(19) OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

(11) Número de publicación: **2 685 639**

(51) Int. Cl.:

H01B 1/22	(2006.01)
C03C 8/18	(2006.01)
H01L 31/0224	(2006.01)
C03C 8/16	(2006.01)
C09D 5/24	(2006.01)
H01L 31/042	(2014.01)
H01L 31/18	(2006.01)
H01L 31/068	(2012.01)

(12) TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA T3

(96) Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **02.04.2013** **E 13001679 (3)**

(97) Fecha y número de publicación de la concesión europea: **30.05.2018** **EP 2787511**

(54) Título: **Partículas que comprenden Al y Ag en pastas conductoras de la electricidad y preparación de una célula solar**

(45) Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
10.10.2018

(73) Titular/es:

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

(72) Inventor/es:

KÖNIG, MARKUS;
RUDL, ALEXANDER y
HÖRTEIS, MATTHIAS

(74) Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

ES 2 685 639 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

Partículas que comprenden Al y Ag en pastas conductoras de la electricidad y preparación de una célula solar

Campo de la invención

En general, la invención se refiere a pastas conductoras de la electricidad que comprenden partículas que comprenden Al y Ag y su uso en la preparación de células solares fotovoltaicas, preferentemente células solares fotovoltaicas de tipo n. Más específicamente, la invención se refiere a pastas conductoras de la electricidad, precursoras de célula solar, procedimientos para la preparación de células solares, células solares y módulos solares.

Antecedentes de la invención

Las células solares son dispositivos que convierten la energía de la luz en electricidad usando el efecto fotovoltaico. La energía solar es una fuente de energía verde atractiva porque es sostenible y produce solo subproductos no contaminantes. Por consiguiente, se está dedicando actualmente mucha investigación al desarrollo de células solares con una eficiencia mejorada mientras que se reducen de forma continua los costes de materiales y de fabricación. Cuando la luz incide sobre 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 está hecha generalmente de un material semiconductor, tal como silicio, que a menudo está dopado apropiadamente. La energía del fotón absorbido excita electrones del material semiconductor, generando pares electrón-hueco. Estos pares electrón-hueco se separan a continuación por uniones p-n y se recogen por electrodos conductores en las superficies de la célula solar. 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 la forma de una oblea de Si. Aquí, una unión p-n se prepara comúnmente ya sea proporcionando un sustrato de Si dopado de tipo n y aplicando una capa dopada de tipo p a una cara o proporcionando un sustrato de Si dopado de tipo p y aplicando una capa dopada de tipo n a una cara para dar en ambos casos una denominada unión p-n. La cara con la capa de dopante aplicada generalmente actúa como cara frontal de la célula, actuando la cara opuesta del Si con el dopante original como cara posterior. Tanto las células solares de tipo n como de tipo p son posibles y se han explotado industrialmente. Las células diseñadas para aprovechar la luz incidente sobre ambas caras también son posibles, pero su uso ha sido menos ampliamente aprovechado.

Para permitir que la luz incidente sobre la cara frontal de la célula solar entre y se absorba, el electrodo frontal está dispuesto habitualmente 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 enlazan estos dedos para permitir que la carga se extraiga efectivamente al circuito externo. Es común que esta disposición de los dedos y las barras colectoras se aplique en forma de una pasta conductora de la electricidad que se cuece a continuación para dar cuerpos de electrodo sólido. Un electrodo posterior también se aplica a menudo en forma de una pasta conductora de la electricidad que se cuece a continuación para dar un cuerpo de electrodo sólido. Una pasta conductora de la electricidad típica contiene partículas metálicas, frita de vidrio y un vehículo orgánico.

Recientemente ha habido un interés creciente en células solares de tipo n, en las que la cara frontal está dopada de tipo p. Las células solares de tipo n tienen el potencial de un rendimiento incrementado de la célula con respecto a las células de tipo p análogas, pero quedan desventajas debido al daño a la célula durante la cocción que da como resultado una menor eficiencia.

Ha habido algunos intentos en la técnica anterior de mejorar las propiedades de las células solares. Uno de tales intentos se describe en el documento EP2472526A2.

El documento US2006/071202 A1 describe polvos de Al revestidos con Ag, una frita de vidrio, y un vehículo orgánico en una pasta conductora usada para fabricar un electrodo.

Existe de este modo una necesidad en el estado de la técnica de mejoras en el enfoque de la producción de células solares de tipo n.

Sumario de la invención

La invención se basa generalmente en el objetivo de superar por lo menos uno de los problemas que se encuentra en el estado de la técnica en relación con las células solares, en particular en relación con las células solares basadas en obleas con dopado de tipo p en la cara frontal, comúnmente denominadas células solares de tipo n.

Más específicamente, la invención se basa además en el objetivo de proporcionar células solares con propiedades eléctricas mejoradas, tales como resistencia de contacto favorable, particularmente en células solares de tipo n.

Un objetivo adicional de la invención es proporcionar procedimientos para preparar células solares, en particular células solares de tipo n.

Una contribución a la consecución de por lo menos uno de los objetivos descritos anteriormente se realiza mediante el tema de la categoría que forma las reivindicaciones de la invención. Una contribución adicional se realiza mediante el tema de las reivindicaciones dependientes de la invención que representan realizaciones específicas de la invención.

Descripción detallada

Una contribución a la consecución de por lo menos uno de los objetivos descritos anteriormente se realiza mediante una pasta que comprende como constituyentes de la pasta:

a. Por lo menos 55% en peso, o por lo menos 75% en peso, o por lo menos 80% en peso, de polvo de plata, basado en el peso total de la pasta;

b. Un sistema de reacción inorgánica, preferentemente una frita de vidrio;

c. Un vehículo orgánico;

d. Partículas de aditivo que comprenden Al y Ag como constituyentes de partículas,

en las que Al y Ag están presentes en las partículas de aditivo como elementos o en una o más mezclas de una sola fase de elementos que comprende uno o ambos Al y Ag, o una combinación de uno o ambos Al y Ag como elementos con una o más mezclas de elementos.

En una realización de la pasta según la invención, las partículas de aditivo están en el intervalo de alrededor de 0,1 a alrededor de 5% en peso, o en el intervalo de alrededor de 0,2 a alrededor de 3% en peso, o en el intervalo de alrededor de 0,3 a alrededor de 2% en peso, basado en el peso total de la pasta.

En una realización de la pasta según la invención, las partículas de aditivo no contienen más de 0,1% en peso, preferentemente no más de 0,05% en peso, más preferentemente no más de 0,01% en peso, de elementos distintos del Al o Ag, basado en el peso total de las partículas de aditivo.

En una realización de la pasta según la invención, las partículas de aditivo comprenden por lo menos alrededor de 95% en peso, preferentemente por lo menos alrededor de 98% en peso, más preferentemente por lo menos alrededor de 99% en peso, basado en el peso total de las partículas de aditivo, de por lo menos una mezcla de una sola fase de Al y Ag, preferentemente una aleación de Al-Ag.

En una realización de la pasta según la invención, las partículas de aditivo tienen un cristalinidad de por lo menos 50%, preferentemente por lo menos 75%, más preferentemente por lo menos 80%. Cuando está presente una mezcla de una sola fase de Al y Ag como se describe anteriormente, se prefiere que tenga la cristalinidad anterior. En algunos casos, no se ha observado fase amorfa cuando se somete las partículas de aditivo empleadas según la invención a un análisis de rayos X descrito a continuación.

En una realización de la pasta según la invención, las partículas de aditivo comprenden por lo menos un núcleo, preferentemente un núcleo, y por lo menos una envoltura, preferentemente una envoltura, en la que por lo menos un núcleo tiene por lo menos una envoltura superpuesta sobre por lo menos 80%, preferentemente por lo menos 90%, más preferentemente por lo menos 95%, lo más preferentemente 100%, de su área superficial.

En una realización de la pasta según la invención, preferentemente en la que las partículas de aditivo tienen una estructura de núcleo-envoltura como se describe anteriormente, por lo menos uno o más, preferentemente todos, de los siguientes criterios se satisfacen:

a. Por lo menos un núcleo comprende por lo menos 90% en peso, preferentemente por lo menos 95% en peso, más preferentemente por lo menos 99% en peso de Al, basado en el peso total del núcleo;

b. Por lo menos una envoltura comprende por lo menos 90% en peso, preferentemente por lo menos 95% en peso, más preferentemente por lo menos 99% en peso de Ag, basado en el peso total de la envoltura;

c. El peso combinado de uno o más núcleos, preferentemente un solo núcleo, es de por lo menos 50% en peso, preferentemente por lo menos 60% en peso, más preferentemente por lo menos 70% en peso, basado en el peso total de la partícula;

d. Por lo menos una envoltura tiene un peso individual de menos de 50% en peso, preferentemente menos de 40% en peso, más preferentemente menos de 30% en peso, basado en el peso total de la partícula.

Aspectos de esta realización se refieren a las siguientes combinaciones de criterios, clasificados como anteriormente, que son satisfechos: a, ab, ac, ad, abc, abd, acd, abcd, b, bc, bd, bcd, c, cd, d.

En una realización de la pasta según la invención, preferentemente en la que las partículas de aditivo tienen una aleación como se describe anteriormente, se satisfacen por lo menos uno o ambos de los siguientes criterios:

a. Las partículas de aditivo comprenden Al en el intervalo de alrededor de 5 a alrededor de 70% en peso, preferentemente en el intervalo de alrededor de 10 a alrededor de 65% en peso, más preferentemente en el intervalo de alrededor de 15 a alrededor de 62% en peso, basado en el peso total de las partículas de aditivo.

b. Las partículas de aditivo comprenden Ag en el intervalo de alrededor de 30 a alrededor de 95% en peso, preferentemente en el intervalo de alrededor de 35 a alrededor de 90% en peso, más preferentemente en el intervalo de alrededor de 38 a alrededor de 85% en peso, basado en el peso total de las partículas de aditivo.

En una realización de la pasta según la invención, las partículas de aditivo comprenden una mezcla eutéctica de Al y Ag, preferentemente una aleación. El núcleo de Al y las partículas de aditivo de la estructura de envoltura de Ag muestran preferentemente una mezcla eutéctica en la masa fundida.

En una realización de la pasta según la invención, preferentemente en la que una envoltura de núcleo Al-Ag está presente en las partículas de aditivo como se describe anteriormente, se satisfacen por lo menos uno o ambos de los siguientes criterios:

a. Las partículas de aditivo comprenden Al en el intervalo de alrededor de 50 a alrededor de 90% en peso, preferentemente en el intervalo de alrededor de 55 a alrededor de 85% en peso, más preferentemente en el intervalo de alrededor de 60 a alrededor de 80% en peso, basado en el peso total de las partículas de aditivo.

b. Las partículas de aditivo comprenden Ag en el intervalo de alrededor de 10 a alrededor de 50% en peso, preferentemente en el intervalo de alrededor de 15 a alrededor de 45% en peso, más preferentemente en el intervalo de alrededor de 20 a alrededor de 40% en peso, basado en el peso total de las partículas de aditivo.

En una realización de la pasta según la invención, el sistema de reacción inorgánica está en el intervalo de alrededor de 0,1 a alrededor de 7% en peso, preferentemente en el intervalo de alrededor de 0,5 a alrededor de 6% en peso, más preferentemente en el intervalo de alrededor de 1 a alrededor de 5% en peso, basado en el peso total de la pasta.

En una realización de la pasta según la invención, el sistema de reacción inorgánica es una frita de vidrio.

En una realización de la pasta según la invención, las partículas de aditivo tienen un valor d_{50} en el intervalo de alrededor de 0,1 a alrededor de 15 µm, preferentemente en el intervalo de alrededor de 1 a alrededor de 12 µm, más preferentemente en el intervalo de alrededor de 1 a alrededor de 7 µm.

En una realización de la pasta según la invención, las partículas de aditivo tienen una superficie específica en el intervalo de alrededor de 0,01 a alrededor de 25 m^2/g, preferentemente en el intervalo de alrededor de 0,1 a alrededor de 20 m^2/g, más preferentemente en el intervalo de alrededor de 1 a alrededor de 15 m^2/g.

Una contribución a la consecución de por lo menos uno de los objetivos mencionados anteriormente se realiza mediante un precursor de célula solar que comprende los siguientes constituyentes de precursor de célula solar:

a. Una oblea;

b. Una pasta según la invención, superpuesta sobre la oblea.

En una realización del precursor de célula solar según la invención, la oblea tiene una capa dopada p y una capa dopada n.

En una realización del precursor de célula solar según la invención, la pasta se superpone sobre la capa dopada p.

En una realización del precursor de célula solar según la invención, el grosor de la capa dopada n es mayor que el espesor de la capa dopada p.

En una realización del precursor de célula solar según la invención, la pasta está superpuesta sobre la más delgada de las dos capas dopadas.

Una contribución a la consecución de por lo menos uno de los objetivos anteriormente mencionados se realiza mediante un procedimiento para la preparación de una célula solar que comprende las siguientes etapas de preparación:

a. Provisión de un precursor de célula solar según la invención;

b. Cocción del precursor de célula solar para obtener una célula solar.

Una contribución a la consecución de por lo menos uno de los objetivos mencionados anteriormente se realiza mediante una célula solar obtenible por un procedimiento según la invención.

En una realización de la invención, la célula solar es una célula solar de tipo n.

Una contribución a la consecución de por lo menos uno de los objetivos mencionados anteriormente se realiza mediante un módulo que comprende por lo menos dos células solares, por lo menos una de las cuales es según la invención.

Las realizaciones anteriores se pueden combinar entre sí. Cada combinación posible es en la presente una parte de la descripción de la memoria descriptiva.

Obleas

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 de separar huecos y electrones a través de un límite con alta eficiencia, preferentemente a través de un denominado límite de unión p-n. Las obleas preferidas según la invención son las que comprenden un solo cuerpo formado por una capa dopada frontal y una capa dopada posterior.

Se prefiere que esa oblea consista en elementos tetravalentes, compuestos binarios, compuestos terciarios o aleaciones apropiadamente dopados. Los elementos tetravalentes preferidos en este contexto son Si, Ge o Sn, preferentemente Si. Los 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 de entre Si, Ge, Sn o C, preferentemente SiC. Los compuestos binarios preferidos de un elemento del grupo III con un elemento del grupo V es GaAs. Es lo más preferido según la invención que la oblea esté basada en Si. Nos referimos explícitamente al Si, como el material más preferido para la oblea, a lo largo del resto de esta solicitud. Las secciones del siguiente texto en las que el Si se menciona explícitamente se aplican también para las otras composiciones de oblea descritas anteriormente.

Donde se encuentran la capa dopada frontal y la capa dopada posterior de la oblea es el límite de la unión p-n. En una célula solar de tipo n, la capa dopada posterior se dopa con dopante de tipo n dador de electrones y la capa dopada frontal se dopa con aceptor de electrones o dopante de tipo p dador de huecos. En una célula solar de tipo p, la capa dopada posterior se dopa con dopante de tipo p y la capa dopada frontal se dopa con dopante de tipo n. Se prefiere según la invención preparar una oblea con un límite de unión p-n proporcionando primero un sustrato de Si dopado y a continuación aplicar una capa dopada del tipo opuesto a una cara de ese sustrato. Se prefieren células solares de tipo n en el contexto de la invención. En otra realización de la invención la capa dopada p y una capa dopada n se pueden disponer en la misma cara de la oblea. Este diseño de oblea se denomina a menudo contacto posterior interdigitado como se ejemplifica en Handbook of Photovoltaic Science and Engineering, 2ª Edición, John Wiley & Sons, 2003, capítulo 7.

Los sustratos de Si dopado son bien conocidos por la persona experta en la técnica. El sustrato de Si dopado se puede preparar de cualquier manera conocida por la persona experta en la técnica y que ella considera que es apropiada 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 monocristalino o el Si multicristalino el más preferido. El dopaje para formar el sustrato de Si dopado se puede llevar a cabo de forma simultánea mediante la adición de dopante durante la preparación del sustrato de Si o se puede llevar a cabo en una etapa subsecuente. El dopaje subsecuente a la preparación del sustrato de Si se puede llevar a cabo, por ejemplo, mediante epitaxia de difusión de gas. Los sustratos de Si dopado también están fácilmente disponibles comercialmente. Según la invención, es una opción que el dopaje inicial del sustrato de Si se lleve a cabo simultáneamente a su formación mediante la adición de dopante a la mezcla de Si. Según la invención, es una opción que la aplicación de la capa dopada frontal y de la capa posterior altamente dopada, si está presente, se lleve a cabo por epitaxia en fase gaseosa. Esta epitaxia en fase gaseosa se lleva a cabo preferentemente a una temperatura en un intervalo de alrededor de 500ºC a alrededor de 900ºC, más preferentemente en un intervalo de alrededor de 600ºC a alrededor de 800ºC y lo más preferentemente en un intervalo de alrededor de 650ºC a alrededor de 750ºC a una presión en un intervalo de alrededor de 2 kPa a alrededor de 100 kPa, preferentemente en un intervalo de alrededor de 10 a alrededor de 80 kPa, lo más preferentemente en un intervalo de alrededor de 30 a alrededor de 70 kPa.

Es conocido por la persona experta en la técnica que los sustratos de Si pueden exhibir varias formas, texturas de la superficie y tamaños. La forma puede ser una de una serie de formas diferentes, que incluyen cuboide, disco, oblea y poliedro irregular, entre otras. La forma preferida según la invención es la forma de oblea en la que la oblea es un cuboide con dos dimensiones que son similares, preferentemente iguales y una tercera dimensión que es significativamente menor que las otras dos dimensiones. Significativamente menor en este contexto es preferentemente por lo menos un factor de alrededor de 100 veces más pequeña.

Son conocidos varios tipos de superficie por la persona experta en la técnica. Según la invención se prefieren sustratos de Si de superficies rugosas. Una forma de evaluar la rugosidad del sustrato es evaluar el parámetro de rugosidad de la superficie para una sub-superficie del sustrato que es pequeña en comparación con el área de la superficie total del sustrato, preferentemente menor de una centésima parte del área de la superficie total, y que es

esencialmente plana. El valor del parámetro de rugosidad de la superficie está dado por la relación del área de la subsuperficie al área de una superficie teórica formada proyectando esa superficie sobre el plano plano que se ajusta mejor a la subsuperficie minimizando el desplazamiento cuadrático medio. Un valor más alto del parámetro de rugosidad de la superficie indica una superficie más áspera, más irregular y un valor más bajo del parámetro de rugosidad de la superficie indica una superficie más lisa, más uniforme. Según la invención, la rugosidad de la superficie del sustrato de Si se modifica preferentemente para producir un equilibrio óptimo entre varios factores, que incluyen pero no están limitados a la absorción de luz y la adhesión de 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. Se prefiere según la invención que el grosor de la oblea de Si esté por debajo de alrededor de 0,5 mm, más preferentemente por debajo de alrededor de 0,3 mm y lo más preferentemente por debajo de alrededor de 0,2 mm. Algunas obleas tienen un tamaño mínimo de alrededor de 0,01 mm o más.

Se prefiere según la invención que la capa dopada frontal sea delgada en comparación con la capa dopada posterior. En una realización de la invención, la capa dopada p tiene un grosor en un intervalo de alrededor de 10 nm a alrededor de 4 µm, preferentemente en un intervalo de alrededor de 50 nm a alrededor de 1 µm y más preferentemente en un intervalo de alrededor de 100 a alrededor de 800 nm.

La capa dopada frontal es comúnmente más delgada que la capa dopada posterior. En una realización de la invención, la cara posterior comprende una capa dopada n que tiene un grosor mayor que la capa dopada p.

Una capa altamente dopada se puede aplicar a la cara posterior del sustrato de Si entre la capa dopada posterior y cualquier capa adicional. Tal capa altamente dopada es del mismo tipo de dopaje que la capa dopada posterior y tal capa se denota comúnmente con un + (las capas de tipo n+ se aplican a capas dopadas posteriores de tipo n y las capas de tipo p+ se aplican a capas dopadas posteriores de tipo p). Esta capa posterior altamente dopada sirve para ayudar a la metalización y mejorar las propiedades de conducción de la electricidad en el área de la interfase sustrato/electrodo. Se prefiere según la invención que la capa posterior altamente dopada, si está presente, tenga un grosor en un intervalo de alrededor de 10 nm a alrededor de 30 µm, preferentemente en un intervalo de alrededor de 50 nm a alrededor de 20 µm, y más preferentemente en un intervalo de alrededor de 100 nm a alrededor de 10 µm.

Dopantes

Los dopantes preferidos son aquellos que, cuando se añaden a la oblea de Si, forman un límite de unión p-n mediante la introducción de electrones o huecos en la estructura de bandas. Se prefiere según la invención que la identidad y concentración de estos agentes de dopado se seleccionen específicamente con el fin de ajustar el perfil de la estructura de bandas de la unión p-n y establecer los perfiles de absorción y conductividad de luz según se requiera. Los dopantes de tipo p preferidos según la invención son aquellos que añaden huecos a la estructura de bandas de la oblea 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 apropiados en el contexto de la invención se pueden emplear como dopante de tipo p. Los dopantes de tipo p preferidos según la invención son elementos trivalentes, en particular los del grupo 13 de la tabla periódica. Los elementos del grupo 13 de la tabla periódica preferidos en este contexto incluyen, pero no están limitados a B, Al, Ga, In, Tl o una combinación de por lo menos dos de los mismos, en los que se prefiere particularmente el B. En una realización de la invención, la capa dopada p comprende B como dopante.

Los dopantes de tipo n preferidos según la invención son aquellos que añaden electrones a la estructura de bandas de la oblea de Si. Son bien conocidos por la persona experta en la técnica. Todos los dopantes conocidos por la persona experta en la técnica y ella que considera que son apropiados en el contexto de la invención se pueden emplear como dopante 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 de la tabla periódica preferidos en este contexto incluyen N, P, As, Sb, Bi o una combinación de por lo menos dos de los mismos, en los que el P es particularmente preferido. En una realización de la invención, la capa dopada n comprende P como dopante.

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

Según la invención, se prefiere que la capa dopada posterior esté ligeramente dopada, preferentemente con una concentración de dopante en un intervalo de alrededor de 1×10^{13} a alrededor de 1×10^{18} cm^{-3}, preferentemente en un intervalo de alrededor de 1×10^{14} a alrededor de 1×10^{17} cm^{-3}, lo más preferentemente en un intervalo de alrededor de 5×10^{15} a alrededor de 5×10^{16} cm^{-3}. Algunos productos comerciales tienen una capa dopada posterior con una concentración de dopante de alrededor de 1×10^{16}.

En una realización de la invención, la capa posterior altamente dopada (si está presente) está altamente dopada, preferentemente con una concentración en un intervalo de alrededor de 1×10^{17} a alrededor de 5×10^{21} cm^{-3}, más preferentemente en un intervalo de alrededor de 5×10^{17} a alrededor de 5×10^{20} cm^{-3}, y lo más preferentemente en un intervalo de alrededor de 1×10^{18} a alrededor de 1×10^{20} cm^{-3}.

Pasta conductora de la electricidad

Las pastas de conductoras de la electricidad preferidas según la invención son pastas que se pueden aplicar a una superficie y que, al cocer, forman cuerpos de electrodo sólidos en contacto eléctrico con esa superficie. Los constituyentes de la pasta y las proporciones de los mismos se pueden seleccionar por la persona experta en la técnica a fin de que la pasta tenga las propiedades deseadas tales como sinterización y printabilidad 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 de electrodo resultante sea eléctricamente conductor. Con el fin de llevar a cabo la sinterización apropiada a través de capas de la superficie y dentro de la oblea de Si, se puede emplear un sistema de reacción inorgánica. Una composición ejemplo de una pasta conductora de la electricidad que se prefiere en el contexto de la invención puede comprender:

i) partículas metálicas, preferentemente partículas de plata, preferentemente por lo menos alrededor de 50% en peso, más preferentemente por lo menos alrededor de 70% en peso y lo más preferentemente por lo menos alrededor de 80% en peso;

ii) sistema de reacción inorgánica, preferentemente frita de vidrio, preferentemente en un intervalo de alrededor de 0,1 a alrededor de 6% en peso, más preferentemente en un intervalo de alrededor de 0,5 a alrededor de 5% en peso y lo más preferentemente en un intervalo de alrededor de 1 a alrededor de 4% en peso;

iii) vehículo orgánico, preferentemente en un intervalo de alrededor de 5 a alrededor de 40% en peso, más preferentemente en un intervalo de alrededor de 5 a alrededor de 30% en peso y lo más preferentemente en un intervalo de alrededor de 5 a alrededor de 15% en peso;

iv) partículas de aditivo que comprende Al y Ag como constituyentes de partícula, preferentemente en el intervalo de alrededor de 0,1 a alrededor de 5% en peso, o en el intervalo de alrededor de 0,2 a alrededor de 3% en peso, o en el intervalo de alrededor de 0,3 a alrededor de 2% en peso, en el que el Al y la Ag están presentes en las partículas de aditivo como elementos o en una o más mezclas de una sola fase de elementos que comprenden uno o ambos Al y Ag, o una combinación de uno o ambos Al y Ag como elementos con una o más mezclas de elementos; y

v) aditivos adicionales, preferentemente en un intervalo de alrededor de 0 a alrededor de 15% en peso, más preferentemente en un intervalo de alrededor de 0 a alrededor de 10% en peso y lo más preferentemente en un intervalo de alrededor de 0,3 a alrededor de 5% en peso,

en la que los % en peso están cada uno basado en el peso total de la pasta conductora de la electricidad y suman hasta 100% en peso.

Para facilitar la impresión de la pasta conductora de la electricidad, se prefiere según la invención que la pasta conductora de la electricidad tenga una viscosidad e índice tixotrópico que faciliten la impresión. Se prefiere también que todos los disolventes en la pasta tengan un punto de ebullición por encima de las temperaturas durante el procedimiento de impresión, pero por debajo de las temperaturas del procedimiento de cocción. En una realización de la invención, la pasta conductora de la electricidad satisface por lo menos uno de los siguientes criterios:

- viscosidad en un intervalo de alrededor de 5 a alrededor de 35 Pas, preferentemente en un intervalo de alrededor de 10 a alrededor de 25 Pas y lo más preferentemente en un intervalo de alrededor de 15 a alrededor de 20 Pas.

- todos los disolventes presentes en la pasta tienen un punto de ebullición en un intervalo de alrededor de 90 a alrededor de 300ºC.

Partículas de aditivo que comprenden Al y Ag

Las partículas de aditivo preferidas que comprenden Al y Ag son aditivos que contribuyen a las propiedades ventajosas, en particular propiedades eléctricas, de la célula solar. Las partículas de aditivo pueden exhibir una fase, o dos o más fases. Las fases en la partícula de aditivo pueden, por ejemplo, diferir entre sí en su composición química, estructuralmente, o de ambos modos. Una diferencia en la composición química entre dos fases podría surgir de uno o más elementos que están presentes en una de las fases y no en la otra, o de una diferencia en las proporciones de elementos presentes en las dos fases, por ejemplo, en aleaciones con diferentes proporciones de constituyentes, o una combinación de tanto una diferencia en elementos constitutivos como una diferencia en las proporciones. Una diferencia de estructura entre dos fases podría tomar la forma de diferentes propiedades de simetría, o una diferencia de la extensión y/o la naturaleza del orden de largo alcance, orden de corto alcance u orden de ocupación del sitio, o una combinación de los mismos. Un ejemplo podría ser las diferencias de simetría de grupo puntual, simetría de grupo espacial, o el grado de ordenamiento orientacional, por ejemplo, entre diferentes alótropos, preferentemente alótropos de una aleación. Otro ejemplo podría ser la diferencia entre aleaciones con diferentes extensiones y/o naturaleza de ordenamiento de átomos en los sitios, por ejemplo, aleaciones ordenadas, aleaciones parcialmente ordenadas o aleaciones desordenadas. Si está presente más de una fase, algunas disposiciones preferidas son aglomerados, o estructuras que consisten en un núcleo central con un revestimiento exterior. Los aglomerados preferidos son partículas que comprenden dos o más fases, que difieren entre sí en su composición química, estructura, o ambas. Un tipo de aglomerados preferidos en este contexto son partículas que

podrían ser el resultado de la unión de dos o más partículas constituyentes por medios tales como presión, calentamiento, sinterización, prensado, laminado o molienda. Otro tipo de aglomerados preferidos en este contexto son partículas que son el resultado de la separación de una o más fases en dos o más fases, tal como podría ocurrir durante los cambios de temperatura, cambios de presión, la adición de un aditivo o agente de siembra, u otros medios. Un aglomerado preferido formado de esta manera es uno en el que una fase eutéctica se separa de una o más fases adicionales, por ejemplo, en el enfriamiento. En una realización de la invención, las partículas comprenden una sola fase. En otra realización de la invención, las partículas comprenden por lo menos dos o más fases.

El Al y la Ag pueden estar presentes ya sea como elementos o en una o más mezclas de una sola fase. Aquí, se debe entender que elementos quiere decir una o más regiones que consiste cada una principalmente en uno seleccionado de Al o Ag, preferentemente por lo menos 90% en peso, preferentemente por lo menos 99% en peso, más preferentemente por lo menos 99,9% en peso, de ese elemento. Se pueden emplear elementos con pureza tan alta como 99,9999% en peso. En una realización de la invención, las partículas de aditivo comprenden por lo menos uno o ambos Al o Ag presente como elemento (s), que comprende preferentemente por lo menos 90% en peso, más preferentemente por lo menos 99% en peso, lo más preferentemente por lo menos 99,9% en peso de ese elemento.

Las mezclas de una sola fase preferidas, dentro de las cuales pueden estar comprendidos por lo menos uno o ambos seleccionados de Al y Ag, también pueden comprender uno o más elementos que no sean Al o Ag, o pueden estar compuestas totalmente de Al y Ag. Se prefiere en ambos casos que el Al y la Ag no estén lo que sería considerado como covalentemente o iónicamente unidos a otro elemento. Las mezclas de una sola fase preferidas en este contexto son aleaciones o mezclas, preferentemente aleaciones. Los elementos preferidos distintos de Al y Ag en este contexto son metales, preferentemente metales de transición, preferentemente seleccionados de Cu, Au, Pt, Pd, y Ni, preferentemente Au o Cu, más preferentemente Au. Las mezclas de una sola fase pueden ser amorfas, cristalinas, o parcialmente cristalinas y parcialmente amorfas, preferentemente con un alto nivel de cristalinidad, preferentemente con una cristalinidad de por lo menos 50%, más preferentemente por lo menos 75%, lo más preferentemente por lo menos 80%. En algunos casos, no se ha observado fase amorfa cuando se someten las partículas de aditivo empleadas según la invención a un análisis de rayos X descrito a continuación. Cuando la mezcla de una sola fase está presente en la partícula de aditivo, se prefiere según la invención que por lo menos una de las mezclas de una sola fase que comprende uno o más de Al y Ag tenga un alto nivel de cristalinidad, preferentemente con una cristalinidad de por lo menos 50%, más preferentemente por lo menos 75%, lo más preferentemente por lo menos 80%. En algunos casos, no se ha observado fase amorfa cuando se somete las partículas de aditivo empleadas según la invención a un análisis de rayos X descrito a continuación. En una realización de la invención, las partículas comprenden no más de 5% en peso, preferentemente menos de 1% en peso, más preferentemente menos de 0,1% en peso de elementos distintos de Al y Ag.

En una realización de la invención, las partículas comprenden por lo menos una mezcla de una sola fase que comprende Al y Ag, preferentemente con no más de 5% en peso, más preferentemente no más de 1% peso, lo más preferentemente no más de alrededor de 0,1% en peso de elementos distintos de Al y Ag. En un aspecto de esta realización, las partículas de aditivo comprenden por lo menos una aleación de Al-Ag. En un aspecto adicional de esta realización, las partículas de aditivo comprenden una mezcla eutéctica de aleación de Al-Ag. En otro aspecto de esta realización, por lo menos una de tales fases individuales que comprende Al y Ag tiene un alto nivel de cristalinidad, preferentemente con una cristalinidad de por lo menos 50%, más preferentemente por lo menos 75%, lo más preferentemente por lo menos 80%. En algunos casos, no se ha observado ninguna fase amorfa cuando se someten las partículas de aditivo empleadas según la invención a un análisis de rayos X descrito a continuación

En una realización, las partículas de aditivo comprenden por lo menos una fase de núcleo que está encapsulada por lo menos por una fase de envoltura, o revestimiento. Las fases de núcleo preferidas son aquellas que tienen otra fase superpuesta sobre por lo menos parte, preferentemente la totalidad, de su área superficial. Las fases de envoltura preferidas son aquellas que se superponen sobre por lo menos una parte, preferentemente la totalidad, del área superficial de otra fase. Es preferible, en una realización de núcleo-envoltura, que por lo menos un núcleo, preferentemente un núcleo, tenga por lo menos una envoltura, preferentemente una envoltura, superpuesta sobre por lo menos 80%, más preferentemente por lo menos 90%, aún más preferentemente por lo menos 99%, lo más preferentemente 100%, de su área superficial. Las estructuras de núcleo-envoltura son conocidas de otro modo como partículas revestidas. En una realización de la invención, las partículas de aditivo comprenden aluminio revestido de plata.

Es bien conocido por la persona experta en la técnica que las partículas de aditivo pueden exhibir una variedad de formas, superficies, tamaños, relaciones de área superficial a volumen, y capas de óxido. Un gran número de formas son conocidas por la persona experta en la técnica. Algunos ejemplos son esféricas, angulares, alargadas (de tipo de varilla o aguja) y planas (de tipo de lámina). Las partículas de aditivo también pueden estar presentes como una combinación de partículas de diferentes formas. Las partículas de aditivo con una forma o combinación de formas, que favorece el ventajoso contacto eléctrico, la adhesión y la conductividad eléctrica del electrodo producido son preferidas según la invención. Un modo de caracterizar tales formas sin considerar la naturaleza de la superficie es por medio de los parámetros longitud, anchura y grosor. En el contexto de la invención, la longitud de una partícula viene dada por la longitud del vector desplazamiento espacial más largo, cuyos extremos están contenidos dentro de la partícula. La anchura de una partícula viene dada por la longitud del vector desplazamiento espacial más largo

perpendicular al vector longitud definido anterior, cuyos extremos están contenidos dentro de la partícula. El grosor de una partícula viene dado por la longitud del vector desplazamiento espacial más largo perpendicular tanto al vector longitud como al vector anchura, ambos definidos anteriormente, cuyos extremos están contenidos dentro de la partícula. En una realización según la invención, las partículas de aditivo con una forma tan uniforme como sea posible son formas preferidas, es decir, formas en las que las relaciones que relacionan la longitud, la anchura y el grosor están tan cerca como sea posible a 1, estando preferentemente todas las relaciones en un intervalo de alrededor de 0,7 a alrededor de 1,5, más preferentemente en un intervalo de alrededor de 0,8 a alrededor de 1,3 y lo más preferentemente en un intervalo de alrededor de 0,9 a alrededor de 1,2. Los ejemplos de formas preferidas para las partículas de aditivo 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 una realización de la invención, las partículas de aditivo son esféricas. En otra realización según la invención, se prefieren partículas de aditivo que tienen una forma de baja uniformidad, estando preferentemente por lo menos una de las relaciones que relacionan las dimensiones de longitud, anchura y espesor por encima de alrededor de 1,5, más preferentemente por encima de alrededor de 3 y lo más preferentemente por encima de alrededor de 5. Las formas preferidas según esta realización son en forma de copo, forma de varilla o aguja, o una combinación de forma de copo, forma de varilla o aguja con otras formas.

Una variedad de tipos de superficie son conocidos por la persona experta en la técnica. Los tipos de superficie que producen el contacto eléctrico ventajoso y la conductividad de los electrodos producidos están favorecidos por el tipo de superficie de las partículas de aditivo según la invención.

El diámetro de partícula d_{50} y los valores asociados d_{10} y d_{90} son características de las partículas bien conocidas por la persona experta en la técnica. Se prefiere según la invención que el diámetro medio de partícula d_{50} de las partículas de aditivo se encuentre en un intervalo de alrededor de 0,1 a alrededor de 15 µm, más preferentemente en un intervalo de alrededor de 1 a alrededor de 12 µm y lo más preferentemente en un intervalo de alrededor de 5 a alrededor de 10 µm. La determinación del diámetro de partícula d_{50} es bien conocida para una persona experta en la técnica.

En una realización de la invención, las partículas de aditivo tienen una superficie específica en el intervalo de alrededor de 0,01 a alrededor de 25 m^2/g, preferentemente en el intervalo de alrededor de 0,1 a alrededor de 20 m^2/g, más preferentemente en el intervalo de alrededor de 1 a alrededor de 15 m^2/g.

Partículas metálicas

La plata es una partícula metálica preferida según la invención. Las partículas metálicas preferidas, además de y a diferencia de las partículas metálicas explícitamente mencionadas en la sección sobre partículas de aditivo anterior, en el contexto de la invención son aquellas que exhiben conductividad metálica o que producen una sustancia que exhibe conductividad metálica en la cocción. Las partículas metálicas presentes en la pasta conductora de la electricidad dan conductividad metálica al electrodo sólido que se forma cuando la pasta conductora de la electricidad se sinteriza en la cocción. Se prefieren partículas metálicas que favorecen la sinterización efectiva y dan electrodos con alta conductividad y baja resistencia de contacto. Las partículas metálicas son bien conocidas por la persona experta en la técnica. Todas las partículas metálicas conocidas por la persona experta en la técnica y que ella considera apropiadas en el contexto de la invención se pueden emplear como partículas metálicas en la pasta conductora de la electricidad. Las partículas metálicas preferidas según la invención son metales, aleaciones, mezclas de por lo menos dos metales, mezclas de por lo menos dos aleaciones o mezclas de por lo menos un metal con por lo menos una aleación. Los intervalos preferidos para el contenido total de partículas que comprenden tanto Al como Ag se han dado en la sección sobre partículas de aditivo anteriores. Se prefiere que ninguna contribución adicional al contenido total de tales partículas esté hecha por las partículas metálicas. En una realización, ninguna de las partículas metálicas comprenden tanto más de 1% en peso de Al como más de 1% en peso de Ag. En una realización adicional, las partículas metálicas comprenden menos del 10% en peso, preferentemente menos de 1% en peso, más preferentemente menos de 0,1% en peso de Al, basado en el peso total de las partículas metálicas.

Los metales preferidos que se pueden emplear como partículas metálicas, de la misma manera que la plata, preferentemente, además de plata, según la invención, son Au, Cu, Zn, Pd, Ni, Pb y mezclas de por lo menos dos de los mismos, preferentemente Au. Las aleaciones preferidas que se pueden emplear como partículas metálicas según la invención son aleaciones que contienen por lo menos un metal seleccionado de la lista de Au, Ag, Cu, Zn, Ni, W, Pb, y Pd o mezclas de dos o más de esas aleaciones.

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

Como constituyentes adicionales de las partículas metálicas, se prefieren según la invención además de los constituyentes mencionados anteriormente, aquellos constituyentes que contribuyen a más favorables propiedades de sinterización, contacto eléctrico, adhesión y conductividad eléctrica de los electrodos formados. Todos los constituyentes adicionales conocidos por la persona experta en la técnica y que ella considera que son apropiados en el contexto de la invención se pueden emplear en las partículas metálicas. Esos sustituyentes adicionales que representan dopantes complementarios para la cara a la que se va a aplicar la pasta conductora de la electricidad son preferidos según la invención. Cuando se forma un electrodo de interfase con una capa de Si dopado de tipo n,

se prefieren aditivos capaces de actuar como agentes de dopado de tipo n en Si. Los dopantes de tipo n preferidos en este contexto son elementos del grupo 15 o compuestos que producen tales elementos en la cocción. Los elementos del grupo 15 preferidos en este contexto según la invención son P y Bi. Cuando se forma un electrodo de interfase con una capa de Si dopado de tipo p, se prefieren aditivos capaces de actuar como agentes de dopado de tipo p en Si. Los dopantes de tipo p preferidos son elementos del grupo 13 o compuestos que producen tales elementos en la cocción. Los elementos del grupo 13 preferidos en este contexto según la invención son B y Al.

Es bien conocido por la persona experta en la técnica que las partículas metálicas pueden exhibir una variedad de formas, superficies, tamaños, relaciones de área superficial a volumen, contenido de oxígeno y capas de óxido. Un gran número de formas son conocidas por la persona experta en la técnica. Algunos ejemplos son esféricas, angulares, alargadas (de tipo de varilla o aguja) y planas (de tipo de lámina). Las partículas metálicas también pueden estar presentes como una combinación de partículas de diferentes formas. Se prefieren según la invención partículas metálicas con una forma o combinación de formas, lo que favorece la sinterización ventajosa, el contacto eléctrico, la adhesión y la conductividad eléctrica del electrodo producido. Una forma de caracterizar tales formas sin tener en cuenta la naturaleza de la superficie es por medio de los parámetros longitud, anchura y grosor. En el contexto de la invención, la longitud de una partícula viene dada por la longitud del vector desplazamiento espacial más largo, cuyos extremos están contenidos dentro de la partícula. La anchura de una partícula viene dada por la longitud del vector desplazamiento espacial más largo perpendicular al vector longitud definido anteriormente cuyos extremos están contenidos dentro de la partícula. El grosor de una partícula viene dado por la longitud del vector desplazamiento espacial más largo perpendicular tanto al vector longitud como al vector anchura, ambos definidos anteriormente, cuyos extremos están contenidos dentro de la partícula. En una realización según la invención, las partículas metálicas con una forma tan uniforme como sea posible son preferidas, es decir, las formas en las que las relaciones que relacionan la longitud, la anchura y el grosor están tan cerca como sea posible a 1, estando preferentemente todas las relaciones en un intervalo de alrededor de 0,7 a alrededor de 1,5, más preferentemente en un intervalo de alrededor de 0,8 a alrededor de 1,3 y lo más preferentemente en un intervalo de alrededor de 0,9 a alrededor de 1,2. Los 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 una realización de la invención, las partículas de Ag en la pasta conductora de la electricidad son esféricas. En otra realización según la invención, son preferidas partículas metálicas que tienen una forma de baja uniformidad, estando preferentemente por lo menos una de las relaciones que relacionan las dimensiones de longitud, anchura y grosor por encima de alrededor de 1,5, más preferentemente por encima de alrededor de 3 y lo más preferentemente por encima de alrededor de 5. Las formas preferidas según esta realización son de forma de copo, forma de varilla o aguja, o una combinación de forma de copo, forma de varilla o aguja con otras formas.

Una variedad de tipos de superficie son conocidos por la persona experta en la técnica. Los tipos de superficie que favorecen la sinterización efectiva y dan ventajoso contacto eléctrico y conductividad de los electrodos producidos están favorecidos por el tipo de superficie de las partículas metálicas según la invención.

El diámetro de partícula d_{50} y los valores asociados d_{10} y d_{90} son características de las partículas bien conocidas por la persona experta en la técnica. Se prefiere según la invención que el diámetro de partícula medio d_{50} de las partículas metálicas se encuentre en un intervalo de alrededor de 0,5 a alrededor de 10 µm, más preferentemente en un intervalo de alrededor de 1 a alrededor de 10 µm, y lo más preferentemente en un intervalo de alrededor de 1 a alrededor de 5 µm. La determinación del diámetro de partícula d_{50} es bien conocida por una persona experta en la técnica.

En una realización de la invención, las partículas de plata tienen una d_{50} en un intervalo de alrededor de 1 a alrededor de 4 µm, preferentemente en un intervalo de alrededor de 2 a alrededor de 3,5 µm, más preferentemente en un intervalo de alrededor de 2,8 a alrededor de 3,2 µm.

En otra realización de la invención, las partículas de aluminio tienen una d_{50} en un intervalo de alrededor de 1 a alrededor de 5 µm, preferentemente en un intervalo de alrededor de 2 a alrededor de 4 µm, más preferentemente en un intervalo de alrededor de 2,5 a alrededor de 3,5 µm.

Las partículas metálicas pueden estar presentes con un revestimiento superficial. Cualquiera de tales revestimientos conocidos por la persona experta en la técnica y que ella considera que son apropiados en el contexto de la invención se puede emplear sobre las partículas metálicas. Los revestimientos preferidos según la invención son aquellos revestimientos que promueven la mejorada impresión, sinterización y características de ataque químico de la pasta conductora de la electricidad. Si tal revestimiento está presente, se prefiere según la invención que ese revestimiento corresponda a no más de alrededor de 10% en peso, preferentemente no más de alrededor de 8% en peso, más preferentemente no más de alrededor de 5% en peso, en cada caso basado en el peso total de las partículas metálicas.

En una realización según la invención, las partículas de plata, están presentes como una proporción de la pasta conductora de la electricidad de más de alrededor de 50% en peso, preferentemente más de alrededor de 70% en peso, más preferentemente más de alrededor de 80% en peso.

Sistema de reacción inorgánica

Un sistema de reacción inorgánica, preferentemente frita de vidrio, está presente en la pasta conductora de la electricidad según la invención con el fin de llevar a cabo el ataque químico y la sinterización. Los sistemas de reacción inorgánica preferidos son preferentemente vidrios, preferentemente frita de vidrio, o materiales que son capaces de formar vidrios al cocer. Se requiere el ataque químico efectivo para atacar a través de cualquiera capa adicional que se puede haber aplicado a la oblea de Si y de este modo esté entre la capa dopada frontal y la pasta conductora de la electricidad aplicada, así como para atacar químicamente dentro de la oblea de Si hasta un punto apropiado. El ataque químico apropiado de la oblea de Si quiere decir lo suficientemente profundo como para lograr un buen contacto eléctrico entre el electrodo y la capa dopada frontal y de este modo conducir a una baja resistencia de contacto pero no tan profundo como para interferir con el límite de unión p-n. Los sistemas de reacción inorgánica preferidos, preferentemente fritas de vidrio, 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 en una masa fundida subenfriada parcialmente móvil tras el calentamiento. Los métodos para la determinación de la temperatura de transición vítrea son bien conocidos por la persona experta en la técnica. El ataque químico y sinterización provocados por el sistema de reacción inorgánica, preferentemente la frita de vidrio, se producen por encima de la temperatura de transición vítrea del sistema de reacción inorgánica, preferentemente la frita de vidrio, y se prefiere que la temperatura de transición vítrea esté por debajo del pico de temperatura de cocción deseado. El sistema de reacción inorgánica, preferentemente fritas de vidrio, es bien conocido por la persona experta en la técnica. Todos los sistemas de reacción inorgánica, preferentemente fritas de vidrio, conocidos por la persona experta en la técnica y que ella considera apropiados en el contexto de la invención se puede emplear como sistema de reacción inorgánica en la pasta conductora de la invención.

En el contexto de la invención, el sistema de reacción inorgánica, preferentemente la frita de vidrio, presente en la pasta conductora de la electricidad comprende preferentemente 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 el sistema de reacción inorgánica, preferentemente la frita de vidrio, en el contexto de la invención son óxidos de metales alcalinos, óxidos de metales alcalinotérreos, óxidos de tierras raras, óxidos del grupo V y grupo VI, otros óxidos, o combinaciones de los mismos. Los óxidos de metal alcalino preferidos en este contexto son el óxido de sodio, óxido de litio, óxido de potasio, óxido de rubidio, óxido de cesio o combinaciones de los mismos. Los óxidos de metal alcalinotérreo preferidos en este contexto son el óxido de berilio, óxido de magnesio, óxido de calcio, óxido de estroncio, óxido de bario, o sus combinaciones. 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 los óxidos de teluro, tales como por ejemplo TeO_2, o TeO_3, óxidos de selenio, tales como SeO_2 o combinaciones de los mismos. Los óxidos de tierras raras preferidos son óxido de cerio, tal como el CeO_2 y óxidos de lantano, tales como La_2O_3. Otros óxidos preferidos en este contexto son los 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 wolframio, tales como WO_3, óxidos de molibdeno, tales como MoO_3, y óxidos de indio, tales como In_2O_3, óxidos adicionales de los elementos enumerados anteriormente como elementos preferidos, o combinaciones de los mismos. Los óxidos preferidos son también los óxidos mixtos que contienen por lo menos dos de los elementos enumerados como constituyentes elementales preferidos del sistema de reacción inorgánica, preferentemente la frita de vidrio, u óxidos mixtos, que se forman calentando por lo menos uno de los óxidos anteriormente nombrados con por lo menos uno de los metales anteriormente mencionados. Las mezclas de por lo menos dos de los óxidos mencionados anteriormente y óxidos mixtos son también preferidas en el contexto de la invención.

Como se mencionó anteriormente, se prefiere que el sistema de reacción inorgánica, preferentemente la frita de vidrio, tenga una temperatura de transición vítrea por debajo de la temperatura de cocción deseada de la pasta conductora de la electricidad. En una realización de la invención, el sistema de reacción inorgánica, preferentemente la frita de vidrio, tiene una temperatura de transición vítrea en el intervalo de alrededor de 250 a alrededor de 530ºC, más preferentemente en un intervalo de alrededor de 300 a alrededor de 500ºC, y lo más preferentemente en un intervalo de alrededor de 320 a alrededor de 450ºC.

Es bien conocido por la persona experta en la técnica que las partículas de frita de vidrio pueden presentar una variedad de formas, naturalezas de la superficie, tamaños, relaciones de área de la superficie a volumen, y capas de revestimiento.

Un gran número de formas de las partículas de frita de vidrio son conocidas por la persona experta en la técnica. Algunos ejemplos son esférica, angular, alargada (de tipo de varilla o aguja) y plana (de tipo de lámina). Las partículas de frita de vidrio también pueden estar presentes como una combinación de partículas de diferentes formas. Las partículas de frita de vidrio con una forma o combinación de formas, que favorecen la ventajosa sinterización, adhesión, contacto eléctrico y conductividad eléctrica del electrodo producido se prefieren según la invención.

El diámetro medio de partícula d_{50}, y los parámetros asociados d_{10} y d_{90} son características de las partículas bien conocidas por la persona experta en la técnica. Se prefiere según la invención que el diámetro medio de partícula d_{50} de la frita de vidrio se encuentre en un intervalo de alrededor de 0,1 a alrededor de 10 µm, más preferentemente en un intervalo de alrededor de 0,2 a alrededor de 7 µm y lo más preferentemente en un intervalo de alrededor de 0,5 a alrededor de 5 µm.

En una realización de la invención, las partículas de frita de vidrio tienen un d_{50} en un intervalo de alrededor de 0,1 a alrededor de 3 µm, preferentemente en un intervalo de alrededor de 0,5 a alrededor de 2 µm, más preferentemente en un intervalo de alrededor de 0,8 a alrededor de 1,5 µm.

Vehículo orgánico

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

(i) un aglomerante, preferentemente en un intervalo de alrededor de 1 a alrededor de 10% en peso, más preferentemente en un intervalo de alrededor de 2 a alrededor de 8% en peso y lo más preferentemente en un intervalo de alrededor de 3 a alrededor de 7% en peso;

(ii) un tensioactivo, preferentemente en un intervalo de alrededor de 0 a alrededor de 10% en peso, más preferentemente en un intervalo de alrededor de 0 a alrededor de 8% en peso y lo más preferentemente en un intervalo de alrededor de 0,01 a alrededor de 6% en peso;

(iii) uno o más disolventes, cuya proporción se determina por las proporciones de los otros constituyentes en el vehículo orgánico;

(iv) aditivos opcionales, preferentemente en el intervalo de alrededor de 0 a alrededor de 10% en peso, más preferentemente en un intervalo de alrededor de 0 a alrededor de 8% en peso y lo más preferentemente en un intervalo de alrededor de 1 a alrededor de 5% en peso,

en los que el % en peso está cada uno basado en el peso total del vehículo orgánico y suman 100% en peso. Según la invención, los vehículos orgánicos preferidos son los que permiten que se consiga el alto nivel preferido de impresión de la pasta conductora de la electricidad descrita anteriormente.

Aglomerante

Los aglomerantes preferidos en el contexto de la invención son los que contribuyen a la formación de una pasta conductora de la electricidad con propiedades favorables de estabilidad, impresión, viscosidad, sinterización y ataque químico. Los aglomerantes son bien conocidos por la persona experta en la técnica. Todos los aglomerantes que son conocidos por la persona experta en la técnica y ella que considera que son apropiados en el contexto de esta invención se pueden emplear como aglomerante en el vehículo orgánico. Los aglomerantes preferidos según la invención (que a menudo caen dentro de la categoría denominada "resinas") son aglomerantes poliméricos, aglomerantes monoméricos, y aglomerantes que son una combinación de polímeros y monómeros. Los aglomerantes poliméricos también pueden ser copolímeros en los que por lo menos dos unidades monoméricas diferentes están contenidas en una sola molécula. Los aglomerantes poliméricos preferidos son aquellos que llevan grupos funcionales en la cadena principal del polímero, aquellos que llevan grupos funcionales fuera de la cadena principal y aquellos 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 anteriores, opcionalmente con otros comonómeros, o una combinación de por lo menos dos de los mismos. Los polímeros preferidos que llevan grupos cíclicos en la cadena principal son poli(butilato de vinilo) (PVB) y sus derivados y politerpineol y sus derivados o mezclas de los mismos. Los poli-azúcares preferidos son, por ejemplo, celulosa y derivados alquílicos de la misma, preferentemente metilcelulosa, etilcelulosa, propilcelulosa, butilcelulosa y sus derivados y mezclas de por lo menos dos de los mismos. Los polímeros preferidos que llevan grupos funcionales fuera de la cadena principal del polímero son los que llevan grupos amida, los que llevan grupos ácido y/o éster, a menudo denominados resinas acrílicas, o polímeros que llevan una combinación de grupos funcionales antes mencionados, o una combinación de los mismos. Los polímeros preferidos que llevan amida fuera de la cadena principal son, por ejemplo, polivinilpirrolidona (PVP) y sus derivados. Los polímeros preferidos que llevan grupos ácido y/o éster fuera de la cadena principal son, por ejemplo, poli(ácido acrílico) y sus derivados, polimetacrilato (PMA) y sus derivados o poli(metacrilato de metilo) (PMMA) y sus derivados, o una mezcla de los mismos. Los aglomerantes monoméricos preferidos según la invención son monómeros basados en etilenglicol,

resinas de terpineol o derivados de colofonia, o una mezcla de los mismos. Los aglomerantes monoméricos preferidos basados en etilenglicol son los que tienen grupos éter, grupos éster o aquellos con un grupo éter y un grupo éster, siendo los grupos éter preferidos metilo, etilo, propilo, butilo, pentilhexilo y éteres alquílicos superiores, siendo el grupo éster preferido acetato y sus derivados de alquilo, preferentemente monoacetato de etilenglicol-monobutil-éter o una mezcla de los mismos. La alquilcelulosa, preferentemente etilcelulosa, sus derivados y mezclas de los mismos con otros aglomerantes de las listas anteriores de aglomerantes o de otra manera son los aglomerantes más preferidos en el contexto de la invención.

Tensioactivo

Los tensioactivos preferidos en el contexto de la invención son los que contribuyen a la formación de una pasta conductora de la electricidad con propiedades favorables de estabilidad, impresión, viscosidad, sinterización y ataque químico. Los tensioactivos son bien conocidos por la persona experta en la técnica. Todos los tensioactivos que son conocidos por la persona experta en la técnica y que ella considera que son apropiados en el contexto de esta invención se pueden emplear como tensioactivo en el vehículo orgánico. Los tensioactivos 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 tensioactivos preferidos son de una sola cadena, cadena doble o policadena. Los tensioactivos preferidos según la invención tienen cabezas no iónicas, aniónicas, catiónicas, o de ion híbrido. Los tensioactivos preferidos son poliméricos y monoméricos o una mezcla de los mismos. Los tensioactivos preferidos según la invención pueden tener grupos afines a los pigmentos, preferentemente ésteres de ácido carboxílico hidroxifuncionales con grupos afines a los pigmentos (por ejemplo, DISPERBYK® -108, fabricado por BYK EE.UU., Inc.), copolímeros de acrilato con grupos afines a los pigmentos (por ejemplo, DISPERBYK ® poliéteres -116, fabricado por BYK EE.UU., Inc.), poliéteres modificados con grupos afines a los pigmentos (por ejemplo, TEGO ® Dispers 655, fabricado por Evonik Tego Chemie GmbH), otros tensioactivos con grupos de alta afinidad a los pigmentos (por ejemplo, TEGO ®DISPERS 662 C, fabricado por Evonik Tego Chemie GmbH). Otros polímeros preferidos según la invención no 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 los que tienen cadenas totalmente saturadas y aquellos con cadenas alquílicas mono- o poli-insaturadas o mezclas de los mismos. Los ácidos carboxílicos preferidos con cadenas alquílicas saturadas son los que tienen cadenas alquílicas de longitudes en un intervalo de alrededor de 8 a alrededor de 20 átomos de carbono, preferentemente $C_9H_{19}COOH$ (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 alquílicas insaturadas son $C_{18}H_{34}O_2$ (ácido oleico) y $C_{18}H_{32}O_2$ (ácido linoleico). El tensioactivo monomérico preferido según la invención es benzotriazol y sus derivados.

Disolvente

Los disolventes preferidos según la invención son constituyentes de la pasta conductora de la electricidad que se retiran de la pasta en un grado significativo durante la cocción, preferentemente los que están presentes después de la cocción con un peso absoluto reducido en por lo menos alrededor de 80% en comparación con antes de la cocción, preferentemente reducido en por lo menos alrededor de 95% en comparación con antes de la cocción. Los disolventes preferidos según la invención son los que permiten que se forme una pasta conductora de la electricidad que tiene favorables características de viscosidad, impresión, estabilidad y sinterización y que produce electrodos con favorable conductividad eléctrica y contacto eléctrico con el sustrato. Los disolventes son bien conocidos por la persona experta en la técnica. Todos los disolventes que son conocidos por la persona experta en la técnica y que ella considera que son apropiados en el contexto de esta invención se pueden emplear como disolvente en el vehículo orgánico. Según la invención, los disolventes preferidos son los que permiten que se consiga el alto nivel preferido de impresión de la pasta conductora de la electricidad como se describe anteriormente. Los disolventes preferidos según la invención son los que existen en forma de líquido a la temperatura ambiente y presión estándar (SATP) (298,15 K, 100 kPa), preferentemente los que tienen un punto de ebullición por encima de alrededor de 90ºC y un punto de fusión por encima de alrededor de -20ºC. Los disolventes preferidos según la invención son polares o no polares, próticos o apróticos, aromáticos o no aromáticos. Los disolventes preferidos según la invención son mono-alcoholes, di-alcoholes, poli-alcoholes, mono-ésteres, di-ésteres, poli-ésteres, mono-éteres, di-éteres, poli-éteres, disolventes que comprenden por lo menos una o más de estas categorías de grupo funcional, que comprenden opcionalmente otras categorías de grupo funcional, preferentemente grupos cíclicos, grupos aromáticos, enlaces insaturados, grupos alcohol con uno o más átomos de O reemplazados por heteroátomos, grupos éter con uno o más átomos de O reemplazados por heteroátomos, grupos éster con uno o más átomos de O reemplazados por heteroátomos, y mezclas de dos o más de los disolventes mencionados anteriormente. Los ésteres preferidos en este contexto son ésteres de di-alquilo de ácido adípico, siendo los principales constituyentes alquílicos metilo, etilo, propilo, butilo, pentilo, hexilo y grupos alquilo superiores o combinaciones de dos diferentes de tales grupos alquilo, preferentemente adipato de dimetilo, y mezclas de dos o más ésteres de adipato. Los éteres preferidos en este contexto son diéteres, preferentemente éteres dialquílicos de etilenglicol, siendo los constituyentes alquílicos preferidos metilo, etilo, propilo, butilo, pentilo, hexilo y grupos alquilo superiores o combinaciones de dos diferentes de tales grupos alquilo, y mezclas de dos diéteres. Los alcoholes preferidos en este contexto son alcoholes primarios, secundarios y terciarios, preferentemente alcoholes terciarios, siendo preferidos terpineol y sus derivados, o una mezcla de dos o más alcoholes. Los disolventes preferidos que combinan

más de un grupo funcional diferente son 2,2,4-trimetil-1,3-pentanodiol, a menudo llamado texanol, y sus derivados, 2-(2-etoxietoxi)etanol, a menudo denominado carbitol, sus derivados de alquilo, preferentemente metilo, etilo, propilo, butilo, pentilo, y hexilcarbitol, preferentemente hexilcarbitol o butilcarbitol, y derivados de acetato de los mismos, preferentemente acetato de bitulcarbitol, o mezclas de por lo menos 2 de los mencionados anteriormente.

Aditivos en el vehículo orgánico

Los aditivos preferidos en el vehículo orgánico son aquellos aditivos que son distintos de los componentes del vehículo antes mencionados y que contribuyen a las propiedades favorables de la pasta conductora de la electricidad, tales como la ventajosa viscosidad, sinterización, conductividad eléctrica del electrodo producido y un buen contacto eléctrico con los sustratos. Todos los aditivos conocidos por la persona experta en la técnica y que ella considera que son apropiados en el contexto de la invención se pueden emplear como aditivo 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, preferentemente derivados de ácido graso o combinaciones de los mismos. Los derivados de ácido graso 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), $C_{18}H_{32}O_2$ (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 conductora de la electricidad

Los aditivos preferidos en el contexto de la invención son constituyentes añadidos a la pasta conductora de la electricidad, además de los otros constituyentes mencionados explícitamente, que contribuyen a un rendimiento incrementado de la pasta conductora de la electricidad, de los electrodos producidos de la misma o de la célula solar resultante. Todos los aditivos conocidos por la persona experta en la técnica y que ella considera apropiados en el contexto de la invención se pueden emplear como aditivo en la pasta conductora de la electricidad. Además de los aditivos presentes en el vehículo, los aditivos también pueden estar presentes en la pasta conductora de la electricidad. Los aditivos preferidos según la invención son agentes tixotrópicos, reguladores de la viscosidad, emulsionantes, agentes estabilizantes o reguladores del pH, aditivos inorgánicos, espesantes y dispersantes o una combinación de por lo 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 por lo menos dos de los mismos, preferentemente Zn, Sb, Mn, ni, W, Te y Ru o una combinación de por lo menos dos de los mismos, óxidos de los mismos, compuestos que pueden generar los óxidos metálicos en la cocción, o una mezcla de por lo menos dos de los metales antes mencionados, una mezcla de por lo menos dos de los óxidos mencionados anteriormente, una mezcla de por lo menos dos de los compuestos mencionados anteriormente que pueden generar los óxidos metálicos en la cocción, o mezclas de dos o más de cualquiera de los anteriormente mencionados.

Precursor de célula solar

Una contribución a la consecución de por lo menos uno de los objetivos mencionados anteriormente se realiza mediante un precursor de célula solar que comprende los siguientes constituyentes de precursor de célula solar:

a. Una oblea, preferentemente una oblea de Si;

b. Una pasta según la invención, superpuesta sobre la oblea.

En una realización, una o más pastas adicionales se superponen sobre la oblea.

Los precursores de célula solar preferidos son aquellos que proporcionan células solares de tipo n en la cocción, preferentemente aquellos en los que la pasta conductora de la electricidad de la invención forma un electrodo del lado frontal en la cocción.

En una realización del precursor de célula solar según la invención, la pasta se superpone sobre la capa dopada p.

En una realización del precursor de célula solar según la invención, la pasta se superpone sobre la más delgada de las dos capas dopadas.

Procedimiento para producir una célula solar

Una contribución a la consecución de por lo menos uno de los objetivos antes mencionados se realiza mediante un procedimiento para producir una célula solar que comprende por lo menos lo siguiente como etapas del procedimiento:

i) provisión de un precursor de célula solar como se describe anteriormente, en particular combinando cualquiera de las realizaciones descritas anteriormente; y

ii) cocer el precursor de célula solar para obtener una célula solar.

Impresión

Se prefiere según la invención que los electrodos frontal y posterior se apliquen mediante la aplicación de una pasta conductora de la electricidad y a continuación cociendo dicha pasta conductora de la electricidad para obtener un cuerpo sinterizado. La pasta conductora de la electricidad se puede aplicar de cualquier manera conocida por la persona experta en la técnica y que ella considera apropiada en el contexto de la invención, que incluye pero no está limitada a impregnación, inmersión, vertido, goteo, inyección, pulverización, revestimiento con cuchilla, revestimiento de cortina, cepillado o impresión o una combinación de por lo menos dos de los mismos, en el que las técnicas de impresión preferidas son la impresión por chorro de tinta, impresión con estarcido, impresión con tampón, impresión offset, impresión en relieve o impresión con plantilla o una combinación de por lo menos dos de las mismas. Se prefiere según la invención que la pasta conductora de la electricidad se aplique por impresión, preferentemente por impresión con estarcido. En una realización de la invención, la pasta conductora de la electricidad se aplica a la cara frontal a través de un estarcido. En un aspecto de esta realización, la aplicación a través de un estarcido satisface por lo menos uno de los siguientes parámetros:

- número de malla en un intervalo de alrededor de 290 a alrededor de 400, preferentemente en un intervalo de alrededor de 310 a alrededor de 390, más preferentemente en un intervalo de alrededor de 330 a alrededor de 370;

- grosor de alambre en un intervalo de alrededor de 10 a alrededor de 30 µm, preferentemente en un intervalo de alrededor de 12 a alrededor de 25 µm, más preferentemente en un intervalo de alrededor de 15 a alrededor de 23 µm;

- emulsión sobre grosor de malla (EoM) en un intervalo de alrededor de 5 a alrededor de 25 µm, preferentemente en un intervalo de alrededor de 10 a alrededor de 20 µm, más preferentemente en un intervalo de alrededor de 13 a alrededor de 18 µm,

- espaciado entre dedos en un intervalo de alrededor de 1 a alrededor de 3 mm, preferentemente en un intervalo de alrededor de 1,8 a alrededor de 2,5 mm, más preferentemente en un intervalo de alrededor de 2 a alrededor de 2,3 mm.

En una realización de la invención, la pasta conductora de la electricidad se superpone sobre la primera zona en la cara frontal con un patrón de rejilla. En un aspecto de esta realización, este patrón de rejilla comprende dedos con una anchura en un intervalo de alrededor de 20 a alrededor de 100 µm, preferentemente en un intervalo de alrededor de 30 a alrededor de 80 µm, más preferentemente en un intervalo de alrededor de 30 a alrededor de 60 µm y barras colectoras en un ángulo con respecto a los mismos en un intervalo de alrededor de 70 a alrededor de 90º, teniendo estas barras colectoras una anchura en un intervalo de alrededor de 0,5 a alrededor de 2,5 mm, preferentemente en un intervalo de alrededor de 1 a alrededor de 2 mm, más preferentemente en un intervalo de alrededor de 1,3 a alrededor de 1,8 mm.

En una realización adicional de la invención, una pasta conductora de la electricidad se superpone sobre la zona adicional de la cara posterior con un patrón de rejilla. En un aspecto de esta realización, este patrón de rejilla comprende dedos con una anchura en un intervalo de alrededor de 20 a alrededor de 180 µm, preferentemente en un intervalo de alrededor de 30 a alrededor de 100 µm, más preferentemente en un intervalo de alrededor de 40 a alrededor de 60 µm, y barras colectoras en un ángulo con respecto a los mismos en un intervalo de alrededor de 70 a alrededor de 90º, teniendo estas barras colectoras una anchura en un intervalo de alrededor de 0,5 a alrededor de 2,5 mm, preferentemente en un intervalo de alrededor de 1 a alrededor de 2 mm, más preferentemente en un intervalo de alrededor de 1,3 a alrededor de 1,8 mm.

Cocción

Se prefiere según la invención que los electrodos se formen aplicando primero una pasta conductora de la electricidad y a continuación cociendo dicha pasta conductora de la electricidad para producir un cuerpo de electrodo sólido. La cocción es bien conocida por la persona experta en la técnica y se puede llevar a cabo de cualquier manera conocida por ella y que ella considera apropiada en el contexto de la invención. La cocción se debe llevar a cabo por encima de la temperatura de transición vítrea de por lo menos una frita de vidrio, preferentemente de dos o más fritas de vidrio y más preferentemente de todas las fritas de vidrio presentes en la pasta.

En una realización de la invención, la etapa de cocción satisface por lo menos uno de los siguientes criterios:

- temperatura de mantenimiento medida según el método titulado "perfil de temperatura en el horno de cocción" dada a continuación, en un intervalo de alrededor de 700 a alrededor de 900ºC, preferentemente en un intervalo de alrededor de 730 a alrededor de 880ºC;

- el tiempo a la temperatura de mantenimiento en un intervalo de alrededor de 1 a alrededor de 10 s.

Se prefiere según la invención que la cocción se lleve a cabo con un tiempo de mantenimiento en un intervalo de alrededor de 10 s a alrededor de 2 minutos, más preferentemente en un intervalo de alrededor de 25 s a alrededor de 90 s y más preferentemente en un intervalo de alrededor de 40 s a alrededor de 1 minuto.

La cocción de pastas conductoras de la electricidad en las caras frontal y posterior se puede llevar a cabo simultánea o secuencialmente. La cocción simultánea es apropiada si las pastas conductoras de la electricidad aplicadas a ambas caras tienen similares condiciones de cocción óptima, preferentemente idénticas. Cuando sea apropiado, se prefiere según la invención que la cocción se realice simultáneamente. Cuando la cocción se efectúa secuencialmente, es preferible según la invención que la pasta conductora de la electricidad posterior se aplique y cueza primero, seguido de la aplicación y la cocción de la pasta conductora de la electricidad a la cara frontal.

Célula solar

Una contribución a la consecución de por lo menos uno de los objetivos descritos anteriormente se realiza por medio de una célula solar obtenible mediante un procedimiento según la invención. Las células solares preferidas según la invención son aquellas que tienen una alta eficiencia en términos de proporción de energía total de la luz incidente convertida en producción de energía eléctrica y que son ligeras y duraderas, preferentemente una célula solar de tipo n. Como se ejemplifica en la figura 2, la configuración de una capa de la célula solar es la siguiente: (i) electrodo frontal, (ii) revestimiento antirreflexión, (iii) capa de pasivación frontal, (iv) capa dopada frontal, (v) límite de unión p-n, (vi) capa dopada posterior, (vii) capa posterior altamente dopada, (viii) capa de pasivación posterior, (ix) electrodo posterior. Las capas individuales se pueden omitir de esta configuración de capa común o las capas individuales de hecho pueden realizar la función de más de una de las capas descritas en la realización común descrita anteriormente. En una realización de la invención, una sola capa actúa tanto como capa antirreflexión como capa de pasivación. Como se ejemplifica en la figura 1, otra configuración de capas es como sigue: (I) electrodo frontal, (II) capa dopada frontal, (III) límite de unión p-n, (IV) capa dopada posterior, (V) electrodo posterior.

Revestimiento antirreflexión

Según la invención, un revestimiento antirreflexión se puede aplicar como capa externa y a menudo como capa más externa antes del electrodo en la cara frontal de la célula solar. Los revestimientos antirreflexión 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 antirreflexión que dan lugar a una relación de absorción/reflexión favorable, son susceptibles de ataque químico por la pasta conductora de la electricidad empleada pero son de otro modo resistentes a las temperaturas requeridas para la cocción de la pasta conductora de la electricidad, y no contribuyen a que se favorezca la recombinación incrementada de electrones y huecos en la vecindad de la interfase de electrodo. Todos los revestimientos antirreflexión conocidos por la persona experta en la técnica y que ella considera que son apropiados en el contexto de la invención pueden ser empleados. Los revestimientos antirreflexión preferidos según la invención son SiN_x, SiO_2, Al_2O_3, TiO_2 o mezclas de por lo menos dos de los mismos y/o combinaciones de por lo menos dos capas de los mismos, en los que el SiN_x es particularmente preferido, en particular cuando se emplea una oblea de Si.

El grosor de los revestimientos antirreflexión es apropiado para la longitud de onda de la luz apropiada. Según la invención se prefiere que los revestimientos antirreflexión tengan un grosor en un intervalo de alrededor de 20 a alrededor de 300 nm, más preferentemente en un intervalo de alrededor de 40 a alrededor de 200 nm y lo más preferentemente en un intervalo de alrededor de 60 a alrededor de 90 nm.

Capas de pasivación

Según la invención, una o más capas de pasivación se pueden aplicar a la parte frontal y/o posterior como capa externa o como la capa más externa antes del electrodo, o antes de la capa antirreflexión si está presente. Las capas de pasivación preferidas son aquellas que reducen la velocidad de recombinación electrón/hueco en la vecindad de la interfase de electrodo. Se puede emplear cualquier capa de pasivación que es conocida por la persona experta en la técnica y que ella considera que es apropiada en el contexto de la invención. Las capas de pasivación preferidas según la invención son de nitruro de silicio, dióxido de silicio y dióxido de titanio, siendo el nitruro de silicio el más preferido. Según la invención, se prefiere que la capa de pasivación tenga un grosor en un intervalo de alrededor de 0,1 nm a alrededor de 2 µm, más preferentemente en un intervalo de alrededor de 10 nm a alrededor de 1 µm y lo más preferentemente en un intervalo de alrededor de 30 nm a alrededor de 200 nm.

Una sola capa puede servir como capa antirreflexión y capa de pasivación. En una realización de la invención, una o más capas que actúan como capa antirreflexión y/o capa de pasivación están presentes entre la capa dopada p y la primera pasta superpuesta en el precursor de célula solar. En un aspecto de esta realización, por lo menos una de las capas que funcionan como capa antirreflexión y/o capa de pasivación comprende SiN_x, en la que x representa un número positivo pero no necesariamente un número entero.

Capas protectoras adicionales

Además de las capas descritas anteriormente que contribuyen directamente a la función principal de la célula solar, se pueden añadir capas adicionales para la protección mecánica y química.

La célula se puede encapsular para proporcionar una protección química. Las encapsulaciones son bien conocidas por la persona experta en la técnica y se puede emplear cualquier encapsulación que ella conozca y que ella considere apropiada en el contexto de la invención. Según la invención, los polímeros transparentes, a menudo

denominados 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 silicona y poli(etileno - acetato de vinilo) (PVA).

Una lámina de vidrio transparente se puede añadir a la parte frontal de la célula solar para proporcionar protección mecánica a la cara frontal de la célula. Las láminas de vidrio transparente son bien conocidas por la persona experta en la técnica y se puede emplear cualquier lámina de vidrio transparente conocida por ella y que ella considera que es apropiada en el contexto de la invención como protección en la cara frontal de la célula solar.

Un material protector posterior se puede añadir a la cara posterior de la célula solar para proporcionar protección mecánica. Los materiales de protección posterior son bien conocidos por la persona experta en la técnica y cualquier material protector posterior que es conocido por la persona experta en la técnica y que ella considera que es apropiado en el contexto de la invención se puede emplear como protección en la cara posterior de la célula solar. Los materiales protectores posteriores preferidos según la invención son aquellos que tienen buenas propiedades mecánicas y resistencia a la intemperie. Los materiales de protección posterior preferidos según la invención son poli(tereftalato de etileno) con una capa de poli(fluoruro de vinilo). Se prefiere según la invención que el material de protección posterior esté presente debajo de la capa de encapsulación (en el caso de que esté presente tanto una capa de protección posterior como de encapsulación)

Se puede añadir un material de marco a la parte exterior de la célula solar para dar soporte mecánico. Los materiales de marco son bien conocidos por la persona experta en la técnica y cualquier material de marco conocido por la persona experta en la técnica y que ella considera apropiado en el contexto de la invención se puede emplear como material de marco. El material de marco preferido según la invención es aluminio.

Paneles solares

Una contribución a la consecución de por lo menos uno de los objetivos mencionados anteriormente se realiza mediante un módulo que comprende por lo menos una célula solar obtenida como se describe anteriormente, en particular según por lo menos una de las realizaciones descritas anteriormente, y por lo menos una célula solar más. Una multiplicidad de células solares según la invención se pueden disponer espacialmente y conectar eléctricamente para formar una disposición colectiva denominada un módulo. Los módulos preferidos según la invención pueden tomar un número de formas, preferentemente una superficie rectangular conocida como panel solar. Grandes variedades de formas de conectar eléctricamente las células solares, así como grandes variedades de formas de disponer mecánicamente y fijar tales células para formar disposiciones colectivas son bien conocidas por la persona experta en la técnica y se puede emplear cualquiera de tales métodos conocidos por ella y que ella considera apropiados en el contexto de la invención. Los métodos preferidos según la invención son los que dan como resultado una baja relación de masa a producción de energía, baja relación de volumen a producción de energía, y alta durabilidad. El aluminio es el material preferido para la fijación mecánica de las células solares según la invención.

Descripción de los dibujos

La invención se explica ahora por medio de figuras que están destinadas solo para ilustración y no se debe considerar que limitan el alcance de la invención. De forma resumida,

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

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

Las Figs. 3a, 3b y 3c juntas ilustran el procedimiento de cocción de una pasta del lado frontal,

La Fig. 4 muestra la colocación de cortes para el método de ensayo siguiente para medir la resistencia de contacto específica.

La figura 1 muestra una vista de una sección transversal de una célula solar 100 y representa la configuración de capas mínima requerida para una célula solar según la invención. Partiendo de la cara posterior y continuando hacia la cara frontal, la célula solar 100 comprende un electrodo posterior 104, una capa dopada posterior 106, un límite de unión p-n 102, una capa dopada frontal 105 y un electrodo frontal 103, en la que el electrodo frontal penetra en la capa dopada frontal 105 lo suficiente para formar un buen contacto eléctrico con ella, pero no tanto como para cortocircuitar el límite de unión p-n 102. La capa dopada posterior 106 y la capa dopada frontal 105 juntas constituyen una sola oblea de Si dopado 101. En el caso de que 100 represente una célula de tipo n, el electrodo posterior 104 es preferentemente un electrodo de plata, la capa dopada posterior 106 es preferentemente Si ligeramente dopado con P, la capa dopada frontal 105 es preferentemente Si fuertemente dopado con B y el electrodo frontal 103 es preferentemente un electrodo mixto de plata y aluminio. En el caso de que 100 represente una célula de tipo p, el electrodo posterior 104 es preferentemente un electrodo mixto de plata y aluminio, la capa dopada posterior 106 es preferentemente Si ligeramente dopado con B, la capa dopada frontal 105 es preferentemente Si fuertemente dopado con P y el electrodo frontal 103 es preferentemente un electrodo de plata y aluminio. El electrodo frontal 103 ha sido representado en la Figura 1 como que consiste en tres cuerpos puramente

para ilustrar esquemáticamente el hecho de que el electrodo frontal 103 no cubre la cara frontal en su totalidad. La invención no limita el electrodo frontal 103 a los que consisten en tres cuerpos.

La figura 2 muestra una vista de una sección transversal de una configuración de capas común para una célula solar 200 según la invención (con exclusión de capas adicionales que sirven exclusivamente para la protección química y mecánica). Partiendo de la cara posterior y continuando hacia la cara frontal, la célula solar 200 comprende un electrodo posterior 104, una capa posterior de pasivación 208, una capa posterior altamente dopada 210, una capa dopada posterior 106, un límite de unión p-n 102, una capa dopada frontal 105, una capa frontal de pasivación 207, una capa antirreflexión 209, dedos de electrodo frontal 214 y barras colectoras del electrodo frontal 215, en la que los dedos de electrodo frontal penetran a través de la capa antirreflexión 209 y la capa de pasivación frontal 207 y en la capa dopada frontal 105 lo suficiente para formar un buen contacto eléctrico con la capa dopada frontal, pero no tanto como para cortocircuitar el límite de unión p-n 102. En el caso de que 200 represente una célula de tipo n, el electrodo posterior 104 es preferentemente un electrodo de plata, la capa posterior altamente dopada 210 es preferentemente Si fuertemente dopado con P, la capa dopada posterior 106 es preferentemente Si ligeramente dopado con P, la capa dopada frontal 105 es preferentemente Si fuertemente dopado con B, la capa antirreflexión 209 es preferentemente una capa de nitruro de silicio y los dedos de electrodo frontal y barras colectoras 214 y 215 son preferentemente una mezcla de plata y de aluminio. En el caso de que 200 represente una célula de tipo p, el electrodo posterior 104 es preferentemente un electro mixto de plata y aluminio, la capa posterior altamente dopada 210 es preferentemente Si fuertemente dopado con B, la capa dopada posterior 106 es preferentemente Si ligeramente dopado con B, la capa dopada frontal 105 es preferentemente Si fuertemente dopado con P, la capa antirreflexión 209 es preferentemente una capa de nitruro de silicio y los dedos de electrodo frontal y barras colectoras 214 y 215 son preferentemente de plata. La figura 2 es esquemática y la invención no limita el número de dedos de electrodo frontal a tres tal como se muestra. Esta vista de una sección transversal no puede mostrar efectivamente la multitud de barras colectoras de electrodo frontal 215 dispuestas en líneas paralelas perpendiculares a los dedos de electrodo frontales 214.

Las Figuras 3a, 3b y 3c juntas ilustran el procedimiento de cocción de una pasta del lado frontal para dar un electrodo del lado frontal. Las figuras 3a, 3b y 3c son esquemáticas y capas generalizadas además de las que constituyen la unión p-n se consideran simplemente como capas adicionales opcionales sin consideración más detallada.

La Figura 3a ilustra una oblea antes de la aplicación de electrodo frontal, 300a. Partiendo de la cara posterior y continuando hacia la cara frontal, la oblea antes de la aplicación del electrodo frontal 300a comprende opcionalmente capas adicionales en la cara posterior 311, una capa dopada posterior 106, un límite de unión p-n 102, una capa dopada frontal 105 y capas adicionales sobre la cara frontal 312. Las capas adicionales en la cara posterior 311 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 312 puede comprender cualquiera de una capa de pasivación frontal, una capa antirreflexión o ninguna de las anteriores.

La figura 3b muestra una oblea con pasta conductora de la electricidad aplicada a la cara frontal antes de la cocción 300b. Además de las capas presentes en 300a descritas anteriormente, una pasta conductora de la electricidad 313 está presente en la superficie de la cara frontal.

La Figura 3c muestra una oblea con electrodo frontal aplicado 300c. Además de las capas presentes en 300a descritas anteriormente, está presente un electrodo del lado frontal 103 que penetra desde la superficie de la cara frontal a través de las capas frontales adicionales 312 y en la capa frontal dopada 105 y se forma de la pasta conductora de la electricidad 313 de la figura 3b por cocción.

En las figuras 3b y 3c, la pasta conductora de la electricidad aplicada 313 y los electrodos frontales 103 se muestran esquemáticamente que están presentes como tres cuerpos. Esto es puramente un modo esquemático de representar una cobertura no completa de la cara frontal por las pasta/electrodos y la invención no limita la pasta/electrodos a estar presente como tres cuerpos.

La Figura 4 muestra la colocación de cortes 421 con relación a las líneas de dedos 422 en la oblea 420 para que el método de ensayo siguiente mida la resistencia de contacto específica.

Métodos de ensayo

Los siguientes métodos de ensayo se usan en la invención. En ausencia de un método de ensayo, se aplica el método de ensayo ISO para la característica a medir que es el más próximo a la primera fecha de presentación de la presente solicitud. En ausencia de condiciones de medida diferentes, se aplican la temperatura y presión ambiente estándar (SATP) (temperatura de 298,15 K y una presión absoluta de 100 kPa).

Cristalinidad

En una habitación con aire acondicionado con una temperatura de 22 ± 1ºC el equipo y los materiales se equilibran antes de la medida. Se realizaron medidas de cristalinidad usando un "STOE Stadi P" de STOE & Cie GmbH, Darmstadt, Alemania, equipado con una fuente de rayos X de $K_{\alpha 1}$ del Cu (0,154056 nm), un monocromador curvo de

monocristal de Ge (111), con equipo de transmisión (detector: PSD lineal (detector sensible a la posición) de STOE), un generador "Seifert ISO-DEBYEFLEX 3003" de GE Sensing and inspection Technologies GmbH (40 kV, 40 mA) y el software "STOE Powder Diffraction Software (win x-pow) Versión 3.05" de STOE. Este dispositivo está aplicando el principio de medida de dispersión de rayos x. La calibración del dispositivo es según el Si estándar NIST (número de lote: 640 c). Como referencia para el análisis se aplica la base de datos ICDD. La muestra se coloca en una cantidad para conseguir una película fina entre dos láminas (viene con el soporte de muestra de STOE) en el medio del soporte de la muestra antes de la colocación en el haz de rayos X. La muestra se midió en un modo de transmisión a 22ºC con los parámetros siguientes: 2θ: 3,0-99,8º, ω: 1,5-49,9º, paso: 2θ 0,55º, ω: 0,275º, el tiempo de paso: 20 s, tiempo de medida: 1,03 h. Cuando se representa 2θ frente a la intensidad usando el paquete de software del equipo, no se puede detectar esencialmente ninguna cantidad amorfa en la muestra.

Viscosidad

Las medidas de viscosidad se realizaron usando el Thermo Fischer Scientific Corp. "Haake Rheostress 600" equipado con una placa base MPC60 Ti y una placa cónica C 20/0,5º Ti y software "Haake RheoWin Job Manager 4.30.0". Después de establecer el punto de distancia cero, una muestra de pasta suficiente para la medida se colocó sobre la placa base. El cono se trasladó a las posiciones de medida con una distancia de separación de 0,026 mm y el exceso de material se retiró usando una espátula. La muestra se equilibró a 25ºC durante tres minutos y se inició la medida rotacional. Se incrementó la velocidad de cizalladura de 0 a 20 s^{-1} durante 48 s y 50 puntos de medida equidistantes y se incrementó aún más a 150 s^{-1} durante 312 s y 156 puntos de medida equidistantes. Después de un tiempo de espera de 60 s a una velocidad de cizalladura de 150 s^{-1}, la velocidad de cizalladura se redujo de 150 s^{-1} a 20 s^{-1} en 312 s y 156 puntos de medida equidistantes y se redujo adicionalmente a 0 en 48 s y 50 puntos de medida equidistantes. Se activaron la corrección del micropar motor, el control de microestrés y la corrección de inercia de la masa. La viscosidad se da como el valor medido a una velocidad de cizalladura de 100 s^{-1} de la rampa descendente de cizalladura.

Superficie específica

Se realizan medidas de BET para determinar la superficie específica de las partículas según la DIN ISO 9277: 1995. Se usa para la medida un Gemini 2360 (de Micromeritics), que funciona según el método SMART (Método de sorción con velocidad de dosificación adaptable). Como material de referencia se usa óxido de alfa aluminio CRM BAM-PM-102 disponible de BAM (Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung). Se añaden varillas de carga a las cubetas de referencia y de muestra para reducir el volumen muerto. Las cubetas se montan en el aparato de BET. Se determina la presión de vapor de saturación de nitrógeno gaseoso (N_2 5,0). Se pesa una muestra en una cubeta de vidrio en una cantidad tal que la cubeta con las varillas de carga se llena completamente y se crea un mínimo de volumen muerto. La muestra se mantiene a 80ºC durante 2 horas para 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 medida. Para desgasificar la muestra, se evacua a una velocidad de bombeo seleccionada de manera que ningún material es aspirado dentro de la bomba. La masa de la muestra después de la desgasificación se usa para el cálculo. El volumen muerto se determina usando helio gaseoso (He 4,6). Las cubetas de vidrio se enfrían a 77 K usando un baño de nitrógeno líquido. Para la adsorción, se usa para el cálculo N_2 5,0 con un área de sección transversal molecular de 0,162 nm^2 a 77 K. Se realiza un análisis de múltiples puntos con 5 puntos de medida y la superficie específica resultante se da en m^2/g.

Determinación del tamaño de las partículas de Ag (d_{10}, d_{50}, d_{90})

La determinación del tamaño de partícula para partículas de Ag se realiza según la norma ISO 13317-3: 2001. Se usa para la medida un Sedigraph 5100 con el software Win 5100 V2.03.01 (de Micromeritics) que funciona según la técnica gravitacional de rayos X. Una muestra de alrededor de 400 a 600 mg se pesa en un vaso de precipitados de vidrio de 50 ml y se añaden como líquido de suspensión 40 ml de Sedisperse P11 (de Micromeritics, con una densidad de alrededor de 0,74 a 0,76 g/cm^3 y una viscosidad de alrededor de 1,25 a 1,9 mPa * s). Se añade a la suspensión una barra de agitación magnética. La muestra se dispersó usando una sonda ultrasónica Sonifer 250 (de Branson) que funciona a nivel de potencia 2 durante 8 minutos mientras la suspensión se agita con la varilla de agitación al mismo tiempo. Esta muestra pre-tratada se coloca en el instrumento y se inicia la medida. La temperatura de la suspensión se registra (intervalo típico de 24ºC a 45ºC) y para el cálculo se usan los datos de la viscosidad medida para la disolución de dispersión a esta temperatura. Usando la densidad y el peso de la muestra (densidad de 10,5 g/cm^3 para la plata) se determina la distribución de tamaño de partícula y se da como d_{50}, d_{10} y d_{90}.

Determinación del tamaño de partícula para Al y Ag

Para la determinación del tamaño de partícula para las partículas que contienen Al y Ag se usó un método de difracción de láser según la norma ISO 13320. Se ha empleado un Helos BR de Sympatec GmbH equipado con un láser de Helio-Neon y una unidad de dispersión en seco para las medidas realizadas a temperatura ambiente de 23ºC. Las condiciones de la unidad de dispersión en seco se establecieron en 3 bar 40% 1 mm. Los valores de d_{10}, d_{50}, d_{90} se determinaron usando el software WINDOX 5.1.2.0, HRLD, un factor de forma de 1 y la teoría de Fraunhofer. Como densidades se usaron los siguientes valores: 5,04 g/cm^3 para polvo de Al-Ag y 2,7 g/cm^3 para el

polvo de Al.

Nivel de dopante

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

Resistencia de contacto específica

En una habitación con aire acondicionado con una temperatura de 22 ± 1ºC, todo el equipo y los materiales se equilibran antes de la medida. Para la medida de la resistencia de contacto específica de electrodos de plata cocidos sobre la capa dopada frontal de una célula solar de silicio se usa un "GP4-Test Pro" equipado con el paquete de software "GP-4 Test 1.6.6 Pro" de la compañía GP solar GmbH. Este dispositivo aplica el principio de medida de 4 puntos y estima la resistencia de contacto específica por el método de longitud de transferencia (TLM). Para medir la resistencia de contacto específica, dos tiras de 1 cm de ancho de la oblea se cortan perpendiculares a las líneas de dedos impresos de la oblea como se muestra en la figura 4. La anchura exacta de cada tira se mide con un micrómetro con una precisión de 0,05 mm. La anchura de los dedos de plata cocidos se mide en 3 puntos diferentes en la tira con un microscopio digital "VHX - 600D" equipado con una lente de zoom de amplio espectro VH-Z100R de la compañía Keyence Corp. En cada punto, se determina la anchura diez veces mediante una medida de 2 puntos. El valor de la anchura del dedo es la media de todas las 30 medidas. La anchura del dedo, la anchura de la tira y la distancia entre los dedos impresos se usa por el paquete de software para calcular la resistencia de contacto específica. La corriente de medida se establece en 14 mA. Se instala un cabezal de medida de contactos múltiples (parte no. 04.01.0016) apropiado para poner en contacto 6 líneas de dedos vecinos y se pone en contacto con 6 dedos vecinos. La medida se realiza en 5 puntos igualmente distribuidos en cada tira. Después de comenzar la medida, el software determina el valor de la resistencia de contacto específica (mOhm*cm^2) para cada punto en las tiras. La media de los diez puntos se toma como el valor de la resistencia de contacto específica.

Perfil de temperatura en el horno de cocción

El perfil de temperatura para el procedimiento de cocción se midió con un registrador de datos Datapaq DQ 1860. A de Datapaq Ltd., Cambridge, UK, conectado a un Wafer Test Assembly 1-T/C 156mm SQ de Despatch (parte no. DES-300038). El registrador de datos está protegido por una caja de blindaje TB7250 de Datapaq Ltd., Cambridge, UK y conectado a los cables del termopar del Wafer Test Assembly. El simulador de célula solar se colocó sobre la cinta del horno de cocción directamente detrás de la última oblea de modo que se mida con precisión el perfil de temperatura medida del procedimiento de cocción. El registrador de datos blindado seguía al Wafer Test Assembly a una distancia de alrededor de 50 cm para no afectar a la estabilidad del perfil de temperatura. Los datos se registraron mediante el registrador de datos y subsecuentemente se analizaron usando un ordenador con software Datapaq Insight Reflow Tracker V7.05 de Datapaq Ltd., Cambridge, UK.

Ejemplos

La invención se explica ahora por medio de ejemplos, que son solo para ilustración y no se debe considerar que limitan el alcance de la invención.

Ejemplo 1 - preparación de la pasta

Se preparó una pasta mezclando, por medio de un mezclador Kenwood Major Titanium, las cantidades apropiadas de vehículo orgánico (Tabla 1), polvo de Ag (PV 4 de Ames Inc. con un d_{50} de 2 µm), frita de vidrio molida a d_{50} de 2 µm, óxido de zinc (Sigma Aldrich GmbH, número de artículo 204951), y polvo de Al-Ag ("Sil-Shield Ag/Al 10/30 CI", Ecka Granules Germany GmbH & Co KG, d_{10} 6 µm, d_{50} 11 µm, d_{90} 19 µm, núcleo de Al con envoltura de Ag) o polvo de Al ("ASP-8, Rusal Moscow d_{50} alrededor de 8 µm). La pasta se pasó a través de un molino de 3 rodillos Exact 80 E con rodillos de acero inoxidable con un primer espacio de separación de 120 µm y un segundo espacio de separación de 60 µm con separaciones progresivamente decrecientes hasta 20 µm para la primera separación y 10 µm para la segunda separación varias veces hasta homogeneidad. La viscosidad se midió como se menciona anteriormente y se añadieron cantidades apropiadas de vehículo orgánico con la composición dada en la Tabla 1 para ajustar la viscosidad de la pasta hasta un objetivo en un intervalo de alrededor de 16 a alrededor de 20 Pas. Los % en peso de los constituyentes de la pasta se dan en la Tabla 2.

Tabla 1 – Constitución del vehículo orgánico

Componente del vehículo orgánico	Proporción del componente
2-(2-butoxietoxi)etanol) [disolvente]	84
Etilcelulosa (DOW Ethocel 4) [aglomerante]	6
Thixcin® E [agente tixotrópico)	10

Tabla 2 – Ejemplos de pasta

Ejemplo	Plata [% en peso]	Al [% en peso]	Al-Ag [% en peso]	Frita de vidrio [% en peso]	ZnO [% en peso]	Vehículo [% en peso]
1 (Invención)	84,5	0	0,75	3,5	0,5	10,75
2 (Comparación)	84,7	0,55	0	3,5	0,5	10,75

Ejemplo 2 – Preparación de la célula solar y medida de la resistencia de contacto

Se aplicaron pastas a obleas monocristalinas de silicio de tipo n Cz con una cara frontal dopada con boro y una cara posterior dopada con fósforo. Las obleas tenían dimensiones de 156 x 156 mm^2 y una forma pseudocuadrada. Las obleas tenían una capa antirreflexión/pasivación de SiN_x con un grosor de alrededor de 75 nm en ambas caras. Las células solares usadas fueron texturizadas por ataque químico alcalino. La pasta del ejemplo se imprimió con estarcido sobre la cara dopada p de la oblea usando una impresora de estarcido semiautomática X1 SL de Asys Group, EKRA Automatisierungssysteme con los siguientes parámetros del estarcido: malla 290, grosor del alambre 20 µm, 18 µm de emulsión sobre el estarcido, 72 dedos, 60 µm de apertura de dedo, 3 barras colectoras, 1,5 mm de anchura de barra colectora. Una pasta de Ag disponible comercialmente, SOL9600A, disponible de Heraeus Precious Metals GmbH & Co. KG, se imprimió en la cara posterior dopada n del dispositivo usando la misma impresora y los parámetros de estarcido siguientes: malla 325, grosor del alambre 30 µm, 18 µm de emulsión sobre el estarcido, 156 dedos, 80 µm de apertura de dedo, 3 barras colectoras, 1,5 mm anchura de barra colectora. El dispositivo con los patrones impresos se secó durante 10 minutos a 150ºC en un horno después de imprimir cada lado. Los sustratos se cocieron a continuación con el lado dopado p hacia arriba en un horno Centrotherm DO-FF 8600-300 durante 1,5 min. Para cada ejemplo, la cocción se llevó a cabo con la temperatura de cocción máxima de 800ºC. Las muestras completamente procesadas se ensayaron a continuación para determinar la resistencia de contacto específica. La Tabla 3 muestra la resistencia de contacto resultante.

Tabla 3 – Propiedades eléctricas de células solares

Ejemplo	Resistencia de contacto
1	++
2	--
Resultados mostrados como -- muy desfavorable, - desfavorable, + favorable, ++ muy favorable	

Lista de referencias

100 célula solar

101 oblea de Si dopado

102 límite de unión de p-n

103 electrodo frontal

104 electrodo posterior

105 capa dopada frontal

106 capa dopada posterior

200 célula solar

207 capa de pasivación frontal

208 capa de pasivación posterior

209 capa antirreflexión

210 capa posterior altamente dopada

300 oblea

311 capas adicionales en la cara posterior

312 capas adicionales en la cara frontal

313	pasta conductora de la electricidad
214	dedos de electrodo frontal
215	barras colectoras de electrodo frontal
400	precursor de la célula solar
401	oblea
402	cara posterior
403	cara frontal
404	capa dopada p
405	capa dopada n
406	cara frontal
407	primer área
408	primera pasta
409	área adicional
410	capa antirreflexión y/o capa de pasivación
420	oblea
421	cortes
422	líneas de dedos

REIVINDICACIONES

1. Una pasta (313) que comprende como constituyentes de la pasta:

a. Por lo menos 80% en peso de polvo de plata, basado en el peso total de la pasta (313);

b. Un sistema de reacción inorgánica;

c. Un vehículo orgánico;

d. Partículas de aditivo que comprenden Al y Ag como constituyentes de las partículas,

en la que Al y Ag están presentes en las partículas de aditivo como elementos o en una o más mezclas de una sola fase de elementos que comprenden uno o ambos Al y Ag, o una combinación de uno o ambos Al y Ag como elementos con una o más mezclas de elementos.

2. La pasta (313) según la reivindicación 1, en la que las partículas de aditivo están en el intervalo de alrededor de 0,1 a alrededor de 5% en peso, basado en el peso total de la pasta (313).

3. La pasta (313) según la reivindicación 1 o 2, en la que las partículas de aditivo no contienen más de 0,1% en peso de elementos distintos de Al o Ag, basado en el peso total de las partículas de aditivo.

4. La pasta (313) según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la que las partículas de aditivo comprenden por lo menos 95% en peso, basado en el peso total de las partículas de aditivo, de por lo menos una mezcla de una sola fase de Al y Ag.

5. La pasta (313) según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la que las partículas de aditivo tienen una cristalinidad de por lo menos 75%.

6. La pasta (313) según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, en la que las partículas de aditivo comprenden por lo menos un núcleo y por lo menos una envoltura, en la que por lo menos un núcleo tiene por lo menos una envoltura superpuesta sobre por lo menos el 80% de su área superficial.

7. La pasta (313) según la reivindicación 6, en la que se satisfacen por lo menos uno o más de los siguientes criterios:

a. Por lo menos un núcleo comprende por lo menos 90% en peso de Al, basado en el peso total del núcleo;

b. Por lo menos una envoltura comprende por lo menos 90% en peso de Ag, basado en el peso total de la envoltura;

c. El peso combinado de uno o más núcleos es de por lo menos 70% en peso, basado en el peso total de la partícula;

d. Por lo menos una envoltura tiene un peso individual de menos de 30% en peso, basado en el peso total de la partícula.

8. La pasta (313) según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la que se satisfacen por lo menos uno o ambos de los siguientes criterios:

a. Las partículas de aditivo comprenden Al en el intervalo de alrededor de 5 a alrededor de 70% en peso, basado en el peso total de las partículas de aditivo.

b. Las partículas de aditivo comprenden Ag en el intervalo de alrededor de 30 a alrededor de 95% en peso, basado en el peso total de las partículas de aditivo.

9. La pasta (313) según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la que se satisfacen por lo menos uno o ambos de los siguientes criterios:

a. Las partículas de aditivo comprenden Al en el intervalo de alrededor de 50 a alrededor de 90% en peso, basado en el peso total de las partículas de aditivo.

b. Las partículas de aditivo comprenden Ag en el intervalo de alrededor de 10 a alrededor de 50% en peso, basado en el peso total de las partículas de aditivo.

10. La pasta (313) según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la que el sistema de reacción inorgánica está en el intervalo de alrededor de 0,1 a alrededor de 7% en peso, basado en el peso total de la pasta (313).

11. La pasta (313) según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la que el sistema de reacción inorgánica es una frita de vidrio.

12. La pasta (313) según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la que las partículas de aditivo tienen un valor d_{50} en el intervalo de alrededor de 0,1 a alrededor de 15 µm.

13. La pasta (313) según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la que las partículas de aditivo tienen una superficie específica en el intervalo de alrededor de 0,01 a alrededor de 25 m^2/g.

14. Un precursor (400) de célula solar que comprende los siguientes constituyentes de precursor de célula solar:

a. Una oblea (401)

b. Una pasta (313) según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, superpuesta sobre la oblea (401).

15. El precursor (400) de célula solar según la reivindicación 14, en el que la oblea (401) tiene una capa (404) dopada p y una capa (405) dopada n.

16. El precursor (400) de célula solar según la reivindicación 15, en el que la pasta (313) se superpone sobre la capa (404) dopada p.

17. El precursor (400) de célula solar según la reivindicación 15 o 16, en el que el grosor de la capa (405) dopada n es mayor que el grosor de la capa (404) dopada p.

18. El precursor (400) de célula solar según cualquiera de las reivindicaciones 15 a 17, en el que la pasta (313) se superpone sobre la más delgada de las dos capas dopadas.

19. Un procedimiento para la preparación de una célula solar que comprende las siguientes etapas de preparación:

a. Provisión de un precursor (400) de célula solar según cualquiera de las reivindicaciones 14 a 18;

b. Cocción del precursor (400) de la célula solar para obtener una célula solar.

20. Una célula solar obtenible según la reivindicación 19.

21. La célula solar según la reivindicación 20, en la que la célula solar es una célula solar de tipo n.

22. Un módulo que comprende por lo menos dos células solares, por lo menos una de las cuales es una célula solar según la reivindicación 20 o 21.

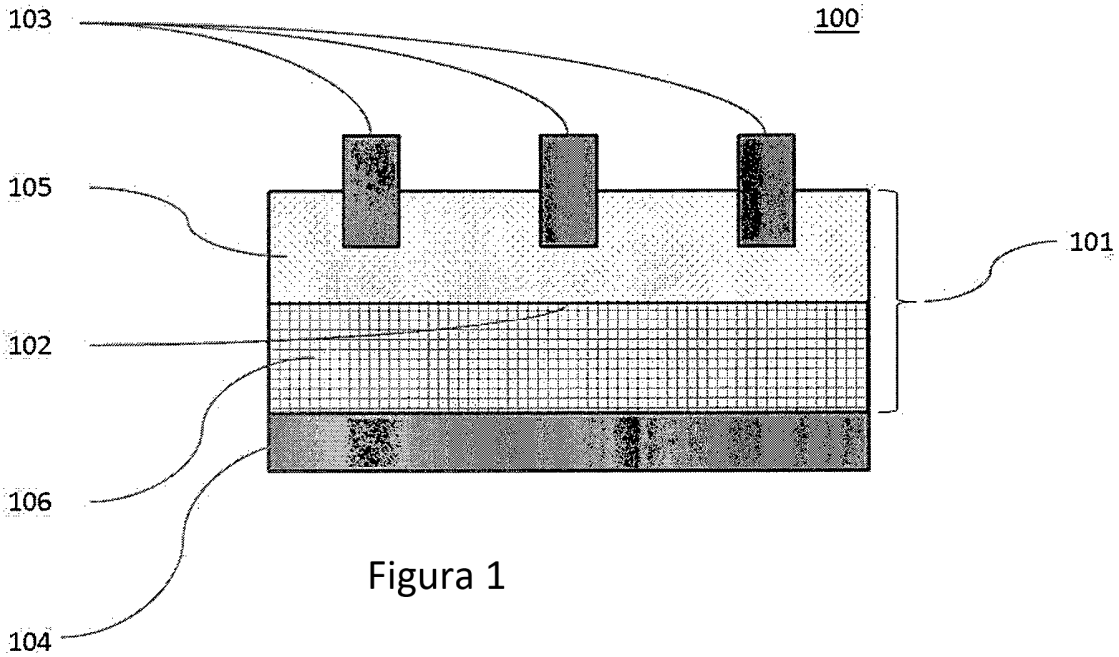

Figura 1

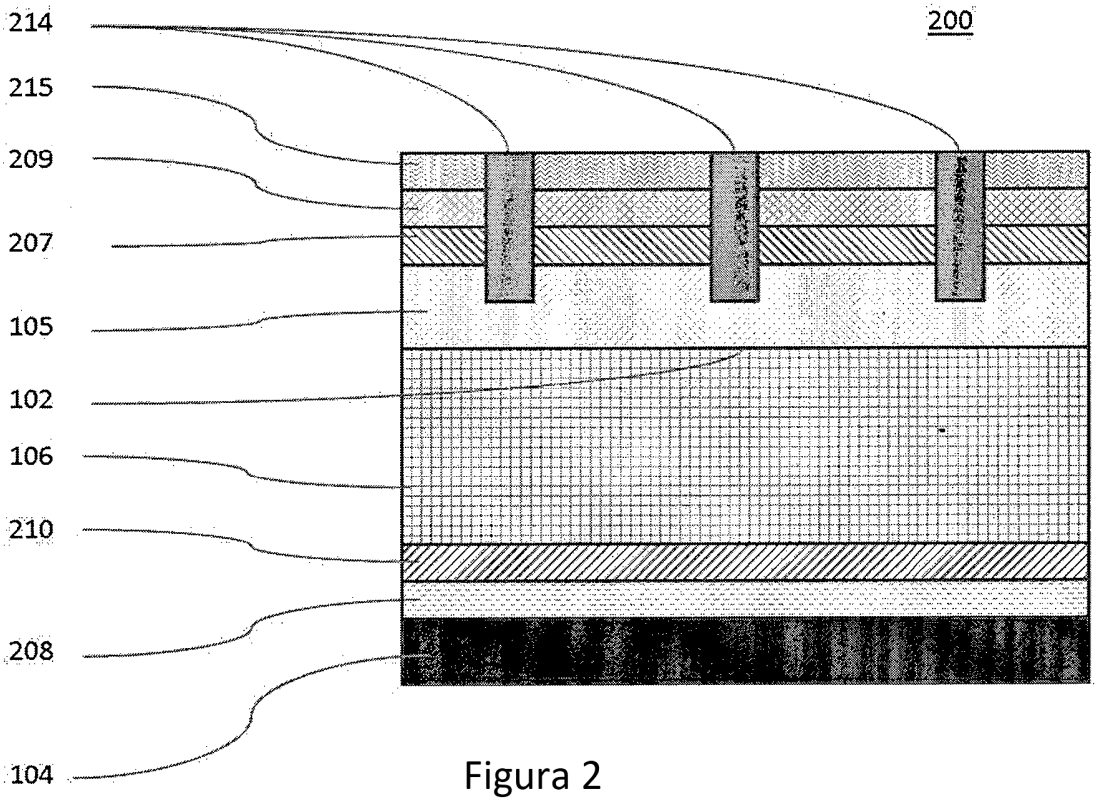

Figura 2

Figura 3a

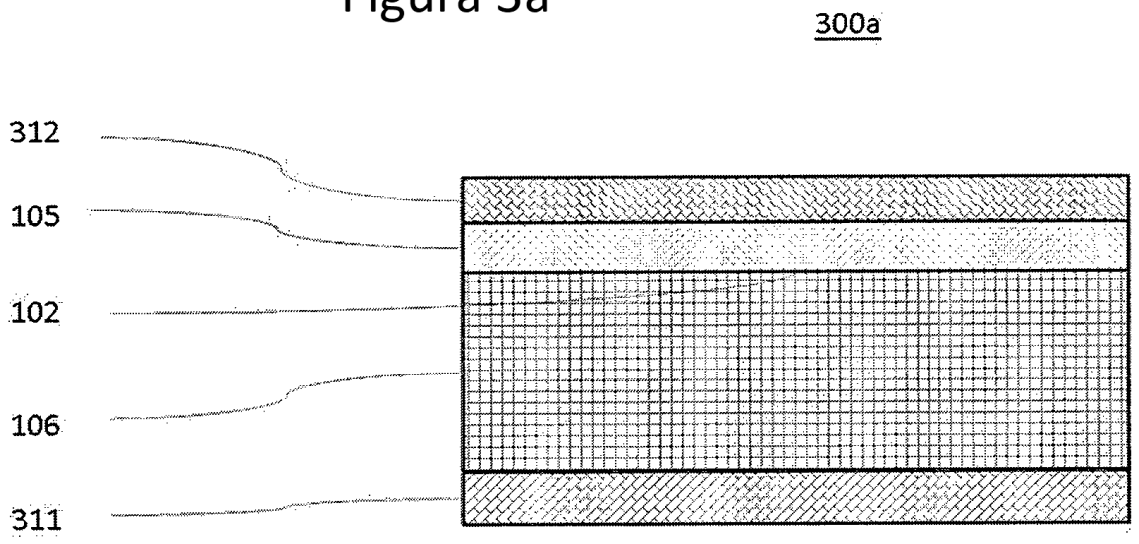

Figura 3b

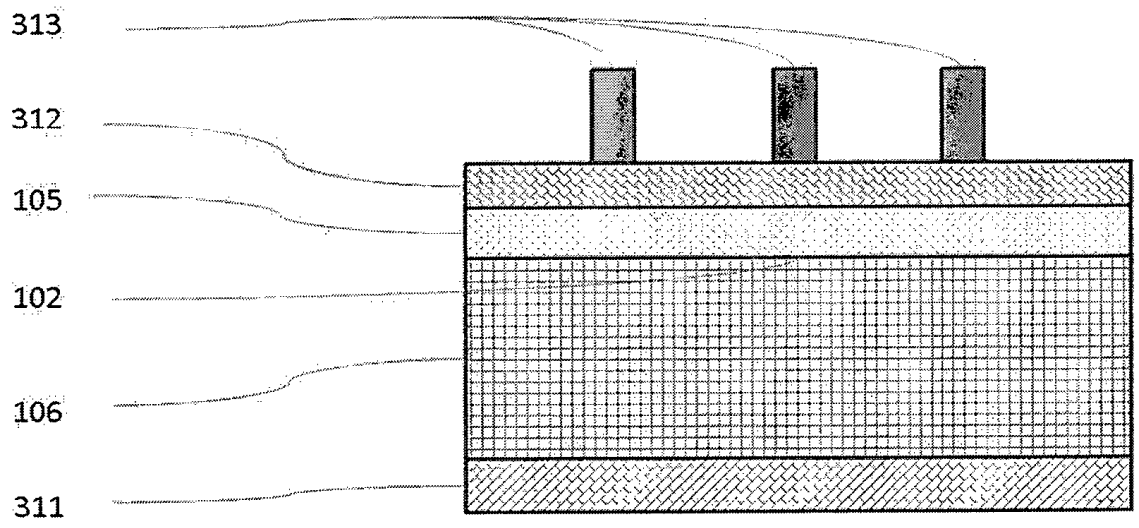

Figura 3c

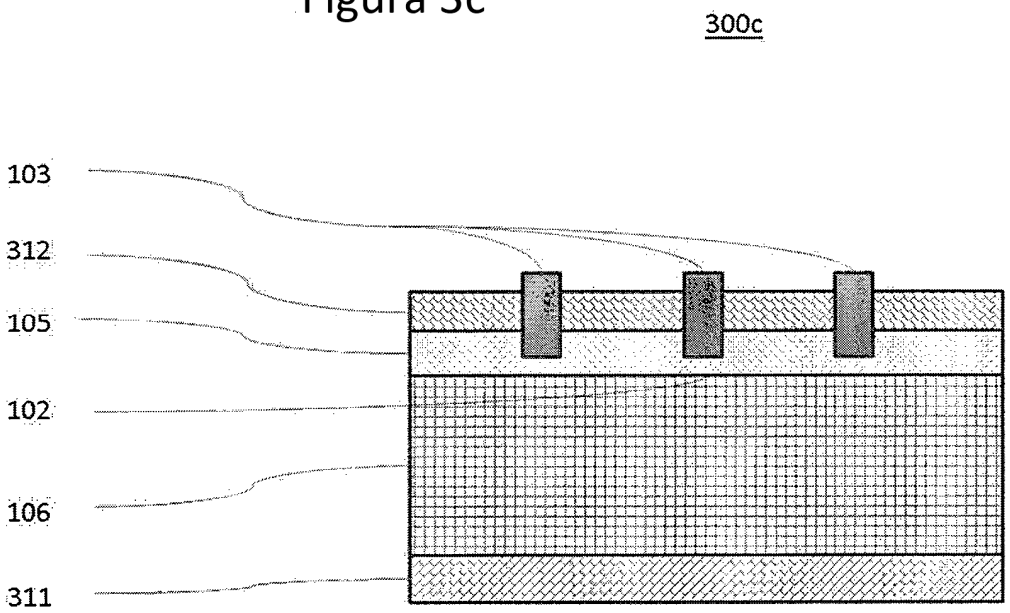
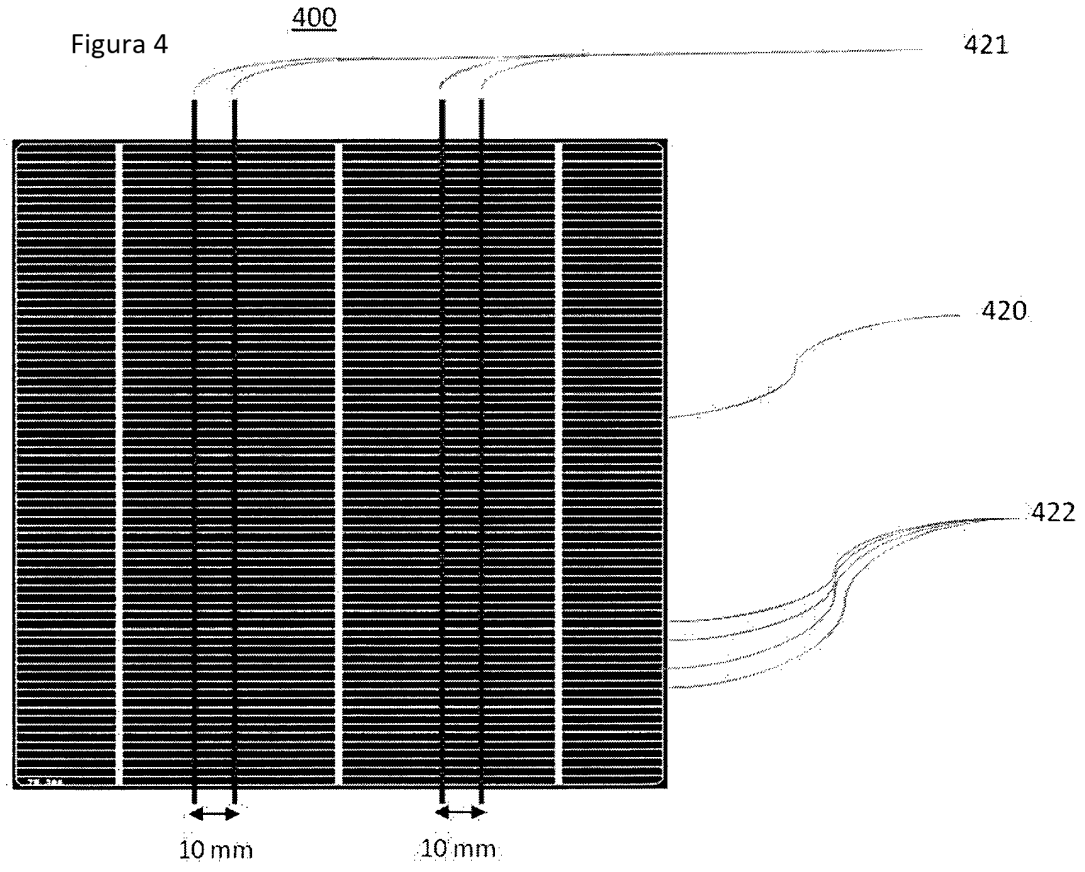
Figura 4