

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 649 662**

51 Int. Cl.:

H01B 1/22 (2006.01)

H01L 31/0224 (2006.01)

H01L 31/068 (2012.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **09.07.2013 E 13003440 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **30.08.2017 EP 2824672**

54 Título: **Una pasta electroconductora que comprende partículas de Ag con una distribución multimodal del diámetro en la preparación de electrodos en células solares MWT**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
15.01.2018

73 Titular/es:

**HERAEUS DEUTSCHLAND GMBH & CO. KG
(100.0%)
Heraeusstr. 12-14
63450 Hanau, DE**

72 Inventor/es:

**NEIDERT, MICHAEL;
HAN, JING y
HÖRTEIS, MATTHIAS**

74 Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

ES 2 649 662 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

Una pasta electroconductora que comprende partículas de Ag con una distribución multimodal del diámetro en la preparación de electrodos en células solares MWT

Campo de la invención

5 La invención se refiere a una pasta electroconductora que comprende partículas de Ag con una distribución de diámetro multimodal en la preparación de electrodos en células solares, particularmente en la preparación de electrodos en células solares MWT, particularmente en la preparación del electrodo a través de la envoltura de metal, o electrodo de enchufe, en tales células solares. En particular, la invención se refiere a un precursor de célula solar, un proceso para preparar una célula solar, una célula solar y un módulo que comprende células solares.

10 Antecedentes de la invención

Las células solares son dispositivos que convierten la energía de la luz en electricidad mediante el efecto fotovoltaico. La energía solar es una fuente de energía verde atractiva porque es sostenible y solo produce subproductos no contaminantes. En consecuencia, actualmente se está dedicando una gran cantidad de investigación al desarrollo de células solares con una eficiencia mejorada a la vez que se reducen continuamente los costos de materiales y fabricación. Cuando la luz pega en una célula solar, una fracción de la luz incidente se refleja en la superficie y el resto se transmite a la célula solar. Los fotones transmitidos son absorbidos por la célula solar, que por lo general se fabrica de un material semiconductor, como el silicio, que frecuentemente se dopa de forma apropiada. La energía del fotón absorbido excita los electrones del material semiconductor, lo que genera pares electrón-hueco. Estos pares electrón-hueco se separan mediante uniones p-n y se recogen mediante electrodos conductores en las superficies de las células solares. La Figura 1 muestra una construcción mínima para una célula solar simple.

Las células solares se basan muy comúnmente en el silicio, a menudo en forma de una oblea de Si. Aquí, una unión p-n se prepara comúnmente al proporcionar un sustrato de Si dopado de tipo n y aplicar una capa dopada de tipo p a una cara o al proporcionar un sustrato de Si dopado de tipo p y aplicar una capa dopada de tipo n a una cara para obtener en ambos casos una unión denominada p-n. La cara con la capa aplicada con dopante generalmente actúa como la cara frontal de la célula, el lado opuesto del Si con el dopante original actúa como la cara posterior. Son posibles tanto las células solares de tipo n como las de tipo p y se han explotado industrialmente. También son posibles las células diseñadas para aprovechar la luz que incide en ambas caras, pero su uso se ha aprovechado de forma menos extensa.

30 Con el fin de permitir a la luz incidente en la cara frontal de la célula solar entrar y ser absorbida, el electrodo frontal se dispone generalmente en dos conjuntos de líneas perpendiculares conocidas como "dedos" y "barras colectoras" respectivamente. Los dedos forman un contacto eléctrico con la cara frontal y las barras colectoras unen estos dedos para permitir que la carga se extraiga efectivamente hacia el circuito externo. Es común que esta disposición de dedos y barras colectoras se aplique en forma de una pasta electroconductora que se cuece para proporcionar cuerpos de electrodo sólidos. También se aplica a menudo un electrodo posterior en forma de una pasta electroconductora que luego se cuece para proporcionar un cuerpo de electrodo sólido.

Otro enfoque para la preparación de células solares busca aumentar la proporción de luz incidente que es absorbida por la cara frontal por medio del contacto posterior del electrodo frontal. En las llamadas células solares MWT ("Metal Wrap Through"), los electrodos en la cara frontal de la célula solar entran en contacto con la cara posterior por medio de canales que unen la cara frontal y posterior que contienen material de electrodo, a menudo conocido como electrodo a través de la envoltura de metal o un electrodo de enchufe.

Una pasta electroconductora típica contiene partículas metálicas, un sistema de reacción inorgánica y un medio orgánico.

45 Los enfoques para células solares basados en obleas sin un hueco se describen en la técnica anterior. En el documento WO 2012/058358 A1, se emplea un aditivo metálico seleccionado del grupo que consta del itrio, un compuesto de organovanadio, un compuesto de organoantimonio, un compuesto de organofósforo y un compuesto de organoitrinio para mejorar las propiedades eléctricas de una célula solar. En el documento WO 2009/146354 A1, se emplean partículas inorgánicas submicrométricas para mejorar la eficiencia eléctrica de una célula solar. En el documento WO 03/045584 A1, se emplea una pasta conductora de fusión en caliente en un polímero termoplástico para proporcionar un procedimiento más conveniente para preparar una célula solar convencional. El documento EP 0 820 217 A1 proporciona una composición de película gruesa para rellenar agujeros en una placa de cableado eléctrico. El documento US 7 504 349 B2 proporciona una composición de película de película gruesa a base de cobre para su aplicación a varios sustratos.

55 Existe una necesidad en el estado de la técnica de células solares con propiedades mejoradas, en particular para células solares MWT con propiedades mejoradas.

Compendio de la invención

5 La invención se basa generalmente en el objetivo de superar al menos uno de los problemas encontrados en el estado de la técnica en relación con las células solares, en particular en relación con la envoltura metálica a través de células solares, y en particular en relación con las propiedades mecánicas y eléctricas del electrodo a través de la envoltura metálica.

Más específicamente, la invención se basa además en el objetivo de proporcionar un electrodo a través de una envoltura metálica que exhibe una alta adhesión física con la superficie de Si del canal en una célula solar MWT, mientras que, preferiblemente, presenta simultáneamente otras propiedades eléctricas y físicas favorables de la célula solar.

10 Una contribución para lograr al menos uno de los objetos descritos anteriormente se realiza mediante el tema de la reivindicación de formación de categorías de la invención. Se hace una contribución adicional por el tema de las reivindicaciones dependientes de la invención que representan realizaciones específicas de la invención.

Descripción detallada

15 Una contribución para lograr al menos uno de los objetivos descritos anteriormente se realiza mediante un precursor de célula solar que al menos comprende como partes precursoras:

- i) una oblea con al menos un hueco con una superficie de Si;
- ii) una pasta electroconductora que al menos comprende como constituyentes de la pasta:
 - a) partículas metálicas;
 - b) un sistema de reacción inorgánico;
 - 20 c) un medio orgánico; y
 - d) un aditivo;

comprendido por el orificio, en el que las partículas metálicas tienen una distribución multimodal del diámetro de la partícula.

25 Arriba y en lo que sigue, a menos que se especifique lo contrario, todas las distribuciones del diámetro y los valores máximo y d_{50} , d_{10} , d_{90} de las mismas son como se describe en los métodos de prueba.

En una realización del precursor de célula solar según la invención, las partículas metálicas tienen una distribución bimodal del diámetro de la partícula.

30 En una realización del precursor de células solares según la invención, las partículas metálicas tienen una distribución de diámetros con al menos dos máximos en el intervalo de aproximadamente 0,1 a aproximadamente 15 μm , preferiblemente en el intervalo de aproximadamente 0,2 a aproximadamente 12 μm , más preferiblemente en el intervalo de aproximadamente 0,3 a aproximadamente 10 μm , en el que al menos un par seleccionado de entre al menos dos máximos locales se separa en al menos aproximadamente 0,3 μm , preferiblemente por al menos aproximadamente 0,5 μm , más preferiblemente por al menos 1 μm . En algunos casos, se han empleado separaciones de máximos en distribuciones de diámetro de hasta aproximadamente 20 μm .

35 En otra realización del precursor de célula solar según la invención, las partículas metálicas tienen una distribución de diámetro multimodal con al menos dos máximos, en donde al menos un par seleccionado de al menos dos máximos se separan por al menos aproximadamente 1 μm , preferiblemente al menos aproximadamente 2 μm , más preferiblemente al menos aproximadamente 3 μm . En algunos casos, se han empleado separaciones de máximos en distribuciones de diámetro de hasta aproximadamente 20 μm .

40 En una realización del precursor de célula solar según la invención, las partículas metálicas tienen una distribución de diámetro con un coeficiente b de bimodalidad de Sarle mayor que aproximadamente 0,8, más preferiblemente mayor que aproximadamente 0,85, lo más preferiblemente mayor que aproximadamente 0,9. El valor del coeficiente de bimodalidad de Sarle no puede ser mayor que 1.

En una realización del precursor de célula solar según la invención, las partículas metálicas son partículas de Ag.

45 En una realización del precursor de célula solar según la invención, el sistema de reacción inorgánico está presente en la pasta en un intervalo de aproximadamente el 0,1 a aproximadamente el 5% en peso, preferiblemente en un intervalo de aproximadamente el 0,3 a aproximadamente el 3% en peso, más preferiblemente en un intervalo de aproximadamente el 0,5 a aproximadamente el 2% en peso.

50 En una realización del precursor de célula solar según la invención, al menos un hueco es un canal que une la cara frontal y la cara posterior de la oblea.

En una realización del precursor de célula solar según la invención, la superficie de Si en al menos un hueco comprende al menos una sección dopada de tipo p y al menos una sección dopada de tipo n.

En una realización del precursor de célula solar según la invención, la pasta está en contacto directo con la superficie de Si del hueco.

- 5 Una contribución para lograr al menos uno de los objetos descritos anteriormente se realiza mediante un proceso para preparar un precursor de célula solar según la invención, que comprende al menos la etapa de combinar al menos dos porciones diferentes de partículas de Ag con valores de d_{50} que difieren por al menos aproximadamente 1 μm , preferiblemente al menos aproximadamente 2 μm , más preferiblemente al menos aproximadamente 3 μm , con el fin de lograr la distribución de partículas multimodal. En algunos casos, se han empleado porciones de partículas de Ag con valores de d_{50} que están separados por hasta aproximadamente 20 μm .

Una contribución para lograr al menos uno de los objetivos descritos anteriormente se realiza mediante un proceso para la preparación de una célula solar que comprende al menos las etapas siguientes:

- i) proveer un precursor de célula solar según la invención;
- ii) cocer el precursor de la célula solar para obtener una célula solar.

- 15 En una realización del proceso según la invención, la provisión según la etapa i) comprende al menos las etapas:

- a) proveer una oblea de Si con una capa posterior dopada y una capa frontal dopada con dopantes de tipos opuestos;
- b) hacer al menos un hueco en la oblea;
- c) introducción de una pasta electroconductora en al menos un hueco para obtener un precursor según la invención;

Una contribución para lograr al menos uno de los objetivos descritos anteriormente se realiza mediante una célula solar que se puede obtener mediante el proceso según la invención.

En una realización de la invención, la célula solar comprende al menos como partes precursoras:

- i) una oblea con al menos un hueco con una superficie de Si;
- 25 ii) un electrodo compuesto por el hueco,

en el que el electrodo tiene una mayor concentración de vidrio en la superficie en la que el electrodo se encuentra con la superficie de Si que en la mayor parte del electrodo.

Una contribución para lograr al menos uno de los objetivos mencionados anteriormente se realiza mediante una célula solar que al menos comprende como partes de la célula solar:

- 30 i) una oblea con al menos un hueco con una superficie de Si;
- ii) un electrodo compuesto por el hueco,

en el que las partículas metálicas presentes en el electrodo tienen una distribución de diámetro multimodal con al menos dos máximos, en donde al menos un par seleccionado de al menos dos máximos están separados por al menos aproximadamente 1 μm , preferiblemente por al menos aproximadamente 2 μm , más preferiblemente por al menos aproximadamente 3 μm . En algunos casos, se han empleado separaciones de máximos en distribuciones de diámetro de hasta aproximadamente 20 μm .

Una contribución para lograr al menos uno de los objetivos descritos anteriormente se realiza mediante un módulo que comprende al menos una célula solar según la invención y al menos una célula solar adicional.

- 40 Una contribución para lograr al menos uno de los objetivos descritos anteriormente se realiza mediante un módulo que comprende al menos una célula solar según la invención y al menos una célula solar adicional.

Oblea

Las obleas preferidas según la invención son regiones, entre otras regiones de la célula solar, capaces de absorber luz con alta eficiencia para producir pares electrón-hueco y separar huecos y electrones a través de una frontera con alta eficiencia, preferiblemente a través de una denominada frontera de la unión p-n. Las obleas preferidas según la invención son aquellas que comprenden un único cuerpo constituido por una capa dopada frontal y una capa dopada posterior.

- 45

Se prefiere que esa oblea consista en elementos tetravalentes dopados apropiadamente, compuestos binarios, compuestos terciarios o aleaciones. Los elementos tetravalentes preferidos en este contexto son Si, Ge o Sn, preferiblemente Si. Compuestos binarios preferidos son combinaciones de dos o más elementos tetravalentes, compuestos binarios de un elemento del grupo III con un elemento del grupo V, compuestos binarios de un elemento del grupo II con un elemento del grupo VI o compuestos binarios de un elemento del grupo IV con un elemento del grupo VI. Las combinaciones preferidas de elementos tetravalentes son combinaciones de dos o más elementos seleccionados entre Si, Ge, Sn o C, preferiblemente SiC. Los compuestos binarios preferidos de un elemento del grupo III con un elemento del grupo V son GaAs. Lo más preferido según la invención es que la oblea se base en Si. El Si, como el material más preferido para la oblea, se menciona explícitamente en el resto de esta solicitud. Las secciones del siguiente texto en las que se menciona explícitamente Si también se aplican a las otras composiciones de obleas descritas anteriormente.

Donde la capa dopada frontal y la capa dopada posterior de la oblea se encuentran es la frontera de la unión p-n. En una célula solar de tipo n, la capa dopada posterior está dopada con dopante de tipo n que dona electrones y la capa dopada frontal está dopada con dopante de tipo p que acepta electrones o que dona huecos. En una célula solar de tipo p, la capa dopada posterior está dopada con dopante de tipo p y la capa dopada frontal está dopada con dopante de tipo n. Se prefiere según la invención preparar una oblea con una frontera de la unión p-n al proporcionar primero un sustrato dopado de Si y luego aplicar una capa dopada del tipo opuesto a una cara de ese sustrato.

Los sustratos dopados de Si son bien conocidos por las personas expertas en la técnica. El sustrato dopado de Si puede prepararse de cualquier manera conocida por la persona experta en la técnica y que él considera que va a ser adecuado en el contexto de la invención. Las fuentes preferidas de sustratos de Si según la invención son Si monocristalino, Si multicristalino, Si amorfo y Si metalúrgico mejorado, siendo el Si más preferido el Si multicristalino o el Si monocristalino. El dopado para formar el sustrato dopado de Si se puede llevar a cabo de manera simultánea al añadir dopante durante la preparación del sustrato de Si o puede llevarse a cabo en una etapa posterior. El dopado posterior a la preparación del sustrato de Si se puede llevar a cabo, por ejemplo, mediante epitaxia de difusión de gas. Los sustratos dopados de Si también están fácilmente disponibles comercialmente. Según la invención, una opción para el dopado inicial del sustrato de Si se puede llevar a cabo simultáneamente a su formación al añadir dopante a la mezcla de Si. Según la invención, una opción para la aplicación de la capa dopada frontal y la capa posterior altamente dopada, si está presente, se lleva a cabo mediante epitaxia en fase gaseosa. Esta epitaxia en fase gaseosa se lleva a cabo preferiblemente a una temperatura en el intervalo de aproximadamente 773,15 K (500°C) a aproximadamente 1173,15 K (900°C), más preferiblemente en un intervalo de aproximadamente 873,15 K (600°C) a aproximadamente 1073,15 K (800°C) y lo más preferiblemente en un intervalo de aproximadamente 923,15 K (650°C) a aproximadamente 1023,15 K (750°C), a una presión en un intervalo de aproximadamente 2 kPa a aproximadamente 100 kPa, preferiblemente en un intervalo de aproximadamente 10 a aproximadamente 80 kPa, lo más preferiblemente en un intervalo de aproximadamente 30 a aproximadamente 70 kPa.

El experto en la técnica sabe que los sustratos de Si pueden exhibir varias formas, texturas superficiales y tamaños. La forma puede ser una de varias formas diferentes, que incluyen el cuboide, el disco, la oblea y el poliedro irregular, entre otros. La forma preferida según la invención es en forma de obleas, en donde esa oblea es un cuboide con dos dimensiones que son similares, preferiblemente iguales y una tercera dimensión que es significativamente menor que las otras dos dimensiones. Significativamente menor en este contexto es preferiblemente al menos un factor de aproximadamente 100 veces más pequeño.

El experto en la técnica conoce una variedad de tipos de superficies. Según la invención, se prefieren sustratos con superficies rugosas. Una forma de evaluar la rugosidad del sustrato es evaluar el parámetro de rugosidad superficial para una superficie inferior del sustrato que es pequeña en comparación con el área superficial total del sustrato, preferiblemente menos de aproximadamente una centésima parte del área superficial total, y que es esencialmente plana. El valor del parámetro de rugosidad superficial está dado por la relación del área de la superficie inferior respecto al área de una superficie teórica formada al proyectar esa superficie inferior sobre el plano del plano mejor ajustado a la superficie inferior al minimizar el desplazamiento al cuadrado medio. Un valor más alto del parámetro de rugosidad superficial indica una superficie más rugosa, más irregular y un valor más bajo del parámetro de rugosidad superficial indica una superficie más lisa y uniforme. Según la invención, la rugosidad superficial del sustrato de Si se modifica preferiblemente para así producir un equilibrio óptimo entre una serie de factores que incluyen, pero no se limitan a, la absorción de luz y la adhesión de los dedos a la superficie.

Las dos dimensiones más grandes del sustrato de Si se pueden variar para adaptarse a la aplicación requerida de la célula solar resultante. Según la invención, se prefiere que el espesor de la oblea de Si esté por debajo de aproximadamente 0,5 mm, más preferiblemente por debajo de aproximadamente 0,3 mm y lo más preferiblemente por debajo de aproximadamente 0,2 mm. Algunas obleas tienen un tamaño mínimo de aproximadamente 0,01 mm o más.

Se prefiere, según la invención, que la capa dopada frontal sea delgada en comparación con la capa dopada posterior. Según la invención, se prefiere que la capa dopada frontal tenga un espesor que se encuentre en un intervalo de aproximadamente 0,1 a aproximadamente 10 μm , preferiblemente en un intervalo de aproximadamente

0,1 a aproximadamente 5 μm y lo más preferiblemente en un intervalo de aproximadamente 0,1 a aproximadamente 2 μm .

5 Se puede aplicar una capa altamente dopada a la cara posterior del sustrato de Si entre la capa dopada posterior y cualquier capa adicional. La mencionada capa altamente dopada es del mismo tipo de dopaje que la capa dopada posterior y la mencionada capa se denota comúnmente con un + (las capas de tipo n^+ se aplican a las capas dopadas posteriores de tipo n y las capas de tipo p^+ se aplican a las capas dopadas posteriores de tipo p). Esta capa posterior altamente dopada sirve para ayudar a la metalización y mejora las propiedades electroconductoras en área del interfaz sustrato/electrodo. Según la invención, se prefiere que la capa posterior altamente dopada, si está presente, tenga un espesor en un intervalo de aproximadamente 1 a aproximadamente 100 μm , preferiblemente en un intervalo de aproximadamente 1 a aproximadamente 50 μm y más preferiblemente en un intervalo de alrededor de 1 a alrededor de 15 μm .

Dopantes

15 Los dopantes preferidos son aquellos que, cuando se añaden a la oblea de Si, forman una frontera de la unión p-n al introducir electrones o huecos en la estructura de la banda. Según la invención, se prefiere que la identidad y la concentración de estos dopantes se seleccionen específicamente de modo que sintonicen el perfil de la estructura de banda de la unión p-n y establezcan los perfiles de absorción de luz y conductividad según se requiera. Los dopantes de tipo p preferidos según la invención son aquellos que añaden huecos a la estructura de la banda de las obleas de Si. Son bien conocidos por la persona experta en la técnica. Todos los dopantes conocidos por la persona experta en la técnica y que ella considera que son adecuados en el contexto de la invención se pueden emplear como dopantes de tipo p. Los dopantes de tipo p preferidos según la invención son elementos trivalentes, particularmente los del grupo 13 de la tabla periódica. Los elementos del grupo 13 preferidos de la tabla periódica en este contexto incluyen, pero no se limitan a, B, Al, Ga, In, Tl o una combinación de al menos dos de los mismos, en la que el B se prefiere de forma particular.

25 Los dopantes de tipo n preferidos según la invención son aquellos que añaden electrones a la estructura de la banda de las obleas de Si. Son bien conocidos por la persona experta en la técnica. Todos los dopantes conocidos por la persona experta en la técnica y que él considera que son adecuados en el contexto de la invención se pueden emplear como dopantes de tipo n. Los dopantes de tipo n preferidos según la invención son elementos del grupo 15 de la tabla periódica. Los elementos del grupo 15 preferidos de la tabla periódica en este contexto incluyen N, P, As, Sb, Bi o una combinación de al menos dos de los mismos, en donde el P se prefiere de forma particular.

30 Como se describió anteriormente, los diversos niveles de dopaje de la unión p-n se pueden variar para ajustar las propiedades deseadas de la célula solar resultante.

35 Según la invención, se prefiere que la capa posterior dopada esté ligeramente dopada, preferiblemente con una concentración de dopante en un intervalo de aproximadamente 1×10^{13} hasta aproximadamente $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$, preferiblemente en un intervalo de aproximadamente 1×10^{14} hasta aproximadamente $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$, lo más preferiblemente en un intervalo de aproximadamente 5×10^{15} hasta aproximadamente $5 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$. Algunos productos comerciales tienen una capa dopada posterior con una concentración de dopante de aproximadamente 1×10^{16} .

40 Se prefiere según la invención para la capa posterior altamente dopada (si hay una presente) que esté altamente dopada, preferiblemente con una concentración en un intervalo de aproximadamente 1×10^{17} hasta aproximadamente $5 \times 10^{21} \text{ cm}^{-3}$, más preferiblemente en un intervalo de aproximadamente 5×10^{17} hasta aproximadamente $5 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$, y lo más preferiblemente en un intervalo de aproximadamente 1×10^{18} hasta aproximadamente $1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$.

Pasta electroconductora

45 Las pastas electroconductoras preferidas según la invención son pastas que se pueden aplicar a una superficie y que, al cocerse, forman cuerpos de electrodos sólidos en contacto eléctrico con esa superficie. Los constituyentes de la pasta y las proporciones de la misma se pueden seleccionar por la persona experta en la técnica para que la pasta tenga las propiedades deseadas tales como sinterización y capacidad para ser impreso y que el electrodo resultante tenga las propiedades eléctricas y físicas deseadas. Las partículas metálicas pueden estar presentes en la pasta, principalmente para que el cuerpo del electrodo resultante sea eléctricamente conductor. Con el fin de lograr la sinterización apropiada a través de capas superficiales y en la oblea de Si, se puede emplear un sistema de reacción inorgánico. Un ejemplo de composición de una pasta eléctricamente conductora que se prefiere en el contexto de la invención podría comprender:

- 50
- i) partículas metálicas, preferiblemente al menos aproximadamente el 50% en peso, más preferiblemente al menos aproximadamente el 70% en peso y lo más preferiblemente al menos aproximadamente el 80% en peso;
 - ii) un sistema de reacción inorgánica, preferiblemente en un intervalo desde aproximadamente 0,1 hasta aproximadamente el 5% en peso, preferiblemente en un intervalo desde 0,3 hasta el 3% en peso, más preferiblemente en un intervalo desde 0,5 hasta el 2% en peso;
- 55

iii) un vehículo orgánico, preferiblemente en un intervalo desde aproximadamente 5 hasta aproximadamente el 40% en peso, más preferiblemente en un intervalo desde aproximadamente 5 hasta aproximadamente el 30% en peso y lo más preferiblemente en un intervalo desde aproximadamente 5 hasta aproximadamente el 15% en peso;

5 iv) aditivos, preferiblemente en un intervalo desde aproximadamente 0,1 hasta aproximadamente 22% en peso, más preferiblemente en un intervalo desde aproximadamente 0,1 hasta aproximadamente el 15% en peso y lo más preferiblemente en un intervalo desde aproximadamente el 5 hasta aproximadamente el 10% en peso,

en donde cada uno de los % en peso se basan en el peso total de la pasta electroconductora y suman hasta el 100% del porcentaje en peso.

10 Con el fin de facilitar la capacidad de impresión de la pasta electroconductora, se prefiere según la invención que la viscosidad de la pasta electroconductora se encuentre en un intervalo de aproximadamente 10 a aproximadamente 50 Pa·s, preferiblemente en un intervalo de aproximadamente 20 a alrededor de 40 Pa·s.

Partículas metálicas

15 Las partículas metálicas preferidas en el contexto de la invención son aquellas que exhiben conductividad metálica o que producen una sustancia que presenta conductividad metálica al cocerse. Las partículas metálicas presentes en la pasta electroconductora dan conductividad metálica al electrodo sólido que se forma cuando la pasta electroconductora se sinteriza al cocerse. Se prefieren las partículas metálicas que favorecen la sinterización efectiva y producen electrodos con alta conductividad y baja resistencia de contacto. Las partículas metálicas son bien conocidas por el experto en la técnica. Todas las partículas metálicas conocidas por el experto en la técnica y que él considera adecuadas en el contexto de la invención pueden emplearse como partículas metálicas en la pasta electroconductora. Las partículas metálicas preferidas según la invención son metales, aleaciones, mezclas de al menos dos metales, mezclas de al menos dos aleaciones o mezclas de al menos un metal con al menos una aleación.

25 Los metales preferidos que se pueden emplear como partículas metálicas según la invención son Ag, Cu, Al, Zn, Pd, Ni o Pb y mezclas de al menos dos de ellos, preferiblemente la Ag. Las aleaciones preferidas que se pueden emplear como partículas metálicas según la invención son aleaciones que contienen al menos un metal seleccionado de la lista de Ag, Cu, Al, Zn, Ni, W, Pb y Pd o mezclas o dos o más de estas aleaciones.

En una realización según la invención, las partículas metálicas comprenden un metal o aleación recubierto con uno o más metales o aleaciones adicionales diferentes, por ejemplo cobre recubierto con plata.

30 En una realización según la invención, las partículas metálicas son de Ag. En otra realización según la invención, las partículas metálicas comprenden una mezcla de Ag con Al.

35 Como constituyentes adicionales de las partículas metálicas, además de los constituyentes mencionados anteriormente, se prefieren aquellos constituyentes que contribuyen a propiedades más favorables de sinterización, contacto eléctrico, adhesión y conductividad eléctrica de los electrodos formados según la invención. Todos los constituyentes adicionales conocidos por la persona experta en la técnica y que él considera que son adecuados en el contexto de la invención se pueden emplear en las partículas metálicas. Aquellos sustituyentes adicionales que representan dopantes complementarios para la cara a la que se aplica la pasta electroconductora se prefieren según la invención. Cuando se forma un electrodo que interactúa con una capa de Si dopada de tipo n, se prefieren los aditivos capaces de actuar como dopantes de tipo n en Si. Los dopantes de tipo n preferidos en este contexto son elementos del grupo 15 o compuestos que producen dicho elemento al cocerse. Los elementos del grupo 15 preferidos en este contexto según la invención son P y Bi. Cuando se forma un electrodo que interactúa con una capa de Si dopada de tipo p, se prefieren los aditivos capaces de actuar como dopantes de tipo p en Si. Los dopantes de tipo p preferidos son elementos del grupo 13 o compuestos que producen dichos elementos al cocerse. Los elementos del grupo 13 preferidos en este contexto según la invención son B y Al.

45 Es bien conocido por el experto en la técnica que las partículas metálicas pueden presentar una variedad de formas, superficies, tamaños, relaciones de área superficial respecto al volumen, contenido de oxígeno y capas de óxido. El experto en la técnica conoce una gran cantidad de formas. Algunos ejemplos son las esféricas, las angulares, las alargadas (tipo varilla o aguja) y las planas (similares a láminas). Las partículas metálicas también pueden estar presentes como una combinación de partículas de diferentes formas. Según la invención, se prefieren las partículas metálicas con una forma, o combinación de formas, que favorece la sinterización ventajosa, el contacto eléctrico, la adhesión y la conductividad eléctrica del electrodo producido. Una forma de caracterizar tales formas sin considerar la naturaleza de la superficie es a través de los parámetros de longitud, ancho y grosor. En el contexto de la invención, la longitud de una partícula viene dada por la longitud del vector de desplazamiento espacial más largo, ambos de cuyos puntos extremos están contenidos dentro de la partícula. El ancho de una partícula está dado por la longitud del vector de desplazamiento espacial más largo perpendicular al vector de longitud definido anteriormente, ambos de cuyos dos puntos extremos están contenidos dentro de la partícula. El grosor de una partícula está dado por la longitud del vector de desplazamiento espacial más largo perpendicular tanto al vector de longitud como al vector de anchura, ambos definidos anteriormente, ambos de cuyos puntos extremos están contenidos dentro de la partícula. En una realización según la invención, se prefieren partículas metálicas con formas tan uniformes como

sea posible, es decir, formas en las que las proporciones que relacionan la longitud, el ancho y el grosor son lo más cercanas posible a 1, preferiblemente todas las relaciones que están en un intervalo de aproximadamente 0,7 a aproximadamente 1,5, más preferiblemente en un intervalo de aproximadamente 0,8 a aproximadamente 1,3 y lo más preferiblemente en un intervalo de aproximadamente 0,9 a aproximadamente 1,2. Ejemplos de formas preferidas para las partículas metálicas en esta realización son por lo tanto esferas y cubos, o combinaciones de los mismos, o combinaciones de uno o más de los mismos con otras formas. En otra realización según la invención, se prefieren partículas metálicas que tienen una forma de baja uniformidad, preferiblemente con al menos una de las proporciones que relacionan las dimensiones de longitud, anchura y grosor por encima de aproximadamente 1,5, más preferiblemente por encima de aproximadamente 3 y lo más preferiblemente por encima de aproximadamente 5. Las formas preferidas según esta realización son en forma de copos, con forma de varilla o de aguja, o con una combinación de forma de copos, varilla o forma de aguja con otras formas.

El experto en la técnica conoce una variedad de tipos de superficies. Los tipos de superficie que favorecen la sinterización efectiva y producen el contacto eléctrico ventajoso y la conductividad de los electrodos producidos se favorecen por el tipo de superficie de las partículas metálicas según la invención.

Otra forma de caracterizar la forma y la superficie de una partícula metálica es por su relación área superficial respecto al peso, también conocida como área superficial específica. El área superficial específica se puede determinar usando el método BET. El valor más bajo para la relación del área superficial respecto al peso de una partícula se materializa mediante una esfera con una superficie lisa. Cuanto menos uniforme y desigual sea la forma, mayor será su relación área superficial respecto al peso. En una realización según la invención, se prefieren partículas metálicas con una alta relación de área superficial específica, preferiblemente en un intervalo de aproximadamente 0,1 a aproximadamente 25 m²/g, más preferiblemente en un intervalo de aproximadamente 0,5 a aproximadamente 20 m²/g y lo más preferiblemente en un intervalo de aproximadamente 1 a aproximadamente 15 m²/g. En otra realización según la invención, se prefieren partículas metálicas con un área superficial específica baja, preferiblemente en un intervalo de aproximadamente 0,01 a aproximadamente 10 m²/g, más preferiblemente en un intervalo de aproximadamente 0,05 a aproximadamente 5 m²/g y lo más preferiblemente en un intervalo de aproximadamente 0,10 a aproximadamente 1 m²/g.

Según la invención, se prefiere que la distribución del diámetro de las partículas metálicas se seleccione de manera que se reduzca la aparición de áreas de baja densidad de Ag en el electrodo en la célula solar resultante. El experto en la técnica puede seleccionar la distribución del diámetro de las partículas metálicas para optimizar las propiedades eléctricas y físicas ventajosas de la célula solar resultante. Según la presente invención, se prefiere que las partículas metálicas presenten una distribución de diámetro multimodal. En una realización, las partículas metálicas tienen una distribución de diámetro bimodal. En otra realización, las partículas metálicas tienen una distribución de diámetro con al menos dos máximos en el intervalo de aproximadamente 0,1 a aproximadamente 15 μm, preferiblemente en un intervalo de aproximadamente 0,2 a aproximadamente 12 μm, más preferiblemente en un intervalo de aproximadamente 0,3 a aproximadamente 10 μm, al menos un par seleccionado de los al menos dos máximos separados por al menos aproximadamente 0,3 μm, preferiblemente por al menos aproximadamente 0,5 μm, más preferiblemente por al menos aproximadamente 1 μm. En una realización adicional, la diferencia entre al menos un par seleccionado entre al menos dos máximos está separada por al menos aproximadamente 1 μm, preferiblemente al menos aproximadamente 2 μm y más preferiblemente al menos aproximadamente 3 μm. La distribución del diámetro puede conseguirse de cualquier manera que el experto considere adecuada en el contexto de la invención. Se prefiere que la distribución del diámetro se consiga al combinar porciones de partículas metálicas con diferentes valores de d₅₀. En una realización de la invención, se prefiere que las partículas metálicas en el precursor de la célula solar se preparen combinando al menos dos porciones diferentes de partículas metálicas con valores de d₅₀ que difieren en al menos aproximadamente 1 μm, preferiblemente al menos aproximadamente 2 μm, más preferiblemente al menos aproximadamente 3 μm, con el fin de lograr la distribución de partículas multimodal.

Las partículas metálicas pueden estar presentes con un recubrimiento superficial. Se puede emplear cualquiera de tales revestimientos conocidos por el experto en la técnica y que él considere adecuados en el contexto de la invención en las partículas metálicas. Los recubrimientos preferidos según la invención son aquellos recubrimientos que promueven mejores características de impresión, sinterización y grabado de la pasta electroconductora. Si tal recubrimiento está presente, se prefiere según la invención que tal recubrimiento corresponda a no más de aproximadamente el 10% en peso, preferiblemente no más de aproximadamente el 8% en peso, más preferiblemente no más de aproximadamente el 5% en peso, en cada caso sobre la base del peso total de las partículas metálicas.

En una realización según la invención, las partículas metálicas están presentes como una proporción de la pasta electroconductora de más de aproximadamente el 50% en peso, preferiblemente más de aproximadamente el 70% en peso, más preferiblemente más de aproximadamente el 80% en peso.

Sistema de reacción inorgánico

Un sistema de reacción inorgánico está presente en la pasta electroconductora según la invención con el fin de provocar el grabado y la sinterización. Se requiere un grabado efectivo para grabar cualesquiera capas adicionales que se hayan aplicado a la oblea de Si y así se encuentre entre la oblea de silicio y la pasta electroconductora

aplicada, así como para grabar en la oblea de Si en un grado apropiado. El grabado apropiado de la oblea de Si significa lo suficientemente profundo como para producir una buena mecánica, pero no para provocar un buen contacto eléctrico entre el electrodo y la oblea de silicio, y por lo tanto conducir a una alta resistencia de contacto. Los sistemas de reacción inorgánica preferidos son fritas de vidrio.

- 5 En una realización del precursor de la célula solar según la invención, el sistema de reacción inorgánico es frita de vidrio.

Las fritas de vidrio preferidas en el contexto de la invención son polvos de sólidos amorfos o parcialmente cristalinos que presentan una transición vítrea. La temperatura de transición vítrea T_g es la temperatura a la que una sustancia amorfa se transforma de un sólido rígido a un fundido subenfriado parcialmente móvil tras calentarlo. Los métodos para la determinación de la temperatura de transición vítrea son bien conocidos por el experto en la técnica. El grabado y la sinterización provocados por la frita de vidrio se producen por encima de la temperatura de transición vítrea de la frita de vidrio y la temperatura de transición vítrea debe estar por debajo de la temperatura pico de cocción deseada. Las fritas de vidrio son bien conocidas por el experto en la técnica. Todas las fritas de vidrio conocidas por el experto en la técnica y que él considere adecuadas en el contexto de la invención pueden emplearse como la frita de vidrio en la pasta electroconductora.

En el contexto de la invención, el sistema de reacción inorgánico presente en la pasta electroconductora comprende preferiblemente elementos, óxidos, compuestos que generan óxidos al calentar, otros compuestos o mezclas de los mismos. Los elementos preferidos en este contexto son Si, B, Al, Bi, Li, Na, Mg, Pb, Zn, Gd, Ce, Zr, Ti, Mn, Sn, Ru, Co, Fe, Cu, Ba y Cr o mezclas de dos o más de esta lista. Los óxidos preferidos que pueden estar comprendidos por la invención en el contexto de la invención son óxidos de metales alcalinos, óxidos de metales alcalinotérreos, óxidos de tierras raras, óxidos del grupo V y del grupo VI, otros óxidos o combinaciones de los mismos. Los óxidos de metales alcalinos preferidos en este contexto son óxido de sodio, óxido de litio, óxido de potasio, óxidos de rubidio, óxidos de cesio o combinaciones de los mismos. Los óxidos de metales alcalinotérreos preferidos en este contexto son óxido de berilio, óxido de magnesio, óxido de calcio, óxido de estroncio, óxido de bario o combinaciones de los mismos. Los óxidos del grupo V preferidos en este contexto son óxidos de fósforo, tales como P_2O_5 , óxidos de bismuto, tales como Bi_2O_3 , o combinaciones de los mismos. Los óxidos del grupo VI preferidos en este contexto son óxidos de telurio, tales como TeO_2 , o TeO_3 , óxidos de selenio, tales como SeO_2 , o combinaciones de los mismos. Los óxidos de tierras raras preferidos son óxidos de cerio, tales como CeO_2 y óxidos de lantano, tales como La_2O_3 . Otros óxidos preferidos en este contexto son óxidos de silicio, tales como SiO_2 , óxidos de zinc, tales como ZnO , óxidos de aluminio, tales como Al_2O_3 , óxidos de germanio, tales como GeO_2 , óxidos de vanadio, tales como V_2O_5 , óxidos de niobio, tales como Nb_2O_5 , óxido de boro, óxidos de tungsteno, tales como WO_3 , óxidos de molibdeno, tales como MoO_3 y óxidos de indio, tales como In_2O_3 , otros óxidos de los elementos enumerados anteriormente como elementos preferidos, o combinaciones de los mismos. Los óxidos preferidos son también óxidos mixtos que contienen al menos dos de los elementos enumerados como constituyentes elementales preferidos del vidrio fritado, u óxidos mixtos que se forman al calentar al menos uno de los óxidos mencionados anteriormente con al menos uno de los metales mencionados anteriormente. Las mezclas de al menos dos de los óxidos y óxidos mixtos mencionados anteriormente también se prefieren en el contexto de la invención.

Como se mencionó anteriormente, cuando el sistema de reacción inorgánica es una frita de vidrio, debe tener una temperatura de transición vítrea por debajo de la temperatura de cocción deseada de la pasta electroconductora. Según la invención, las fritas de vidrio preferidas tienen una temperatura de transición vítrea en un intervalo de aproximadamente 523,15 K (250°C) a aproximadamente 1073,15 K (800°C), preferiblemente en un intervalo de aproximadamente 573,15 K (300°C) a aproximadamente 1023,15 K (750°C) y lo más preferiblemente en un intervalo de aproximadamente 623,15 K (350°C) a aproximadamente 973,15 K (700°C).

Es bien sabido por el experto en la técnica que las partículas del sistema de reacción inorgánico pueden presentar una variedad de formas, naturalezas de superficie, tamaños, relaciones de área superficial respecto al volumen y capas de recubrimiento. El experto en la técnica conoce una gran cantidad de formas de partículas del sistema de reacción inorgánico. Algunos ejemplos son esféricos, angulares, alargados (tipo varilla o aguja) y planos (similares a láminas). Las partículas del sistema de reacción inorgánico también pueden estar presentes como una combinación de partículas de diferentes formas. Se prefieren según la invención las partículas del sistema de reacción inorgánico con una forma, o combinación de formas, que favorece la sinterización ventajosa, la adhesión, el contacto eléctrico y la conductividad eléctrica del electrodo producido.

Otra forma de caracterizar la forma y la superficie de una partícula del sistema de reacción inorgánico es por su relación área superficial respecto al peso, también conocida como área superficial específica. El área superficial específica se puede determinar utilizando el método BET. El valor más bajo para la relación del área superficial respecto al peso de una partícula se materializa mediante una esfera con una superficie lisa. Cuanto menos uniforme y desigual sea la forma, mayor será su relación del área superficial respecto al peso. En una realización según la invención, se prefieren partículas del sistema de reacción inorgánico con una alta relación de área superficial específica, preferiblemente en un intervalo de aproximadamente 15 a aproximadamente $1 \text{ m}^2/\text{g}$, más preferiblemente en un intervalo de aproximadamente 13 a aproximadamente $1,5 \text{ m}^2/\text{g}$ y lo más preferiblemente en un intervalo de aproximadamente 8 a aproximadamente $2 \text{ m}^2/\text{g}$. En otra realización según la invención, se prefieren partículas del sistema de reacción inorgánico con un área superficial específica baja, preferiblemente en un intervalo

de aproximadamente 10 a aproximadamente 0,01 m²/g, más preferiblemente en un intervalo de aproximadamente 5 a aproximadamente 0,02 m²/g y lo más preferiblemente en un intervalo de aproximadamente 2 a aproximadamente 0,04 m²/g.

5 El diámetro medio d₅₀ de las partículas y los parámetros asociados d₁₀ y d₉₀ son características de partículas bien conocidas por el experto en la técnica. Según la invención, se prefiere que el diámetro d₅₀ de la partícula promedio del sistema de reacción inorgánica se encuentre en un intervalo de aproximadamente 0,1 a aproximadamente 10 µm, más preferiblemente en un intervalo de aproximadamente 0,5 a aproximadamente 7 µm y lo más preferiblemente en un intervalo de aproximadamente 0,8 a aproximadamente 5 µm. La determinación del diámetro d₅₀ de las partículas es bien conocida por el experto en la técnica.

10 En una realización de la invención, el sistema de reacción inorgánico está presente en la pasta en un intervalo de aproximadamente el 0,1 a aproximadamente el 15% en peso.

15 En algunos casos, se prefiere que la frita de vidrio esté presente en bajas concentraciones. En una realización del precursor de la célula solar según la invención, el sistema de reacción inorgánico está presente en la pasta en un intervalo de aproximadamente 0,1 a aproximadamente 5% en peso, preferiblemente en un intervalo de 0,3 a 3% en peso, más preferiblemente en un intervalo de 0,5 a 2% en peso.

Vehículo orgánico

20 Los vehículos orgánicos preferidos en el contexto de la invención son soluciones, emulsiones o dispersiones basadas en uno o más disolventes, preferiblemente un disolvente orgánico, que aseguran que los constituyentes de la pasta electroconductora estén presentes en una forma disuelta, emulsionada o dispersa. Los vehículos orgánicos preferidos son aquellos que proporcionan una estabilidad óptima de los constituyentes dentro de la pasta electroconductora y dotan a la pasta electroconductora de una viscosidad que permite una capacidad de impresión en línea efectiva. Los vehículos orgánicos preferidos según la invención comprenden como componentes del vehículo:

25 (i) un aglutinante, preferiblemente en un intervalo de aproximadamente el 1 a aproximadamente el 10% en peso, más preferiblemente en un intervalo de aproximadamente el 2 a aproximadamente el 8% en peso y lo más preferiblemente en un intervalo de aproximadamente el 3 a aproximadamente el 7% en peso;

(ii) un surfactante, preferiblemente en un intervalo de aproximadamente el 0 a aproximadamente el 10% en peso, más preferiblemente en un intervalo de aproximadamente el 0 a aproximadamente el 8% en peso y lo más preferiblemente en un intervalo de aproximadamente el 0,01 a aproximadamente el 6% en peso;

30 (iii) uno o más disolventes, la proporción de los cuales se determina mediante las proporciones de los otros constituyentes en el vehículo orgánico;

(iv) aditivos, preferiblemente en un intervalo de aproximadamente el 0 a aproximadamente el 15% en peso, más preferiblemente en un intervalo de aproximadamente el 0 a aproximadamente el 13% en peso y lo más preferiblemente en un intervalo de aproximadamente el 5 a aproximadamente el 11% en peso;

35 en el que cada uno de los % en peso se basan en el peso total del vehículo orgánico y suman hasta el 100% en peso. Según la invención, los vehículos orgánicos preferidos son aquellos que permiten alcanzar el alto nivel preferido de capacidad de impresión de la pasta electroconductora descrita anteriormente.

Aglutinante

40 Los aglutinantes preferidos en el contexto de la invención son aquellos que contribuyen a la formación de una pasta electroconductora con propiedades favorables de estabilidad, capacidad para ser impreso, viscosidad, sinterización y grabado. Los aglutinantes son bien conocidos por el experto en la técnica. Todos los aglutinantes que son conocidos por el experto en la técnica y que él considera que son adecuados en el contexto de esta invención se pueden emplear como el aglutinante en el vehículo orgánico. Los aglutinantes preferidos según la invención (que a menudo entran en la categoría denominada "resinas") son aglutinantes poliméricos, aglutinantes monoméricos y aglutinantes que son una combinación de polímeros y monómeros. Los aglutinantes poliméricos también pueden ser copolímeros en los que están contenidas al menos dos unidades monoméricas diferentes en una sola molécula. Los aglutinantes poliméricos preferidos son aquellos que llevan grupos funcionales en la cadena principal del polímero, los que llevan grupos funcionales fuera de la cadena principal y los que llevan grupos funcionales tanto dentro de la cadena principal como fuera de la cadena principal. Los polímeros preferidos que llevan grupos funcionales en la cadena principal son, por ejemplo, poliésteres, poliésteres sustituidos, policarbonatos, policarbonatos sustituidos, polímeros que llevan grupos cíclicos en la cadena principal, poli-azúcares, poli-azúcares sustituidos, poliuretanos, poliuretanos sustituidos, poliamidas, poliamidas sustituidas, resinas fenólicas, resinas fenólicas sustituidas, copolímeros de los monómeros de uno o más de los polímeros precedentes, opcionalmente con otros co-monómeros, o una combinación de al menos dos de ellos. Los polímeros preferidos que llevan grupos cíclicos en la cadena principal son, por ejemplo, polivinilbutilato (PVB) y sus derivados y poli-terpineol y sus derivados o mezclas de los mismos. Los poli-azúcares preferidos son, por ejemplo, celulosa y sus derivados alquílicos, preferiblemente

metil celulosa, etil celulosa, propil celulosa, butil celulosa y sus derivados y mezclas de al menos dos de los mismos. Los polímeros preferidos que llevan grupos funcionales fuera de la cadena polimérica principal son aquellos que portan grupos amida, aquellos que llevan grupos ácido y/o éster, a menudo denominados resinas acrílicas, o polímeros que llevan una combinación de los grupos funcionales mencionados anteriormente, o una combinación de los mismos. Los polímeros preferidos que llevan la amida fuera de la cadena principal son, por ejemplo, la polivinilpirrolidona (PVP) y sus derivados. Los polímeros preferidos que llevan grupos ácido y/o éster fuera de la cadena principal son, por ejemplo, ácido poliacrílico y sus derivados, polimetacrilato (PMA) y sus derivados o polimetilmetacrilato (PMMA) y sus derivados, o una mezcla de los mismos. Los aglutinantes monoméricos preferidos según la invención son monómeros basados en etilenglicol, resinas de terpineol o derivados de colofonia, o una mezcla de los mismos. Los aglutinantes monoméricos preferidos basados en etilenglicol son aquellos con grupos éter, grupos éster o aquellos con un grupo éter y un grupo éster, siendo los grupos éter preferidos los éteres de metilo, etilo, propilo, butilo, pentilo, hexilo y éteres alquílicos superiores, siendo el grupo éster preferido el acetato y sus derivados de alquilo, preferiblemente mono-acetato de etilenglicol monobutiléter o una mezcla de los mismos. Alquil celulosa, preferiblemente etil celulosa, sus derivados y mezclas de los mismos con otros aglutinantes de las listas precedentes de aglutinantes o si no son los aglutinantes más preferidos en el contexto de la invención.

Surfactante

Los surfactantes preferidos en el contexto de la invención son aquellos que contribuyen a la formación de una pasta electroconductora con propiedades favorables de estabilidad, capacidad de impresión, viscosidad, sinterización y grabado. Los surfactantes son bien conocidos por el experto en la técnica. Todos los surfactantes que son conocidos por el experto en la técnica y que él considera que son adecuados en el contexto de esta invención se pueden emplear como el surfactante en el vehículo orgánico. Los surfactantes preferidos en el contexto de la invención son aquellos basados en cadenas lineales, cadenas ramificadas, cadenas aromáticas, cadenas fluoradas, cadenas de siloxano, cadenas de poliéter y combinaciones de los mismos. Los surfactantes preferidos son de cadena simple, de cadena doble o de cadena múltiple. Los surfactantes preferidos según la invención tienen cabezas no iónicas, aniónicas, catiónicas o anfotéricas. Los surfactantes preferidos son poliméricos y monoméricos o una mezcla de los mismos. Los surfactantes preferidos según la invención pueden tener grupos afines de pigmentos, preferiblemente ésteres de ácido carboxílico hidroxifuncionales con grupos afines de pigmentos (por ejemplo, DISPERBYK®-108, fabricado por BYK USA, Inc.), copolímeros de acrilato con grupos afines de pigmentos (por ejemplo, DISPERBYK®-116, fabricado por BYK USA, Inc.), poliéteres modificados con grupos afines de pigmentos (por ejemplo, TEGO® DISPERS 655, fabricado por Evonik Tego Chemie GmbH), otros surfactantes con grupos de alta afinidad pigmentaria (p. ej., TEGO® DISPERS 662 C, fabricado por Evonik Tego Chemie GmbH). Otros polímeros preferidos según la invención que no están en la lista anterior son polietilenglicol y sus derivados, y ácidos alquilcarboxílicos y sus derivados o sales o mezclas de los mismos. El derivado de polietilenglicol preferido según la invención es ácido poli(etilenglicol)acético. Los ácidos alquilcarboxílicos preferidos son aquellos con cadenas de alquilo completamente saturadas y aquellos con cadenas de alquilo completamente saturadas y mono o poliinsaturadas o mezclas de las mismas. Los ácidos carboxílicos preferidos con cadenas de alquilo saturadas son aquellos con longitudes de cadenas alquílicas en un intervalo de aproximadamente 8 a aproximadamente 20 átomos de carbono, preferiblemente $C_9H_{19}COOH$ (ácido cáprico), $C_{11}H_{23}COOH$ (ácido Láurico), $C_{13}H_{27}COOH$ (ácido mirístico), $C_{15}H_{31}COOH$ (ácido palmítico), $C_{17}H_{35}COOH$ (ácido esteárico) o mezclas de los mismos. Los ácidos carboxílicos preferidos con cadenas de alquilo insaturadas son $C_{18}H_{34}O_2$ (ácido oleico) y $C_{18}H_{32}O_2$ (ácido linoleico). El surfactante monomérico preferido según la invención es benzotrizol y sus derivados.

Solvente

Los solventes preferidos según la invención son constituyentes de la pasta electroconductora que se eliminan de la pasta en gran medida durante la cocción, preferiblemente aquellos que están presentes después de la cocción con un peso absoluto reducido en al menos aproximadamente el 80% en comparación con antes de la cocción, preferiblemente reducido en al menos aproximadamente el 95% en comparación con antes de la cocción. Los solventes preferidos según la invención son aquellos que permiten que se forme una pasta electroconductora que tenga características favorables de viscosidad, capacidad de impresión, estabilidad y sinterización y que produzcan electrodos con conductividad eléctrica favorable y contacto eléctrico con el sustrato. Los solventes son bien conocidos por el experto en la técnica. Todos los disolventes conocidos por el experto en la técnica y que él considera adecuados en el contexto de esta invención pueden emplearse como solvente en el vehículo orgánico. Según la invención, los solventes preferidos son aquellos que permiten alcanzar el alto nivel preferido de capacidad de impresión de la pasta electroconductora tal como se describió anteriormente. Los solventes preferidos según la invención son aquellos que existen como un líquido a temperatura y presión ambiente estándar (SATP) (298,15 K, 25°C, 77°F), 100 kPa (14,504 psi, 0,986 atm), preferiblemente aquellos con un punto de ebullición superior a aproximadamente 363,15 K (90°C) y un punto de fusión por encima de aproximadamente 253,15 K (-20°C). Los solventes preferidos según la invención son polares o no polares, próticos o apróticos, aromáticos o no aromáticos. Los solventes preferidos según la invención son monoalcoholes, dialcoholes, polialcoholes, monoésteres, diésteres, poliésteres, monoéteres, diéteres, poliéteres, solventes que comprenden al menos un mineral más de estas categorías de grupos funcionales, que comprenden opcionalmente otras categorías de grupos funcionales, preferiblemente grupos cíclicos, grupos aromáticos, enlaces insaturados, grupos alcohólicos con uno o más átomos de O reemplazados por heteroátomos, grupos éter con uno o más átomos de O reemplazados por heteroátomos,

grupos de ésteres con uno o más átomos de O reemplazados por heteroátomos, y mezclas de dos o más de los solventes antes mencionados. Los ésteres preferidos en este contexto son ésteres de di-alquilo de ácido adípico, siendo los constituyentes de alquilo preferidos los grupos metilo, etilo, propilo, butilo, pentilo, hexilo y alquilo superior o combinaciones de dos grupos alquilo diferentes de este tipo, preferiblemente dimetiladipato, y mezclas de dos o más ésteres de adipato. Los éteres preferidos en este contexto son diéteres, preferiblemente dialquil éteres de etilenglicol, los constituyentes de alquilo preferidos son grupos metilo, etilo, propilo, butilo, pentilo, hexilo y alquilo superior o combinaciones de dos grupos alquilo diferentes de este tipo, y mezclas de dos diéteres. Los alcoholes preferidos en este contexto son alcoholes primarios, secundarios y terciarios, preferiblemente alcoholes terciarios, prefiriéndose terpinteol y sus derivados, o una mezcla de dos o más alcoholes. Los solventes preferidos que combinan más de un grupo funcional diferente son monoisobutirato de 2,2,4-trimetil-1,3-pentanodiol, a menudo llamado texanol, y sus derivados, 2-(2-etoxietoxi)etanol, a menudo conocido como carbitol, su derivados de alquilo, preferiblemente metil, etil, propil, butil, pentil y hexil carbitol, preferiblemente hexil carbitol o butil carbitol y derivados de acetato de los mismos, preferiblemente acetato de butil carbitol, o mezclas de al menos 2 de los antes mencionados.

15 Aditivos en el vehículo orgánico

Los aditivos preferidos en el vehículo orgánico son aquellos aditivos que son distintos de los componentes del vehículo anteriormente mencionados y que contribuyen a propiedades favorables de la pasta electroconductora, tales como viscosidad, sinterización, conductividad eléctrica del electrodo producido ventajosos y buen contacto eléctrico con los sustratos. Todos los aditivos conocidos por el experto en la técnica y que él considera que son adecuados en el contexto de la invención se pueden emplear como aditivos en el vehículo orgánico. Los aditivos preferidos según la invención son agentes tixotrópicos, reguladores de la viscosidad, agentes estabilizantes, aditivos inorgánicos, espesantes, emulsionantes, dispersantes o reguladores del pH. Los agentes tixotrópicos preferidos en este contexto son derivados de ácido carboxílico, preferiblemente derivados de ácidos grasos o combinaciones de los mismos. Los derivados de ácidos grasos preferidos son $C_9H_{19}COOH$ (ácido cáprico), $C_{11}H_{23}COOH$ (ácido Láurico), $C_{13}H_{27}COOH$ (ácido mirístico), $C_{15}H_{31}COOH$ (ácido palmítico), $C_{17}H_{35}COOH$ (ácido esteárico), $C_{18}H_{34}O_2$ (ácido oleico) y $C_{18}H_{32}O_2$ (ácido linoleico) o combinaciones de los mismos. Una combinación preferida que comprende ácidos grasos en este contexto es aceite de ricino.

Aditivos en la pasta electroconductora

Los aditivos preferidos en el contexto de la invención son los constituyentes añadidos a la pasta electroconductora, además de los otros constituyentes mencionados explícitamente, que contribuyen a aumentar el rendimiento de la pasta electroconductora, de los electrodos producidos de la misma o de la célula solar resultante. Todos los aditivos conocidos por el experto en la técnica y que él considera que son adecuados en el contexto de la invención se pueden emplear como aditivos en la pasta electroconductora. Además de los aditivos presentes en el vehículo, los aditivos también pueden estar presentes en la pasta electroconductora. Los aditivos preferidos según la invención son agentes tixotrópicos, reguladores de viscosidad, emulsionantes, agentes estabilizantes o reguladores de pH, aditivos inorgánicos, espesantes y dispersantes o una combinación de al menos dos de los mismos, mientras que los aditivos inorgánicos son los más preferidos. Los aditivos inorgánicos preferidos en este contexto según la invención son Mg, Ni, Te, W, Zn, Mg, Gd, Ce, Zr, Ti, Mn, Sn, Ru, Co, Fe, Cu y Cr o una combinación de al menos dos de ellos, preferiblemente Zn, Sb, Mn, Ni, W, Te y Ru o una combinación de al menos dos de los mismos, óxidos de los mismos, compuestos que pueden generar esos óxidos metálicos al cocer, o una mezcla de al menos dos de los metales mencionados anteriormente, una mezcla de al menos dos de los óxidos anteriormente mencionados, una mezcla de al menos dos de los compuestos anteriormente mencionados que pueden generar esos óxidos metálicos al cocer, o mezclas de dos o más de cualquiera de los anteriormente mencionados.

Precursor de célula solar

45 Una contribución para lograr al menos uno de los objetivos descritos anteriormente se realiza mediante un precursor de célula solar. Los precursores de células solares de tipo MWT se prefieren en el contexto de la invención. En dicho precursor, está presente una primera pasta electroconductora como se describió anteriormente en al menos un canal que une el frente y el reverso de una oblea. Una segunda pasta electroconductora, que puede ser igual o diferente a la primera pasta, está presente en la parte frontal de la célula solar y hace contacto con la pasta en el canal. Una tercera pasta electroconductora, que puede ser igual o diferente a la primera y segunda pastas, está presente en la cara posterior de la célula solar y no hace contacto con la primera pasta.

En una realización del precursor de la célula solar según la invención, está presente otra pasta electroconductora en la cara frontal de la oblea. En una realización adicional, está presente una pasta electroconductora adicional en el lado posterior de la oblea.

55 En esta aplicación, el término canal se usa a menudo en lugar del término más general hueco. Todas las descripciones que se refieren a los canales se aplican de la misma manera a los huecos.

En una realización del precursor de la célula solar según la invención, al menos un hueco es un canal que une la cara frontal y la cara posterior de la oblea.

- 5 La realización de un hueco en la oblea de Si puede efectuarse por cualquier medio conocido por el experto y que él considere adecuado en el contexto de la invención. Los métodos preferidos según la invención son cortar, grabar, calentar, fundir, quemar, perforar, penetrar, estampar o taladrar, tales como perforación mecánica o perforación por láser, o una combinación de al menos dos de los mismos, preferiblemente perforación, más preferiblemente perforación por láser.
- 10 El hueco en la oblea de Si puede tener varias formas de sección transversal. Se puede emplear cualquier forma de sección transversal conocida por el experto en la técnica y que él considere adecuada en el contexto de la invención. Las formas de sección transversal preferidas para el hueco según la invención son poligonales y no poligonales. Las formas poligonales preferidas son triángulos, cuadrados, oblongos u otros polígonos regulares o irregulares. Las formas preferidas no poligonales son formas circulares u ovaladas u otras formas no poligonales. La forma de sección transversal preferida según la invención es circular.
- 15 El experto en la materia puede alterar el diámetro efectivo de la sección transversal del hueco en la oblea de Si para maximizar el rendimiento de la célula solar resultante. Cuando la forma de la sección transversal no es circular, el diámetro efectivo se da como el diámetro de un círculo hipotético con un área igual al área de la sección transversal del hueco. En el contexto de la invención se prefiere que el área de la sección transversal del hueco esté en un intervalo de aproximadamente 10 a aproximadamente 500 μm , más preferiblemente en un intervalo de aproximadamente 20 a aproximadamente 300 μm , lo más preferiblemente en un intervalo de aproximadamente 30 a aproximadamente 250 μm .
- 20 La Figura 1 ejemplifica una configuración de capa común para una célula solar según la invención (excluyendo capas adicionales que sirvan estrictamente para protección química y mecánica). Las capas individuales se pueden agregar u omitir de esta configuración de capa común o las capas individuales pueden realizar la función de más de una de las capas mostradas en la Figura 1. En una realización de la invención, una sola capa actúa tanto como capa antirreflectante como de capa de pasivación. La Figura 2 ejemplifica otra configuración de capa común, en la que se han omitido varias capas mostradas en la figura 1.
- 25 Opcionalmente, una o más de las capas presentes en la cara frontal de la oblea, tal como la capa dopada frontal, la capa de pasivación delantera y la capa antirreflectante, pueden extenderse más a lo largo de la superficie del canal que en la mayor parte la cara frontal. En este contexto, se considera una cobertura adicional de la superficie del canal como una cobertura superficial que se extiende dentro del canal en una distancia mayor de al menos el 5% del espesor medio de la capa en la mayor parte de la cara frontal. La cobertura adicional de la superficie del canal puede corresponder a la cobertura total o parcial de la superficie adicional del canal. La presencia o ausencia de cobertura superficial adicional mediante las capas de la cara frontal en la superficie del canal se puede lograr al alterar la secuencia en la que:
- 30
- se aplica a la oblea la capa dopada frontal;
 - se aplican a la oblea las capas adicionales, tales como la capa de pasivación y la capa antirreflectante;
- 35
- se hacen los canales en la oblea;
 - se cortan las caras de la oblea.
- En una realización de la presente invención, ninguna de las capas de las caras frontales tiene cobertura adicional sobre la superficie del canal.
- 40 En una realización del precursor de la célula solar según la presente invención, la pasta está en contacto directo con la superficie de Si del hueco.
- En una realización del precursor de la célula solar según la presente invención, la superficie de Si en al menos un hueco comprende al menos una sección dopada tipo p y una sección dopada tipo n.
- Como se ejemplifica en la figura 5, se puede lograr una preparación de una oblea en la que ninguna de las caras frontales tiene cobertura adicional sobre la superficie del canal mediante la siguiente secuencia de etapas:
- 45
- aplicación de la capa dopada frontal;
 - aplicación de la capa de pasivación y de la capa antirreflectante;
 - fabricación del canal;
 - corte de las caras posterior y lateral para eliminar la capa dopada frontal, la capa de pasivación y la capa antirreflectante de la misma.
- 50 En una realización de la invención, la capa dopada frontal está presente con una cobertura adicional de la superficie del canal. En un aspecto de esta realización, también está presente una capa de pasivación con cobertura adicional en la superficie del canal. En un aspecto adicional de esta realización, está presente una capa antirreflectante con

cobertura adicional en la superficie del canal. Como se ejemplifica en la Figura 4, se puede lograr una preparación de una oblea en la que la capa dopada frontal, la capa de pasivación y la capa antirreflectante están presentes en toda la superficie del canal mediante la siguiente secuencia de etapas:

- fabricación del canal;
- 5 - aplicación de la capa dopada frontal;
- aplicación de la capa de pasivación frontal y de la capa antirreflectante;
- corte de las caras posterior y lateral para eliminar la capa dopada frontal, la capa de pasivación y la capa antirreflectante de la misma.

Proceso para producir una célula solar

10 Una contribución al logro de uno de los objetivos mencionados anteriormente se realiza mediante un proceso para producir una célula solar que al menos comprende las siguientes etapas de proceso:

- i) provisión de un precursor de célula solar como se describió anteriormente, en particular al combinar cualquiera de las realizaciones descritas anteriormente; y
- ii) cocción del precursor de la célula solar para obtener una célula solar.

15 Según la invención, se prefiere que la formación de la unión p-n en la oblea preceda a la realización del hueco. En una realización, la provisión según la etapa i) al menos comprende las etapas:

- a) provisión de una oblea de Si con una capa posterior dopada y una capa frontal dopada con tipos de dopantes opuestos;
- b) realización de al menos un hueco en la oblea;

20 c) introducción de una pasta electroconductora en al menos un hueco para obtener un precursor según la invención;

Impresión

Según la invención, se prefiere que cada uno de los electrodos frontal, posterior y de enchufe se apliquen al aplicar una pasta electroconductora y luego cocer esa pasta electroconductora para obtener un cuerpo sinterizado. La pasta electroconductora se puede aplicar de cualquier manera conocida por el experto en esa técnica y que él considere adecuada en el contexto de la invención, que incluye, pero no se limita a, impregnación, inmersión, vertido, goteo, inyección, pulverización, recubrimiento con cuchilla, recubrimiento de cortina, cepillado o impresión o una combinación de al menos dos de ellas, en la que las técnicas de impresión preferidas son impresión por chorro de tinta, serigrafía, tampografía, impresión offset, impresión en relieve o impresión por estarcido o una combinación de al menos dos de las mismas. Según la invención, se prefiere que la pasta electroconductora se aplique por impresión, preferiblemente mediante serigrafía. Según la invención, se prefiere que las pantallas tengan una abertura de malla con un diámetro en el intervalo de aproximadamente 20 a aproximadamente 100 μm , más preferiblemente en un intervalo de aproximadamente 30 a aproximadamente 80 μm y lo más preferiblemente en un intervalo de aproximadamente 40 a alrededor de 70 μm . Como se detalla en la sección del precursor de la célula solar, se prefiere que la pasta electroconductora aplicada al canal sea como se describe en esta invención. Las pastas electroconductoras utilizadas para formar los electrodos anterior y posterior pueden ser iguales o diferentes a la pasta utilizada en el canal, preferiblemente diferente, y pueden ser iguales o diferentes entre sí.

Cocción

Según la invención, se prefiere que los electrodos se formen al aplicar primero una pasta electroconductora y luego al cocer dicha pasta electroconductora para producir un cuerpo de electrodo sólido. La cocción es bien conocida por el experto en la técnica y puede efectuarse de cualquier manera conocida por él y que considere adecuada en el contexto de la invención. Cuando se usa frita de vidrio como sistema de reacción inorgánica, se prefiere que la cocción se lleve a cabo por encima de la temperatura de transición vítrea de la frita de vidrio.

Según la invención, la temperatura máxima establecida para la cocción es inferior a aproximadamente 1173,15 K (900°C), preferiblemente inferior a aproximadamente 1133,15 K (860°C). Se han empleado temperaturas de cocción de hasta 1093,15 K (820°C) para la obtención de células solares. Según la invención, se prefiere que la cocción se lleve a cabo en un proceso de cocción rápida con un tiempo de cocción total en un intervalo de aproximadamente 30 segundos a aproximadamente 3 minutos, más preferiblemente en un intervalo de aproximadamente 30 segundos a aproximadamente 2 minutos y lo más preferible en un intervalo de aproximadamente 40 s a aproximadamente 1 minuto. El tiempo por encima de aproximadamente 873,15 K (600°C) es lo más preferible en un intervalo de aproximadamente 3 a aproximadamente 7 s.

La cocción de las pastas electroconductoras en la cara frontal, la cara posterior y en el hueco se puede llevar a cabo de forma simultánea o secuencial. La cocción simultánea es apropiada si las pastas electroconductoras tienen condiciones de combustión óptimas similares, preferiblemente idénticas. Cuando sea apropiado se prefiere, según la invención, que la cocción se lleve a cabo simultáneamente.

5 Célula solar

Una contribución para lograr al menos uno de los objetivos descritos anteriormente se realiza mediante una célula solar que se puede obtener mediante un proceso según la invención. Las células solares preferidas según la invención son aquellas que tienen una alta eficacia en términos de proporción de energía total de luz incidente convertida en energía eléctrica de salida y que son ligeras y duraderas.

10 Cobertura antirreflectante

Según la invención, se puede aplicar una cobertura antirreflectante como la capa externa y a menudo como la más externa antes del electrodo en la cara frontal de la célula solar. Los revestimientos antirreflectantes preferidos según la invención son aquellos que disminuyen la proporción de luz incidente reflejada por la cara frontal y aumentan la proporción de luz incidente que cruza la cara frontal para ser absorbida por la oblea. Los revestimientos antirreflectantes que dan lugar a una relación de absorción/reflexión favorable, son susceptibles de grabado mediante la pasta electroconductora empleada, pero son por otra parte resistentes a las temperaturas requeridas para cocer la pasta electroconductora y se favorece no contribuir a una mayor recombinación de electrones y huecos en las proximidades de la interfaz del electrodo. Se pueden emplear todos los revestimientos antirreflectantes conocidos por el experto en la técnica y que él considere adecuados en el contexto de la invención. Los revestimientos antirreflectantes preferidos según la invención son SiN_x , SiO_2 , Al_2O_3 , TiO_2 o mezclas de al menos dos de los mismos y/o combinaciones de al menos dos capas de los mismos, prefiriéndose especialmente el SiN_x , en particular cuando se emplea una oblea de Si.

El espesor de los recubrimientos antirreflectantes es adecuado para la longitud de onda de la luz apropiada. Según la invención, se prefiere que los recubrimientos antirreflectantes tengan un espesor en un intervalo de aproximadamente 20 a aproximadamente 300 μm , más preferiblemente en un intervalo de aproximadamente 40 a aproximadamente 200 μm y lo más preferiblemente en un intervalo de aproximadamente 60 a aproximadamente 90 μm .

Capas de pasivación

Según la invención, se pueden aplicar una o más capas de pasivación al lado frontal y/o posterior como exterior o como la capa más externa antes del electrodo, o antes de la capa antirreflectante si hay una presente. Las capas de pasivación preferidas son aquellas que reducen la tasa de recombinación de electrón/hueco en las proximidades de la interfaz del electrodo. Se puede emplear cualquier capa de pasivación que sea conocida por el experto en la técnica y que él considere que es adecuada en el contexto de la invención. Las capas de pasivación preferidas según la invención son nitruro de silicio, dióxido de silicio y dióxido de titanio, siendo el más preferido el nitruro de silicio. Según la invención, se prefiere que la capa de pasivación tenga un espesor en un intervalo de aproximadamente 0,1 nm a aproximadamente 2 μm , más preferiblemente en un intervalo de aproximadamente 10 nm a aproximadamente 1 μm y lo más preferiblemente en un intervalo de aproximadamente 30 nm a aproximadamente 200 nm.

Electrodos

Se prefiere que el electrodo de enchufe en la célula solar tenga una acumulación de vidrio en la frontera en la que el electrodo se encuentra con la oblea de Si, preferiblemente en la forma de una capa de vidrio eléctricamente aislante. En una realización de la célula solar según la invención, la célula solar al menos comprende como partes de la célula solar:

- a) una oblea con al menos un hueco con una superficie de Si;
- b) un electrodo comprendido por un hueco,

en el que la concentración de vidrio en el electrodo es mayor en la superficie en la que el electrodo entra en contacto con la superficie de Si que en el cuerpo principal del electrodo.

Capas protectoras adicionales

Además de las capas descritas anteriormente que contribuyen directamente a la función principal de la célula solar, se pueden agregar capas adicionales para protección mecánica y química. La célula se puede encapsular para proporcionar protección química. Las encapsulaciones son bien conocidas por el experto en la técnica y se puede emplear cualquier encapsulación que él conozca y que considere adecuada en el contexto de la invención. Según la invención, los polímeros transparentes, a los que a menudo se hace referencia como resinas termoplásticas

transparentes, se prefieren como el material de encapsulación, si tal encapsulación está presente. Los polímeros transparentes preferidos en este contexto son, por ejemplo, caucho de silicio y acetato de polietileno de vinilo (PVA).

5 Se puede agregar una lámina de vidrio transparente al frente de la célula solar para proporcionar protección mecánica a la cara frontal de la célula. Las láminas de vidrio transparentes son bien conocidas por el experto en la técnica y puede emplearse cualquier lámina de vidrio transparente conocida por él y que considere adecuada en el contexto de la invención, como protección en la cara frontal de la célula solar.

10 Se puede agregar un material de protección posterior a la cara posterior de la célula solar para proporcionar protección mecánica. Los materiales posteriores de protección son bien conocidos por el experto en la técnica y puede emplearse cualquier material de protección posterior conocido por él y que considere adecuado en el contexto de la invención, como protección en la cara posterior de la célula solar. Los materiales de protección posteriores según la invención son aquellos que tienen buenas propiedades mecánicas y resistencia al clima. Los materiales de protección posterior preferidos según la invención son tereftalato de polietileno con una capa de fluoruro de polivinilo. Según la invención, se prefiere que el material protector posterior esté presente debajo de la capa de encapsulación (en el caso de que estén presentes tanto una capa de protección posterior como una de encapsulación).

15 Se puede agregar un material como bastidor al exterior de la célula solar para proporcionar soporte mecánico. Los materiales de bastidor son bien conocidos por el experto en la técnica y se puede emplear cualquier material de bastidor conocido por el experto en la técnica y que él considere adecuado en el contexto de la invención como material para el bastidor. El material del bastidor preferido según la invención es aluminio.

20 Paneles solares

Una contribución para lograr al menos uno de los objetivos mencionados anteriormente se realiza mediante un módulo que comprende al menos una célula solar obtenida como se describió anteriormente, en particular según al menos una de las realizaciones descritas anteriormente, y al menos una célula solar más. Se puede disponer espacial y eléctricamente conectada una multiplicidad de células solares según la invención para formar una disposición colectiva llamada módulo. Los módulos preferidos según la invención pueden tomar una serie de formas, preferiblemente una superficie rectangular conocida como panel solar. El experto en la técnica conoce bien una gran variedad de formas para conectar eléctricamente células solares, así como una gran variedad de formas para organizar y fijar mecánicamente dichas células para formar disposiciones colectivas, y se puede emplear cualquier método conocido por él y que él considere adecuado en el contexto de la invención. Los métodos preferidos según la invención son aquellos que dan como resultado una relación baja entre la masa y la potencia de salida, una relación baja entre el volumen y la potencia de salida y una alta durabilidad. El aluminio es el material preferido para la fijación mecánica de células solares según la invención.

Descripción de los dibujos

35 La invención se explica ahora por medio de figuras que están destinadas solo a la ilustración y no deben considerarse como limitativas del alcance de la invención. Brevemente,

La Fig. 1 muestra una vista en sección transversal de una configuración de capa común para una célula solar,

La Fig. 2 muestra una vista en sección transversal de la configuración de capa mínima para una célula solar,

Las Figs. 3a, 3b y 3c juntas ilustran el proceso de cocción de una pasta de la cara frontal.

40 Las Figuras. 4a, 4b, 4c, 4d y 4e juntas ilustran un proceso para preparar una oblea con un hueco, una capa frontal dopada y las capas frontales adicionales opcionales, en el que la capa frontal dopada y las capas frontales adicionales opcionales cubren la superficie del hueco.

Las Figuras. 5a, 5b, 5c, 5d y 5e juntas ilustran un proceso para preparar una oblea con un hueco, una capa frontal dopada y las capas frontales adicionales opcionales, en el que la capa frontal dopada y las capas frontales adicionales opcionales no cubren la superficie del hueco.

45 La Figura 6 muestra una imagen SEM de un electrodo de enchufe en el que se han dibujado círculos correspondientes al contenido de plata según el algoritmo en el método de prueba para el diámetro de partícula en el electrodo.

La Figura 7 muestra un esquema de un corte en sección transversal de la oblea con seis muestras para el análisis del contenido de vidrio en el electrodo.

50 La Figura 8 muestra un ejemplo de forma de una distribución de diámetro bimodal de partículas de plata en un electrodo de enchufe.

La Figura 1 muestra una vista en sección transversal de una configuración de capa común para una célula solar 100 según la invención (que excluye capas adicionales que sirven puramente para protección química y mecánica).

Comenzando desde la cara posterior y continuando hacia la cara frontal, la célula solar 200 comprende un electrodo posterior 107, una capa posterior de pasivación 112, una capa posterior altamente dopada 111, una capa dopada posterior 104, una frontera 102 de la unión p-n, una capa dopada frontal 103, una capa frontal de pasivación 110, una capa antirreflectante 109 y un electrodo frontal 106, en donde el electrodo frontal penetra a través de la capa antirreflectante 109 y la capa frontal de pasivación 110 y dentro de la capa dopada frontal 103 lo suficiente para formar un buen contacto eléctrico con la capa dopada frontal, pero no tan lejos como para derivar la frontera 102 de la unión p-n. Está presente un electrodo 105 de hueco en un hueco que une las caras delantera y trasera de la célula solar. Este electrodo es preferiblemente un electrodo Ag según la invención. En el caso de que 100 represente una célula de tipo n, el electrodo posterior 107 es preferiblemente un electrodo plateado, la capa posterior altamente dopada 111 es preferiblemente Si fuertemente dopado con P, la capa dopada posterior 104 es preferiblemente Si ligeramente dopado con P, la capa dopada frontal 103 es preferiblemente Si fuertemente dopado con B, la capa antirreflectante 109 es preferiblemente una capa de nitruro de silicio y el electrodo frontal 106 es preferiblemente una mezcla de plata y aluminio. En el caso de que 100 represente una célula de tipo p, el electrodo posterior 107 es preferiblemente un electrodo de plata y aluminio mezclados, la capa posterior altamente dopada 111 es preferiblemente Si fuertemente dopado con B, la capa dopada posterior 104 es preferiblemente Si ligeramente dopado con B, la capa dopada frontal 103 es preferiblemente Si fuertemente dopado con P, la capa antirreflectante 109 es preferiblemente una capa de nitruro de silicio y el electrodo frontal 106 es preferiblemente plata. La Figura 2 es esquemática y muestra solo un hueco. La invención no limita el número de electrodos posteriores 107, el número de electrodos frontales 106, los huecos o los electrodos 105 de hueco.

La Figura 2 muestra una vista en sección transversal de una célula solar 200 y representa la configuración de capa mínima requerida para una célula solar según la invención. Comenzando desde la cara posterior y continuando hacia la cara frontal, la célula solar 100 comprende un electrodo posterior 107, una capa dopada posterior 104, una frontera 102 de la unión p-n, una capa dopada frontal 103 y un electrodo frontal 106, en donde el electrodo frontal penetra lo suficiente en la capa dopada frontal 103 para formar un buen contacto eléctrico con ella, pero no tanto como para derivar la frontera 102 de la unión p-n. La capa dopada posterior 104 y la capa dopada frontal 103 constituyen juntas una oblea de Si dopada individual 101. Está presente un electrodo 105 de hueco en un hueco que une las caras frontal y posterior de la célula solar.

Este electrodo es preferiblemente un electrodo de Ag según la invención. En el caso de que 200 represente una célula de tipo n, el electrodo posterior 107 es preferiblemente un electrodo de plata, la capa dopada posterior 104 es preferiblemente Si dopado ligeramente con P, la capa dopada frontal 103 es preferiblemente Si fuertemente dopado con B y el electrodo frontal 106 es preferiblemente un electrodo mixto de plata y aluminio. En el caso de que 200 represente una célula de tipo p, el electrodo posterior 107 es preferiblemente un electrodo mixto de plata y aluminio, la capa dopada posterior 104 es preferiblemente Si ligeramente dopado con B, la capa dopada frontal 103 es preferiblemente Si fuertemente dopado con P y el electrodo frontal 106 es preferiblemente un electrodo de plata. Este diagrama es esquemático y la invención no limita el número de electrodos frontales 106, de electrodos posteriores 107, de huecos o de electrodos 105 de huecos.

Las Figuras 3a, 3b y 3c juntas ilustran el proceso de cocer un precursor sin capas frontales que cubren la superficie del hueco para obtener una célula solar. Las Figuras 3a, 3b y 3c son esquemáticas y generalizadas y las capas adicionales además de las que constituyen la unión p-n se consideran simplemente como capas adicionales opcionales sin una consideración más detallada.

La Figura 3a ilustra una oblea 300a antes de la aplicación del electrodo frontal y del electrodo del hueco. Comenzando desde la cara posterior y continuando hacia la cara frontal, la oblea 300a antes de la aplicación del electrodo frontal comprende opcionalmente capas adicionales en la cara posterior 316, una capa posterior 104 dopada, una frontera 102 de la unión p-n, una capa frontal 103 dopada y capas adicionales en la cara frontal 314. Las capas adicionales en la cara posterior 316 pueden comprender cualquiera de un electrodo posterior, una capa de pasivación posterior, una capa posterior altamente dopada o ninguna de las anteriores. La capa adicional en la cara frontal 314 puede comprender cualquiera de una capa de pasivación frontal, una capa antirreflectante o ninguna de las anteriores.

La figura 3b muestra una oblea 300b con pastas electroconductoras aplicadas a la cara frontal y a un hueco antes de cocer. Además de las capas presentes en 300a descritas anteriormente, está presente una pasta electroconductora 306 en la superficie de la cara frontal y está presente una pasta electroconductora 305 en el hueco.

La Figura 3c muestra una oblea 300c con el electrodo frontal aplicado. Además de las capas presentes en 300a descritas anteriormente, está presente un electrodo 106 de la cara frontal que penetra desde la superficie de la cara frontal a través de las capas frontales 314 adicionales y dentro de la capa frontal 103 dopada y se forma a partir de la pasta 306 electroconductora de la figura 3b al cocerse. Está presente en el hueco un electrodo 105 de hueco, que se ha formado a partir de la pasta electroconductora 305 de la figura 3b al cocerse.

En las Figuras 3b y 3c se muestran, solo un hueco, un electrodo frontal y un electrodo de hueco. Este diagrama es esquemático y la invención no limita el número de huecos, de electrodos frontales ni de electrodos de hueco.

Las Figuras 4a, 4b, 4c, 4d y 4e juntas ilustran un proceso para preparar una oblea con un hueco, una capa frontal dopada y capas frontales adicionales opcionales, en la que la capa frontal dopada y las capas frontales adicionales opcionales cubren la superficie del hueco.

La Figura 4a muestra una oblea que más tarde constituirá la capa posterior 104 dopada.

5 La Figura 4b muestra una oblea 104 después de haberse realizado un hueco 315.

La Figura 4c muestra una oblea 104 con un hueco 315 después de lo que constituirá más tarde la capa dopada frontal 103 que se ha aplicado. Esta capa 103 está presente en cada lado de la oblea y en la superficie del hueco.

La Figura 4d muestra la oblea 104 con un hueco 315 y la capa frontal 103 dopada después de haberse aplicado las capas frontales adicionales 314. Esta capa 314 está presente en cada lado de la oblea y en la superficie del hueco.

10 La Figura 4e muestra la oblea 104 con un hueco 315, la capa frontal 103 dopada y las capas frontales adicionales 314 después de cortar la parte posterior y los lados para dejar la capa dopada frontal 103 y las capas frontales adicionales 314 presentes en la cara frontal y la superficie del hueco solamente.

Las Figuras 5a, 5b, 5c, 5d y 5e juntas ilustran un proceso para preparar una oblea con un hueco, una capa frontal dopada y capas frontales adicionales opcionales, en la que la capa frontal dopada y las capas frontales adicionales opcionales no cubren la superficie del hueco.

15

La Figura 5a muestra una oblea que más tarde constituirá la capa posterior 104 dopada.

La Figura 5b muestra una oblea 104 después de lo que más tarde constituirá la capa frontal dopada 103 que se ha aplicado. Esta capa 103 está presente en cada lado de la oblea.

20 La Figura 5c muestra la oblea 104 con la capa frontal dopada 103 después de que se han aplicado las capas frontales adicionales 314. Esta capa 314 está presente en cada lado de la oblea y en la superficie del hueco.

La Figura 5d muestra la oblea 104 con la capa frontal 103 dopada y las capas adicionales frontales 314 después de haberse realizado un hueco 315. La capa dopada frontal 103 y las capas frontales adicionales 314 están presentes en todos los lados de la oblea pero no en la superficie del hueco.

25 La Figura 5e muestra la oblea 104 con la capa frontal 103 dopada y las capas frontales adicionales 314 y un hueco 315 después de cortar la parte posterior y los lados para dejar la capa dopada frontal 103 y las capas frontales adicionales 314 presentes en la cara frontal solamente.

La Figura 6 muestra parte de un ejemplo de corte en sección transversal de una micrografía electrónica de una oblea procesada que presenta partículas de plata. El área correspondiente al contenido de plata 601, en contraste con el área correspondiente al contenido no de plata 602, se identificó y rellenó con círculos de diámetro decreciente según el algoritmo proporcionado en el método de prueba para determinar la distribución del diámetro de partícula en el electrodo. Para mayor claridad, la Figura 6 muestra la imagen en el punto en el que el algoritmo de ajuste se ha completado parcialmente, para diámetros decrecientes desde 50 μm hasta 0,5 μm . La Figura 6 muestra un ejemplo de porción del área que se va a analizar según el método de prueba (1 mm^2). Los diámetros de los círculos marcados de esa porción son los siguientes: 1=1,7 μm , 2=0,92 μm , 3=1,37 μm , 4=1,6 μm , 5=1,04 μm , 6=0,77 μm , 7=0,86 μm , 8=0,78 μm , 9=1,05 μm , 10=1,24 μm , 11=1,15 μm , 12=0,92 μm , 13=0,96 μm , 14=1,76 μm , 15=0,82 μm , 16=7,15 μm , 17=0,8 μm , 18=2,38 μm , 19=1,37 μm , 20=0,99 μm , 21=1,02 μm , 22=0,69 μm , 23=0,52 μm , 24=0,88 μm , 25=2,18 μm , 26=0,67 μm , 27=1,28 μm , 28=2,36 μm , 29=0,92 μm , 30=0,92 μm , 31=0,86 μm , 32=1,11 μm , 33=0,87 μm , 34=1,47 μm , 35=0,66 μm , 36=1,21 μm , 37=0,65 μm , 38=4,3 μm , 39=2,41 μm , 40=0,83 μm , 41=1,54 μm , 42=1,06 μm , 43=0,81 μm , 44=1,09 μm , 45=1,25 μm , 46=1,84 μm , 47=0,97 μm , 48=0,61 μm , 49=1,21 μm , 50=0,97 μm , 51=1,15 μm , 52=0,87 μm , 53=0,95 μm , 54=0,91 μm , 55=1,21 μm , 56=0,59 μm , 57=1,38 μm , 58=3,02 μm , 59=2,31 μm , 60=0,95 μm , 61=0,74 μm , 62=1,66 μm , 63=0,86 μm , 64=4,41 μm , 65=0,79 μm , 66=0,8 μm , 67=0,94 μm , 68=0,85 μm , 69=1,03 μm , 70=0,99 μm , 71=0,93 μm , 72=1,09 μm .

30
35
40

La Figura 7 muestra esquemáticamente un corte en sección transversal 700 de una célula 100 con un electrodo 105 de enchufe. El corte está hecho para contener el eje del enchufe 704. Se toman tres muestras 701 de 1 mm^2 de este corte a lo largo del eje del enchufe 704 a 1/4, 1/2 y 3/4 de la distancia desde la cara frontal a la cara posterior. Se toman tres muestras 702 de 1 mm^2 a lo largo de la frontera en la que el electrodo 105 de enchufe se encuentra con la oblea 101 a 1/4, 1/2 y 3/4 de la distancia desde la cara frontal a la cara posterior. También se muestra el punto medio 703 entre la cara frontal y la cara posterior de la oblea en la figura 7.

45

La Figura 8 muestra un ejemplo de distribución de diámetros bimodal de partículas de plata en un electrodo de enchufe como se determina según el método de prueba. Los máximos locales 801 están presentes a aproximadamente 1 μm y a aproximadamente 5,5 μm , lo que da una separación correspondiente Δ de aproximadamente 4,5 μm . Las mediciones se tomaron a intervalos de 0,1 μm en un intervalo de 0 a 50 μm (para mayor claridad, solo se muestra la parte del gráfico hasta 18 μm). El gráfico se ha mostrado en una forma normalizada en la que las frecuencias suman 1.

50

Métodos de prueba

Se utilizan los siguientes métodos de prueba en la invención. En ausencia de un método de prueba, se aplica el método de prueba ISO para la característica que se va a medir más cercana a la fecha de presentación más antigua de la presente solicitud. En ausencia de condiciones de medición distintas, se aplica la temperatura y presión ambiente estándar (SATP) con una temperatura de 298,15 K (25°C, 77°F) y una presión absoluta de 100 kPa (14,504 psi, 0,986 atm).

Área superficial específica

Las mediciones BET para determinar el área superficial específica de las partículas de plata se realizan según la norma DIN ISO 9277:1995. Para la medición se utiliza un Gemini 2360 (de Micromeritics) que funciona según el método SMART (Método de Sorción con Tasa de Dosificación Adaptable, Sorption Method with Adaptive dosing Rate). Como material de referencia se usa óxido de aluminio alfa CRM BAM-PM-102 disponible de BAM (Bundesanstalt für Materialforschung und-prüfung). Las barras de relleno se agregan a las cubetas de referencia y muestra con el fin de reducir el volumen muerto. Las cubetas están montadas en el aparato BET. Se determina la presión de vapor de saturación del gas nitrógeno (N₂ 5.0). Se pesa una muestra en una cubeta de vidrio en una cantidad tal que la cubeta con las varillas de llenado está completamente llena y se crea un mínimo de volumen muerto. La muestra se mantiene a 353,15 K (80°C) durante 2 horas con el fin de secarla. Después de enfriar, se registra el peso de la muestra. La cubeta de vidrio que contiene la muestra se monta en el aparato de medición. Para desgasificar la muestra, se evacua a una velocidad de bombeo seleccionada de tal manera que no se aspire ningún material a la bomba. La masa de la muestra después de la desgasificación se usa para el cálculo. El volumen muerto se determina utilizando Helio gaseoso (He 4.6). Las cubetas de vidrio se enfrían a 77 K al utilizar un baño de nitrógeno líquido. Para el adsorbente, se utiliza N₂ 5.0 con un área de sección transversal molecular de 0.162 nm² a 77 K para el cálculo. Se realiza un análisis multipunto con 5 puntos de medición y el área superficial específica resultante se expresa en m²/g.

Temperatura de transición del vidrio

La temperatura de transición del vidrio T_g para vidrios se determina utilizando un aparato DSC Netzsch STA 449 F3 Jupiter (Netzsch) equipado con un porta muestras HTP 40000A69.010, termopar Tipo S y un horno de platino Pt S TC:S (todos de Netzsch). Para las mediciones y la evaluación de datos se aplican el software de medición Netzsch Messung V5.2.1 y Proteus Thermal Analysis V5.2.1. Como bandeja de referencia y muestra, se utilizan placas de óxido de aluminio GB 399972 y tapa GB 399973 (ambas de Netzsch) con un diámetro de 6,8 mm y un volumen de aproximadamente 85 µl. Se carga una cantidad de aproximadamente 20 a aproximadamente 30 mg de la muestra en la bandeja de muestra con una precisión de 0,01 mg. La bandeja de referencia vacía y la bandeja de muestras se colocan en el aparato, el horno se cierra y se inicia la medición. Se emplea una velocidad de calentamiento de 10 K/min desde una temperatura inicial de 298,15K (25°C) hasta una temperatura final de 1273,15K (1000°C). El equilibrio en el instrumento siempre se purga con nitrógeno (N₂ 5.0) y el horno se purga con aire sintético (80% de N₂ y 20% de O₂ de Linde) con un caudal de 50 ml/min. La primera etapa en la señal DSC se evalúa como transición vítrea utilizando el software descrito anteriormente y el valor de inicio determinado se toma como la temperatura para T_g.

Viscosidad

Las mediciones de viscosidad se realizaron utilizando Thermo Fischer Scientific Corp. "Haake Rheostress 600" equipado con una placa de tierra MPC60 Ti y una placa de cono C 20/0,5° Ti y el software "Haake Rheo Win Job Manager 4.30.0". Después de establecer el punto cero de distancia, se colocó una muestra de pasta suficiente para la medición en la placa de tierra. El cono se movió a las posiciones de medición con una distancia de separación de 0,026 mm y el exceso de material se eliminó con una espátula. La muestra se equilibró a 298,15 K (25°C) durante tres minutos y se inició la medición rotacional. La velocidad de corte se incrementó de 0 a 20 s⁻¹ en 48 s y 50 puntos de medición equidistantes y aumentó a 150 s⁻¹ en 312 s y 156 puntos de medición equidistantes. Después de un tiempo de espera de 60 s a una velocidad de cizallamiento de 150 s⁻¹, la velocidad de corte se redujo de 150 s⁻¹ a 20 s⁻¹ en 312 s y 156 puntos de medición equidistantes y se redujo además a 0 en 48 s y 50 puntos de medición equidistantes. Se activaron la corrección del micro par de torsión, el control de micro tensión y la corrección de inercia de la masa. La viscosidad se da como el valor medido a una velocidad de corte de 100 s⁻¹ de la rampa de corte descendente.

Resistencia de la lámina

Para medir la resistencia de la lámina de una superficie de oblea de silicio dopado, se utiliza el dispositivo "GP4-Test Pro" equipado con el paquete de software "GP-4 Test 1.6.6 Pro" de la empresa GP solar GmbH. Para la medición, se aplica el principio de medición de 4 puntos. Las dos sondas externas aplican una corriente constante y dos sondas internas miden el voltaje. La resistencia de la lámina se deduce utilizando la ley de Ohm en Ω/cuadrado. Para determinar la resistencia media de la lámina, la medición se realiza en 25 puntos igualmente distribuidos en la oblea. En una sala con aire acondicionado con una temperatura de 295,15±1 K (22±1°C), todos los equipos y materiales se equilibran antes de la medición. Para realizar la medición, el "GP-Test.Pro" está equipado con un

cabezal de medición de 4 puntos (número de pieza 04.01.0018) con puntas afiladas con el fin de penetrar las capas antirreflectantes y/o de pasivación. Se aplica una corriente de 10 mA. El cabezal de medición se pone en contacto con el material de la oblea no metalizado y se inicia la medición. Después de medir 25 puntos igualmente distribuidos en la oblea, la resistencia media de la lámina se calcula en Ω /cuadrado.

5 Determinación del tamaño de partícula (d_{10} , d_{50} , d_{90} y distribución de partículas de polvo)

La determinación del tamaño de partículas para las partículas se realiza según la norma ISO 13317-3:2001. Para la medición se utiliza un Sedigraph 5100 con el software Win 5100 V2.03.01 (de Micromeritics) que funciona según la técnica gravitacional de rayos X. Se pesa una muestra de aproximadamente 400 a 600 mg en un vaso de precipitados de vidrio de 50 ml y se añaden como líquido en suspensión 40 ml de Sedisperse P11 (de Micromeritics, con una densidad de aproximadamente 0,74 a 0,76 g/cm³ y una viscosidad de aproximadamente 1,25 a 1,9 mPa·s). Se agrega una barra de agitación magnética a la suspensión. La muestra se dispersa utilizando una sonda ultrasónica Sonifer 250 (de Branson) operada a nivel de potencia 2 durante 8 minutos mientras la suspensión se agita con la barra de agitación al mismo tiempo. Esta muestra pre-tratada se coloca en el instrumento y se inicia la medición. La temperatura de la suspensión se registra (rango típico de 297,15K a 318,15K (24°C a 45°C)) y para el cálculo se utilizan los datos de la viscosidad medida para la solución dispersante a esta temperatura. Utilizando la densidad y el peso de la muestra (10.5 g/cm³ para plata) se determina la función de distribución del tamaño de partícula. d_{50} , d_{10} y d_{90} se pueden leer directamente de la función de distribución de partículas. Para la evaluación del tamaño multimodal, se generan gráficos de distribución de la frecuencia de masa frente al diámetro y se determinan los picos máximos a partir de los mismos.

20 Determinación del tamaño de partícula (d_{10} , d_{50} , d_{90} y distribución de partículas en la pasta)

Para la determinación de la distribución del tamaño de las partículas de metal en la pasta se siguió el siguiente procedimiento. La parte orgánica se elimina por extracción con disolvente utilizando disolventes tales como metanol, etanol, isopropanol, diclorometano, cloroformo, hexano. Esto puede realizarse utilizando un aparato Soxhlet o una combinación de técnicas de disolución, sedimentación y filtración conocidas por el experto en la técnica. La parte inorgánica excepto las partículas metálicas se elimina por tratamiento con ácidos acuosos no oxidantes tales como ácido clorhídrico, etc., seguido de tratamiento con bases tales como hidróxido de sodio acuoso, hidróxido de potasio, etc. seguido por un tratamiento con ácido fluorhídrico acuoso. Esto se puede realizar utilizando un aparato Soxhlet o una combinación de técnicas de disolución, sedimentación y filtración. En una etapa final, las partículas metálicas restantes se lavan con agua desionizada y se secan. El tamaño de partícula del polvo resultante se mide como se describió para los polvos anteriores.

Nivel de dopante

Los niveles de dopante se miden usando espectroscopía de masas de iones secundarios.

Adhesión

La muestra de células solares que se va a probar se asegura en una mesa de soldadura disponible comercialmente M300-0000-0901 de Somont GmbH, Alemania. Una cinta de soldadura de Bruker Spalek (ECu+62Sn-36Pb-2Ag) se recubre con fundente Kester 952S (de Kester) y se adhiere a la línea del dedo o barra colectora para probar al aplicar la fuerza de 12 pasadores calientes que presionan la cinta de soldadura en la línea del dedo o barra colectora. Los pasadores calientes tienen una temperatura ajustada de 553,15 K (280°C) y la placa de precalentamiento de soldadura sobre la que se coloca la muestra se ajusta a una temperatura de 448,15 K (175°C). Después de enfriarse a la temperatura ambiente, las muestras se montan en un probador GP Stable-Test Pro (GP Solar GmbH, Alemania). La cinta se fija en el cabezal de prueba y se tira con una velocidad de 100 mm/s y en una forma en que la parte de la cinta se fija a la superficie de la célula y la parte de la cinta de la que se tira bajo un ángulo de 45°. La fuerza requerida para quitar la barra de dedo/barra colectora se mide en Newton. Este proceso se repite para entrar en contacto en 10 puntos equiespaciados a lo largo de la barra de dedo/barra colectora, que incluye una medición en cada extremo. La media se toma de los 10 resultados.

Microscopía electrónica de barrido (SEM, Scanning Electron Microscopy) y espectroscopía de rayos X de energía dispersiva (EDX, Energy Dispersive X-ray Spectroscopy)

La célula solar se corta de forma tal que el área de interés se abre. La muestra cortada se coloca en un recipiente lleno de material de incrustación y se orienta de modo que el área de interés esté en la parte superior.

50 Como material de incrustación, se usa EpoFix (Struers), mezclado según las instrucciones. Después de 8 horas de curado a temperatura ambiente, la muestra puede procesarse más. En un primer paso, la muestra se muele con un Labopol-25 (Struers) utilizando papel de carburo de silicio 180-800 (Struers) a 250 rpm. En etapas adicionales, la muestra se pule utilizando un Rotopol-2 equipado con tejido Retroforce-4, MD Piano 220 y MD allegro y pulverizado de diamante DP-Spray P 3um (todos de Struers). Los revestimientos con una capa de carbono se realizan con un Med 010 (Balzers) a una presión de 2 mbar que utiliza un hilo de carbono de 0,27 g/m E419ECO (de Plano GmbH). El examen se realizó con un Zeiss Ultra 55 (Zeiss), equipado con un electrodo de emisión de campo, un voltaje de aceleración de 20 kV y una presión de aproximadamente 3×10^{-6} mbar. Las imágenes de las áreas relevantes se

tomaron y analizaron utilizando el software de análisis de imágenes ImageJ Versión 1.46r (Procesamiento de imágenes y análisis en Java, por Wayne Rasband, <http://rsb.info.nih.gov/ij>). Con el fin de identificar partículas de Ag, se utilizó la señal de Ag_L intensa a aproximadamente 3,4 keV en EDX para identificar 10 partículas de plata y se utilizó la intensidad de escala de grises SEM promedio para esas 10 partículas para identificar más partículas de Ag a partir de la imagen de SEM. Las partículas de vidrio se identificaron de forma similar utilizando un método SEM/EDX análogo.

Diámetro de las partículas de Ag en el electrodo

Se realizó un corte transversal a través del electrodo y se procesó como se describió en la sección de prueba SEM anterior para obtener tres muestras de sección transversal cuadrada desde el interior del electrodo con un área de 1 mm². Las muestras se tomaron de un plano que contenía el eje del enchufe a 1/4, 1/2 y 3/4 de la distancia entre la cara frontal y la cara posterior en el eje del electrodo de enchufe, como se describió para las tres primeras muestras en la figura 7. Para cada muestra, las áreas correspondientes a Ag se identificaron como se describió en la sección SEM. Se dibujaron círculos de diámetro decreciente en la imagen según el siguiente algoritmo:

1. Superponer una cuadrícula cuadrada con una separación de 0,01 µm en la imagen.
2. Cada punto corresponde a un área de plata, o no. Cada punto que corresponde a plata está inicialmente disponible para asignarse a círculos. Los puntos que no corresponden a la plata no están disponibles para asignarse a círculos.
3. Comenzar con un diámetro de 50 µm.
4. Comenzar desde el punto superior izquierdo de la cuadrícula, proceder a través de los puntos de la fila superior de izquierda a derecha, llevar a cabo el paso 4a. para cada punto Repetir para las siguientes filas de arriba a abajo, llegar finalmente a la parte inferior derecha, habiendo sido procesados todos los puntos.
 - 4a. Para cada punto, si todos los puntos dentro de una distancia igual a la mitad del diámetro actual (inicialmente 50 µm) del punto están disponibles para ser asignados a círculos, entonces:
 - i. dibuja un círculo con un diámetro igual al diámetro actual centrado en el punto de malla actual
 - ii. marca todos los puntos dentro de una distancia igual a la mitad del diámetro actual del punto como no disponibles para ser asignados a círculos
 - iii. aumenta en uno el contador de frecuencia acumulativo para el valor actual del diámetro (inicialmente establecido en 0)
5. Después de haber pasado por todos los puntos de la malla para un cierto valor del diámetro de la partícula, registra el contador de frecuencia acumulativa para ese valor de diámetro, disminuye el diámetro actual en 0,1 µm y lleva a cabo el paso 4. utilizando ese valor para el diámetro. Una vez que se ha completado el paso 4. para todos los valores del diámetro desde 50 µm hasta 0,1 µm, el algoritmo está completo.

Una vez que se había llevado a cabo el algoritmo de trazado de círculo, los valores del contador de frecuencia acumulativo se multiplicaron por el cuadrado del diámetro correspondiente para corresponder mejor a una distribución de frecuencia de masa, se ajustó la curva de mejor ajuste a los datos utilizando regresión numérica de mínimos cuadrática y las posiciones de los máximos calculados. El resultado se dio como una media para las tres muestras. Si la desviación estándar para los resultados de las tres muestras fue más del 15% del valor medio, se tomaron más muestras en el punto medio entre cada par adyacente de muestras existentes y a mitad de camino entre las muestras terminales y la cara adyacente de la oblea y la media de todas las muestras dadas. Este proceso se repitió hasta que la desviación estándar fue inferior al 15% del valor medio.

Contenido de vidrio en el electrodo

Se cortaron seis superficies de muestra cuadradas con un área de 1 (mm)² del electrodo de enchufe como se ilustra en la figura 7. Todas las muestras se cortaron desde un plano que contiene el eje del electrodo de enchufe, tres a lo largo del eje del enchufe, a 1/4, 1/2 y 3/4 de la distancia entre la cara frontal y la cara posterior, tres en la frontera con la pared del canal, a 1/4, 1/2 y 3/4 de la distancia entre la cara frontal y la cara posterior. Las seis muestras se prepararon y analizaron para determinar el contenido de vidrio como se describió anteriormente en el método de prueba SEM. Para cada muestra, se superpuso una malla cuadrada en la imagen con una separación de puntos de 0,01 µm. Para cada muestra, la relación del número de puntos que corresponden con el vidrio, según lo determinado por el método SEM, al número total de puntos en la muestra se devolvió como la proporción de la muestra por el peso correspondiente al contenido de vidrio. Se tomó un valor medio para las muestras del eje del enchufe y se tomó un valor medio de las muestras de la frontera del electrodo. Si la desviación estándar para los resultados de cualquiera de los conjuntos de tres muestras era de más del 15% del valor medio respectivo, se tomaban muestras adicionales para ambos conjuntos en el punto medio entre cada par adyacente de muestras existentes y a mitad de camino entre las muestras terminales y la cara adyacente de la oblea y la media de todas las muestras en el

conjunto dado. Este proceso se repitió hasta que la desviación estándar fue menor al 15% del valor promedio para ambos conjuntos. El contenido de vidrio en el borde del electrodo y la oblea se comparó con el contenido de vidrio en el eje del enchufe.

Ejemplos

5 La invención se explica ahora por medio de ejemplos que están destinados solo a la ilustración y no deben considerarse como limitativos del alcance de la invención.

Ejemplo 1 – preparación de la pasta

10 Se preparó una pasta al mezclar lo siguiente: Vehículo orgánico (composición dada en la Tabla 1); polvos de Ag de Sigma-Aldrich, número de producto: 327093, con diámetro de partículas según se indica en la Tabla 2 en las proporciones que se dan en la Tabla 3; frita de vidrio molido a d_{50} de 2 μ m, y ZnO (Sigma-Aldrich, número de artículo: 255750) como aditivo. La pasta se pasó a través de un molino de 3 rodillos a presiones progresivamente crecientes de 0 a 8 bar. La viscosidad se midió como se mencionó anteriormente y se añadieron cantidades apropiadas del vehículo orgánico con la composición dada en la Tabla 1 para ajustar la viscosidad de la pasta hacia un objetivo en un intervalo de aproximadamente 20 a aproximadamente 40 Pas. Los % en peso de los constituyentes de la pasta se dan en la Tabla 3.

Tabla 1

Componente del Vehículo Orgánico	% en peso basado en el peso total del Vehículo Orgánico
2-(2-butoxi)etanol [solvente]	84,5
etil celulosa (DOW Ethocel 4) [aglutinante]	6,5
Thixcin® E [agente tixotrópico]	9

Tabla 2

Plata	D ₅₀ [μm]	D ₁₀ [μm]	D ₉₀ [μm]	Pico máximo [μm]
Ag ₁	6,17	3,45	14,6	ca. 5,4
Ag ₂	1,38	0,86	5,75	ca. 1,3

Tabla 3

Ejemplo #	% en peso de Ag ₁	% en peso de Ag ₂	% en peso de frita de vidrio	% en peso de ZnO	% en peso del Vehículo Orgánico
1	87	0	1	3	9
2	0	87	1	3	9
3	75	12	1	3	9

Ejemplo 2 - Preparación de células solares y medición de la adhesión

20 Las pastas se aplicaron a obleas de tipo p monocristalinas completamente cuadradas sin una capa emisora de tipo n y sin ninguna capa de pasivación o antirreflectante. Las dimensiones de la oblea eran 156 mm x 156 mm, el lado frontal tenía una superficie texturizada aplicada mediante un proceso de grabado alcalino. El ejemplo de pasta se serigrafó en el lado frontal de la oblea como un conjunto de líneas de dedos paralelos. La impresión se llevó a cabo utilizando una impresora de pantalla ASYS Automatisierungssysteme GmbH Ekra E2 y una pantalla estándar H-pattern de Koenen GmbH. La pantalla tenía 75 líneas de dedos con aberturas de 110 μm y dos barras colectoras de 1,5 mm de ancho. La emulsión sobre la malla estaba en un intervalo de aproximadamente 16 a aproximadamente 20 μm, la pantalla tenía 325 mallas y alambre de acero inoxidable de 20 μm. Los parámetros de impresión eran 1,2 bar de presión de la escobilla de goma, velocidad de la escobilla de goma delantera de 150 mm/s y velocidad de inundación de 200 mm/s y un chasquido de 1.5 mm. El dispositivo con el patrón impreso se secó a continuación en un horno durante 10 minutos a 423,15 K (150°C). Los substratos se cocieron a continuación con el lado solar hacia arriba con un horno de cocción rápida Centrotherm Cell & Module GmbH "c-fire". El horno consta de 6 zonas. La Zona 1 se ajustó a 623,15 K (350°C), la zona 2 a 748,15 K (475°C), la zona 3 a 743,15 K (470°C), la zona 4 a 813,15 K (540°C), la zona 5 a 1113,15 K (840°C) y la zona 6 a 1153,15 K (880°C). La velocidad de la correa se ajustó a 5100 mm/min. A continuación, las muestras procesadas completas se analizaron para determinar la adhesión de las líneas de dedos posteriores formadas a partir de la pasta del ejemplo, considerándose un valor elevado como favorable. I_{rev} fue evaluado a -12 V, un valor bajo que se considera favorable. Para cada pasta, el resultado

promedio de la adhesión para 6 muestras se muestra en la Tabla 4. La adhesión se determinó como se describió anteriormente.

Tabla 4

Ejemplo #	Distribución de diámetro de plata multi-modal?	Picos máximos*	Separación de picos máximos	Adhesión**
1	No	ca. 5,4		-
2	No	ca. 1,3		--
3	Sí	ca. 0,9 y 5,3	ca. 4,4	++
* determinado según el método de prueba "Determinación del tamaño de partícula"; ** Resultados expresados en una escala: -- muy baja, - baja, + alta, ++ muy alta				

Análisis del contenido del electrodo de enchufe

- 5 Los máximos de la distribución del diámetro de Ag en el electrodo de enchufe se determinaron según el método de prueba. Se observaron máximos a aproximadamente 5,5 μm y aproximadamente 1 μm , que corresponden a una separación de aproximadamente 4,5 μm .

- 10 El contenido de vidrio en el electrodo de enchufe se midió en el eje del electrodo de enchufe y en la frontera con la oblea de silicio como se describió en el método de prueba. Se encontró que el contenido de vidrio era más alto en la frontera, donde el electrodo de enchufe se encuentra con la oblea de silicio, que en el eje del electrodo de enchufe.

Lista de referencia

- 100 Célula solar
- 101 Oblea de Si dopada
- 102 Frontera de la unión p-n
- 15 103 Capa frontal dopada
- 104 Capa posterior dopada
- 105 Electrodo en el canal
- 106 Electrodo frontal
- 107 Electrodo posterior
- 20 109 Capa antirreflectante
- 110 Capa de pasivación frontal
- 111 Capa posterior altamente dopada
- 112 Capa de pasivación posterior
- 113 Superficie del hueco
- 25 200 Célula solar
- 300a Precursor de la célula solar
- 300b Precursor de la célula solar
- 300c Precursor de la célula solar
- 305 Pasta del enchufe
- 30 306 Pasta frontal

ES 2 649 662 T3

- 314 Capas adicionales en la cara frontal
- 315 Hueco
- 316 Capas posteriores adicionales
- 401 Oblea
- 5 601 Partículas de plata
- 602 Material no de plata
- 700 Corte transversal de la oblea con el electrodo de enchufe
- 701 Muestras de 1 mm² tomadas a lo largo del eje del enchufe
- 702 Muestras de 1 mm² tomadas a lo largo de la pared del canal
- 10 703 Punto medio entre la cara frontal y la cara posterior de la oblea
- 704 Eje del enchufe

REIVINDICACIONES

1. Un precursor de célula solar (300b) que al menos comprende como partes precursoras:
 - i) una oblea (101) con al menos un hueco (315) con una superficie (113) de Si;
 - ii) una pasta electroconductora (305) que al menos comprende como constituyentes:
 - 5 a) partículas metálicas;
 - b) un sistema de reacción inorgánico;
 - c) un vehículo orgánico; y
 - d) un aditivo;

compuesto por el hueco (315),
- 10 en el que las partículas metálicas tienen una distribución multimodal del diámetro de la partícula.
2. El precursor de la célula solar (300b) según la reivindicación 1, en el que las partículas metálicas tienen una distribución bimodal del diámetro de la partícula.
3. El precursor de la célula solar (300b) según la reivindicación 1 o 2, en el que las partículas metálicas tienen una distribución del diámetro con al menos dos máximos en el intervalo de aproximadamente 0,1 a aproximadamente 15
 - 15 μm , al menos un par seleccionado de los al menos dos máximos que están separados por al menos aproximadamente 0,3 μm .
4. El precursor de la célula solar (300b) según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que las partículas metálicas tienen una distribución multimodal del diámetro con al menos dos máximos, al menos un par seleccionado de los al menos dos máximos que están separados por al menos aproximadamente 1 μm .
- 20 5. El precursor de la célula solar (300b) según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que las partículas metálicas son partículas de Ag.
6. El precursor de la célula solar (300b) según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que el sistema de reacción inorgánico está presente en la pasta en un intervalo de aproximadamente el 0,1 a aproximadamente el 5% en peso.
- 25 7. El precursor de la célula solar (300b) según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que al menos un hueco (315) es un canal que une la cara frontal y la cara posterior de la oblea.
8. El precursor de la célula solar (300b) según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que la superficie de Si (113) en al menos un hueco (315) comprende al menos una sección dopada tipo p y al menos una sección dopada tipo n.
- 30 9. El precursor de la célula solar (300b) según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que la pasta (305) está en contacto directo con la superficie (113) de Si del hueco (315).
10. Un proceso para la preparación de un precursor de célula solar según cualquiera de las reivindicaciones precedentes que comprende al menos la etapa de combinar al menos dos porciones diferentes de partículas de Ag, en donde al menos un par seleccionado de al menos dos porciones diferentes de partículas de Ag tiene valores de
 - 35 d_{50} que difieren en al menos aproximadamente 1 μm , para lograr la distribución de partículas multimodal.
11. Un proceso para la preparación de una célula solar que al menos comprende las etapas:
 - i) proveer un precursor de célula solar (300b) según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 9;
 - ii) cocer el precursor de célula solar (300b) para obtener una célula solar.
- 40 12. El proceso para la preparación de una célula solar según la reivindicación 11 en el que la provisión según la etapa i) al menos comprende las etapas:
 - a) proveer una oblea (101) de Si con una capa posterior (104) dopada y una capa frontal (103) dopada de dopantes de tipos opuestos;
 - b) hacer al menos un hueco (315) en la oblea (101);
 - c) introducir una pasta electroconductora (305) en al menos un hueco (315) para obtener un precursor (300b)
 - 45 según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 9;

13. Una célula solar que puede obtenerse mediante el proceso de acuerdo con la reivindicación 11 o 12.

14. Una célula solar que al menos comprende como partes de la célula solar:

i) una oblea (101) con al menos un hueco (315) con una superficie (113) de Si;

ii) un electrodo (105) comprendido por el hueco (315),

5 en el que las partículas metálicas presentes en el electrodo (105) tienen una distribución de diámetro multimodal con al menos dos máximos, en donde al menos un par seleccionado de al menos dos máximos están separados por al menos aproximadamente 1 μm .

15. Una célula solar según la reivindicación 13 o 14 que al menos comprende como partes precursoras:

i) una oblea (101) con al menos un hueco (315) con una superficie (113) de Si;

10 ii) un electrodo (105) comprendido por el hueco (315),

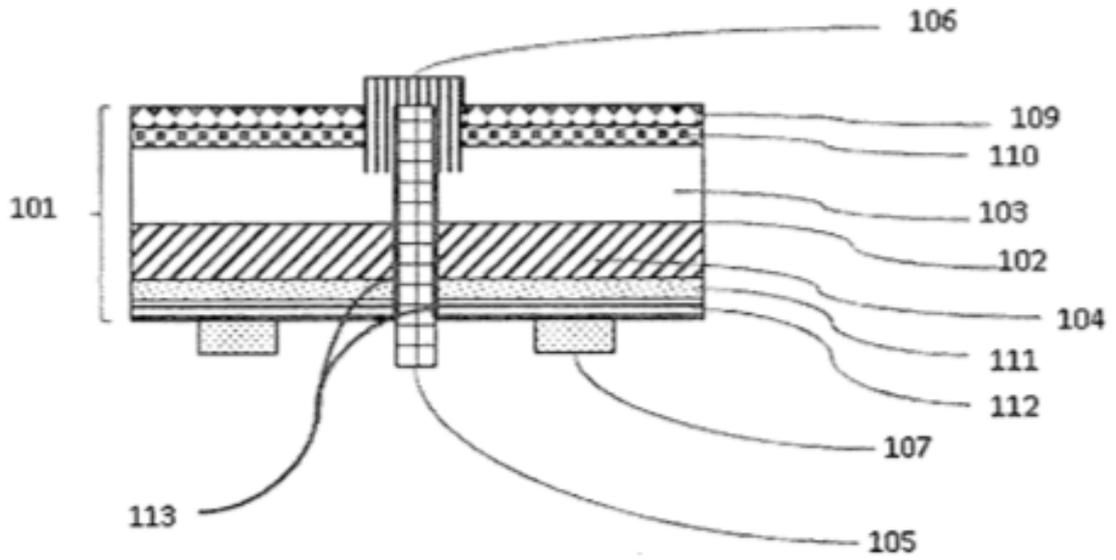
en el que el electrodo (105) tiene una mayor concentración de vidrio en la superficie en la que el electrodo (105) se encuentra con la superficie (113) de Si que en la mayor parte del electrodo (105).

16. Un módulo que comprende al menos una célula solar según cualquiera de las reivindicaciones 13 a 15 y al menos una célula solar adicional.

15

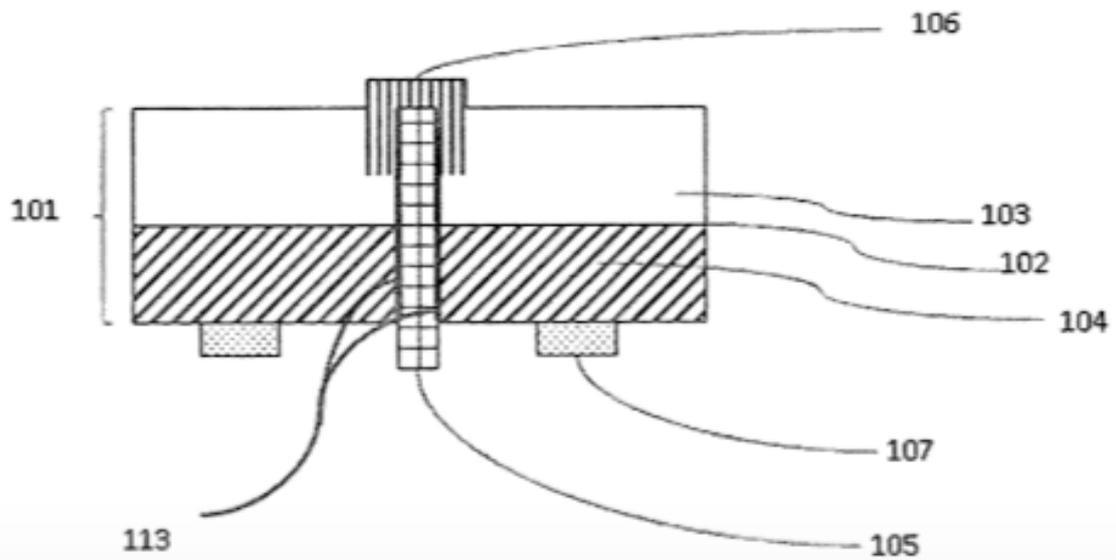
100

Figura 1



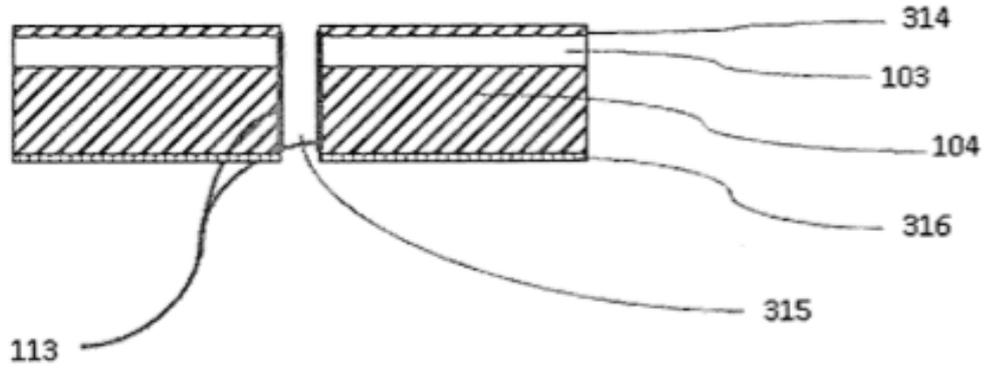
200

Figura 2



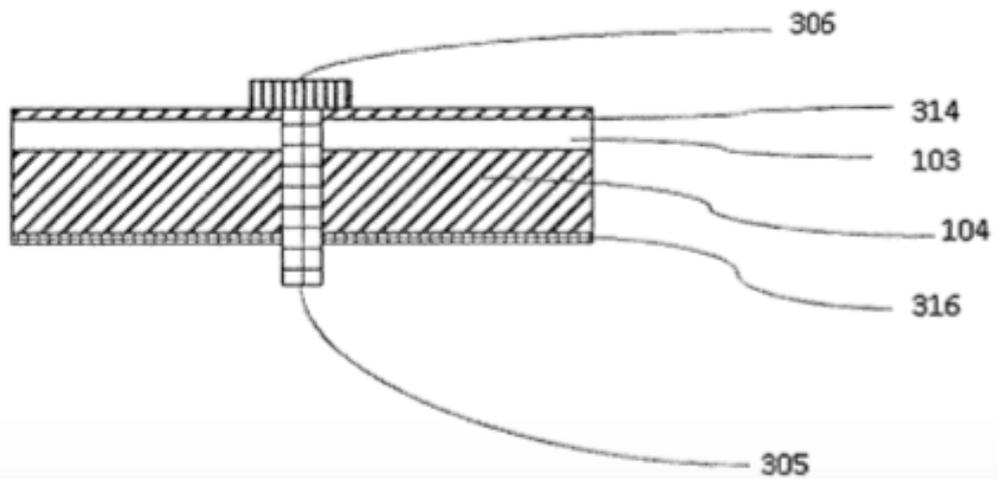
300a

Figura 3a



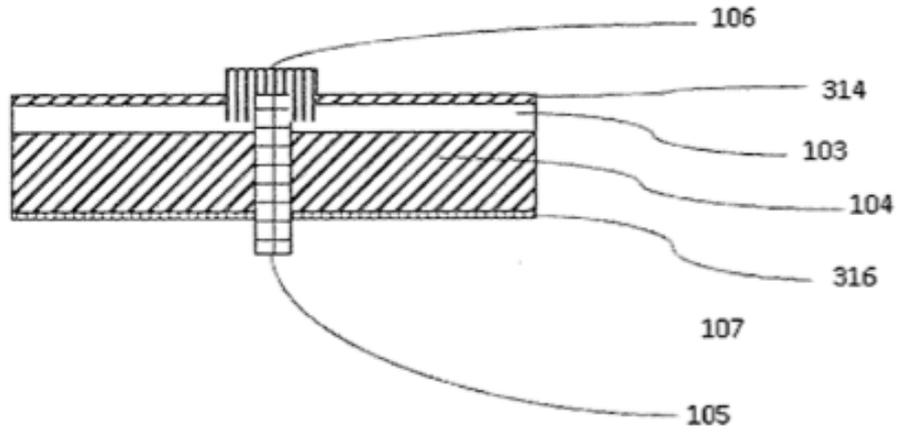
300b

Figura 3b



300c

Figura 3c



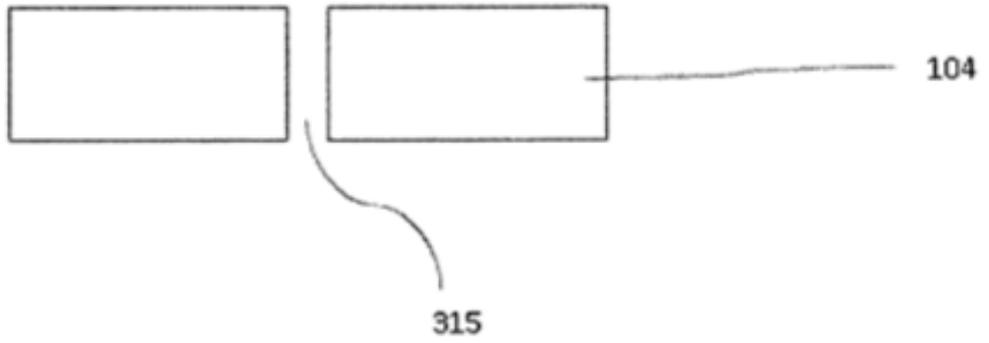
400a

Figura 4a



400b

Figura 4b



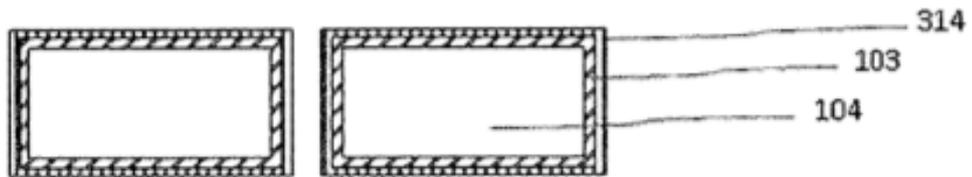
400c

Figura 4c



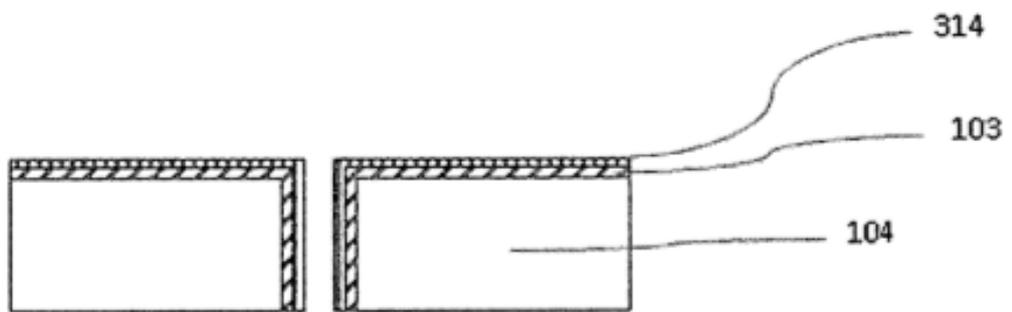
400d

Figura 4d



400e

Figura 4e



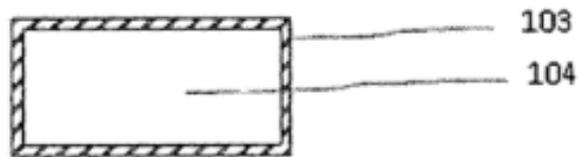
500a

Figura 5a



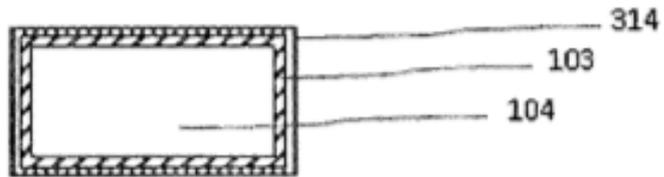
500b

Figura 5b



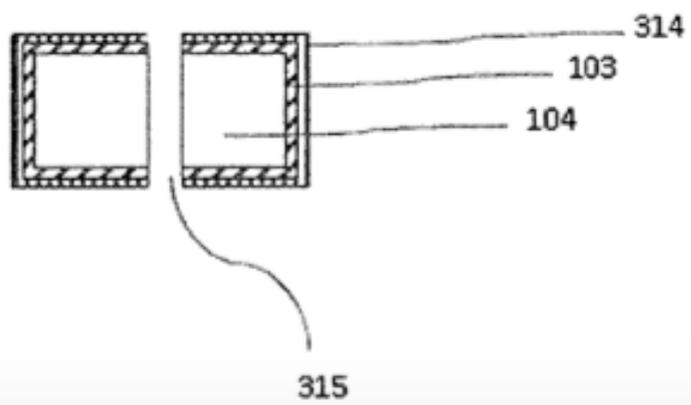
500c

Figura 5c



500d

Figura 5d



500e

Figura 5e

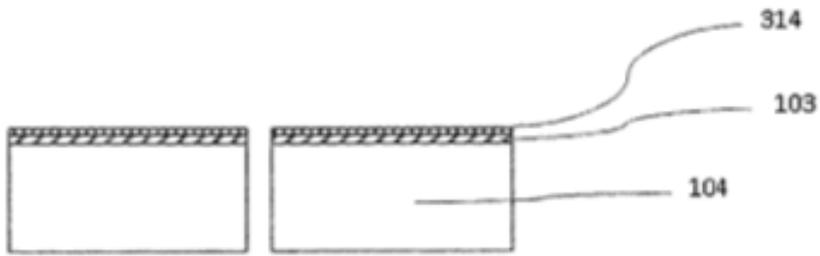


Figura 6

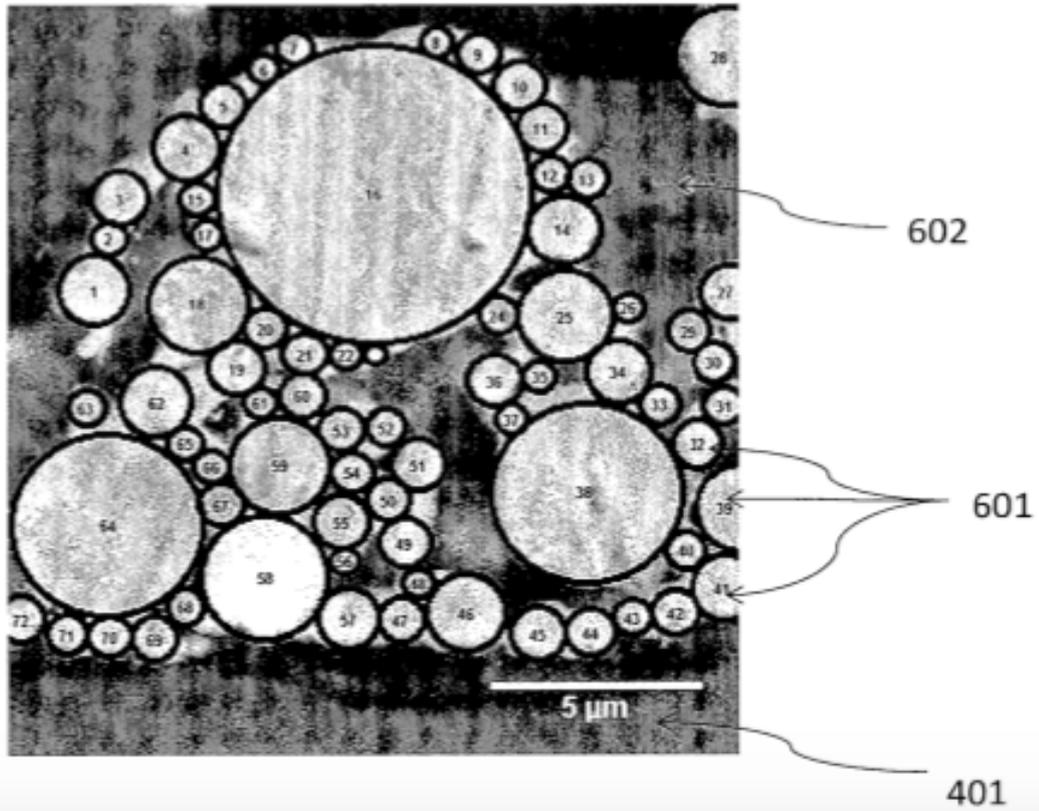


Figura 7

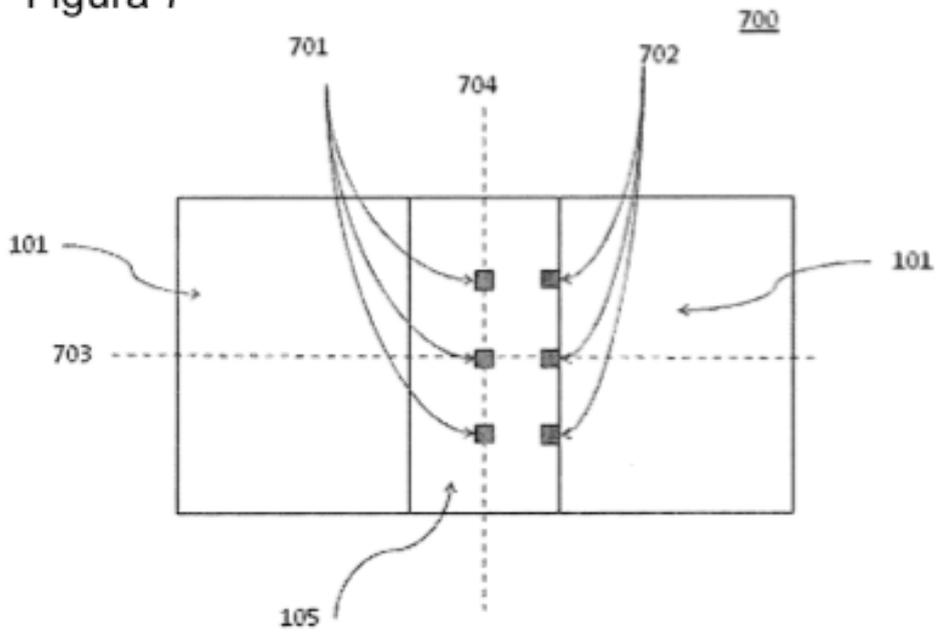


Figura 8

