

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 525 207**

51 Int. Cl.:

H01L 31/0236 (2006.01)

H01L 31/052 (2014.01)

H01L 31/18 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **07.06.2010** **E 10723540 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **19.11.2014** **EP 2443661**

54 Título: **Célula solar y procedimiento para su fabricación**

30 Prioridad:

19.06.2009 DE 102009029944

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

18.12.2014

73 Titular/es:

**FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT ZUR
FÖRDERUNG DER ANGEWANDTEN
FORSCHUNG E.V. (50.0%)**

Hansastraße 27c

80686 München, DE y

**ALBERT-LUDWIGS-UNIVERSITÄT FREIBURG
(50.0%)**

72 Inventor/es:

BLÄSI, BENEDIKT;

PETERS, MARIUS;

GOLDSCHMIDT, JAN, CHRISTOPH;

HERMLE, MARTIN;

HAUSER, HUBERT y

BERGER, PAULINE

74 Agente/Representante:

UNGRÍA LÓPEZ, Javier

ES 2 525 207 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 solar y procedimiento para su fabricación

5 La invención se refiere a una célula solar, que comprende un sustrato de silicio, un lado anterior configurado para el acoplamiento de luz y un lado posterior según el preámbulo de la reivindicación 1 así como a un procedimiento para su fabricación.

10 Células solares de silicio de semiconductor sirven para convertir radiación electromagnética, que incide en la célula solar, en energía eléctrica. Para ello, luz se acopla en la célula solar a través del lado anterior configurado para el acoplamiento de luz, de modo que se generan pares de agujeros de electrones mediante absorción en el sustrato de silicio. En una transición pn se realiza la separación de soporte de carga. A través de contactos eléctricos de una zona p y de una zona n, la célula solar se puede conectar con un circuito de corriente externo.

15 Es fundamental para el rendimiento de una célula solar, además de las propiedades eléctricas, el rendimiento lumínico. El rendimiento lumínico designa la relación entre la radiación electromagnética que incide en el lado anterior con respecto a la generación global de pares de agujeros de electrones debido al acoplamiento de luz en la célula solar.

20 Dado que el silicio es un semiconductor indirecto y, con ello, tiene unos valores de absorción menores para la radiación incidente con respecto a semiconductores directos, es relevante en particular en células solares de silicio también la prolongación del trayecto de luz dentro de la célula solar para aumentar el rendimiento lumínico: debido a las propiedades de absorción pequeñas, una parte de la luz de mayor longitud de onda atraviesa la célula solar e incide en el lado posterior de la célula solar. Para aumentar el rendimiento lumínico es conocido, por tanto, configurar el lado posterior de manera reflejante, de modo que un rayo de luz que incide en el lado posterior se vuelve a reflejar en la dirección hacia el lado anterior.

30 Para aumentar el rendimiento lumínico es conocido además aumentar el acoplamiento de luz mediante una textura de lado anterior, por ejemplo, en forma de pirámides invertidos, dado que rayos incidentes también inciden al menos sobre una superficie de lado anterior adicional en caso de una reflexión por primera vez, de modo que se aumenta el acoplamiento de luz global. Además, se realiza un acoplamiento oblicuo de los rayos de luz, de modo que se consigue un trayecto de luz más largo con respecto a una superficie plana dentro del sustrato de silicio hasta que incida en el lado posterior y, además, existe una mayor probabilidad de una reflexión total en el lado posterior debido al ángulo menos inclinado al incidir en el lado posterior. Esto último es importante en particular cuando el lado posterior está azogado, por ejemplo, mediante una capa de óxido de silicio y una capa metálica situada por encima de la misma.

40 Una célula solar de silicio de alta eficiencia con una textura compuesta por pirámides invertidos en el lado anterior y un lado posterior azogado está descrita en el documento DE 195 22 539 A1. En particular en el caso de células solares de silicio de oblea de alta eficiencia se consigue un aumento claro del rendimiento lumínico mediante una textura en el lado anterior y un azogado del lado posterior. Sin embargo, los fotones que inciden en el lado posterior se reflejan, según las reglas de la óptica de rayos, directamente sobre el lado anterior, de modo que una parte de los fotones vuelve a salir de la célula solar y no se puede aprovechar para la conversión de energía. Esto es válido en particular para los fotones de ondas largas, y la pérdida es mayor cuanto más delgada es la respectiva célula solar.

45 Sin embargo, debido a la parte fundamental del material de semiconductor en los costes globales en la fabricación de una célula solar, figura en primer plano el desarrollo de células solares de silicio de alta eficiencia más delgadas.

50 La invención se basa por tanto en el objetivo de crear una célula solar de silicio y un procedimiento para fabricar una célula solar de este tipo con la que esté aumentado el rendimiento lumínico, en particular en caso de una radiación de ondas largas.

55 Este objetivo se consigue mediante una célula solar según la reivindicación 1 y mediante un procedimiento para fabricar una célula solar según la reivindicación 16. Configuraciones ventajosas de la célula solar según la invención se encuentran en las reivindicaciones 2 a 15; configuraciones ventajosas del procedimiento según la invención se encuentran en las reivindicaciones 17 a 19.

60 La célula solar según la invención comprende un sustrato de silicio, un lado anterior configurado para el acoplamiento de luz y un lado posterior opuesto a éste.

65 Es fundamental que el lado anterior tenga, al menos en una zona parcial, una textura de lado anterior que es periódica a lo largo de una dirección espacial A con una longitud de período superior a $1 \mu\text{m}$, y que el lado posterior tenga, al menos en una zona parcial, una textura de lado posterior que es periódica a lo largo de una dirección espacial B con una longitud de período inferior a $1 \mu\text{m}$. A este respecto, la dirección espacial A está situada con un ángulo de entre 80° y 100° grados con respecto a la dirección espacial B. En una vista desde arriba del lado anterior de la célula solar, la dirección espacial A de la extensión periódica de la textura de lado anterior y la

dirección espacial B de la extensión periódica de la textura de lado posterior encierran, por consiguiente, un ángulo de entre 80° y 100° .

5 Una textura se denomina periódica cuando existe un vector V ($V \neq 0$) para el que es válido: una traslación en V y múltiplos de número entero de V traslada la textura en sí misma. El vector generador de un período es el vector más pequeño posible V' que cumple con este requisito. Periodicidad existe sólo cuando existe el vector más pequeño posible de este tipo. Para V' es válido que exclusivamente traslaciones de V' y múltiplos de número entero de V' trasladan la textura en sí misma. La longitud de V' es la longitud de período. Si existe sólo un vector (linealmente independiente) de este tipo, se habla de periodicidad lineal. Preferiblemente, las texturas de lado anterior y de lado posterior tienen una periodicidad lineal.

15 La dirección espacial A discurre a este respecto de manera paralela al lado anterior y la dirección espacial B discurre de manera paralela al lado posterior. La denominación "paralela" se refiere a este respecto y a continuación a las superficies no texturadas respectivamente del lado anterior y del lado posterior, es decir, planos llanos imaginarios que representarían el lado anterior o el lado posterior no texturados. Típicamente, el lado anterior es paralelo al lado posterior. La indicación "una dirección espacial X discurre de manera paralela a un plano E" se debe entender de modo que el vector, que representa X, está situado en el plano E, esto es, todos los puntos de X también son puntos de E.

20 A diferencia de las células solares de silicio típicas de alta eficiencia, la célula solar según la invención tiene, por consiguiente, una textura tanto en el lado anterior como en el lado posterior. Sin embargo, es fundamental que ambas texturas tengan una periodicidad diferente. Esto se debe a lo siguiente:

25 En células solares de silicio, debido a las propiedades de absorción de silicio, las longitudes de onda de la radiación electromagnética, que se puede convertir de manera eficaz en energía eléctrica, están situadas en el intervalo de 200 nm a 1.200 nm, disminuyendo mucho la absorción para grosores de célula típicos a partir de aproximadamente 1.000 nm. Texturas periódicas con una periodicidad superior a $1 \mu\text{m}$ tienen por tanto estructuras ópticas que fundamentalmente son más grandes que la longitud de onda de la radiación electromagnética. Estructuras ópticas de este tipo son, por tanto, fundamentalmente estructuras refractivas, es decir, las propiedades ópticas se pueden definir fundamentalmente mediante la óptica de rayos. A este respecto, en el marco de la invención entra el hecho de que la textura de lado anterior está revestida con una o varias capas ópticas, por ejemplo, para reducir la reflexión con respecto a radiación que incide en el lado anterior.

35 En cambio, la periodicidad de la textura de lado posterior es inferior a $1 \mu\text{m}$. Debido a las propiedades de absorción de silicio, en el caso de grosores de célula típicos entre $10 \mu\text{m}$ y $250 \mu\text{m}$, sólo radiación con una longitud de onda superior a 800 nm incide en el lado posterior tras atravesar el sustrato de silicio, de modo que el tamaño de las estructuras ópticas de la textura de lado posterior se encuentra en el intervalo de o es más pequeño que la longitud de onda de la radiación electromagnética incidente en el silicio. A este respecto, es preciso tener en cuenta que la longitud de onda de la luz con la propagación en el silicio se reduce en un factor que corresponde al índice de refracción, es decir, en el caso de silicio, en aproximadamente un factor de 3.5.

La textura de lado posterior es, por tanto, una textura fundamentalmente difractiva, es decir, las propiedades ópticas de la textura de lado posterior fundamentalmente no se definen por la óptica de rayos sino por la óptica de ondas.

45 El uso de texturas difractivas en el lado posterior de una célula solar es conocido básicamente y, por ejemplo, se describe en C. Heine, R. H. Morf, *Submicrometer gratings for Solar energy applications*, Applied Optics, VL. 34, n.º. 14, mayo de 1995, en H. Kiess *et al.*, "light trapping in solar cells using submicron gratings" y en el documento US 2004021062 también se describe el uso de texturas difractivas en el lado posterior de células solares. Sin embargo, en las células solares de silicio conocidas por el estado de la técnica no se realiza una combinación de texturas refractivas y texturas difractivas. Investigaciones del solicitante han revelado que el inconveniente fundamental se basa en que, en el caso de una combinación de un lado anterior con una textura refractiva y un lado posterior con una textura difractiva, la luz incide en diferentes direcciones y con diferentes orientaciones relativas en el lado posterior, de modo que una parte de los rayos incide en un ángulo no óptimo en la textura de lado posterior. Además, los rayos difractados por el lado posterior inciden al menos en parte en el lado anterior en ángulos desfavorables, de modo que se realiza un desacoplamiento de estos rayos y, con ello, se reduce el rendimiento lumínico. Estos efectos están pronunciados en particular cuando la textura de lado anterior es una textura tridimensional, como, por ejemplo, la textura mediante pirámides invertidos conocida en el estado de la técnica.

60 Por este motivo, hasta ahora no parecían razonables texturas difractivas en el lado posterior en caso de células solares con texturas refractivas en el lado anterior.

65 Sin embargo, la célula solar según la invención tiene en el lado anterior una textura que se extiende periódicamente en la dirección espacial A. De este modo se reducen las posibles direcciones y orientaciones con las que los rayos de luz inciden en el lado posterior. Además, la dirección espacial B, en la que se extiende periódicamente la textura de lado posterior, está situada en un ángulo entre 80° y 100° con respecto a la dirección espacial A. Para la mayor parte de los posibles trayectos de rayos se excluye de este modo el efecto negativo anteriormente descrito de un

acortamiento de trayecto de luz.

En la célula solar según la invención, por tanto, se realiza por primera vez la combinación de una textura de lado anterior fundamentalmente refractiva con una textura de lado posterior fundamentalmente difractiva de modo que se unen las ventajas de ambos tipos de texturado y se excluyen efectos negativos debido a ángulos de incidencia no óptimos para la estructura difractiva de lado posterior y al desacoplamiento de los rayos difractados en el lado posterior en la textura de lado anterior:

Debido a la configuración de la textura de lado anterior como una textura que se extiende periódicamente en la dirección espacial A se realiza, al menos en caso de rayos que inciden perpendicularmente en el lado anterior, un acoplamiento fundamentalmente en un plano que está abarcado por la dirección espacial A y una dirección espacial situada de manera perpendicular al lado anterior. De este modo es posible optimizar la textura de lado posterior difractiva

- de modo que los rayos difractados en el lado posterior se propagan de manera casi paralela al lado posterior, por lo que se consigue una prolongación del trayecto de luz,
- de modo que los rayos difractados en el lado posterior inciden en el lado anterior de modo que se consigue una reflexión total en el lado anterior y, con ello, también una prolongación del trayecto de luz y
- de modo que no se producen reflexiones múltiples con pérdidas en el lado posterior.

Una optimización de este tipo ya se consigue en parte por que la dirección espacial B, en la que se extiende periódicamente la textura de lado posterior, está situada en un ángulo entre 80 ° y 100 ° con respecto a la dirección espacial A. Una optimización aumentada se consigue mediante un ángulo entre 85 ° y 95 °, preferiblemente mediante un ángulo de 90 °, es decir, cuando las dos direcciones espaciales están situadas en ángulo recto entre sí.

Las denominadas células solares „de ranuras cruzadas”, en las que la dirección espacial B, en la que se extiende periódicamente la textura de lado posterior, está situada en ángulo recto con respecto a la dirección espacial A, en la que se extiende periódicamente la textura de lado anterior, son conocidas en el estado de la técnica (tal como, por ejemplo, se describe en P. Campbell *et al.*, "*light trapping properties of pyramidally textured surfaces*", en los documentos US 4608451, US 4620364, US 5080725 o WO 200810063), aunque no en combinación con una textura de lado anterior refractiva y una textura de lado posterior difractiva.

De manera ventajosa, la textura de lado anterior y la textura de lado posterior cubren en cada caso fundamentalmente todo el lado anterior y todo el lado posterior de la célula solar, dado el caso con interrupciones, por ejemplo, para aplicar estructuras de metalización. Igualmente entra en el marco de la invención el hecho de que sólo una o varias zonas parciales del lado anterior y/o del lado posterior tienen una textura. En esta forma de realización, la textura de lado anterior y la textura de lado posterior están dispuestas preferiblemente en zonas parciales opuestas entre sí del lado anterior y del lado posterior.

En el marco de la invención entra el hecho de que, dado el caso, la célula solar está dividida en el lado anterior y/o en el lado posterior en varias zonas parciales que tienen respectivamente una textura que se extiende periódicamente. Sin embargo, es fundamental que repeticiones dado el caso existentes en direcciones espaciales diferentes de la dirección espacial de la extensión periódica tengan una periodicidad fundamentalmente más grande en comparación con la periodicidad de la textura que se extiende periódicamente.

Preferiblemente, por tanto, la textura de lado anterior no tiene una periodicidad o tiene una periodicidad con una longitud de período de al menos 30 µm, preferiblemente de al menos 50 µm, en una dirección espacial A' perpendicular a la dirección espacial A. La dirección espacial A' discurre también de manera paralela al lado anterior. Además, es ventajoso cuando, en la dirección espacial A', la textura de lado anterior no tenga una periodicidad o tenga una periodicidad con una longitud de período que corresponde al menos a 5 veces, preferiblemente al menos a 10 veces, más preferiblemente al menos a 15 veces la longitud de período de la textura de lado anterior en la dirección espacial A.

Además, preferiblemente, la textura de lado posterior no tiene una periodicidad o tiene una periodicidad con una longitud de período de al menos 5 µm, preferiblemente de al menos 10 µm, más preferiblemente de al menos 30 µm, en particular de al menos 50 µm en una dirección espacial B' perpendicular a la dirección espacial B. La dirección espacial B' discurre también de manera paralela al lado posterior. Además, es ventajoso cuando, en la dirección espacial B', la textura de lado posterior no tenga una periodicidad o tenga una periodicidad con una longitud de período que corresponde al menos a 5 veces, preferiblemente al menos a 10 veces, más preferiblemente al menos a 15 veces la longitud de período de la textura de lado posterior en la dirección espacial B.

Además, es ventajoso cuando las texturas no tengan un cambio de altura o sólo tengan un cambio de altura pequeño en las direcciones espaciales A' o B', es decir, cuando el perfil de altura de la textura no cambie o no cambie fundamentalmente en esta dirección espacial.

Preferiblemente, por tanto, la altura de la textura de lado anterior en la dirección espacial A' no cambia por más de 2 μm , en particular, en la dirección espacial A', la textura de lado anterior tiene una altura aproximadamente constante.

5 Además, preferiblemente, la altura de la textura de lado posterior por tanto no cambia por más de 50 nm en la dirección espacial A', en particular, en la dirección espacial A', la textura de lado posterior tiene una altura aproximadamente constante.

10 Las condiciones anteriormente mencionadas simplifican el proceso de fabricación y evitan efectos ópticos desventajosos.

15 Para la simplificación y la reducción de costes de la fabricación de la célula solar según la invención es ventajoso en particular que la textura de lado anterior sea una textura que se extiende linealmente en la dirección espacial A' y/o que el lado posterior sea una textura que se extiende linealmente en la dirección espacial B'. Estructuras de este tipo se denominan también estructuras de ranura. En este caso, la dirección espacial de la extensión periódica está situada por tanto de manera perpendicular a los elementos de textura lineales o a modo de ranura. En particular, es ventajoso que la textura de lado anterior en la dirección espacial A' y/o la textura de lado posterior en la dirección espacial B' tengan respectivamente una superficie de sección transversal aproximadamente constante y una forma de sección transversal aproximadamente constante.

20 En el marco de la invención entra el hecho de que en zonas parciales en el lado anterior y/o en el lado posterior está interrumpida la textura, por ejemplo, para aplicar una estructura de metalización para el contacto eléctrico del sustrato de silicio.

25 La altura de la textura de lado anterior, es decir, la diferencia de altura máxima de la superficie ópticamente relevante de la textura de lado anterior, asciende preferiblemente a entre 2 μm y 50 μm , en particular a entre 5 μm y 30 μm . De este modo se consigue una optimización del efecto óptico refractivo y de la fabricación económica.

30 La altura de la textura de lado posterior, es decir, la diferencia de altura máxima de la superficie ópticamente relevante de la textura de lado posterior, asciende preferiblemente a entre 50 nm y 500 nm, en particular a entre 80 nm y 300 nm. De este modo se consigue una optimización del efecto óptico difractivo y de la fabricación económica.

35 Para no alterar las propiedades eléctricas de la célula solar y posibilitar un contacto eléctrico sencillo mediante estructuras metálicas es ventajoso cuando la textura de lado anterior tenga una periodicidad inferior a 40 μm , preferiblemente inferior a 20 μm .

Para conseguir propiedades ópticas óptimas del lado posterior es ventajoso de manera alternativa y/o adicional que la textura de lado posterior tenga una periodicidad superior a 50 nm, preferiblemente superior a 100 nm.

40 Preferiblemente, la textura de lado anterior se genera directamente en el lado anterior del sustrato de silicio. Asimismo, en el marco de la invención entra el hecho de aplicar una o varias capas en el lado anterior del sustrato de silicio y generar la textura en una o varias de estas capas. Lo mismo es válido para la textura de lado posterior.

45 Las periodicidades de la textura de lado anterior y de la textura de lado posterior están elegidas preferiblemente de modo que la textura de lado anterior es una textura preferiblemente refractiva y de modo que la textura de lado posterior es una textura preferiblemente difractiva. De manera ventajosa, la periodicidad del lado anterior es por tanto superior a 3 μm , en particular superior a 5 μm . De manera alternativa o adicional, la periodicidad de la textura de lado posterior es ventajosamente inferior a 800 nm, preferiblemente inferior a 600 nm.

50 Para aumentar óptimamente el rendimiento lumínico, la textura de lado anterior cubre ventajosamente al menos un 30 %, en particular al menos un 60 %, además al menos un 90 %, del lado anterior, dado el caso con interrupciones, por ejemplo, para metalizaciones. Lo mismo es válido para la textura de lado posterior en el lado posterior.

55 Para generar células solares de silicio de alta eficiencia es habitual el uso de un sustrato de silicio monocristalino. En este caso, la textura de lado anterior está configurada preferiblemente por elementos de textura lineales que tienen respectivamente una superficie de sección transversal triangular.

60 Asimismo, es ventajoso el uso de obleas de silicio multicristalinas. En este caso, los rendimientos conseguidos son algo inferiores en comparación con células solares monocristalinas, sin embargo, los costes de material son claramente inferiores. De manera ventajosa, al utilizar obleas de silicio multicristalinas, se genera una textura de lado anterior con una superficie de sección transversal que tiene bordes curvados o redondos.

65 Debido a las diferentes velocidades de grabado en diferentes direcciones espaciales en caso de grabar un sustrato de silicio monocristalino, la textura de lado posterior tiene preferiblemente elementos de textura lineales, tal como se describe, por ejemplo, en la publicación anteriormente mencionada J. Heine; R. H. Morf, en el lugar indicado, en la página 2478 con respecto a la figura 3. Sin embargo, la fabricación de elementos de textura de este tipo con una sección transversal en forma de diente de sierra es a menudo extremadamente complicada y cara. Preferiblemente,

la forma de diente de sierra está aproximada por tanto a una forma de escalera, tal como se describe en dicha publicación en la misma página con respecto a la figura 4. Dicha publicación se incluye mediante referencia en esta descripción.

5 Una textura difractiva que se puede fabricar de manera especialmente sencilla y, con ello, económica, constituye una textura de lado posterior en forma de almena con flancos perpendiculares entre sí, tal como, por ejemplo, se describe en la publicación anteriormente mencionada con respecto a la figura 2.

10 También entran en el marco de la invención texturas difractivas senoidales y texturas difractivas en forma de diente de sierra.

Debido a los pequeños tamaños de estructura de la textura de lado posterior, las formas de sección transversal ventajosas anteriormente mencionadas se pueden conseguir a menudo sólo aproximadamente debido al proceso, en particular aparecen a menudo redondeados en los cantos de las estructuras.

15 Para simplificar las etapas de proceso adicionales en el lado posterior de la célula solar según la invención, en particular la aplicación de una estructura de metalización, es ventajoso que en el lado posterior esté aplicada una capa de lado posterior, preferiblemente una capa dieléctrica, sobre la textura de lado posterior. A este respecto, la textura de lado posterior se cubre completamente por la capa dieléctrica, de modo que existe una superficie plana en el lado posterior para las siguientes etapas de proceso. En particular es ventajoso que la capa de lado posterior sea una capa eléctricamente aislante y que se aplique sobre la capa de lado posterior una metalización, preferiblemente por toda la superficie.

20 De este modo es posible de manera sencilla generar mediante una fusión local, por ejemplo, mediante un láser, conexiones locales eléctricamente conductoras entre la capa metálica y el sustrato de silicio.

25 A diferencia de las texturas de lado posterior difractivas anteriormente conocidas, en la célula solar según la invención, típicamente, los rayos no inciden perpendicularmente en el lado posterior debido a la textura de lado anterior. Preferiblemente, la textura de lado posterior está optimizada por tanto para una incidencia no perpendicular de los rayos en el lado posterior, en particular al elegirse, para un ángulo de incidencia dado θ en el lado posterior, la periodicidad Λ_R de la textura de lado posterior según la fórmula 1:

$$\Lambda_R = \frac{\lambda}{n \cos(\theta)} \quad (\text{fórmula 1})$$

35 con el índice de refracción n del sustrato de silicio y la longitud de onda λ del rayo que incide en el lado posterior. Preferiblemente, λ es a este respecto la mayor longitud de onda relevante, es decir, la mayor longitud de onda del espectro de la radiación que incide en la célula solar que aún contribuye de forma relevante a la generación de soporte de carga en la célula solar, y el ángulo θ es el ángulo de incidencia principal de los rayos sobre el lado posterior que existe debido a la textura de lado anterior. La fórmula 1 proporciona, en particular en caso de un ángulo de 90° entre la extensión periódica de la textura de lado anterior y la textura de lado posterior y/o con una textura de lado anterior con superficies de sección transversal triangulares, una periodicidad óptima para la textura de lado posterior.

40 Al utilizar una oblea de silicio monocristalina y con un grabado de la textura de lado anterior se produce típicamente un ángulo de incidencia θ en el lado posterior de $41,4^\circ$ debido a la orientación de cristales. Además, se elige para silicio la mayor longitud de onda relevante, preferiblemente, con $\lambda = 1100$ nm, ya que esto constituye una longitud de onda cerca del hueco de banda. Con un índice de refracción de $n = 3,5$ para silicio se da en esta forma de realización preferible por tanto una periodicidad de $\Lambda_R = 419$ nm.

50 La invención comprende además un procedimiento para fabricar una célula solar, que comprende un sustrato de silicio, con un lado anterior y un lado posterior, según la reivindicación 13. El procedimiento según la invención comprende las siguientes etapas de procedimiento:

55 en una etapa de procedimiento A se genera una textura de lado anterior al menos en una zona parcial del lado anterior, en la que la textura de lado anterior no varía en una dirección espacial paralela al lado anterior y tiene una periodicidad superior a $1 \mu\text{m}$ en una dirección espacial A perpendicular a este respecto de manera paralela al lado anterior.

Preferiblemente, a continuación se realiza una limpieza del lado posterior del sustrato de semiconductor.

60 En una etapa de procedimiento B se genera una textura de lado posterior al menos en una zona parcial del lado posterior, en la que la textura de lado posterior no varía en una dirección espacial paralela al lado posterior y tiene una periodicidad inferior a $1 \mu\text{m}$ en una dirección espacial B perpendicular a este respecto de manera paralela al lado posterior.

A este respecto, la textura de lado anterior y la textura de lado posterior se configuran de modo que la dirección espacial A está en un ángulo entre 80° y 100° con respecto a la dirección espacial B.

5 Preferiblemente, la generación de la textura de lado posterior en la etapa de procedimiento B comprende las siguientes etapas de procedimiento:

10 en una etapa de procedimiento B1 se aplica una capa de enmascarado resistente al grabado sobre el lado posterior. A continuación, en una etapa de procedimiento B2 se estructura la capa de enmascarado mediante un procedimiento de estampado. Un procedimiento de estampado de este tipo se describe, por ejemplo, en el documento US 4.731.155. A continuación, en una etapa de procedimiento B3 se realiza un grabado de las zonas del lado posterior que no están cubiertas por la capa de enmascarado.

A continuación, la capa de enmascarado se vuelve a eliminar.

15 En una configuración ventajosa adicional del procedimiento según la invención, a continuación, en una etapa C se aplica una capa de lado posterior, preferiblemente una capa dieléctrica, sobre la textura de lado posterior, cubriendo la capa de lado posterior completamente la textura de lado posterior.

20 La capa de lado posterior se cubre preferiblemente por toda la superficie con una capa metálica. Para establecer el contacto eléctrico del lado posterior se puede recurrir entonces a un procedimiento ya conocido de fusión local mediante un láser ("*Laser-Fired-Contacts* (LFC)", contactos disparados por láser), tal como se describe en el documento DE 100 46 170 A1.

25 La estructura de la célula solar según la invención se puede transferir a las estructuras de célula solar previamente conocidas, teniendo el lado anterior y el lado posterior las texturas según la célula solar según la invención. Típicamente, la célula solar según la invención tiene, al menos en el lado anterior del sustrato de silicio, un emisor y tiene, en el lado anterior, una metalización para el contacto de emisor y, en el lado posterior, una metalización para el contacto de base. En particular es ventajosa una estructura análoga a la célula solar descrita en el documento DE 195 22 539 A1, estando configuradas en el lado anterior y en el lado posterior del sustrato de silicio las texturas según la célula solar según la invención. Asimismo, la célula solar según la invención puede estar configurada de manera análoga a células de contacto de lado posterior conocidas en sí, en particular células solares EWT (tal como se describe, por ejemplo, en el documento US5468652) o células solares MWT (tal como se describe, por ejemplo, en el documento EP985233).

35 Características adicionales y configuraciones ventajosas resultan del ejemplo de realización descrito a continuación y representado en las figuras. A este respecto muestran:

40 La figura 1 un fragmento parcial de una célula solar según la invención en una representación esquemática en perspectiva y

La figura 2 representaciones en corte con respecto a la figura 1.

45 La célula solar representada en la figura 1 comprende un sustrato de silicio 1 con un lado anterior 2 y un lado posterior 3.

El sustrato de silicio es una oblea de silicio monocristalina. En el lado anterior 2 está configurada una textura de lado anterior refractiva con superficies de sección transversal triangulares y en el lado posterior 3 está configurada una textura de lado posterior difractiva que tiene una sección transversal en forma de almena.

50 La textura de lado anterior está configurada como una textura lineal con elementos de textura situados de manera paralela entre sí, extendiéndose la textura periódicamente a lo largo de la dirección espacial designada con A. La textura de lado posterior también está configurada como estructura lineal, extendiéndose la textura periódicamente a lo largo de la dirección espacial designada con B. Las direcciones espaciales A y B están situadas en un ángulo de 90° entre sí.

55 En el ejemplo de realización representado en la figura 1 de una célula solar según la invención, un rayo S que incide perpendicularmente en el lado anterior 1 se acopla oblicuamente en el sustrato de silicio 1 en el lado anterior 2. El rayo S discurre a este respecto en el sustrato de silicio en un plano que está situado de manera paralela a las estructuras lineales en el lado posterior y, con ello, de manera perpendicular a la extensión periódica (dirección espacial B) de la textura de lado posterior.

En cambio, el rayo difractado en el lado posterior se propaga de modo que, al incidir el rayo en el sustrato de silicio 1 en el lado anterior 2 se realiza una reflexión total y, por tanto, no se desacopla una parte de rayo.

65 La representación en la figura 1 sirve para aclarar la disposición geométrica de las texturas en el lado anterior y en el lado posterior. El tamaño de las texturas entre sí y con respecto al grosor global representado de la célula solar no

es a escala para proporcionar una mejor representación. Además, para proporcionar una mejor representación, las superficies de sección triangulares de la textura de lado anterior y las superficies situadas bajas de la textura de lado posterior están representadas llenadas.

5 En la figura 2 se representan dibujos en corte con respecto a la figura 1. La figura 2a) muestra a este respecto una sección perpendicular al lado anterior 2 y paralela a la dirección espacial A; la figura 2b) muestra una sección perpendicular al lado anterior 2 y paralela a la dirección espacial B.

10 La célula solar representada en el ejemplo de realización tiene un sustrato de silicio con un grosor global II de 250 μm , ascendiendo la altura de los elementos de textura en el lado anterior a aproximadamente 14 μm . La altura de los elementos de textura en el lado posterior asciende aproximadamente a 0,1 μm .

15 La textura de lado anterior tiene una periodicidad de 10 μm , es decir, el trayecto I en la figura 2a) asciende a 10 μm . La periodicidad de la textura de lado posterior es aproximadamente 419 nm, es decir, el trayecto III en la figura 2b) asciende aproximadamente a 419 nm.

REIVINDICACIONES

1. Célula solar que comprende un sustrato de silicio (1), un lado anterior (2) configurado para el acoplamiento de luz y un lado posterior (3), **caracterizada por que** el lado anterior tiene, al menos en una zona parcial, una textura de lado anterior que es periódica a lo largo de una dirección espacial A con una longitud de período superior a 1 μm y el lado posterior tiene, al menos en una zona parcial, una textura de lado posterior que es periódica a lo largo de una dirección espacial B con una longitud de período inferior a 1 μm , estando la dirección espacial A situada con un ángulo entre 80 ° y 100 ° grados con respecto a la dirección espacial B.
2. Célula solar según la reivindicación 1, **caracterizada por que** la dirección espacial A está situada con un ángulo entre 85 ° y 95 ° grados, preferiblemente en ángulo recto, con respecto a la dirección espacial B.
3. Célula solar según al menos una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizada por que** la textura de lado anterior no tiene una periodicidad o tiene una periodicidad con una longitud de período de al menos 30 μm , preferiblemente de al menos 50 μm en una dirección espacial A' perpendicular a la dirección espacial A y/o **por que**, en la dirección espacial A', la altura de la textura de lado anterior no cambia por más de 2 μm , preferiblemente, por que, en la dirección espacial A', la textura de lado anterior tiene un altura aproximadamente constante.
4. Célula solar según al menos una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizada por que** la textura de lado posterior no tiene una periodicidad o tiene una periodicidad con una longitud de período de al menos 5 μm , preferiblemente de al menos 10 μm , más preferiblemente de al menos 30 μm , en particular de al menos 50 μm , en una dirección espacial B' perpendicular a la dirección espacial B y/o **por que**, en la dirección espacial B', la altura de la textura de lado posterior no cambia por más de 50 nm, preferiblemente, por que, en la dirección espacial B', la textura de lado posterior tiene una altura aproximadamente constante y/o por que, en la dirección espacial B', la textura de lado posterior no tiene una periodicidad o tiene una periodicidad con una longitud de período que corresponde al menos a 5 veces, preferiblemente al menos a 10 veces, más preferiblemente al menos a 15 veces la longitud de período de la textura de lado posterior en la dirección espacial B.
5. Célula solar según al menos una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizada por que** la textura de lado anterior es una textura que se extiende en una dirección espacial A' perpendicular a la dirección espacial A y/o la textura de lado posterior es una textura que se extiende en una dirección espacial B' perpendicular a la dirección espacial B, preferiblemente, **por que** la textura de lado anterior en la dirección espacial A' y/o la textura de lado posterior en la dirección espacial B' tienen respectivamente una superficie de sección transversal aproximadamente constante y una forma de superficie de sección transversal aproximadamente constante.
6. Célula solar según al menos una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizada por que** la textura de lado anterior es una textura refractiva y/o la textura de lado posterior es una textura difractiva.
7. Célula solar según al menos una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizada por que** la periodicidad de la textura de lado anterior es superior a 3 μ , preferiblemente superior a 5 μm y/o **por que** la periodicidad de la textura de lado posterior es inferior a 800 nm, preferiblemente inferior a 600 nm.
8. Célula solar según al menos una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizada por que** la célula solar comprende un sustrato de silicio monocristalino (1) en cuyo lado anterior (2) está configurada la textura de lado anterior y **por que** la textura de lado anterior tiene superficies de sección transversal triangulares o **por que** la célula solar comprende un sustrato de silicio multicristalino (1) en cuyo lado anterior (2) está configurada la textura de lado anterior y **por que** las superficies de sección transversal de la textura de lado anterior tienen delimitaciones parabólicas o son segmentos circulares, preferiblemente semicírculos.
9. Célula solar según al menos una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizada por que** la textura de lado posterior tiene una sección transversal al menos aproximadamente en forma de diente de sierra o en forma de escalera o **por que** la textura de lado posterior tiene una sección transversal en forma de almena.
10. Célula solar según al menos una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizada por que** el lado anterior (2) comprende una o varias capas ópticas respectivamente con un grosor inferior a 1 μm para aumentar el acoplamiento de luz en el lado anterior (2).
11. Célula solar según al menos una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizada por que** la textura de lado anterior está configurada en el lado anterior (2) y/o la textura de lado posterior está configurada en el lado posterior (3) del sustrato de silicio.
12. Célula solar según al menos una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizada por que** en el lado posterior (3) está aplicada una capa de lado posterior, preferiblemente una capa dieléctrica, sobre la textura de lado posterior, estando la textura de lado posterior cubierta completamente por la capa dieléctrica, en particular **por que** sobre la capa de lado posterior está aplicada una capa metálica, preferiblemente **por que** la capa metálica tiene una pluralidad de conexiones eléctricamente conductoras con la textura de lado posterior.

13. Procedimiento para fabricar una célula solar que comprende un sustrato de semiconductor con un lado anterior y un lado posterior (3), que comprende las siguientes etapas de procedimiento:

- 5 A Generar una textura de lado anterior al menos en una zona parcial del lado anterior, siendo la textura de lado anterior periódica a lo largo de una dirección espacial A con una longitud de período superior a 1 μm ,
B Generar una textura de lado posterior, al menos en una zona parcial del lado posterior, que es periódica a lo largo de una dirección espacial B con una longitud de período inferior a 1 μm , estando la dirección espacial A situada en un ángulo de entre 80 ° y 100 ° grados con respecto a la dirección espacial B.

10 14. Procedimiento según la reivindicación 13, **caracterizado por que** la generación de la textura de lado posterior en la etapa de procedimiento B comprende las siguientes etapas de procedimiento:

- 15 B1 Aplicar una capa de enmascarado resistente a grabado,
B2 Estructurar la capa de enmascarado mediante un procedimiento de estampado y
B3 Grabar las zonas del lado posterior (3) que no están cubiertas por la capa de enmascarado.

20 15. Procedimiento según al menos una de las reivindicaciones 13 a 14, **caracterizado por que** tras la etapa B se aplica una capa de lado posterior, preferiblemente una capa dieléctrica, sobre la textura de lado posterior y ésta se aplica de manera que cubre completamente, y/o **por que** sobre el lado posterior (3) o sobre capas que cubren el lado posterior (3) se aplica una capa metálica y la capa metálica se une de manera eléctricamente conductora en una pluralidad de puntos con el sustrato de semiconductor, preferiblemente mediante una fusión local mediante radiación láser.

Figura 1

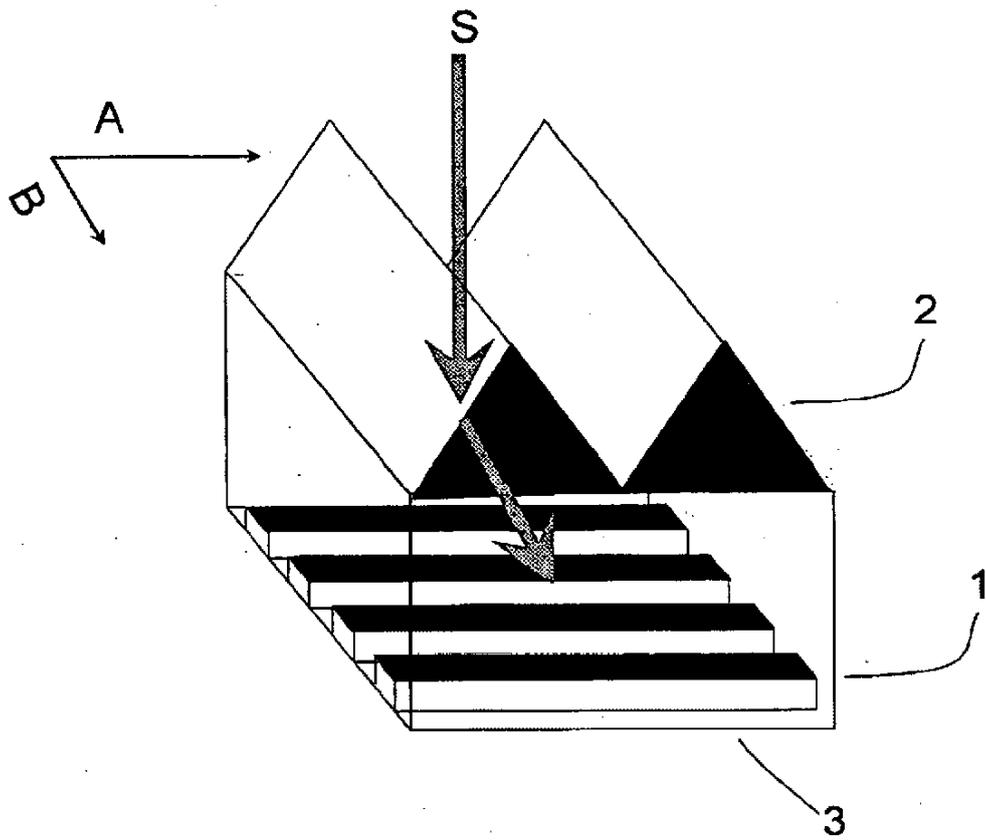


Figura 2

