda región 12 de emisor sobre la primera superficie 21 texturizada, por cualquier método adecuado, por ejemplo por medio de crecimiento CVD. Formar la segunda región 12 de emisor puede comprender formar una segunda pila de emisor que comprende al menos una segunda capa de emisor. La segunda capa de emisor puede consistir en una única segunda capa de emisor.

En realizaciones de la presente invención, la segunda región de emisor formada sobre la primera superficie 21 texturizada puede tener un grosor medio total mayor de 5 nm y más pequeño que 250 nm, o menor que 200 nm, o menor que 150 nm, o menor que 100 nm, o menor que 50 nm, o menor que 40 nm, o menor que 25 nm. La segunda región 12 de emisor puede tener un grosor menor que el grosor de la primera región 11 de emisor. La segunda región 12 de emisor (o la segunda pila de emisor que comprende al menos una segunda capa de emisor) puede tener una concentración de dopado que es sustancialmente mayor que la concentración de dopado de la primera región 11 de emisor. Ventajosamente, las concentraciones de dopado en la interfaz 14 entre la primera región 11 de emisor y la segunda región 12 de emisor difieren en al menos un orden de magnitud, es decir, en al menos un factor de 10. En realizaciones particulares, las concentraciones de dopado difieren en un factor de 100. En realizaciones particulares, las concentraciones de dopado difieren en un factor de 1000, 10000 ó 100000. La concentración de dopado de la segunda región 12 de emisor formada sobre la primera superficie 21 texturizada puede estar en el rango de entre $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ y $5 \times 10^{21} \text{ cm}^{-3}$.

La segunda región 12 de emisor o la segunda pila de emisor que comprende al menos una segunda capa de emisor puede estar formada, por ejemplo, por medio de cualquier técnica de deposición de material semiconductor adecuada, como por ejemplo CVD, evaporación por haz de electrones o técnicas de deposición electrónica. Una ventaja de utilizar CVD es que se puede obtener material de alta calidad. La calidad de la capa epitaxial depositada se puede determinar contando la cantidad de defectos por unidad de área después de un grabado de defectos, como un grabado Secco o un grabado Schimmel. Los defectos en una capa epitaxial pueden actuar como una fuente de pérdidas y conducir a una reducción del voltaje de circuito abierto de un dispositivo fotovoltaico. Una ventaja adicional de utilizar CVD para formar la segunda región 12 de emisor es que la concentración de dopado activo (como por ejemplo arsénico o boro) puede ser muy alta (hasta 10^{21} cm^{-3}). Como la segunda región 12 de emisor es relativamente delgada, también se pueden utilizar otros métodos (por ejemplo, más económicos) para formar esta capa, como por ejemplo la deposición electrónica. La diferencia en la concentración de dopado entre la primera región 11 de emisor y la segunda región 12 de emisor en la interfaz 14 entre ambas regiones de emisor puede ser grande y se puede obtener una transición muy acusada (es decir, un salto en la concentración de dopado) en la interfaz 14 entre ambas regiones, de modo que se forma un Campo de Superficie Frontal. Un Campo de Superficie Frontal es un campo eléctrico local, que en la presente invención se forma dentro de la estructura de emisor, más en particular entre la primera región 11 de emisor y la segunda región 12 de emisor. Este campo

eléctrico reduce la probabilidad de que portadores minoritarios de la estructura de emisor se muevan en dirección a la superficie 22 frontal del dispositivo. Por tanto, el Campo de Superficie Frontal tiene un efecto de pasivación superficial. Cuando mayor sea la diferencia en concentración de dopado entre la primera región 11 de emisor y la segunda región 12 de emisor, mayor será el campo eléctrico y mejor puede ser el efecto de la pasivación.

5 La concentración de dopado de la segunda región 12 de emisor formada sobre la primera superficie 21 texturizada puede ser entre $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ y $5 \times 10^{21} \text{ cm}^{-3}$. En caso de que la segunda pila de emisor consista en una única segunda capa de emisor, se puede proporcionar una concentración de dopado que crece gradualmente en una dirección sustancialmente perpendicular al plano de la primera región 11 de emisor y en una dirección desde la primera región 11 de emisor hacia la segunda superficie 22 texturizada. El dopado se puede llevar a cabo, por ejemplo, cambiando el flujo de gas del gas de dopado, y por tanto el gradiente de la concentración de dopado es perpendicular a la superficie texturizada.

10 En caso de que la segunda pila de emisor comprenda más de una segunda capa de emisor, se puede proporcionar una concentración de dopado que crece gradualmente en las diferentes segundas capas de emisor de la segunda pila de emisor (mediante los métodos descritos anteriormente) en una dirección sustancialmente perpendicular al plano de la primera región 11 de emisor y en una dirección desde la primera región 11 de emisor hacia la segunda superficie 22 texturizada. La concentración de dopado de cada segunda capa de emisor puede ser constante o puede aumentar gradualmente en una dirección sustancialmente perpendicular al plano de la segunda región 11 de emisor y en una dirección desde la primera región 11 de emisor hacia la segunda región 12 de emisor.

15 En caso de que la segunda región 12 de emisor esté formada por medio de CVD se puede obtener una concentración de dopado que crece gradualmente por ejemplo aumentando gradualmente el flujo del gas de dopado durante la formación de la capa.

20 Para formar la primera región 11 de emisor, en caso de que se trate de una capa de semiconductor que comprende silicio, se pueden utilizar como precursores del silicio por ejemplo el triclorosilano (TCS), el diclorosilano (DCS) o el silano, a temperaturas de crecimiento que varían entre 700°C y 1150°C. Como gas de dopado, se puede utilizar por ejemplo la Arsina o la Fosfina. Para formar la segunda región 12 de emisor, la temperatura de crecimiento puede ser más baja que para la primera región 11 de emisor. Esto permite alcanzar concentraciones de dopado muy altas y permite un buen control del proceso de crecimiento de una capa muy delgada (debido a la baja velocidad de crecimiento a bajas temperaturas). Por ejemplo, la segunda región de emisor puede hacerse crecer a alrededor de 700°C con DCS como precursor en combinación con un flujo elevado (por ejemplo, hasta 800 sccm) de elementos dopantes, por ejemplo Arsina.

25 De acuerdo con realizaciones alternativas de la presente invención, formar la segunda región 12 de emisor en la primera superficie 21 texturizada comprende formar la segunda región 12 de emisor en una parte superior de la primera región 11 de emisor, es decir, en parte de la primera región 11 de emisor adyacente a la primera superficie 21 texturizada. Esto se puede hacer, por ejemplo, por medio de un proceso de difusión por el cual el dopante se difunde dentro de la parte superior de la primera región 11 de emisor, por cualquier medio adecuado, por ejemplo, por medio de un proceso de implantación o por medio de un proceso de dopado con láser.

30 En estas realizaciones de la presente invención, la segunda región 12 de emisor formada en una parte superior de la primera región 11 de emisor puede tener una concentración de dopado que es sustancialmente mayor que la concentración de dopado del resto de la primera región 11 de emisor, es decir, en la parte inferior de la primera región 11 de emisor donde no se forma ninguna región 12 de emisor. Las concentraciones de dopado en la interfaz 14 difieren en al menos un orden de magnitud, es decir, en al menos un factor de 10. En realizaciones particulares, las concentraciones de dopado difieren en un factor de 100. En realizaciones particulares, las concentraciones de dopado difieren en un factor de 1000, 10000 ó 100000.

35 La interfaz entre la segunda región 12 de emisor formada en una parte superior de la primera región 11 de emisor y el resto de la primera región 11 de emisor es una interfaz 14 texturizada o sustancialmente texturizada. Dependiendo del proceso utilizado para formar la segunda región 12 de emisor, por ejemplo un proceso de difusión, un proceso de implantación o un proceso de dopado por láser, la textura de la interfaz 14 texturizada entre la primera región 11 de emisor y la segunda región 12 de emisor puede ser menos pronunciada o más pronunciada, pero de acuerdo con realizaciones de la presente invención es siempre una superficie texturizada.

40 La textura de la interfaz 14 puede corresponder a la textura presente en la segunda superficie texturizada o superficie frontal 22. La interfaz 14 entre la segunda región 12 de emisor creada en la parte superior de la primera región 11 de emisor y el resto de la primera región de emisor se puede así hacer sustancialmente paralela con la segunda superficie texturizada o superficie 22 frontal. En otras palabras, la interfaz 14 entre la segunda región 12 de emisor y la primera región 11 de emisor puede seguir sustancialmente el perfil de textura presente en la superficie 22 frontal. O aún en otras palabras, la interfaz 14 entre la segunda región 12 de emisor creada en una parte superior de la primera región 11 de emisor y el resto de la primera región de emisor se puede producir a una distancia o profundidad constante (indicada con una d en la Fig. 1) bajo la superficie 22 frontal texturizada. La extensión en esta profundidad d puede ser por ejemplo menor que el 50%, o menor que el 40%, o menor que el 30%, o menor que el 20%, o menor que el 10%.

- 5 En realizaciones de la presente invención donde formar la segunda región 12 de emisor en la primera superficie 21 texturizada comprende formar la segunda región 12 de emisor en una parte superior de la primera región 11 de emisor, la segunda región 12 de emisor creada en la parte superior de la primera región 11 de emisor puede tener un grosor total medio en el rango de entre 5 nm y 1 μm , o entre 5 nm y 500 nm, o entre 5 nm y 250 nm, y una concentración de dopado en el rango entre $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ y 10^{22} cm^{-3} .
- En tales realizaciones en las que se proporciona una segunda región 12 de emisor difundida en la primera región 11 de emisor, la concentración de dopado total en la segunda región 12 de emisor puede ser mayor que en realizaciones en las que la segunda región 21 de emisor se forma sobre la primera región 11 de emisor, por ejemplo por medio de CVD.
- 10 En realizaciones en las que una segunda región 12 de emisor se proporciona en una parte superior de la primera región 11 de emisor, la transición en la concentración de dopado entre la segunda región 12 de emisor y la primera región 11 de emisor en la interfaz puede no ser tan acusada como en realizaciones donde la segunda región 12 de emisor se forma sobre la primera región 11 de emisor. Por tanto, la intensidad del campo eléctrico local del Campo Frontal Superficial puede ser más débil en caso de segundas regiones 12 de emisor proporcionadas en una parte superior de la primera región 11 de emisor en comparación con el caso de segundas regiones 12 de emisor formadas sobre la primera región 11 de emisor. En realizaciones donde la segunda región 12 de emisor es una región formada en una parte superior de la primera región 11 de emisor, se puede utilizar la implantación para crear una segunda región 11 de emisor delgada y altamente dopada en una parte superior de la primera región 11 de emisor. La concentración de dopado activa obtenida con la implantación puede ser muy alta, pero el perfil de dopado se puede controlar con una precisión menor que en el caso de la difusión.
- 15 En realizaciones de la presente invención, antes de formar la primera región 11 de emisor, se puede proporcionar una capa 30 no dopada o inintencionadamente dopada, por ejemplo una capa de semiconductor como una capa de silicio, sobre la cual se forma la primera región 11 de emisor. El grosor de dicha capa 30 no dopada o inintencionadamente dopada puede estar entre 0 y 1000 nm o entre 0 y 500 nm, o entre 0 y 300 nm, o entre 0 y 250 nm, o entre 0 y 100 nm. La presencia de dicha capa 30 no dopada o intencionalmente dopada puede resultar en un aumento de la corriente de cortocircuito de una célula fotovoltaica. La capa 30 no dopada o inintencionadamente dopada puede formarse por deposición, por ejemplo puede formarse por deposición de vapor químico (CVD), como por ejemplo CVD atmosférica, CVD a presión reducida, CVD a baja presión, o CVD asistida por plasma.
- 20 Se puede utilizar en un dispositivo fotovoltaico una estructura 5 de emisor de acuerdo con realizaciones de la presente invención, que comprende una primera región 11 de emisor y una segunda región 12 de emisor con una interfaz 14 texturizada entre la primera región 11 de emisor y la segunda región 12 de emisor.
- 25 En un tercer aspecto, la presente invención se refiere a un dispositivo 6 fotovoltaico que comprende una estructura 5 de emisor de acuerdo con realizaciones de la presente invención, y a un método para fabricar dicho dispositivo 6 fotovoltaico. Por tanto, se pretende que las características del dispositivo 6, que resultan de la descripción de los aspectos relativos al método, están incluidas en la descripción del tercer aspecto.
- 30 Un dispositivo 6 fotovoltaico de acuerdo con la presente invención comprende una estructura 5 de emisor de acuerdo con realizaciones de la presente invención. Puede comprender además una región base 13 y/o un sustrato 10. La región base 13 puede comprender, por ejemplo, una capa de semiconductor monocristalina o policristalina, por ejemplo una capa de silicio, sobre un sustrato 10 como por ejemplo un sustrato cerámico, un sustrato de vidrio o un sustrato 10 de semiconductor, por ejemplo silicio. El nivel de pureza del sustrato 10 de semiconductor puede variar; por ejemplo, en caso de un sustrato 10 de silicio puede variar desde Silicio de Grado Metalúrgico (MG-Si) hasta silicio de Grado Electrónico (EG-Si) y todos los niveles de pureza entre ambos (por ejemplo, material de silicio fuera de especificaciones, es decir, material multicristalino con especificaciones que están fuera del rango para su uso en la línea industrial actual para la producción fotovoltaica, o MG-Si mejorado). El sustrato 10 también puede ser una oblea en grueso como por ejemplo una oblea de silicio (por ejemplo, una oblea de Cz-monocristalino, una oblea de Fz-monocristalino o una oblea monocristalina) o cualquier tipo de material de cinta (por ejemplo, aunque no sólo, cintas hechas por Crecimiento de Película con Borde Definido (EFG, Edge-defined Film-fed Growth según sus siglas en inglés), cintas hechas mediante Cintas Crecidas en Sustrato (RGS, Ribbon Growth on Substrate según sus siglas en inglés), Cintas de Muelle, cintas hechas mediante Cinta sobre Plantilla de Carbono Sacrificial (RST, Ribbon on Sacrificial Carbon Template según sus siglas en inglés)).
- 35 Un dispositivo 6 fotovoltaico de acuerdo con el tercer aspecto de la presente invención puede ser una célula epitaxial (como se ilustra en la Fig. 3), donde tanto la región 13 en grueso como la primera región 11 de emisor son hechas crecer epitaxialmente sobre un sustrato 10 (como por ejemplo un sustrato de cinta, un sustrato de cerámica, un sustrato de semiconductor, por ejemplo, silicio (mono o multi o multi de bajo coste), altamente dopado). En este caso el sustrato 10 no es una parte activa del dispositivo fotovoltaico y sólo sirve como soporte mecánico para las capas epitaxiales. Las capas epitaxiales pueden comprender por ejemplo una capa 15 BSF (Back Surface Filled), una región base 13 y una región de emisor 11, 12. Para células epitaxiales, la unión pn se forma en la interfaz entre la región base 13 crecida epitaxialmente y la primera región 11 de emisor crecida epitaxialmente. Se pueden proporcionar contactos 16 metálicos tanto en la superficie 22 frontal como en la superficie 23 posterior del dispositivo
- 40
- 45
- 50
- 55

6 fotovoltaico.

5 Un dispositivo fotovoltaico 6 de acuerdo con realizaciones de la presente invención puede ser una célula fotovoltaica en grueso (como se ilustra en la Fig. 4), donde el sustrato 10 es una parte activa del dispositivo fotovoltaico. Más en particular, el sustrato 10 forma la región 13 base del dispositivo 6 fotovoltaico. En este caso, sólo la región de emisor se hace crecer epitaxialmente (sobre la región base 13). La unión PN se forma entonces en la interfaz entre el sustrato 10 (región base 13) y la primera región 11 de emisor crecida epitaxialmente.

10 Un método para fabricar un dispositivo fotovoltaico 6 de acuerdo con realizaciones de la presente invención comprende formar, sobre la región base 13, una estructura 5 de emisor de acuerdo con realizaciones de la presente invención. Después de formar una estructura 5 de emisor de acuerdo con realizaciones de la presente invención, se puede llevar a cabo la pasivación de la superficie 22 frontal (no se ilustra en las figuras), como por ejemplo con una capa o pila de capas de pasivación. Dicha capa o pila de capas de pasivación puede comprender una capa dieléctrica o una pila de capas dieléctricas. Dichas capas pueden, por ejemplo, comprender óxido de silicio, por ejemplo formado por medio de oxidación térmica o CVD mejorado con plasma (PECVD), nitruro de silicio, por ejemplo formado por medio de CVD Mejorado con Plasma (PECVD) o CVD a Baja Presión (LPCVD) u óxido de titanio (TiO₂), por ejemplo formado por medio de CVD a Presión Atmosférica (APVCD). La aplicación de una capa o pila de capas de pasivación para pasivar la superficie frontal de la célula fotovoltaica 6 puede mejorar el rendimiento de la célula fotovoltaica.

20 Después de la pasivación, se puede aplicar un recubrimiento anti-reflectante que comprende una única capa o una pila de capas (no se ilustra en las figuras), como por ejemplo un recubrimiento anti-reflectante que comprende o consiste en ZnS y/o MgF₂ o nitruro de silicio (SiN_x) en combinación con MgF₂. Sin embargo, un experto en la materia también puede utilizar otros materiales para formar un recubrimiento anti-reflectante.

25 El método para fabricar un dispositivo fotovoltaico 6 de acuerdo con realizaciones de la presente invención puede comprender además un proceso de formación de contacto, es decir, un proceso para formar contactos 16 metálicos en la superficie 22 frontal y/o en la superficie 23 posterior del dispositivo. En realizaciones particulares, los contactos 16 metálicos se pueden formar mediante impresión por serigrafía, distribución, impresión por chorro de tinta, recubrimiento electrolítico, evaporación, o cualquier combinación de estas técnicas. Alternativamente, por ejemplo a escala de laboratorio, se pueden utilizar contactos evaporados (por ejemplo, formados por medio de evaporación por haz de electrones), por ejemplo que comprenden o consisten en una pila de titanio/paladio/plata (por ejemplo, 50nm/70nm/2000nm) en combinación con un recubrimiento (recubrimiento electrolítico o recubrimiento no electrolítico) para hacer más gruesa la capa de plata. Sin embargo, también se pueden utilizar otros métodos y materiales conocidos por un experto en la materia.

30 En realizaciones de acuerdo con el tercer aspecto de la presente invención, la célula fotovoltaica 6 puede comprender además una capa 30 no dopada o inintencionadamente dopada entre la primera región 11 de emisor y la región 13 base, como se ilustra en la Fig. 5. El grosor de dicha capa 30 no dopada o inintencionadamente dopada puede estar en el rango de entre 0 nm y 1000 nm, o entre 0 nm y 500 nm, o entre 0 nm y 300 nm, o entre 0 nm y 250 nm, o entre 0 nm y 100 nm. La capa 30 no dopada o inintencionadamente dopada puede, por ejemplo, comprender o consistir en material semiconductor, como por ejemplo silicio. La presencia de dicha capa 30 no dopada o inintencionadamente dopada ha demostrado ser beneficiosa para el rendimiento de la célula fotovoltaica resultante.

35 La Tabla 1 muestra resultados experimentales que ilustran el efecto de una capa 30 no dopada o inintencionadamente dopada entre la región base 13 y la región de emisor 11 sobre el rendimiento de las células 6 fotovoltaicas. El primer grupo de células fotovoltaicas (marcado como SC_i) tiene una pila estándar que comprende una capa base 13 de tipo p / primera región 11 de emisor de tipo n⁺ / segunda región 12 de emisor de tipo n⁺⁺, sin capa 30 intermedia no dopada. El segundo grupo de células fotovoltaicas (marcado como SD_undop_i) tiene una capa 30 no dopada o inintencionadamente dopada con un grosor de 400 nm entre la región base 13 y la pila de emisor 11, 12. Las células 6 fotovoltaicas listadas en la tabla 1 no están texturizadas. A partir de los resultados se puede concluir que la presencia de una capa 30 no dopada o inintencionadamente dopada en la región base 13 y la estructura 5 de emisor implica un aumento de la corriente de cortocircuito (J_{sc}) y un aumento del factor de empaquetamiento (FF), lo que a su vez conlleva un aumento de la eficiencia.

Id Célula	J _{sc} [mAcm ⁻²]	Voc [mV]	FF [%]	Eficiencia [%]
SC_1	30,1	626	77	14,4
SC_2	29,7	628	76	14,2
SC_3	29,8	628	77	14,5

Id Célula	J_{sc} [mAcm^{-2}]	Voc [mV]	FF [%]	Eficiencia [%]
SC_undop_1	29,9	630	78	14,7
SC_undop_2	29,9	630	78	14,7
SC_undop_3	30,3	629	77	14,7

Tabla 1

5 Por motivos de comparación, se han llevado a cabo experimentos para ilustrar el texturizado antes de formar la segunda región de emisor fuertemente dopada. Se han llevado a cabo experimentos de texturizado con plasma donde se llevó a cabo el texturizado sólo después de la formación de la segunda región 12 de emisor (que es diferente de las realizaciones de la presente invención, donde se lleva a cabo el texturizado antes de la formación de la segunda región 12 de emisor). Se proporcionó una segunda región 12 de emisor con un grosor medio de alrededor de 500 nm y se texturizó mediante plasma. Se descubrió que en el proceso de texturizado se extrajeron de media 450 nm de material semiconductor, por ejemplo silicio, dejando así una segunda capa de emisor altamente dopada con un grosor medio de 50 nm. Sin embargo, la efectividad del proceso de texturizado está muy limitada cuando sólo se extraen 450 nm de material semiconductor, por ejemplo silicio, es decir, la reducción en la reflexión de la luz en la superficie texturizada es insuficiente para influir sobre la corriente de cortocircuito de un dispositivo 6 fotovoltaico. Además, es difícil controlar este proceso de texturizado con una precisión de algunas decenas de nm. Como resultado, demasiado material altamente dopado de la segunda región 12 de emisor puede quedar en algunas partes, lo que puede provocar altas pérdidas Auger y, en combinación con el pobre texturizado de la superficie frontal, bajos valores de J_{sc} (corriente de cortocircuito) en los dispositivos fotovoltaicos. En otras posiciones se pueden crear "orificios" en la segunda región 12 de emisor (como por ejemplo se ilustra en la Fig. 6 – figura izquierda). Estos orificios destruyen parcialmente el FSF (Campo de Superficie Frontal) y conducen a valores de Voc (voltaje de circuito abierto) más bajos.

20 La Tabla 2 muestra resultados obtenidos con dicho método de texturizado (es decir, el texturizado después de la formación de la segunda región 12 de emisor). Para los tres primeros ejemplos mostrados en la Tabla 2, se formaron una primera región 11 de emisor y una segunda región 12 de emisor y la segunda región 12 de emisor fue parcialmente grabada durante el texturizado. Las tres últimas muestras tienen sólo una primera región 11 de emisor que fue texturizada durante un tiempo más largo que las primeras tres muestras. Como se puede concluir de los resultados mostrados en la Tabla 2, la corriente de cortocircuito J_{sc} de las primeras muestras es menor que la corriente de cortocircuito obtenida para las muestras con sólo una primera región de emisor. La corriente de cortocircuito de las muestras donde el texturizado se llevó a cabo después de la formación de la segunda región 12 de emisor es probablemente debido a recombinación Auger en la restante segunda región 12 de emisor altamente dopada, que aún puede ser bastante gruesa en algunas zonas.

Grosor segunda región de emisor [nm] / grosor primera región de emisor [nm]	Tiempo texturizado [s]	Silicio extraído [nm]	J_{sc} [mA/cm^2]	Voc [mV]	FF [%]	Eficiencia [%]
550 / 2000	30	310	16,2	596	64	6,2
550 / 2000	35	430	15,9	599	67	6,4
750 / 2000	30	275	15,7	793	67	6,2
0 / 3000	75	1270	17,7	600	66	7,0
0 / 3000	85	1650	18,8	612	72	8,3
0 / 3000	85	1400	18,1	606	66	7,3

30 Tabla 2

La Fig. 6 ilustra la diferencia entre un proceso donde es texturizada toda la pila de emisor, por ejemplo después de formar la segunda región 12 de emisor (como se ha ilustrado anteriormente, este proceso directo no funciona bien), y un proceso donde la primera región 11 de emisor es texturizada y donde la segunda región 12 de emisor se forma después del texturizado, de acuerdo con realizaciones de la presente invención.

5 Para poder tener un excelente FSF en combinación con una superficie frontal texturizada, el crecimiento de la segunda región 12 de emisor fuertemente dopada se puede llevar a cabo después de la texturización de la primera región 11 de emisor. Esta secuencia de proceso de acuerdo con realizaciones de la presente invención permite extraer, por ejemplo, un grosor predeterminado, por ejemplo alrededor de μm , de material semiconductor, por ejemplo silicio, de la primera región 11 de emisor por medio de un método de texturizado adecuado, por ejemplo mediante grabado con plasma, lo que resulta en una baja reflexión de la luz en la superficie frontal, por ejemplo por debajo del 15%. El crecimiento epitaxial sobre una superficie texturizada puede resultar en una baja calidad, por ejemplo debido a capas con muchos defectos, como se puede observar en las imágenes SEM de la Fig. 7a y la Fig. 7b. Sin embargo, si el grosor de estas capas (que corresponde a la segunda región 12 de emisor) es relativamente pequeño, es posible compensar las pérdidas de tensión en circuito abierto (debido al aumento de los defectos) mediante el aumento en la corriente de cortocircuito (debido a la superficie texturizada). El grabado de defectos en capas crecidas epitaxialmente sobre una superficie texturizada reveló una densidad de defectos de alrededor de $1 \times 10^8 \text{ at/cm}^3$.

15 En un primer grupo de experimentos, células fotovoltaicas de acuerdo con realizaciones de la presente invención, es decir, con texturizado entre la primera y la segunda región de emisor 11;12 fueron fabricadas en un proceso a escala de laboratorio. Los resultados se muestran en la Tabla 3. Se obtuvieron voltajes en circuito abierto de alrededor de 635 mV, siendo estos resultados comparables con los voltajes en circuito abierto obtenidos para células fotovoltaicas sin texturizar. Se consiguieron un buen factor de relleno (de alrededor del 77%) y corrientes de cortocircuito de hasta $23,5 \text{ mA/cm}^2$ (sin ningún recubrimiento anti-reflectante. Esto significa un aumento absoluto de la corriente de $4,5 \text{ mA/cm}^2$ en comparación con células fotovoltaicas equivalentes sin texturizado entre la primera y la segunda capas de emisor 11, 12.

Tiempo de texturizado [s]	Silicio extraído [nm]	J_{sc} [mA/cm^2]	V_{oc} [mV]	FF [%]	Eff [%]
50	850	23,3	633	77	11,3
50	850	23,5	633	77	11,4
65	1100	21,9	627	77	10,6
65	1100	22,3	628	77	10,8
65	1100	21,9	627	77	10,5
65	1100	21,8	628	77	10,6
Media de células no texturizadas		18,8	632	78	9,3

Tabla 3

25 En un segundo grupo de experimentos, se fabricaron células fotovoltaicas de acuerdo con realizaciones de la presente invención mediante un proceso de impresión por serigrafía para la formación de los contactos, un proceso típico a escala industrial. Se utilizó material multicristalino de bajo coste fuera de especificaciones como material de sustrato. Después de la formación de una primera capa 20 de silicio con dopado n de 2000 nm de grosor con una concentración de dopado de $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$, la superficie fue texturizada por medio de texturizado con plasma, extrayendo así de 0,5 a 0,7 μm de silicio y formando la primera región 11 de emisor. Después del texturizado con plasma, se hizo crecer una segunda región 12 de emisor altamente dopada con un grosor de 50 nm y con una concentración de dopado de Arsénico activo de $4 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$. En parte de las muestras se formó una delgada capa de óxido de 17 nm debido a un proceso de oxidación seca. Se llevó a cabo una etapa de deposición de SiN_x en todas las muestras para formar el recubrimiento anti-reflectante. Se utilizó impresión por serigrafía para contactar las muestras. Los resultados se muestran en la Tabla 4.

Estado	J_{sc} [mA/cm^2]	V_{oc} [mV]	Eff [%]
Sin óxido	19,1 – 20,3 ^o	586 – 607	7,5 – 8,9
Óxido	21,9 – 24,1	577 – 609	8,9 – 10,3

Tabla 4

35 El efecto de la oxidación sobre la J_{sc} es grande, como se puede observar en la tabla 4. Esto no se traduce en un

efecto similar sobre el V_{oc} . La eficiencia es claramente mejor en las células oxidadas. La Fig. 8 muestra un gráfico con el IQE (eficiencia cuántica interna) para las siguientes muestras:

- célula 1, representativa de muestras no oxidadas
- célula 2, representativa de muestras oxidadas
- 5 - célula 3, mejor célula oxidada
- célula 4, célula epi impresa por serigrafía con estructura de emisor difundida (sólo IQE)

El efecto de la oxidación sobre el IQE es evidente, a la vez que no afecta negativamente a la reflexión. Para longitudes de onda largas, todos los IQEs concuerdan. Para longitudes de onda muy cortas (350-400 nm), el IQE de las células CVD de emisor es mejor que para las células difundidas. Se cree que esto está relacionado con la buena
10 calidad de la pasivación del óxido.

REIVINDICACIONES

1. Un método para formar una estructura (5) de emisor sobre un sustrato (10) en un dispositivo fotovoltaico, comprendiendo el método:
- formar, sobre el sustrato (10), una primera capa (20) que comprende un material semiconductor;
- 5 texturizar una superficie de la primera capa (20), formando así una primera región (11) de emisor desde la primera capa (20), teniendo la primera región (11) de emisor una primera superficie (21) texturizada;
- formar una segunda región (12) de emisor en la primera superficie (21) texturizada, teniendo la segunda región (12) de emisor una segunda superficie texturizada donde la concentración de dopado de la segunda región (12) de emisor en una interfaz (14) con la primera región de emisor es al menos un factor de 10 mayor que la concentración de dopado de la primera región (11) de emisor en la interfaz (14).
- 10 2. El método de acuerdo con la reivindicación 1, donde formar la primera capa (20) comprende hacer crecer epitaxialmente la primera capa (20) sobre una superficie del sustrato (10).
3. El método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones precedentes, donde texturizar una superficie de la primera capa (20) comprende el grabado con plasma de la primera capa (20).
- 15 4. El método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones precedentes, donde formar la segunda región (12) de emisor comprende hacer crecer la segunda región (12) de emisor sobre la primera superficie (21) texturizada.
5. El método de acuerdo con la superficie 4, donde hacer crecer la segunda región (12) de emisor comprende hacer crecer epitaxialmente la segunda región (12) de emisor.
- 20 6. El método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, donde formar la segunda región (12) de emisor comprende formar la segunda región (12) de emisor en una parte superior de la primera región (11) de emisor.
7. El método de acuerdo con la reivindicación 6, donde formar la segunda región (12) de emisor comprende formar la segunda región de emisor por medio de difusión, implantación o dopado por láser.
- 25 8. Una estructura (5) de emisor en un dispositivo fotovoltaico que comprende una primera región (11) de emisor, una segunda región (12) de emisor adyacente a la primera región (11) de emisor, y una interfaz (14) entre la primera región (11) de emisor y la segunda región (12) de emisor, donde la interfaz (14) entre la primera región (11) de emisor y la segunda región (12) de emisor es una interfaz (14) texturizada, donde la concentración de dopado de la segunda región (12) de emisor en la interfaz (14) es al menos un factor de 10 mayor que la concentración de dopado de la primera región (11) de emisor en la interfaz (14).
- 30 9. Una estructura (5) de emisor de acuerdo con la reivindicación 8, donde el grosor medio de la primera región (11) de emisor está entre 0,2 μm y 10 μm .
10. Una estructura (5) de emisor de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 8 a 9, donde la primera región (11) de emisor tiene una concentración de dopado de entre 10^{15} cm^{-3} y 10^{19} cm^{-3} .
- 35 11. Una estructura (5) de emisor de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 8 a 10, donde la primera región (11) de emisor tiene una concentración de dopado constante o no constante.
12. Una estructura (5) de emisor de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 8 a 11, donde el grosor medio de la segunda región (12) de emisor está entre 5 nm y 1 μm .
- 40 13. Una estructura (5) de emisor de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 8 a 12, donde la segunda región (12) de emisor tiene una concentración de dopado de entre $5 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ y 10^{22} cm^{-3} .
14. Una estructura (5) de emisor de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 8 a 13, donde la segunda región (12) de emisor tiene una concentración de dopado constante o no constante.
15. Un dispositivo fotovoltaico que comprende una región base (13) y una estructura (5) de emisor de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 8 a 14.
- 45 16. Un dispositivo fotovoltaico de acuerdo con la reivindicación 15, que además comprende una capa (30) inintencionadamente dopada entre la región base (13) y la estructura (5) de emisor.

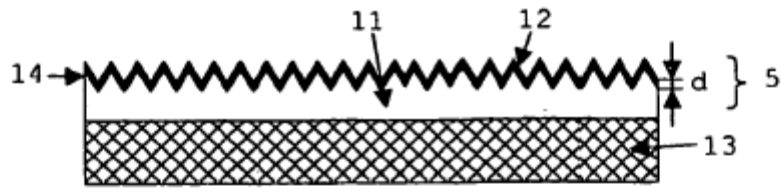
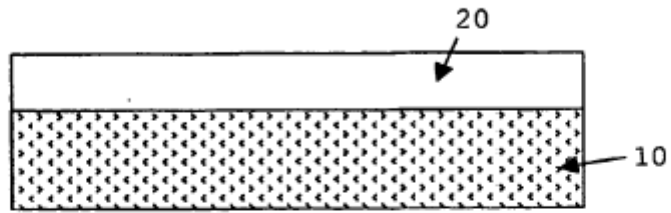
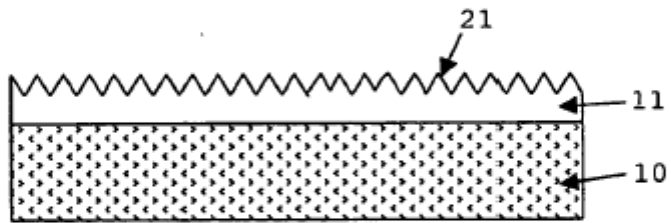


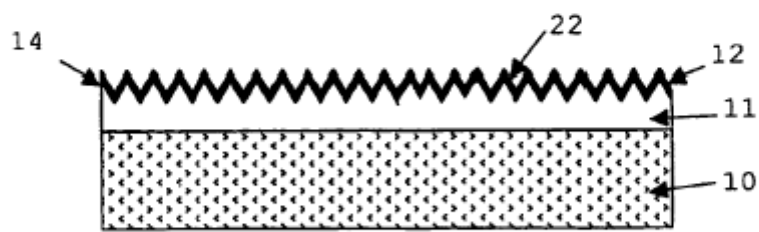
FIG. 1



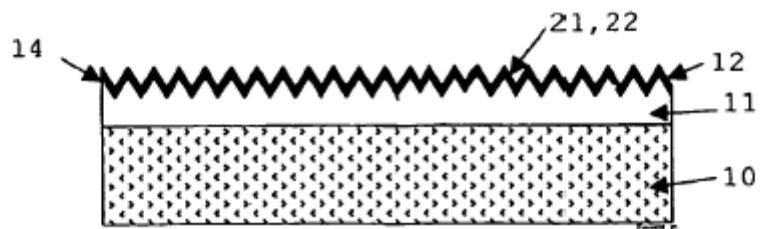
2(a)



2(b)



2(c)



2(d)

FIG. 2

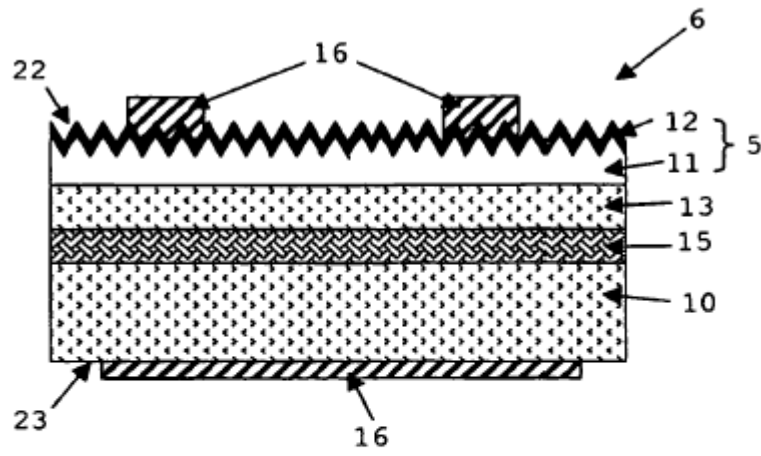


FIG. 3

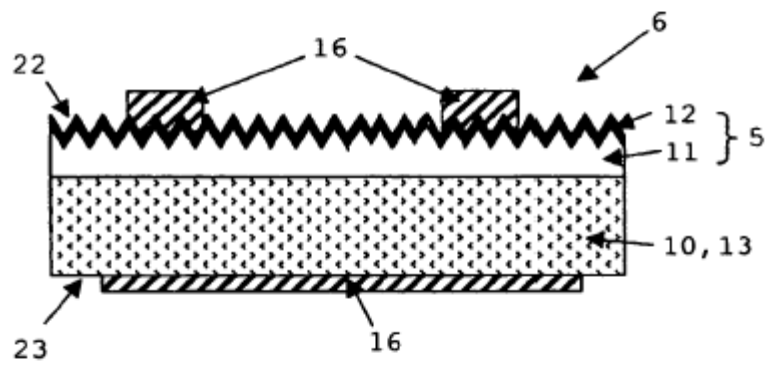


FIG. 4

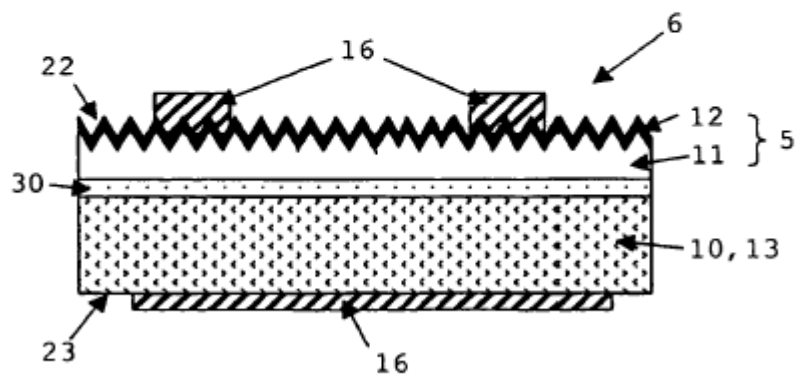


Fig. 5

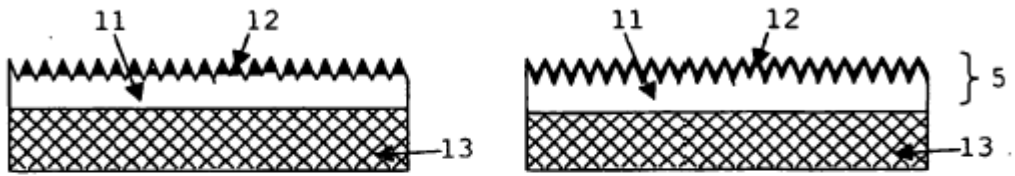


FIG. 6

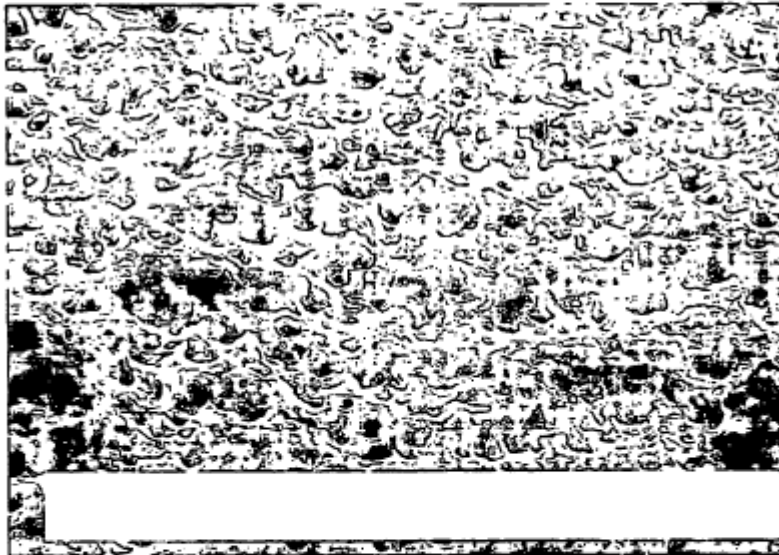
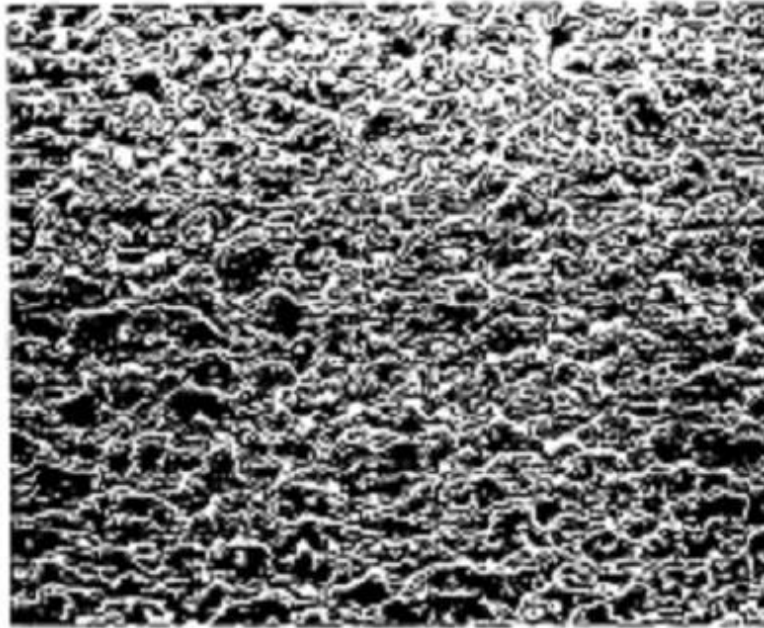


FIG. 7a

Acc.V Spot Magn Det WD Exp |—————| 2µm
5.00 kV 2.0 10000x TLD 3.2 1



3/30/2007 HV mag WD inclinación 5 μ m
 9:51:11 AM 5.00 kV 24 000 x 4.1 mm 1° R0537_5_plasma

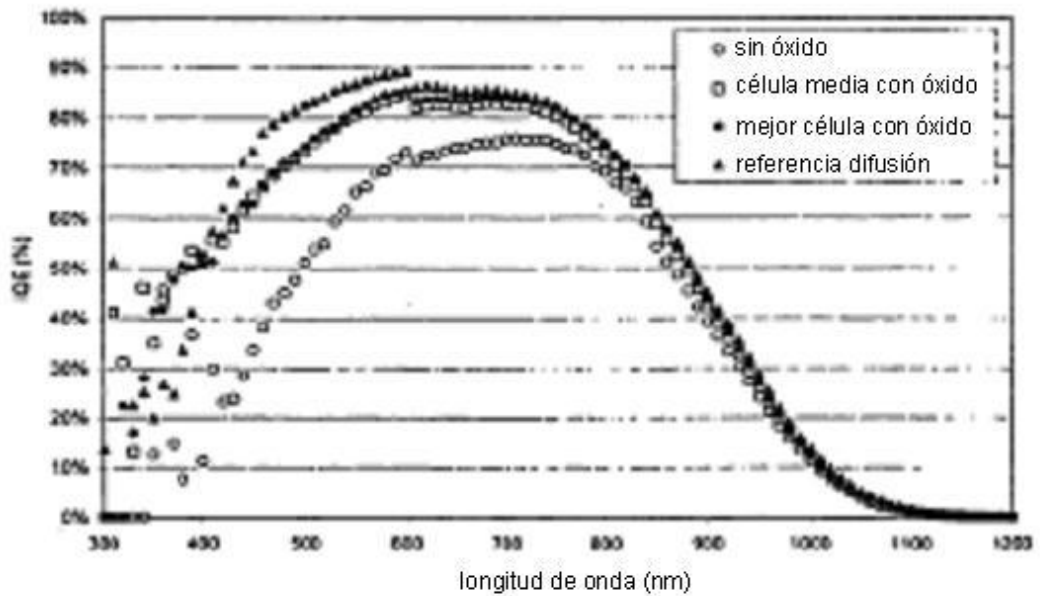


FIG. 8