

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 694 125**

51 Int. Cl.:

**C03C 8/10** (2006.01)

**C03C 8/18** (2006.01)

**H01B 1/16** (2006.01)

**H01L 31/0224** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **26.02.2014** **E 14000680 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **08.08.2018** **EP 2913311**

54 Título: **Un vidrio que comprende wolframio y plomo en una pasta de célula solar**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**18.12.2018**

73 Titular/es:  
**HERAEUS PRECIOUS METALS NORTH AMERICA  
CONSHOCKEN LLC (100.0%)  
24 Union Hill Road  
West Conshohocken, PA 19428, IN**

72 Inventor/es:  
**RASKAR, DEVIDAS BALU;  
SONG, XIAO CHAO y  
CHEN, CHI LONG**

74 Agente/Representante:  
**ELZABURU, S.L.P**

Observaciones :

**Véase nota informativa (Remarks, Remarques  
o Bemerkungen) en el folleto original publicado  
por la Oficina Europea de Patentes**

**ES 2 694 125 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

Un vidrio que comprende wolframio y plomo en una pasta de célula solar

### Campo de la invención

5 En general, la invención se refiere a pastas electro-conductivas que comprenden un vidrio que comprende wolframio y plomo como un componente de una pasta de célula solar, y el uso de la misma en la preparación de células solares fotovoltaicas. Más específicamente, la invención se refiere a pastas electro-conductivas, precursores de células solares, procesos para la preparación de células solares, células solares, y módulos solares.

### Antecedentes de la invención

10 Las células solares son dispositivos que convierten la energía de la luz en electricidad por el efecto fotovoltaico. La energía solar es una fuente de energía verde atractiva porque es sostenible y produce solo subproductos no contaminantes. En consecuencia, actualmente se está dedicando una gran cantidad de investigación al desarrollo de células solares con una eficiencia aumentada, a la vez que se reducen continuamente los costos de material y de fabricación. Cuando la luz incide en una célula solar, una fracción de la luz incidente se refleja por la superficie y el resto se transmite a la célula solar. Los fotones transmitidos son absorbidos por la célula solar, que generalmente está  
15 hecha de un material semiconductor, tal como silicio, que a menudo está apropiadamente dopado. La energía fotónica absorbida excita los electrones del material semiconductor, generando pares de electrón-hueco. Estos pares de electrón-hueco luego se separan por uniones p-n y se recogen por electrodos conductivos sobre las células solares. La Figura 1 muestra una construcción mínima para una célula solar simple.

20 Las células solares se basan muy comúnmente en silicio, a menudo en la forma de una oblea de Si. En la presente invención, se prepara comúnmente una unión p-n ya sea proporcionando un sustrato de Si dopado de tipo n y aplicando una capa dopada de tipo p en una cara, o proporcionando un sustrato de Si dopado de tipo p y aplicando una capa dopada de tipo n en una cara para producir en ambos casos una llamada unión p-n. La cara con la capa aplicada de agente dopante generalmente actúa como la cara frontal de la célula, actuando el lado opuesto del Si con el agente dopante original como la cara posterior. Son posibles tanto las células solares de tipo n como las de tipo p,  
25 y ambas se han explotado industrialmente. También son posibles las células diseñadas para aprovechar la luz incidente en ambas caras, pero su uso se ha aprovechado de una manera menos extensiva.

30 Con el fin de permitir que la luz incidente sobre la cara frontal de la célula solar entre y sea absorbida, el electrodo frontal generalmente se dispone en dos conjuntos de líneas perpendiculares conocidas como "dedos" y "barras de contacto", respectivamente. Los dedos forman un contacto eléctrico con la cara frontal y las barras de contacto unen estos dedos para permitir que la carga se retire con eficacia al circuito externo. Es común que esta disposición de dedos y barras de contacto se aplique en la forma de una pasta electro-conductiva que se cuece para dar cuerpos de electrodos sólidos. A menudo también se aplica un electrodo posterior en la forma de una pasta electro-conductiva que luego se cuece para dar lugar a un cuerpo de electrodo sólido. Una pasta electro-conductiva típica contiene partículas metálicas, vidrio, y un vehículo orgánico.

35 Recientemente ha habido un interés creciente en células solares de tipo n, en donde la cara frontal es la dopada de tipo p. Las células solares de tipo n tienen el potencial de un rendimiento de célula aumentado con respecto a las células de tipo p análogas, pero siguen existiendo desventajas debido al daño a la célula durante la cocción, lo que resulta en una eficiencia reducida.

40 Para mejorar las propiedades de las células solares ha habido algunos intentos sobre la técnica anterior. Tales intentos se describen los Documentos de Patente Europea de Números EP 2692707 A1 y EP 2472526 A2.

Por lo tanto, existe una necesidad en el estado de la técnica de mejoras en el enfoque para producir células solares.

### Sumario de la invención

La invención se basa generalmente en el objeto de superar al menos uno de los problemas encontrados en el estado de la técnica en relación con las células solares.

45 Más específicamente, la invención se basa adicionalmente en el objeto de proporcionar una pasta para la preparación de una célula solar con una eficiencia de célula mejorada.

Un objeto adicional de la invención es proporcionar procesos para preparar células solares, una célula solar, y un módulo de células solares.

50 Una contribución para lograr al menos uno de los objetos descritos anteriormente se hace por la materia objeto de la categoría que conforma las reivindicaciones de la invención. Se hace una contribución adicional para la materia objeto de las reivindicaciones dependientes de la invención que representan las realizaciones específicas de la invención.

**Descripción detallada**

Una contribución para lograr al menos uno de los objetos descritos anteriormente se hace por un precursor que comprende como partes precursoras:

- i) una oblea;
- 5 ii) una pasta electro-conductiva que al menos comprende como constituyentes de la pasta:
  - a) partículas metálicas;
  - b) un vidrio;
  - c) un vehículo orgánico; y
  - d) un aditivo;
- 10 en donde el vidrio comprende lo siguiente:
  - i) Pb en el intervalo del 10 al 40% en peso;
  - ii) W en el intervalo del 2 al 30% en peso, preferiblemente en el intervalo de aproximadamente el 3 a aproximadamente el 20% en peso, más preferiblemente en el intervalo de aproximadamente el 4 a aproximadamente el 10% en peso;
  - 15 iii) O en el intervalo del 1 al 50% en peso, preferiblemente en el intervalo de aproximadamente el 5 a aproximadamente el 40% en peso, más preferiblemente en el intervalo de aproximadamente el 10 a aproximadamente el 35% en peso;

con el % en peso en cada caso basado en el peso total del vidrio.

En una realización del precursor, el Pb está en el estado de oxidación 2.

- 20 En una realización del precursor, el W está en el estado de oxidación 6.

En una realización del precursor, el vidrio comprende Te.

En una realización del precursor, las partículas metálicas son partículas de Ag.

- 25 En una realización del precursor, el vidrio está presente en la pasta en el intervalo del 1% en peso al 6% en peso, preferiblemente en el intervalo de aproximadamente el 1 a aproximadamente el 5% en peso, más preferiblemente en el intervalo de aproximadamente el 2 a aproximadamente el 4% en peso, basado en el peso total de la pasta.

En una realización del precursor, la oblea es una oblea de Si.

En una realización del precursor, la oblea comprende al menos una región dopada de tipo n y al menos una región dopada de tipo p.

En una realización del precursor, la pasta se superpone sobre una región dopada de tipo p.

- 30 En una realización del precursor, la pasta se superpone sobre una región dopada de tipo n.

En una realización del precursor, la pasta se superpone sobre la cara frontal de la oblea.

En una realización del precursor, la pasta se superpone sobre la cara posterior de la oblea.

Una contribución al logro de al menos uno de los objetos mencionados anteriormente se hace por un proceso para la preparación de una célula solar que comprende al menos las etapas:

- 35 i) provisión de un precursor de célula solar según la invención;
- ii) cocción del precursor de célula solar para obtener una célula solar.

Una contribución para lograr al menos uno de los objetos mencionados anteriormente se hace por una célula solar obtenible por un proceso según la invención.

- 40 Una contribución para lograr al menos uno de los objetos mencionados anteriormente se hace por una célula solar obtenible por una célula solar que comprende los siguientes componentes de célula solar:

- a. Una oblea;

b. Un electrodo, en donde el electrodo contiene W en el intervalo de aproximadamente el 0,03 a aproximadamente el 1,2% en peso, preferiblemente en el intervalo de aproximadamente el 0,05 a aproximadamente el 1% en peso, más preferiblemente en el intervalo de aproximadamente el 0,6 a aproximadamente el 0,8% en peso, basado en el peso total del electrodo.

- 5 Una contribución para lograr al menos uno de los objetos mencionados anteriormente se hace por una célula solar obtenible por un módulo que comprende al menos una célula solar según la invención y al menos una célula solar adicional.

Las realizaciones anteriores se pueden combinar entre sí. Con lo cual cada posible combinación es una parte de la descripción de la especificación.

## 10 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 de electrón-hueco, y separar los huecos y los electrones a través de un límite con alta eficiencia, preferiblemente a través del llamado límite de unión p-n. Las obleas preferidas según la invención son aquellas que comprenden un único cuerpo formado por una capa dopada frontal y una capa dopada posterior.

- 15 Es preferible que esa oblea consista en elementos tetravalentes, compuestos binarios, compuestos terciarios o aleaciones adecuadamente dopados. Elementos tetravalentes preferidos en este contexto son Si, Ge o Sn, preferiblemente Si. Compuestos binarios preferidos son combinaciones de dos o más elementos tetravalentes, compuestos binarios de un elemento del grupo III con un elemento del grupo V, compuestos binarios de un elemento del grupo II con un elemento del grupo VI, o compuestos binarios de un elemento del grupo IV con un elemento del grupo VI. Combinaciones preferidas de elementos tetravalentes son combinaciones de dos o más elementos seleccionados de Si, Ge, Sn o C, preferiblemente el SiC. El compuesto binario preferido de un elemento del grupo III con un elemento del grupo V es el GaAs. Según la invención, lo más preferido es que la oblea sea a base de Si. El Si, como material más preferido para la oblea, se menciona explícitamente en todo el resto de esta solicitud. En las secciones del texto que siguen, en las que se menciona explícitamente el Si, también se aplican las otras composiciones de oblea descritas anteriormente.
- 20
- 25

- Donde se encuentran la capa dopada frontal y la capa dopada posterior de la oblea es el límite de unión p-n. En una célula solar de tipo n, la capa dopada posterior está dopada con un agente dopante de tipo n donante de electrones y la capa dopada frontal esta dopada con un agente dopante aceptador de electrones o agente dopante de tipo p donante de huecos. En una célula solar de tipo p, la capa dopada posterior está dopada con un agente dopante de tipo p y la capa dopada frontal está dopada con un agente dopante de tipo n. Según la invención, se prefiere preparar una oblea con un límite de unión p-n proporcionando primero un sustrato de Si dopado, y luego aplicando una capa dopada del tipo opuesto a una cara de ese sustrato. En otra realización de la invención, se pueden disponer la capa dopada de tipo p y una capa dopada de tipo n en la misma cara de la oblea. Este diseño de oblea a menudo se denomina contacto posterior interdigitalizado como se muestra en Handbook of Photovoltaic Science and Engineering, 2ª edición, John Wiley & Sons, 2003, capítulo 7.
- 30
- 35

- Los sustratos de Si dopados son bien conocidos por el experto en la técnica. El sustrato de Si dopado se puede preparar de cualquier manera conocida por el experto en la técnica y que considere adecuada en el contexto de la invención. Fuentes preferidas de sustratos de Si según la invención son Si mono-cristalino, Si multi-cristalino, Si amorfo y Si metalúrgico mejorado, siendo el Si mono-cristalino o el Si multi-cristalino el más preferido. El dopaje para formar el sustrato de Si dopado se puede llevar a cabo simultáneamente añadiendo agente dopante durante la preparación del sustrato de Si o se puede llevar a cabo en una etapa posterior. El dopaje posterior a la preparación del sustrato de Si se puede llevar a cabo, por ejemplo, por epitaxia por difusión de gases. También están fácilmente disponibles comercialmente sustratos de Si dopados. Según la invención, es una opción que el dopaje inicial del sustrato de Si se lleve a cabo simultáneamente a su formación por la adición del agente dopante a la mezcla de Si. Según la invención, es una opción para la aplicación de la capa dopada frontal y de la capa posterior altamente dopada, si está presente, que la aplicación se lleve a cabo por una epitaxia en fase gaseosa. Esta epitaxia en fase gaseosa se lleva a cabo preferiblemente a una temperatura en un intervalo de aproximadamente 500°C a aproximadamente 900°C, más preferiblemente en un intervalo de aproximadamente 600°C a aproximadamente 800°C, y lo más preferiblemente en un intervalo de aproximadamente 650°C a aproximadamente 750°C a una presión en un intervalo de aproximadamente 2 kPa a aproximadamente el 100 kPa, preferiblemente en un intervalo de aproximadamente 10 a aproximadamente 80 kPa, lo más preferiblemente en un intervalo de aproximadamente 30 a aproximadamente 70 kPa.
- 40
- 45
- 50

- Es sabido por el experto en la técnica que los sustratos de Si pueden exhibir un número de formas, texturas de superficie y tamaños. La forma puede ser una de un número de formas diferentes, que incluyen cuboidea, disco, oblea, y poliedros irregulares, entre otras. La forma preferida según la invención es una oblea donde la oblea es una forma cuboidea con dos dimensiones que son similares, preferiblemente iguales y una tercera dimensión que es significativamente menor que las otras dos dimensiones. Significativamente menor en este contexto es preferiblemente al menos un factor de aproximadamente más pequeño de 100.
- 55

El experto en la técnica conoce una variedad de tipos de superficie. Según la invención, se prefieren sustratos de Si con superficies rugosas. Una forma de evaluar la rugosidad del sustrato es evaluar el parámetro de la rugosidad de la superficie para una sub-superficie del sustrato que es pequeña en comparación con el área de la superficie total del sustrato, preferiblemente menos de una centésima parte del área de la superficie total, y que es esencialmente plana.

5 El valor del parámetro de la rugosidad de la superficie viene dado por la relación del área de la sub-superficie al área de una superficie teórica formada al proyectar esa sub-superficie sobre el plano plano que mejor se ajusta a la sub-superficie minimizando el desplazamiento cuadrado medio. Un valor alto del parámetro de la rugosidad de la superficie indica una superficie más irregular y rugosa, un valor bajo del parámetro de la rugosidad de la superficie indica una superficie más lisa y uniforme. Según la invención, la rugosidad de la superficie del sustrato de Si se modifica

10 preferiblemente para de ese modo producir un equilibrio óptimo entre un número de factores que incluyen, pero no se limitan a la absorción de la luz y a la adhesión de los dedos a la superficie.

Las dos dimensiones más grandes del sustrato de Si se pueden variar para adaptarse a la aplicación requerida de la célula solar resultante. Según la invención, se prefiere que el espesor de la oblea de Si se encuentre por debajo de aproximadamente 0,5 mm, más preferiblemente por debajo de aproximadamente 0,3 mm, y lo más preferiblemente

15 por debajo de aproximadamente 0,2 mm. Algunas obleas tienen un tamaño mínimo de aproximadamente 0,01 mm o más.

Según la invención, se prefiere que la capa dopada frontal sea delgada en comparación con la capa dopada posterior. En una realización de la invención, la capa dopada frontal tiene un espesor en un intervalo de aproximadamente 10 nm a aproximadamente 4  $\mu\text{m}$ , preferiblemente en un intervalo de aproximadamente 50 nm a aproximadamente 1  $\mu\text{m}$ , y lo más preferiblemente en un intervalo de aproximadamente 100 a aproximadamente 800 nm.

20

La capa dopada frontal suele ser más delgada que la capa dopada posterior. En una realización de la invención, la capa dopada posterior tiene un espesor mayor que la capa dopada frontal.

Se puede aplicar una capa altamente dopada a la cara posterior del sustrato de Si entre la capa dopada posterior y cualesquiera capas adicionales. Dicha capa altamente dopada es del mismo tipo de dopaje que la capa dopada posterior, y dicha capa generalmente se denota con un + (se aplican capas tipo  $n^+$  a las capas dopadas posteriores de tipo n, y se aplican capas tipo  $p^+$  a las capas dopadas posteriores de tipo p). Esta capa posterior altamente dopada sirve para ayudar a la metalización y para mejorar las propiedades electro-conductivas en el área de la interfaz sustrato/electrodo. Según la invención, se prefiere que la capa posterior altamente dopada, si está presente, tenga un espesor en un intervalo de aproximadamente 10 nm a aproximadamente 30  $\mu\text{m}$ , preferiblemente en un intervalo de aproximadamente 50 nm a aproximadamente 20  $\mu\text{m}$ , y lo más preferiblemente en un intervalo de aproximadamente 100 nm y aproximadamente 10  $\mu\text{m}$ .

25

30

#### Agentes dopantes

Agente dopantes preferidos son aquellos que, cuando se añaden a la oblea de Si, forman un límite de unión p-n introduciendo electrones o huecos en la estructura de la banda. Según la invención, se prefiere que la identidad y la concentración de estos agentes dopantes se seleccionen específicamente para ajustar el perfil de la estructura de la banda de la unión p-n y para establecer los perfiles de absorción de la luz y de la conductividad según se requieran. Agentes dopantes de tipo p preferidos según la invención son aquellos que añaden huecos a la estructura de la banda de la oblea de Si. Son bien conocidos por el experto en la técnica. Todos los agente dopantes conocidos por el experto en la técnica y que él considere adecuados en el contexto de la invención se pueden emplear como agente dopante de tipo p. Agentes dopantes de tipo p preferidos según la invención son elementos trivalentes, en particular los del grupo 13 de la tabla periódica. Elementos del grupo 13 preferidos de la tabla periódica en este contexto incluyen, pero no se limitan a B, Al, Ga, In, Tl o una combinación de al menos dos de los mismos, en donde el B es particularmente preferido. En una realización de la invención, la capa dopada de tipo p comprende B como un agente dopante.

35

40

Agentes dopantes de tipo n preferidos según la invención son aquellos que añaden electrones a la estructura de la banda de la oblea de Si. Son bien conocidos por el experto en la técnica. Todos los agentes dopantes conocidos por el experto en la técnica y que él considere adecuados en el contexto de la invención se pueden emplear como agente dopante de tipo n. Agentes dopantes de tipo n preferidos según la invención son elementos del grupo 15 de la tabla periódica. Elementos del grupo 15 preferidos de la tabla periódica en este contexto incluyen N, P, As, Sb, Bi o una combinación de al menos dos de los mismos, en donde el P es particularmente preferido. En una realización de la invención, la capa dopada de tipo n comprende P como agente dopante.

45

50

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

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

55

En una realización de la invención, la capa posterior altamente dopada (si está presente) está altamente dopada, preferiblemente con una concentración en un intervalo de aproximadamente  $1 \times 10^{17}$  a aproximadamente  $5 \times 10^{21} \text{ cm}^{-3}$ , más preferiblemente en un intervalo de aproximadamente  $5 \times 10^{17}$  a aproximadamente  $5 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ , y lo más preferiblemente en un intervalo de aproximadamente  $1 \times 10^{18}$  a aproximadamente el  $1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ .

5 Pasta electro-conductiva

Las pastas electro-conductivas preferidas según la invención son pastas que se pueden aplicar a una superficie y que, en la cocción, forman cuerpos de electrodo sólidos en contacto eléctrico con esa superficie. El experto en la técnica puede seleccionar los constituyentes de la pasta y sus proporciones para que la pasta tenga las propiedades deseadas, tales como la capacidad de sinterización y la capacidad de impresión, y para que el electrodo resultante tenga las deseadas propiedades eléctricas y físicas. Las partículas metálicas pueden estar presentes en la pasta, principalmente para que el cuerpo de electrodo resultante sea eléctricamente conductivo. Con el fin de lograr una sinterización apropiada a través de las capas superficiales y en la oblea de Si, se puede emplear un vidrio. Una composición de ejemplo de una pasta eléctricamente conductiva que se prefiere en el contexto de la invención podría comprender:

15 i) Partículas metálicas, preferiblemente partículas de plata, preferiblemente al menos aproximadamente el 50% en peso, más preferiblemente al menos aproximadamente el 70% en peso, y lo más preferiblemente al menos aproximadamente el 80% en peso;

20 ii) Un vidrio, preferiblemente una frita de vidrio, preferiblemente en un intervalo del 1% en peso a aproximadamente el 6% en peso, más preferiblemente en un intervalo del 1% en peso a aproximadamente el 5% en peso, y lo más preferiblemente en un intervalo de aproximadamente el 1 a aproximadamente el 4% en peso,

en donde el vidrio comprende lo siguiente:

i) Pb en el intervalo del 10 al 40%;

25 ii) W en el intervalo del 2 al 30% en peso, preferiblemente en el intervalo de aproximadamente el 3 a aproximadamente el 20% en peso, más preferiblemente en el intervalo de aproximadamente el 4 a aproximadamente el 10% en peso;

iii) O en el intervalo del 1 a aproximadamente el 50% en peso, preferiblemente en el intervalo de aproximadamente el 5 a aproximadamente el 40% en peso, más preferiblemente en el intervalo de aproximadamente el 10 a aproximadamente el 35% en peso;

con el % en peso en cada caso basado en el peso total del vidrio;

30 iii) Vehículo orgánico, preferiblemente en un intervalo de aproximadamente el 5 a aproximadamente el 40% en peso, más preferiblemente en un intervalo de aproximadamente el 5 a aproximadamente el 30% en peso, y lo más preferiblemente en un intervalo de aproximadamente el 5 a aproximadamente el 15% en peso;

35 iv) Un aditivo, preferiblemente en un intervalo de aproximadamente el 0 a aproximadamente el 15% en peso, más preferiblemente en un intervalo de aproximadamente el 0 a aproximadamente el 10% en peso, y lo más preferiblemente en un intervalo de aproximadamente el 0,3 a aproximadamente el 5% en peso.

en donde el % en peso de cada uno se basa en el peso total de la pasta electro-conductiva y suma hasta el 100% en peso.

40 Con el fin de facilitar la capacidad de impresión de la pasta electro-conductiva, según la invención se prefiere que la pasta electro-conductiva tenga una viscosidad y un índice tixotrópico que faciliten la capacidad de impresión. En una realización de la invención, la pasta electro-conductiva satisface al menos uno de los siguientes criterios:

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

45 - todos los disolventes presentes en la pasta tienen un punto de ebullición en un intervalo de aproximadamente 90 a aproximadamente 300°C.

Vehículo orgánico

50 Vehículos orgánicos preferidos en el contexto de la invención son disoluciones, emulsiones o dispersiones en base a uno o más disolventes, preferiblemente un disolvente orgánico, que aseguren que los constituyentes de la pasta electro-conductiva están presentes en forma disuelta, emulsionada, o dispersa. Vehículos orgánicos preferidos son aquellos que proporcionan una estabilidad óptima de los constituyentes dentro de la pasta electro-conductiva y dotan a la pasta electro-conductiva de una viscosidad que permita una capacidad de impresión en línea efectiva. Según la invención, vehículos orgánicos preferidos comprenden como componentes de vehículo:

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

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

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

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

en donde el % en peso de cada uno se basa en el peso total del vehículo orgánico y suma hasta el 100% en peso. Según la invención, vehículos orgánicos preferidos son aquellos que permiten que se logre el alto nivel preferido de capacidad de impresión de la pasta electro-conductiva descrita anteriormente.

## 15 Partículas metálicas

Según la invención, la plata es una partícula de metal preferida. Las partículas metálicas preferidas 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 electro-conductiva proporcionan conductividad metálica al electrodo sólido que se forma cuando la pasta electro-conductiva se sinteriza en la cocción. Se prefieren partículas metálicas que favorezcan la sinterización efectiva y produzcan electrodos con alta conductividad y baja resistencia de contacto. Las partículas metálicas son bien conocidas por el experto en la técnica. Todas las partículas metálicas conocidas por el experto en la técnica y que él considere adecuadas en el contexto de la invención se pueden emplear como partículas metálicas en la pasta electro-conductiva. Partículas metálicas preferidas según la invención son metales, aleaciones, mezclas de al menos dos metales, mezclas de al menos dos aleaciones, o mezclas de al menos un metal con al menos una aleación.

Metales preferidos que se pueden emplear como partículas metálicas, de la misma manera que la plata, preferiblemente además de la plata, según la invención, son Au, Cu, Al, Zn, Pd, Ni, Pb y mezclas de al menos dos de los mismos, preferiblemente Au o Al. Aleaciones preferidas que se pueden emplear como partículas metálicas según la invención son aleaciones que contienen al menos un metal seleccionado de la lista de Ag, Cu, Al, Zn, Ni, W, Pb, y Pd, o mezclas, o dos o más de esas aleaciones.

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

Como constituyentes adicionales de las partículas metálicas, además de los constituyentes mencionados anteriormente, se prefieren aquellos constituyentes que contribuyen a propiedades más favorables de sinterización, contacto eléctrico, adhesión, y conductividad eléctrica de los electrodos formados según la invención. Todos los constituyentes adicionales conocidos por el experto en la técnica y que él considere adecuados en el contexto de la invención se pueden emplear en las partículas metálicas. Se prefieren, según la invención, aquellos sustituyentes adicionales que representen agentes dopantes complementarios para la cara a la que se aplica la pasta electro-conductiva. Cuando se forma un electrodo interfaz con una capa de Si dopada de tipo n, se prefieren aditivos capaces de actuar como agentes dopantes de tipo n en el Si. Agentes dopantes de tipo n preferidos en este contexto son elementos del grupo 15 o compuestos que producen dichos elementos en la cocción. Elementos del grupo 15 preferidos en este contexto según la invención son P y Bi. Cuando se forma un electrodo de interfaz con una capa de Si dopada de tipo p, se prefieren aditivos capaces de actuar como agentes dopantes de tipo p en el Si. Agentes dopantes de tipo p preferidos son elementos del grupo 13 o compuestos que producen dichos elementos en la cocción. Elementos del grupo 13 preferidos en este contexto según la invención son B y Al.

Es bien conocido por el experto 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. El experto en la técnica conoce un gran número de formas. Algunos ejemplos son esférica, angular, alargada (como varilla o aguja) y plana (como hoja). 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 una combinación de formas, que favorezcan la sinterización ventajosa, el contacto eléctrico, la adhesión, y la conductividad eléctrica del electrodo producido. Una forma de caracterizar tales formas sin considerar la naturaleza de la superficie es a través de los parámetros de longitud, ancho, y espesor. En el contexto de la invención, la longitud de una partícula viene dada por la longitud del vector de desplazamiento espacial más largo, cuyos puntos extremos están contenidos dentro de la partícula. El ancho de una partícula viene dado por la longitud del vector de desplazamiento espacial más largo perpendicular al vector de longitud definido anteriormente, cuyos puntos extremos están contenidos dentro de la partícula. El espesor de una partícula viene dado por la longitud del vector de desplazamiento espacial más largo perpendicular tanto al vector de la longitud como al vector del ancho, ambos definidos anteriormente, estando ambos

5 puntos extremos contenidos dentro de la partícula. En una realización según la invención, se prefieren partículas metálicas con la forma lo más uniforme posible, es decir, formas en las que las relaciones que relacionan la longitud, el ancho y el espesor son lo más cercanas posible a 1, preferiblemente todas las relaciones se encuentran en un intervalo de aproximadamente 0,7 a aproximadamente 1,5, más preferiblemente en un intervalo de aproximadamente 0,8 a aproximadamente 1,3, y lo más preferiblemente en un intervalo de aproximadamente 0,9 a aproximadamente 1,2. Ejemplos de formas preferidas para las partículas metálicas en esta realización son, por lo tanto, esferas y cubos, o combinaciones de los mismas, o combinaciones de una o más de las mismas con otras formas. En una realización de la invención, las partículas de Ag en la pasta electro-conductiva son esféricas. En otra realización según la invención, se prefieren partículas metálicas que tengan una forma de baja uniformidad, preferiblemente con al menos una de las relaciones que relacionan las dimensiones de longitud, ancho y espesor por encima de aproximadamente 1,5, más preferiblemente por encima de aproximadamente 3, y lo más preferiblemente por encima de aproximadamente 5. Formas preferidas según esta realización son en forma de escama, rodillo o aguja, o una combinación de una forma de escama, rodillo o aguja con otras formas.

15 El experto en la técnica conoce una variedad de tipos de superficie. Para el tipo de superficie de las partículas metálicas según la invención se favorecen tipos de superficie que favorezcan la sinterización efectiva y produzcan un contacto eléctrico y una conductividad ventajosas de los electrodos producidos.

20 El diámetro de partícula  $d_{50}$  y los valores asociados  $d_{10}$  y  $d_{90}$  son características de partículas bien conocidas por el experto en la técnica. Según la invención, se prefiere que el diámetro promedio de partícula  $d_{50}$  de las partículas metálicas se encuentre en un intervalo de aproximadamente 0,5 a aproximadamente 10  $\mu\text{m}$ , más preferiblemente en un intervalo de aproximadamente 1 a aproximadamente 10  $\mu\text{m}$ , y lo más preferiblemente en un intervalo de aproximadamente 1 a aproximadamente 5  $\mu\text{m}$ . La determinación del diámetro de partícula  $d_{50}$  es bien conocida para una persona experta en la técnica.

25 En una realización de la invención, las partículas de plata tienen un  $d_{50}$  en un intervalo de aproximadamente 1 a aproximadamente 4  $\mu\text{m}$ , preferiblemente en un intervalo de aproximadamente 2 a aproximadamente 3,5  $\mu\text{m}$ , más preferiblemente en un intervalo de aproximadamente 2,8 a aproximadamente 3,2  $\mu\text{m}$ .

En otra realización de la invención, las partículas de aluminio tienen un  $d_{50}$  en un intervalo de aproximadamente 1 a aproximadamente 5  $\mu\text{m}$ , preferiblemente en un intervalo de aproximadamente 2 a aproximadamente 4  $\mu\text{m}$ , más preferiblemente en un intervalo de aproximadamente 2,5 a aproximadamente 3,5  $\mu\text{m}$ .

30 Las partículas metálicas pueden estar presentes con un revestimiento superficial. Sobre las partículas metálicas se puede emplear cualquier revestimiento de este tipo conocido por el experto en la técnica y que considere adecuado en el contexto de la invención. Revestimientos preferidos según la invención son aquellos revestimientos que promuevan características mejoradas de impresión, sinterización, y grabado de la pasta electro-conductiva. Si tal revestimiento está presente, se prefiere según la invención que dicho revestimiento se corresponda con no más de aproximadamente el 10% en peso, preferiblemente no más de aproximadamente el 8% en peso, lo más preferiblemente no más de aproximadamente el 5% en peso, en cada caso basado en el peso total de las partículas metálicas.

35 En una realización según la invención, las partículas de plata están presentes como una proporción de la pasta electro-conductiva en más de aproximadamente el 50% en peso, preferiblemente en más de aproximadamente el 70% en peso, lo más preferiblemente en más de aproximadamente el 80% en peso.

#### 40 Vidrio

El vidrio, preferiblemente frita de vidrio, está presente en la pasta electro-conductiva según la invención con el fin de provocar el grabado y la sinterización. Se requiere un grabado eficaz para el grabado a través de cualquier capa adicional que se pueda haber aplicado a la oblea de Si y, por lo tanto, colocada entre la capa dopada frontal y la pasta electro-conductiva aplicada, así como para el grabado en la oblea de Si en la medida apropiada. Grabado apropiado de la oblea de Si significa lo suficientemente profundo para provocar un buen contacto eléctrico entre el electrodo y la capa dopada frontal y, por lo tanto, para producir una resistencia de contacto baja, pero no tan profunda como para interferir con el límite de la unión p-n. Vidrios preferidos en el contexto de la invención son polvos de sólidos amorfos o parcialmente cristalinos que exhiben una transición vítrea. La temperatura de transición vítrea  $T_g$  es la temperatura a la cual una sustancia amorfa se transforma desde un sólido rígido a una masa fundida parcialmente móvil subenfriada por calentamiento. Métodos para la determinación de la temperatura de transición vítrea son bien conocidos por el experto en la técnica. El grabado y la sinterización provocados por el vidrio, preferiblemente por la frita de vidrio, ocurren por encima de la temperatura de transición vítrea del vidrio, preferiblemente de la frita de vidrio, y se prefiere que la temperatura de transición vítrea se encuentre por debajo de la temperatura de cocción máxima deseada. Las vidrios son bien conocidas por el experto en la técnica. Todos los vidrios conocidos por el experto en la técnica y que él considere adecuados en el contexto de la invención se pueden emplear como el vidrio en la pasta electro-conductiva.

55 En el contexto de la invención, el vidrio presente en la pasta electro-conductiva comprende preferiblemente elementos, óxidos, compuestos que generan óxidos por calentamiento, otros compuestos, o mezclas de los mismos. En el contexto de la presente invención, se prefiere que el vidrio comprenda los siguientes constituyentes de vidrio:

i) Pb en el intervalo del 10 a aproximadamente el 40% en peso;

ii) W en el intervalo de aproximadamente el 2 a aproximadamente el 30% en peso, preferiblemente en el intervalo de aproximadamente el 3 a aproximadamente el 20% en peso, más preferiblemente en el intervalo de aproximadamente el 4 a aproximadamente el 10% en peso;

5 iii) O en el intervalo de aproximadamente el 1 a aproximadamente al 50% en peso, preferiblemente en el intervalo de aproximadamente el 5 a aproximadamente el 40% en peso, más preferiblemente en el intervalo de aproximadamente el 10 a aproximadamente el 35% en peso;

con el % en peso en cada caso basado en el peso total del vidrio.

10 En una realización de la invención, se prefiere que el vidrio comprenda Te, preferiblemente en el intervalo de aproximadamente el 1 a aproximadamente el 20% en peso, más preferiblemente en el intervalo de aproximadamente el 2 a aproximadamente el 15% en peso, más preferiblemente en el intervalo de aproximadamente el 3 a aproximadamente el 10% en peso, basado en el peso total del vidrio.

15 Los elementos anteriores están presentes preferiblemente en el vidrio como resultado de incluir constituyentes de óxido en los materiales precursores del vidrio. El W en el vidrio es preferiblemente el resultado de uno o más óxidos de wolframio, preferiblemente  $WO_3$ , que se incluyen en la mezcla precursora. El Pb en el vidrio es preferiblemente el resultado de uno o más óxidos de plomo, preferiblemente PbO y/o  $PbO_2$ , que se incluyen en la mezcla precursora. El Te en el vidrio es preferiblemente el resultado de uno o más óxidos de telurio, preferiblemente TeO y/o  $TeO_2$  y/o  $TeO_3$ , que están presentes en la mezcla precursora. El O está presente preferiblemente en el vidrio como resultado de uno o más de  $WO_3$ , PbO,  $PbO_2$ , TeO,  $TeO_2$ ,  $TeO_3$ , o de otros óxidos que están presentes en la mezcla precursora.

20 Además, elementos preferidos en el vidrio son Si, B, Al, Bi, Li, Na, Mg, Zn, Gd, Ce, Zr, Ti, Mn, Sn, Ru, Co, Fe, Cu, Ba y Cr o mezclas de dos o más de esta lista. Óxidos preferidos que pueden estar comprendidos en el 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 del grupo VI, otros óxidos, o combinaciones de los mismos. Óxidos de metales alcalinos preferidos en este contexto son óxido de sodio, óxido de litio, óxido de potasio, óxidos de rubidio, óxidos de cesio, o combinaciones de  
25 los mismos. Óxidos de metales alcalinotérreos preferidos en este contexto son óxido de berilio, óxido de magnesio, óxido de calcio, óxido de estroncio, óxido de bario, o combinaciones de los mismos. Óxidos del grupo V preferidos en este contexto son los óxidos de fósforo, tal como el  $P_2O_5$ , óxidos de bismuto, tal como el  $Bi_2O_3$ , o combinaciones de los mismos. Óxidos del grupo VI preferidos en este contexto son los óxidos de selenio, tal como el  $SeO_2$ . Óxidos de tierras raras preferidos son óxido de cerio, tal como el  $CeO_2$ , y los óxidos de lantano, como el  $La_2O_3$ . Otros óxidos preferidos en este contexto son los óxidos de silicio, tal como el  $SiO_2$ , óxidos de zinc, tal como el ZnO, óxidos de aluminio, tal como el  $Al_2O_3$ , óxidos de germanio, tal como el  $GeO_2$ , óxidos de vanadio, tal como el  $V_2O_5$ , óxidos de niobio, tal como el  $Nb_2O_5$ , óxido de boro, óxidos de molibdeno, tal como el  $MoO_3$ , y óxidos de indio, tal como el  $In_2O_3$ , otros óxidos de los elementos enumerados anteriormente como elementos preferidos, o combinaciones de los mismos. Los óxidos preferidos también son óxidos mixtos que contienen al menos dos de los elementos enumerados como  
30 constituyentes elementales preferidos del vidrio u óxidos mixtos que se forman por calentamiento de al menos uno de los óxidos mencionados anteriormente con al menos uno de los metales mencionados anteriormente. En el contexto de la invención también se prefieren las mezclas de al menos dos de los óxidos listados anteriormente y los óxidos mixtos.

40 Como se mencionó anteriormente, es preferible que el vidrio tenga una temperatura de transición vítrea por debajo de la temperatura de cocción deseada de la pasta electro-conductiva. En una realización de la invención, el vidrio tiene una temperatura de transición vítrea en el intervalo de aproximadamente 250 a aproximadamente 530°C, más preferiblemente en un intervalo de aproximadamente 300 a aproximadamente 500°C, y lo más preferiblemente en un intervalo de aproximadamente 320°C a aproximadamente 450°C.

45 Es bien conocido por el experto en la técnica que las partículas de vidrio pueden exhibir una variedad de formas, naturalezas superficiales, tamaños, relaciones de área de superficie a volumen, y capas de revestimiento.

El experto en la técnica conoce un gran número de formas de partículas de vidrio. Algunos ejemplos son esférica, angular, alargada (como varilla o aguja) y plana (como hoja). Las partículas de vidrio también pueden estar presentes como una combinación de partículas de diferentes formas. Según la invención, se prefieren partículas de vidrio con una forma, o combinación de formas, que favorezcan la sinterización ventajosa, la adhesión, el contacto eléctrico, y la  
50 conductividad eléctrica del electrodo producido.

El diámetro promedio de partículas  $d_{50}$ , y los parámetros asociados  $d_{10}$  y  $d_{90}$  son características de las partículas bien conocidas por el experto en la técnica. Según la invención, se prefiere que el diámetro promedio de partícula  $d_{50}$  del vidrio se encuentre en un intervalo de aproximadamente 0,1 a aproximadamente 10  $\mu m$ , más preferiblemente en un intervalo de aproximadamente 0,2 a aproximadamente 7  $\mu m$ , y lo más preferiblemente en un intervalo de  
55 aproximadamente 0,5 a aproximadamente 5  $\mu m$ .

En una realización de la invención, las partículas de vidrio tienen un  $d_{50}$  en un intervalo de aproximadamente 0,1 a aproximadamente 3  $\mu\text{m}$ , preferiblemente en un intervalo de aproximadamente 0,5 a aproximadamente 2  $\mu\text{m}$ , más preferiblemente en un intervalo de aproximadamente 0,8 a aproximadamente 1,5  $\mu\text{m}$ .

#### Aglutinante

5 Aglutinantes preferidos en el contexto de la invención son aquellos que contribuyen a la formación de una pasta electro-conductiva con propiedades favorables de estabilidad, capacidad de impresión, viscosidad, sinterización, y grabado. Los aglutinantes son bien conocidos por el experto en la técnica. Todos los aglutinantes que son conocidos por el experto en la técnica y que él considere adecuados en el contexto de esta invención se pueden emplear como aglutinante en el vehículo orgánico. Aglutinantes preferidos según la invención (que a menudo caen dentro de la categoría denominada "resinas") son aglutinantes poliméricos, aglutinantes monoméricos, y aglutinantes que son una combinación de polímeros y monómeros. Aglutinantes poliméricos también pueden ser copolímeros en donde al menos dos unidades monoméricas diferentes están contenidas en una sola molécula. Aglutinantes poliméricos preferidos son aquellos que portan grupos funcionales en la cadena principal del polímero, aquellos que portan grupos funcionales fuera de la cadena principal, y aquellos que portan grupos funcionales tanto dentro de la cadena principal como fuera de la cadena principal. Polímeros preferidos que portan grupos funcionales en la cadena principal son, por ejemplo, poliésteres, poliésteres sustituidos, policarbonatos, policarbonatos sustituidos, polímeros que portan 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 co-monómeros, o una combinación de al menos dos de los mismos. Polímeros preferidos que portan grupos cíclicos en la cadena principal son el butilato de polivinilo (PVB, por sus siglas en inglés) y sus derivados, y el politerpineol y sus derivados, o mezclas de los mismos. Los poli-azúcares preferidos son, por ejemplo, celulosa y sus derivados de alquilo, preferiblemente metilcelulosa, etilcelulosa, propilcelulosa, butilcelulosa y sus derivados, y mezclas de al menos dos de los mismos. Polímeros preferidos que portan grupos funcionales fuera de la cadena principal del polímero son aquellos que portan grupos amida, aquellos que portan grupos ácido y/o éster, a menudo llamadas resinas acrílicas, o polímeros que portan una combinación de los grupos funcionales mencionados anteriormente, o una combinación de los mismos. Polímeros preferidos que portan amida fuera de la cadena principal son, por ejemplo, polivinilpirrolidona (PVP, por sus siglas en inglés) y sus derivados. Polímeros preferidos que portan grupos ácidos y/o ésteres fuera de la cadena principal son, por ejemplo, ácido poliacrílico y sus derivados, polimetacrilato (PMA, por sus siglas en inglés) y sus derivados, o polimetilmetacrilato (PMMA, por sus siglas en inglés) y sus derivados, o una mezcla de los mismos. Aglutinantes monoméricos preferidos según la invención son monómeros a base de etilenglicol, resinas de terpineol, o derivados de colofonia, o una mezcla de los mismos. Aglutinantes monoméricos preferidos en base a etilenglicol son aquellos con grupos éter, grupos éster, o aquellos con un grupo éter y un grupo éster, siendo los grupos éter preferidos metilo, etilo, propilo, butilo, pentilo, hexilo, y alquil éteres superiores, siendo el grupo éster preferido acetato y sus derivados alquílicos, preferiblemente monoacetato de etilenglicol monobutiléter, o una mezcla de los mismos, alquilcelulosa, preferiblemente etilcelulosa, sus derivados, y mezclas de los mismos con otros aglutinantes de las listas anteriores de aglutinantes u otros que son los aglutinantes más preferidos en el contexto de la invención.

#### Tensioactivo

40 Tensioactivos preferidos en el contexto de la invención son aquellos que contribuyen a la formación de una pasta electro-conductiva con propiedades favorables de estabilidad, capacidad de impresión, viscosidad, sinterización y grabado. Los tensioactivos son bien conocidos por el experto en la técnica. Todos los tensioactivos conocidos por el experto en la técnica y que él considere adecuados en el contexto de esta invención se pueden emplear como tensioactivo en el vehículo orgánico. Tensioactivos preferidos en el contexto de la invención son aquellos en base a cadenas lineales, cadenas ramificadas, cadenas aromáticas, cadenas fluoradas, cadenas de siloxano, cadenas de poliéter, y combinaciones de las mismas. Tensioactivos preferidos son de cadena doble o de cadena múltiple. Tensioactivos preferidos según la invención tienen cabezas no iónicas, aniónicas, catiónicas, o zwitteriónicas. Los tensioactivos preferidos son poliméricos y monoméricos, o una mezcla de los mismos. Tensioactivos preferidos según la invención pueden tener grupos afines al pigmento, preferiblemente ésteres de ácido carboxílico hidroxifuncionales con grupos afines al pigmento (por ejemplo, DISPERBYK®-108, fabricado por BYK USA, Inc.), copolímeros de acrilato con grupos afines al pigmento (por ejemplo, DISPERBYK®-116, fabricado por BYK USA, Inc.), poliéteres modificados con grupos afines al pigmento (por ejemplo, TEGO® DISPERS 655, fabricado por Evonik Tego Chemie GmbH), otros tensioactivos con grupos de alta afinidad por el pigmento (por ejemplo, TEGO® DISPERS 662 C, fabricado por Evonik Tego Chemie GmbH). Otros polímeros preferidos según la invención que no están en la lista anterior son el polietilenglicol y sus derivados, y los ácidos alquil carboxílicos y sus derivados o sales, o mezclas de los mismos. El derivado de polietilenglicol preferido según la invención es el ácido poli(etilenglicol) acético. Ácidos alquilcarboxílicos preferidos son aquellos con cadenas completamente saturadas y aquellos con cadenas de alquilo individuales o poliinsaturadas, o mezclas de las mismas. Ácidos carboxílicos preferidos con cadenas de alquilo saturadas son aquellos con longitudes de cadenas de alquilo en un intervalo de aproximadamente 8 a aproximadamente 20 átomos de carbono, preferiblemente  $\text{C}_9\text{H}_{19}\text{COOH}$  (ácido cáprico),  $\text{C}_{11}\text{H}_{23}\text{COOH}$  (ácido láurico),  $\text{C}_{13}\text{H}_{27}\text{COOH}$  (ácido mirístico),  $\text{C}_{15}\text{H}_{31}\text{COOH}$  (ácido palmítico),  $\text{C}_{17}\text{H}_{35}\text{COOH}$  (ácido esteárico), o mezclas de los mismos. Ácidos carboxílicos preferidos con cadenas de alquilo insaturadas son  $\text{C}_{18}\text{H}_{34}\text{O}_2$  (ácido oleico) y  $\text{C}_{18}\text{H}_{32}\text{O}_2$  (ácido linoleico). El tensioactivo monomérico preferido según la invención es benzotriazol y sus derivados.

## Disolvente

Disolventes preferidos según la invención son constituyentes de la pasta electro-conductiva que se eliminan de la pasta en un grado significativo durante la cocción, preferiblemente aquellos que están presentes después de la cocción con un peso absoluto reducido en al menos aproximadamente el 80% en comparación con el peso antes de la cocción, preferiblemente con un peso absoluto reducido en al menos aproximadamente el 95% en comparación con el peso antes de la cocción. Disolventes preferidos según la invención son aquellos que permiten que se forme una pasta electro-conductiva que tenga características favorables de viscosidad, capacidad de impresión, estabilidad y sinterización, y que se produzcan electrodos con conductividad y contacto eléctricos favorables al sustrato. Los disolventes son bien conocidos por el experto en la técnica. Todos los disolventes conocidos por el experto en la técnica y que considere adecuados en el contexto de esta invención se pueden emplear como el disolvente en el vehículo orgánico. Según la invención, disolventes preferidos son aquellos que permiten que se logre el alto nivel preferido de capacidad de impresión de la pasta electro-conductiva tal como se describe anteriormente. Disolventes preferidos según la invención son aquellos que existen como un líquido a temperatura y presión ambiente estándar (SATP, por sus siglas en inglés) (298,15 K, 100 kPa), preferiblemente aquellos con un punto de ebullición por encima de aproximadamente 90°C y un punto de fusión por encima de aproximadamente -20°C. Disolventes preferidos según la invención son polares o no polares, próticos o apróticos, aromáticos o no aromáticos. Disolventes preferidos según la invención son mono-alcoholes, di-alcoholes, polialcoholes, monoésteres, diésteres, poliésteres, mono-éteres, di-éteres, poli-éteres, disolventes que comprenden al menos una o más de estas categorías de grupos funcionales, que comprenden opcionalmente otras categorías de grupos funcionales, preferiblemente 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, y las mezclas de dos o más de los disolventes mencionados anteriormente. En este contexto, ésteres preferidos son ésteres di-alquílicos del ácido adípico, siendo los constituyentes alquilo preferidos grupos metilo, etilo, propilo, butilo, pentilo, hexilo, y alquilo superior, o combinaciones de dos grupos alquilo diferentes, preferiblemente dimetiladipato, y mezclas de dos o más ésteres de adipato. Éteres preferidos en este contexto son diéteres, preferiblemente dialquilo éteres del etilenglicol, siendo los grupos alquilo preferidos los grupos metilo, etilo, propilo, butilo, pentilo, hexilo y alquilo superior, o combinaciones de dos grupos alquilo diferentes, y mezclas de dos diéteres. Alcoholes preferidos en este contexto son alcoholes primarios, secundarios, y terciarios, preferiblemente alcoholes terciarios, prefiriéndose el terpineol y sus derivados, o una mezcla de dos o más alcoholes. Disolventes preferidos que combinan más de un grupo funcional diferente son el monoisobutirato de 2,2,4-trimetil-1,3-pentanodiol, a menudo llamado texanol, y sus derivados, el 2-(2-etoxietoxil) etanol, a menudo conocido como carbitol, su derivados alquilo, preferiblemente metilo, etilo, propilo, butilo, pentilo y hexilcarbitol, preferiblemente hexilcarbitol o butilcarbitol, y derivados de acetato de los mismos, preferiblemente acetato de butilcarbitol, o mezclas de al menos dos de los mencionados anteriormente.

## Aditivos en el vehículo orgánico

Aditivos preferidos en el vehículo orgánico son aquellos aditivos que son distintos de los componentes del vehículo mencionados anteriormente, y que contribuyen a propiedades favorables de la pasta electro-conductiva, tales como ventajosas viscosidad, sinterización, conductividad eléctrica del electrodo producido, y un buen contacto eléctrico con los sustratos. Todos los aditivos conocidos por el experto en la técnica y que él considere adecuados en el contexto de la invención se pueden emplear como aditivo en el vehículo orgánico. Aditivos preferidos según la invención son agentes tixotrópicos, reguladores de la viscosidad, agentes estabilizantes, aditivos inorgánicos, espesantes, emulsionantes, dispersantes o reguladores de pH. Agentes tixotrópicos preferidos en este contexto son derivados de ácidos carboxílicos, preferiblemente derivados de ácidos grasos o combinaciones de los mismos  $C_9H_{19}COOH$  (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 el aceite de ricino.

## Aditivos en la pasta electro-conductiva

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

Precursor de células solares

Una contribución para lograr al menos uno de los objetos mencionados anteriormente se hace por un precursor de células solares que comprende los siguientes constituyentes de precursores de células solares:

- a. Una oblea, preferiblemente una oblea de Si;
- 5 b. Una pasta según la invención, superpuesta sobre la oblea.

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

Precusores de células solares preferidos son aquellos que suministran células solares de tipo n en la cocción, preferiblemente aquellos en los que la pasta electro-conductiva de la invención forma un electrodo lateral frontal en la cocción.

- 10 En una realización del precursor de células solares según la invención, la pasta se superpone sobre la capa dopada de tipo p.

En una realización del precursor de células solares según la invención, la pasta se superpone sobre el diluyente de las dos capas dopadas.

Proceso para producir una célula solar

- 15 Una contribución para lograr al menos uno de los objetos mencionados anteriormente se hace por un proceso para producir una célula solar que comprende al menos lo siguiente como etapas del proceso:

i) provisión de un precursor de células solares como se describe anteriormente, en particular combinando cualesquiera de las realizaciones descritas anteriormente; y

ii) cocción del precursor de células solares para obtener una célula solar.

- 20 Impresión

Según la invención, se prefiere que los electrodos frontal y posterior se apliquen por aplicación de una pasta electro-conductiva, y luego por cocción de dicha pasta electro-conductiva para obtener un cuerpo sinterizado. La pasta electro-conductiva se puede aplicar de cualquier forma conocida por el experto en la técnica y que considere adecuada en el contexto de la invención, incluyendo, entre otras, impregnación, inmersión, vertido, goteo, inyección, pulverización, revestimiento con cuchilla, revestimiento con cortina, cepillado o impresión, o una combinación de al menos dos de las mismas, en donde las técnicas de impresión preferidas son la impresión por chorro de tinta, la impresión por serigrafía, la impresión por tampón, la impresión offset, la impresión en relieve, o la impresión de plantillas, o una combinación de al menos dos de las mismas. Según la invención, se prefiere que la pasta electro-conductiva se aplique por impresión, preferiblemente por serigrafía. En una realización de la invención, la pasta electro-conductiva se aplica a la cara frontal a través de una pantalla. En un aspecto de esta realización, la aplicación a través de una pantalla satisface al menos uno de los siguientes parámetros:

- unidad de malla en un intervalo de aproximadamente 290 a aproximadamente 400, preferiblemente en un intervalo de aproximadamente 310 a aproximadamente 390, más preferiblemente en un intervalo de aproximadamente 330 a aproximadamente 370;
- 35 - espesor del alambre en un intervalo de aproximadamente 10 a aproximadamente 30  $\mu\text{m}$ , preferiblemente en un intervalo de aproximadamente 12 a aproximadamente 25  $\mu\text{m}$ , más preferiblemente en un intervalo de aproximadamente 15 a aproximadamente 23  $\mu\text{m}$ ;
- Espesor de emulsión sobre malla (EoM, por sus siglas en inglés) en un intervalo de aproximadamente 5 a aproximadamente 25  $\mu\text{m}$ , preferiblemente en un intervalo de aproximadamente 10 a aproximadamente 20  $\mu\text{m}$ , más preferiblemente en un intervalo de aproximadamente 13 a aproximadamente el 18  $\mu\text{m}$
- 40 - espacio entre dedos en un intervalo de aproximadamente 1 a aproximadamente 3 mm, preferiblemente en un intervalo de aproximadamente 1,8 a aproximadamente 2,5 mm, más preferiblemente en un intervalo de aproximadamente 2 a aproximadamente 2,3 mm.

- 45 En una realización de la invención, se superpone la pasta electro-conductiva sobre la primera área en la cara frontal en un patrón de cuadrícula. En un aspecto de esta realización, este patrón de cuadrícula comprende dedos con un ancho en un intervalo de aproximadamente 20 a aproximadamente 100  $\mu\text{m}$ , preferiblemente en un intervalo de aproximadamente 30 a aproximadamente 80  $\mu\text{m}$ , más preferiblemente en un intervalo de aproximadamente 30 a aproximadamente 60  $\mu\text{m}$ , y barras de contacto en un ángulo con respecto al mismo en un intervalo de aproximadamente 70 a aproximadamente 90°, teniendo estas barras de contacto un ancho en un intervalo de
- 50 aproximadamente 0,5 a aproximadamente 2,5 mm, preferiblemente en un intervalo de aproximadamente 1 a aproximadamente 2 mm, más preferiblemente en un intervalo de aproximadamente 1,3 y aproximadamente 1,8 mm.

En una realización adicional de la invención, se superpone una pasta electro-conductiva en el área adicional en la cara posterior en un patrón de cuadrícula. En un aspecto de esta realización, este patrón de cuadrícula comprende dedos con un ancho en un intervalo de aproximadamente 20 a aproximadamente 180  $\mu\text{m}$ , preferiblemente en un intervalo de aproximadamente 30 a aproximadamente 100  $\mu\text{m}$ , más preferiblemente en un intervalo de aproximadamente 40 a aproximadamente 60  $\mu\text{m}$  y barras de contacto en un ángulo con respecto al mismo en un intervalo de aproximadamente 70 a aproximadamente 90°, teniendo estas barras un ancho en un intervalo de aproximadamente 0,5 a aproximadamente 2,5 mm, preferiblemente en un intervalo de aproximadamente 1 a aproximadamente 2 mm, más preferiblemente en un intervalo de aproximadamente 1,3 a aproximadamente 1,8 mm.

#### Cocción

10 Según la invención, se prefiere que los electrodos se formen aplicando primero una pasta electro-conductiva y luego cocciendo dicha pasta electro-conductiva para producir un cuerpo de electrodo sólido. El experto en la técnica conoce bien la cocción y se puede llevar a cabo de cualquier manera que conozca y que considere adecuada en el contexto de la invención. La cocción se debe llevar a cabo por encima de la temperatura de transición vítrea de al menos un vidrio, preferiblemente de dos o más vidrios, y lo más preferiblemente de todos los vidrios presentes en la pasta.

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

- temperatura de mantenimiento medida según el método titulado "perfil de temperatura en el horno de cocción" dado a continuación, en un intervalo de aproximadamente 700 a aproximadamente 900°C, preferiblemente en un intervalo de aproximadamente 730 a aproximadamente 880°C;

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

20 Según la invención, se prefiere que la cocción se lleve a cabo con un tiempo de mantenimiento en un intervalo de aproximadamente 10 s a aproximadamente 2 minutos, más preferiblemente en un intervalo de aproximadamente 25 s a aproximadamente 90 s, y lo más preferiblemente en un intervalo de aproximadamente 40 s a aproximadamente 1 minuto.

25 La cocción de las pastas electro-conductivas en las caras frontal y posterior se puede llevar a cabo de forma simultánea o secuencial. La cocción simultánea es apropiada si las pastas electro-conductivas aplicadas a ambas caras tienen condiciones de cocción óptimas similares, preferiblemente idénticas. Cuando sea apropiado, según la invención se prefiere que la cocción se lleve a cabo de forma simultánea. Cuando la cocción se efectúa de forma secuencial, según la invención se prefiere que primero se aplique y se cueza la pasta electro-conductiva posterior, seguido de la aplicación y cocción de la pasta electro-conductiva en la cara frontal.

#### 30 Célula solar

Una contribución para lograr al menos uno de los objetos descritos anteriormente se hace por una célula solar obtenible mediante un proceso según la invención. Las células solares preferidas según la invención son aquellas que tienen una alta eficiencia en términos de la proporción de la energía total de luz incidente convertida en energía eléctrica, y que son ligeras y duraderas, preferiblemente una célula solar de tipo n. Como se ejemplifica en Figura 2, la configuración de capas para la célula solar es la siguiente: (i) Electrodo frontal, (ii) Revestimiento antirreflectante, (iii) Capa de pasivación frontal, (iv) Capa frontal dopada, (v) Límite de unión p-n, (vi) Capa posterior dopada, (vii) Capa posterior altamente dopada, (viii) Capa de pasivación posterior, (ix) Electrodo posterior. De esta configuración común de capas se pueden omitir las capas individuales, o las capas individuales que 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 capa única actúa como capa antirreflectante y capa de pasivación. Como se ejemplifica en la Figura 1, otra configuración de capas es la siguiente: (I) Electrodo frontal, (II) Capa dopada frontal, (III) Límite de unión p-n, (IV) Capa dopada posterior, (V) Electrodo posterior.

#### Revestimiento antirreflectante

45 Según la invención, se puede aplicar un revestimiento antirreflectante como la capa externa y, a menudo, como la capa más externa antes del electrodo en la cara frontal de la célula solar. Los revestimientos antirreflectantes preferidos según la invención son aquellos que disminuyen la proporción de luz incidente reflejada por la cara frontal y aumentan la proporción de luz incidente que cruza la cara frontal para ser absorbida por la oblea. Los revestimientos antirreflectantes que dan lugar a una relación de absorción/reflexión favorable, son susceptibles al grabado por la pasta electro-conductiva empleada, pero son resistentes a las temperaturas requeridas para la cocción de la pasta electro-conductiva, y no contribuyen a una mayor recombinación de electrones y huecos en la proximidad de la interfaz del electrodo. Se pueden emplear todos los revestimientos antirreflectantes conocidos por el experto en la técnica y que él considere adecuados en el contexto de la invención. Revestimientos antirreflectantes preferidos según la invención son  $\text{SiN}_x$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_2$ , o mezclas de al menos dos de los mismos y/o combinaciones de al menos dos capas de los mismos, donde el  $\text{SiN}_x$  es particularmente preferido, en particular cuando se emplea una oblea de Si.

55 El espesor de los revestimientos antirreflectantes se ajusta a la longitud de onda de la luz apropiada. Según la invención, se prefiere que los revestimientos antirreflectantes tengan un espesor en un intervalo de aproximadamente

20 a aproximadamente 300 nm, más preferiblemente en un intervalo de aproximadamente 40 a aproximadamente 200 nm, y lo más preferiblemente en un intervalo de aproximadamente 60 a aproximadamente 90 nm.

#### Capas de pasivación

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

15 Una única capa puede servir como capa antirreflectante y capa de pasivación. En una realización de la invención, está presente una o más capas que actúa como capa antirreflectante y/o capa de pasivación entre la capa dopada de tipo p y la primera pasta superpuesta en el precursor de células solares. En un aspecto de esta realización, al menos una de las capas que funcionan como capa antirreflectante y/o capa de pasivación comprende SiN<sub>x</sub>, en donde x representa un número positivo, pero no necesariamente entero.

#### Capas protectoras adicionales

20 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.

25 La célula puede ser encapsulada para proporcionar protección química. Las encapsulaciones son bien conocidas por el experto en la técnica y se puede emplear cualquier encapsulación que conozca, y que considere adecuada en el contexto de la invención. Según la invención, se prefieren polímeros transparentes, a menudo denominados resinas termoplásticas transparentes, como material de encapsulación, si está presente tal encapsulación. Polímeros transparentes preferidos en este contexto son, por ejemplo, caucho de silicona y poli(acetato de vinilo etileno) (PVA, por sus siglas en inglés).

30 Se puede añadir una lámina de vidrio transparente al frente de la célula solar para brindar protección mecánica a la cara frontal de la célula. Las láminas de vidrio transparente son bien conocidas por el experto en la técnica y cualquier lámina de vidrio transparente que conozca y que considere adecuada en el contexto de la invención se puede emplear como protección en la cara frontal de la célula solar.

35 Se puede añadir un material de protección posterior a la cara posterior de la célula solar para brindar protección mecánica. Los materiales de protección posterior son bien conocidos por el experto en la técnica y cualquier material de protección posterior que sea conocido por el experto en la técnica y que considere adecuado en el contexto de la invención se puede emplear como protección en la cara posterior de la célula solar. Materiales de protección posterior preferidos según la invención son aquellos que tienen buenas propiedades mecánicas y resistencia a la intemperie. Materiales de protección posterior preferidos según la invención son poli(tereftalato de etileno) con una capa de poli(fluoruro de vinilo).

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

#### Paneles solares

45 Una contribución para lograr al menos uno de los objetos mencionados anteriormente se hace por un módulo que comprende al menos una célula solar obtenida como se describe anteriormente, en particular según al menos una de las realizaciones descritas anteriormente, y al menos una célula solar adicional. Según la invención, se pueden disponer espacialmente una multiplicidad de células solares y conectarlas eléctricamente para formar una disposición colectiva llamada módulo. Los módulos preferidos según la invención pueden tomar varias formas, preferiblemente una superficie rectangular conocida como panel solar. El experto en la técnica conoce una gran variedad de formas de conectar eléctricamente las células solares, así como una gran variedad de formas de organizar y colocar dichas 50 células para formar disposiciones colectivas, y puede emplear cualesquiera de los métodos conocidos por él y que considere adecuados en el contexto de la invención. Métodos preferidos según la invención son aquellos que dan como resultado una baja relación de masa a potencia de salida, una baja relación de volumen a potencia de salida, y una alta durabilidad. El aluminio es el material preferido para la fijación mecánica de las células solares según la invención.

55

**Descripción de los dibujos**

La invención se explica ahora por medio de figuras que están destinadas únicamente para ilustración, y no se deben considerar como limitantes del alcance de la invención. En resumen,

La Figura 1 muestra una vista en sección transversal de la configuración de capas mínima para una célula solar,

5 La Figura 2 muestra una vista en sección transversal de una configuración de capas común para una célula solar,

Las Figuras 3a, 3b y 3c juntas ilustran el proceso de cocción de una pasta lateral frontal,

La Figura 4 muestra la posición de los cortes para el método de prueba mostrado a continuación para medir la resistencia de contacto específica.

10 La Figura 1 muestra una vista en sección transversal de una célula solar 100, y representa la configuración de capas mínima requerida para una célula solar según la invención. Comenzando desde la cara posterior y continuando hacia la cara frontal, la célula solar 100 comprende un electrodo posterior 104, una capa dopada posterior 106, un límite de unión p-n 102, una capa dopada frontal 105 y un electrodo frontal 103, en donde 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 desviar el límite de unión p-n 102. La capa dopada posterior 106 y la capa dopada frontal 105 juntas constituyen una oblea de Si dopado sencilla 101. En el caso de que 100 represente una celda de tipo n, el electrodo posterior 104 es preferiblemente un electrodo de plata, la capa dopada posterior 106 es preferiblemente Si dopado ligeramente con P, la capa dopada frontal 105 es preferiblemente Si dopado fuertemente con B y el electrodo frontal 103 es preferiblemente un electrodo mixto de plata y aluminio. En el caso de que 100 represente una celda tipo p, el electrodo posterior 104 es preferiblemente un electrodo mixto de plata y aluminio, la capa dopada posterior 106 es preferiblemente Si ligeramente dopado con B, la capa dopada frontal 105 es preferiblemente Si dopado fuertemente con P y el electrodo frontal 103 es preferiblemente un electrodo de plata y aluminio. El electrodo frontal 103 se ha representado en la Figura 1 como consistente en tres cuerpos puros 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 aquellos que consisten en tres cuerpos.

25 La Figura 2 muestra una vista en sección transversal de una configuración de capas común para una célula solar 200 según la invención (excluyendo las capas adicionales que sirven únicamente para protección química y mecánica). Comenzando desde la cara posterior y continuando hacia la cara frontal, la célula solar 200 comprende un electrodo posterior 104, una capa de pasivación posterior 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 de pasivación frontal 207, una capa antirreflectante 209, dedos del electrodo frontal 214 y barras de contacto del electrodo de contacto frontal 215, en donde los dedos del electrodo frontal penetran a través de la capa antirreflectante 209 y de la capa de pasivación frontal 207 y en la capa frontal dopada 105 lo suficiente para formar un buen contacto eléctrico con la capa dopada frontal, pero no tan lejos como para desviar el límite de unión p-n 102. En el caso de que 200 represente una celda de tipo n, el electrodo posterior 104 es preferiblemente un electrodo de plata, la capa posterior altamente dopada 210 es preferiblemente Si fuertemente dopado con P, la capa dopada posterior 106 es preferiblemente Si ligeramente dopado con P, la capa dopada frontal 105 es preferiblemente Si fuertemente dopado con B, la capa antirreflectante 209 es preferiblemente una capa de nitruro de silicio y los dedos del electrodo frontal y las barras de contacto 214 y 215 son preferiblemente una mezcla de plata y aluminio. En el caso de que 200 represente una celda de tipo p, el electrodo posterior 104 es preferiblemente un electrodo mixto de plata y aluminio, la capa posterior altamente dopada 210 es preferiblemente Si fuertemente dopado con B, la capa dopada posterior 106 es preferiblemente Si ligeramente dopado con B, la capa dopada frontal 105 es preferiblemente Si fuertemente dopado con P, la capa antirreflectante 209 es preferiblemente una capa de nitruro de silicio y los dedos del electrodo frontal y las barras de contacto 214 y 215 son preferiblemente de plata. La Figura 2 es esquemática y la invención no limita el número de dedos del electrodo frontal a tres tal como se muestra. Esta vista en sección transversal es incapaz de mostrar efectivamente la multitud de barras de contacto del electrodo frontal 215 dispuestas en líneas paralelas perpendiculares a los dedos del electrodo frontal 214.

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

50 La Figura 3a ilustra una oblea antes de la aplicación del electrodo frontal, 300a. Comenzando desde la cara posterior y continuando hacia la cara frontal de la oblea antes de la aplicación del electrodo frontal 300a, opcionalmente comprende capas adicionales en la cara posterior 311, una capa posterior dopada 106, un límite unión p-n 102, una capa frontal dopada 105, y capas adicionales en la cara frontal 312. Las capas adicionales en la cara posterior 311 pueden comprender cualesquiera 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 antirreflectante, o ninguna de las anteriores.

La Figura 3b muestra una oblea con pasta electro-conductiva aplicada a la cara frontal antes de la cocción 300b. Además de las capas presentes en 300a escritas anteriormente, en la superficie de la cara frontal está presente una pasta electro-conductiva 313.

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

10 En las Figuras 3b y 3c, se muestran esquemáticamente la pasta electro-conductiva aplicada 313 y los electrodos frontales 103 que están presentes como tres cuerpos. Esta es una forma puramente esquemática de representar una cobertura no completa de la cara frontal por la pasta/electrodos, y la invención no limita que la pasta/electrodos estén presentes como tres cuerpos.

La Figura 4 muestra la posición de los cortes 421 en relación con las líneas de los dedos 422 en la oblea 420 para el método de prueba mostrado a continuación para medir la resistencia de contacto específica.

### Métodos de prueba

15 En la invención se usan los siguientes métodos de prueba. En ausencia de un método de prueba, se aplica el método de prueba de la norma ISO para la característica que se va a medir que sea el más cercano a la fecha de presentación más temprana de la presente solicitud. En ausencia de condiciones de medición distintas, se aplican la temperatura y presión ambiente estándar (SATP, por sus siglas en inglés) (temperatura de 298,15 K y una presión absoluta de 100 kPa).

#### 20 Viscosidad

Las mediciones de viscosidad se realizaron usando el "Haake Rheostress 600" de Thermo Fischer Scientific Corp. equipado con una placa de plana MPC60 Ti y una placa de cono C 20/0,5° Ti y el programa informático "Haake RheoWin Job Manager 4.30.0". Después de establecer el punto cero de la distancia, se colocó una muestra de pasta suficiente para la medición en la placa plana. El cono se movió a las posiciones de medición con una distancia de separación de 0,026 mm, y se eliminó el exceso de material con una espátula. La muestra se equilibró a 25°C durante tres minutos, y comenzó la medición rotacional. La velocidad de cizalla se incrementó de 0 a 20 s<sup>-1</sup> en 48 s y 50 puntos de medición equidistantes, y se incrementó adicionalmente a 150 s<sup>-1</sup> en 312 s y 156 puntos de medición equidistantes. Después de un tiempo de espera de 60 s a una velocidad de cizalla de 150 s<sup>-1</sup>, se redujo la velocidad de cizalla de 150 s<sup>-1</sup> a 20 s<sup>-1</sup> en 312 s y 156 puntos de medición equidistantes, y se redujo aún más a 0 en 48 s y 50 puntos de medición equidistantes. Se activaron la corrección del micro torque, el control de la micro tensión, y la corrección de la inercia de la masa. La viscosidad se proporciona como el valor medido a una velocidad de cizalla de 100 s<sup>-1</sup> de la pendiente descendente de cizalla.

#### Área de la superficie específica

35 Las mediciones BET (por sus siglas en inglés) para determinar el área de la superficie específica de las partículas se hacen según la norma DIN ISO 9277: 1995. Para la medición se usa un Gemini 2360 (de Micromeritics) que funciona según el método SMART (por sus siglas en inglés) (Método de sorción con velocidad de dosificación adaptativa). Como material de referencia, se usa el óxido de aluminio alfa CRM BAM-PM-102 disponible de BAM (Bundesanstalt für Materialforschung und-prüfung). Se añaden barras de relleno a las cubetas de referencia y de muestra para reducir el volumen muerto. Se montan las cubetas en el aparato BET. Se determina la presión de vapor de saturación de gas nitrógeno (N<sub>2</sub> 5.0). Se pesa una muestra en una cubeta de vidrio en una cantidad tal que la cubeta con las varillas de relleno esté completamente llena y se cree un mínimo de volumen muerto. La muestra se mantiene a 80°C durante 2 horas para secarla. Después de enfriarla se registra el peso de la muestra. La cubeta de vidrio que contiene la muestra se monta en el aparato de medición. Para desgasificar la muestra, se evacua la misma a una velocidad de bombeo seleccionada de modo que no se aspire material a la bomba. Para el cálculo se usa la masa de la muestra después de la desgasificación. El volumen muerto se determina usando gas helio (He 4.6). Las cubetas de vidrio se enfrían a 77 K usando un baño de nitrógeno líquido. Para la adsorción, se usa N<sub>2</sub> 5.0 con un área de sección transversal molecular de 0,162 nm<sup>2</sup> a 77 K para el cálculo. Se realiza un análisis multipunto con 5 puntos de medición, y el área de la superficie específica resultante se da en m<sup>2</sup>/g.

#### Resistencia de contacto específica

50 En una sala con aire acondicionado a una temperatura de 22 ± 1°C, se equilibran todos los equipos y materiales antes de la medición. Para medir la resistencia de contacto específica de los electrodos de plata cocidos en la capa dopada frontal de una célula solar de silicio, se usa un "GP4-Test Pro" equipado con el paquete de programa informático "GP-4 Test 1.6.6 Pro" de la compañía GP solar GmbH. Este dispositivo aplica el principio de medición de 4 puntos y estima la resistencia de contacto específica por el método de la longitud de transferencia (TLM, por sus siglas en inglés). Para medir la resistencia de contacto específica, se cortan dos tiras de 1 cm de ancho de la oblea perpendiculares a las líneas de los dedos impresos de la oblea como se muestra en la Figura 4. El ancho exacto de cada tira se mide con un micrómetro con una precisión de 0,05 mm. El ancho de los dedos de plata cocidos se mide en 3 puntos diferentes

de la tira con un microscopio digital "VHX-600D" equipado con una lente de gran aumento VH-Z100R de la compañía Keyence Corp. En cada punto, se determina el ancho diez veces por una medida de 2 puntos. El valor del ancho del dedo es el promedio de las 30 mediciones. El paquete de programa informático usa el ancho de los dedos, el ancho de la tira, y la distancia entre los dedos impresos para calcular la resistencia de contacto específica. La corriente de medición se ajusta a 14 mA. Se instala un cabezal de medición de contacto múltiple (número de pieza 04.01.0016) adecuado para contactar con 6 líneas de dedos adyacentes y se pone en contacto con los 6 adyacentes. La medición se realiza en 5 puntos distribuidos equitativamente en cada tira. Después de iniciar la medición, el programa informático determina el valor de la resistencia de contacto específica ( $m\Omega \cdot cm^2$ ) para cada punto en las tiras. El promedio de los diez puntos se toma como el valor para la resistencia de contacto específica.

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

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

Nivel de agente dopante

Los niveles de agente dopante se miden usando espectroscopia de masas de iones secundarios.

25 Eficiencia, factor de relleno, voltaje de circuito abierto, resistencia de contacto, y resistencia en serie

La célula solar de muestra se caracteriza usando un medidor-IV comercial "cetusPV-CTL1" de Halm Elektronik GmbH. Todas las partes del equipo de medición, así como la célula solar a probar, se mantuvieron a  $25^\circ C$  durante la medición eléctrica. Esta temperatura siempre se mide simultáneamente en la superficie de la célula durante la medición real mediante una sonda de temperatura. La lámpara de arco de Xe simula la luz solar con una intensidad AMI.5 conocida de  $1.000$   $W/m^2$  en la superficie de la célula. Para llevar el simulador a esta intensidad, la lámpara se enciende varias veces en un corto período de tiempo hasta que alcanza un nivel estable controlado por el programa informático "PVCTControl 4.313.0" del medidor-IV. El medidor IV de Halm usa un método de contacto multipunto para medir la corriente (I) y el voltaje (V) para determinar la curva IV de la célula. Para ello, se coloca la célula solar entre las sondas de contacto multipunto de tal manera que los dedos de la sonda estén en contacto con las barras de contacto de la célula. El número de líneas de la sonda de contacto se ajusta al número de barras de contacto en la superficie de la célula. Todos los valores eléctricos se determinaron directamente a partir de esta curva de forma automática por el paquete de programa informático implementado. Como un estándar de referencia, se prueba una célula solar calibrada del ISE Freiburg que consta de las mismas dimensiones de área, del mismo material de oblea, y se procesó usando la misma disposición lateral frontal, y los datos se compararon con los valores certificados. Se miden al menos 5 obleas procesadas de la misma manera y los datos se interpretan calculando el promedio de cada valor. El programa informático PVCTControl 4.313.0 proporciona valores de eficiencia, factor de relleno, corriente de cortocircuito, resistencia en serie, y voltaje de circuito abierto.

Perfil de temperatura en el horno de cocción

El perfil de temperatura para el proceso de cocción se midió con un registrador de datos Datapaq DQ 1860 A de Datapaq Ltd., Cambridge, Reino Unido, conectado a un conjunto de prueba para obleas 1-T/C 156 mm SQ de Despatch (n.º de pieza DES-300038). El registrador de datos está protegido por una caja de protección TB7250 de Datapaq Ltd., Cambridge, Reino Unido, y está conectado a los cables del termopar del conjunto de prueba para obleas. El simulador de células solares se colocó en la cinta del horno de cocción directamente detrás de la última oblea, de modo que se midió con precisión el perfil de temperatura medido del proceso de cocción. El registrador de datos blindado siguió el ensamblaje de la prueba de obleas a una distancia de unos 50 cm para no afectar la estabilidad del perfil de temperatura. Los datos se registraron por el registrador de datos, y posteriormente se analizaron usando una computadora con el programa informático Datapaq Insight Reflow Tracker V7.05 de Datapaq Ltd. Cambridge, Reino Unido.

## Determinación de la composición elemental

## Procedimiento de digestión:

## 1. Procedimiento de digestión ácida US EPA 3050B:

5 Mezclar bien la muestra hasta lograr homogeneidad y proceder a su tamizado, si es apropiado y necesario, usando un tamiz USS #10. Todo el equipo usado para la homogeneización se debe limpiar según las instrucciones de la Sección 6.0 para minimizar el potencial de contaminación cruzada. Para cada procedimiento de digestión, pesar con una precisión de 0,01 g y transferir una muestra de 1-2 g (peso húmedo) o una muestra de 1 g (peso seco) a un recipiente de digestión. Para muestras con alto contenido de líquido, se puede usar un tamaño de muestra más grande siempre que se complete la digestión.

10 Para la digestión de las muestras para el análisis por ICP-AES (por sus siglas en inglés), añadir 10 ml de HNO<sub>3</sub>:HCl 1:1, mezclar la suspensión, y cubrir con un dispositivo de recuperación de vapor o vidrio de reloj. Calentar la muestra a 95°C ± 5°C y someter a reflujo durante 10 a 15 minutos sin hervir. Dejar que la muestra se enfríe, añadir 5 ml de HNO<sub>3</sub> concentrado, volver a colocar la cubierta y poner a reflujo durante 30 minutos. Si se generan humos marrones, esto indica la oxidación de la muestra por parte del HNO<sub>3</sub>, repetir este paso (adición de 5 ml de HNO<sub>3</sub> concentrado) una y otra vez hasta que la muestra no emita humos marrones, lo que indica la reacción completa con el HNO<sub>3</sub>. El uso de un vidrio de reloj acanalado o de un sistema de recuperación de vapor permite que se evapore la disolución hasta aproximadamente 5 ml sin hervir o permite que se caliente a 95°C ± 5°C sin hervir durante dos horas. Mantener en todo momento una cobertura de disolución sobre el fondo del recipiente.

20 Una vez que se haya enfriado la muestra, añadir 2 ml de agua y 3 ml de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> al 30%. Cubrir el recipiente con un vidrio de reloj o dispositivo de recuperación de vapor, y colocar de nuevo el recipiente cubierto en la fuente de calor para que se caliente y comience la reacción del peróxido. Se debe tener cuidado para garantizar que no se produzcan pérdidas debido a una efervescencia excesivamente vigorosa. Calentar hasta que desaparezca la efervescencia, y enfriar el recipiente.

25 Continuar añadiendo H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> al 30% en alícuotas de 1 ml con calentamiento hasta que la efervescencia sea mínima o hasta que la apariencia general de la muestra no sufra cambios.

Cubrir la muestra con un vidrio de reloj acanalado o con un dispositivo de recuperación de vapor, y continuar calentando el material resultante de la digestión con peróxido-ácido hasta que el volumen se haya reducido a aproximadamente 5 ml, o se caliente a 95°C ± 5°C sin hervir durante dos horas. Mantener en todo momento una cobertura de disolución sobre el fondo del recipiente.

30 Para el análisis de las muestras por ICP-AES (por sus siglas en inglés), añadir 10 ml de HCl concentrado al material resultante de la digestión de la muestra, y cubrirlo con un vidrio de reloj o con un dispositivo de recuperación de vapor. Colocar la muestra en/dentro de la fuente de calentamiento y a reflujo a 95°C ± 5°C durante 15 minutos.

Filtrar el material de la digestión a través de papel de filtro Whatman No. 41 (o equivalente) y recoger el filtrado en un matraz volumétrico de 100 ml. Completar el volumen, y analizar por ICP-AES (por sus siglas en inglés).

## 35 2. Digestión por microondas

La digestión se realizó en un Sistema de Digestión por Microondas usando un recipiente de cuarzo de alta presión (XQ80). La digestión libre de HF hizo que fuera aplicable un recipiente de cuarzo. En cada digestión, se mezclaba una cantidad pesada con precisión de 0,05 g de una muestra de carbón con 3 ml de ácido en un recipiente limpio. Después de sellar las uniones de la tapa, se encajaron las cuatro cubetas dentro de las camisas del recipiente y luego se montaron en la bandeja giratoria en un patrón simétrico para asegurar una irradiación uniforme. El perfil de calentamiento se controló por el programa de potencia predeterminada. Típicamente, la temperatura aumentaba desde la temperatura ambiente a 200°C en los primeros 30 minutos, y luego a aproximadamente 250°C en los últimos 30 minutos con una presión autógena de aproximadamente 7,5 MPa.

45 Una vez que se enfrió y despresurizó el recipiente, se transfirió cuidadosamente la disolución a un vaso de precipitados de teflón. A menos que se indique lo contrario, se evaporó la disolución en una plataforma de evacuado hasta una pequeña gota de líquido espeso (~0,1 g) a una temperatura inferior a 60°C calentándolo con dos lámparas de radiación infrarroja. Este procedimiento empleaba típicamente 5 h. El residuo se disolvió con HNO<sub>3</sub> 1 M, y luego se pasó a través de un filtro de PTFE (por sus siglas en inglés) con un tamaño de poro de 0,45 µm (Sterille Millex-HV de Millipore), y finalmente se diluyó con HNO<sub>3</sub> 1 M para el análisis instrumental. Debido a que se desconocía el grado de descomposición del HNO<sub>3</sub> en la digestión, el procedimiento de evaporación permitía que la disolución de la digestión se ajustara fácilmente a la concentración de HNO<sub>3</sub> de fondo y, en consecuencia, la disolución se podría analizar por un método de calibración externo. En todos los experimentos, las botellas de polipropileno usadas para almacenar las disoluciones se sumergieron en HNO<sub>3</sub> 1 M durante toda la noche, y se enjuagaron con agua ultrapura, y luego se secaron en una plataforma Clase 100.

55

## ES 2 694 125 T3

Equipo y condiciones de operación para el ICP-OES:

El análisis por ICP-OES (por sus siglas en inglés) se realizó en un Optima 7300 DV ICP-OES. Las condiciones de operación fueron las siguientes:

Plasma de acoplamiento inductivo con espectrómetro de emisión óptica

Modelo Optima 7300 DV ICP-OES

Marca Perkin Elmer

### 5 Conjuntos de Condiciones

Potencia RF 1.300 kW

Flujo de plasma 15,0 l/min

Flujo auxiliar 0,2 l/min

Flujo del nebulizador 0,8 l/min

Introducción de la muestra

Toma de muestra 15 s

Flujo de muestra 1,5 ml/min

Velocidad de bombeo 15 rpm

Tiempo de enjuague 15 s

Configuraciones generales

Replica 3

Procedimiento de análisis por ICP-AES:

Porción de prueba

- 10 La porción de prueba se puede obtener directamente a partir de la muestra de prueba o se puede diluir a partir de la muestra de prueba para acomodarse al intervalo de medición o diluir en la matriz. La acidez de la porción de prueba debe coincidir con la acidez de las disoluciones de calibración. Asegurar que todos los elementos estén presentes en una forma no volátil. Las especies volátiles se deben convertir a especies no volátiles, por ejemplo, oxidación de sulfuros por peróxido de hidrógeno.

### 15 Configuración del procedimiento

Ajustar los parámetros instrumentales del sistema ICP-AES (por sus siglas en inglés) según el manual del fabricante. Usar la disolución de optimización recomendada para optimizar o verificar la sensibilidad y la estabilidad del sistema. Verificar la calibración de la longitud de onda con la frecuencia que requiera el fabricante. Seleccionar las longitudes de onda para la medición y para restar la línea base.

- 20 Aplicar el método de calibración según el procedimiento estándar.

Medición de la muestra

- 25 Ejecutar una o más disoluciones de calibración y blancos de calibración, y determinar la función de calibración. Ejecutar la(s) disolución(es) de verificación de interferencia para establecer la corrección de interferencia o para verificar la presencia de interferencias. Ejecutar todas las muestras, incluidas las muestras enriquecidas si es necesario para la calibración de adición estándar. Ejecutar un blanco de calibración y una disolución de verificación de calibración, cada 25 muestras o menos, y al principio y al final de la ejecución de las muestras. Ejecutar al menos una muestra enriquecida (muestra original/extracto o muestra acuosa) para verificar la recuperación.

Ejecutar al menos un blanco de predigestión. Ejecutar al menos una muestra de predigestión por duplicado para verificar la falta de homogeneidad. Siempre que se encuentre una nueva matriz de muestra habitual, verificar:

- 30 - los efectos de la matriz por la ejecución de la muestra enriquecida o,  
- los efectos de la matriz por la ejecución de una muestra diluida cinco veces, y  
- el análisis de interferencias entre elementos en una longitud de onda diferente.

Considerar un cambio en la estrategia de calibración.

Cálculo

Calcular la concentración del elemento en la muestra acuosa:

$$\rho = (\rho_1 - \rho_0) f_d f_a$$

5 Calcular la concentración del elemento en la muestra sólida digerida:

$$W = (\rho_1 - \rho_0) f_a V / m$$

dónde:

$\rho$  concentración del elemento en la muestra acuosa en mg/l;

$\rho_1$  concentración del elemento en la muestra de prueba en mg/l;

10  $\rho_0$  concentración del elemento en el blanco en mg/l;

$f_d$  factor de dilución debido a la digestión de una muestra acuosa;

en todos los demás casos  $f_d = 1$ ;

$f_a$  factor de dilución de la porción de prueba;

$w$  fracción de masa del elemento en la muestra sólida en mg/kg;

15  $V$  volumen de la muestra de prueba (digestión) en l;

$m$  Masa de la muestra digerida en kg.

### Ejemplos

La invención se explica ahora por medio de ejemplos que están destinados únicamente para ilustración y no se deben considerar como limitantes del alcance de la invención.

20 Preparación de la pasta

Se fabricó una pasta mezclando, mediante 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  $\mu\text{m}$ ), vidrio según el ejemplo específico (Tabla 2) molido a un  $d_{50}$  de 2  $\mu\text{m}$ , óxido de zinc (Sigma Aldrich GmbH, número de artículo 204951). La pasta se hizo pasar varias veces hasta homogeneidad a través de un molino de 3 rodillos Exact 80 E con rodillos de acero inoxidable con un primer espacio de 120  $\mu\text{m}$  y un segundo espacio de 60  $\mu\text{m}$  con espacios progresivamente decrecientes a 20  $\mu\text{m}$  para el primer espacio y de 10  $\mu\text{m}$  para el segundo. La viscosidad se midió como se mencionó anteriormente, y se añadieron cantidades apropiadas de vehículo orgánico con la composición dada en la Tabla 1 para ajustar la viscosidad de la pasta a un objetivo en un intervalo de aproximadamente 16 a aproximadamente 20 Pas. Los % en peso de los constituyentes de la pasta se dan en la Tabla 3.

30 Síntesis del vidrio:

Las materias primas para los respectivos óxidos para la síntesis de los vidrios se obtuvieron de Sigma Aldrich. Estas incluyen óxido de plomo, óxido de bismuto (III), óxido de wolframio (VI), dióxido de telurio (IV), óxido de zinc, nitrato de plata, óxido de molibdeno (VI), dióxido de silicio, óxido de titanio (IV), ácido bórico, carbonato de litio, etc., y otras requeridas para la composición del vidrio. Las proporciones deseadas de las materias primas que totalizaban 100 g se mezclaron completamente en un mortero y maja automatizados, Modelo RM200 de Retsch, Alemania, durante 5 a 10 minutos, usando un mortero y maja de óxido de aluminio sinterizado. Esta mezcla de materias primas se transfirió luego a un crisol de 250 ml de alúmina de alta pureza. El crisol que contenía la mezcla de las materias primas se calentó en un horno eléctrico HTK 70/16 de Thermconcept, Alemania, con elementos calefactores de  $\text{MoSi}_2$  a una temperatura que oscilaba entre 800 y 1.200°C. Después de la fusión, la masa fundida de vidrio se dejó durante 10 a 120 minutos. Finalmente, la masa fundida de vidrio se vertió en un cubo de acero inoxidable con 1 a 5 litros de agua. Se decantó el exceso de agua, y se secó el vidrio a 80-90°C para obtener fritas de vidrio grueso con un tamaño que variaba de 0,1 mm a 10 mm.

Dimensionamiento del vidrio

45 Las fritas de vidrio grueso se molieron primero en un mortero y maja automatizados, Modelo RM200 de Retsch, Alemania, durante 5 a 10 minutos, usando un mortero y maja de óxido de aluminio sinterizado. Este paso produjo partículas que variaban de 100 micrones a 2 mm. El vidrio previamente molido se transfirió luego a un recipiente de molienda de óxido de aluminio sinterizado de 250 ml. A este tamaño de 8 mm, se añadieron medios de molienda YTZ

5 en una proporción típica de 1:4 a 1:12 (real 1:6) (vidrio:medio de molienda). La mezcla se molió en seco o en húmedo (en agua o en disolvente orgánico como alcohol). Este recipiente se colocó en el molino de bolas planetario Modelo PM400 de Retsch, Alemania, y se molió la mezcla a velocidades que variaban entre 30 y 400 min<sup>-1</sup> (real 100 min<sup>-1</sup>). El tiempo total de molienda osciló de 1 hora a 6 horas. En el caso de la molienda en húmedo, la suspensión se transfirió a una bandeja de vidrio y el disolvente se secó por evaporación a 80-90°C. El tamaño de partícula promedio obtenido por este método varía de 0,3 micrones a 10 micrones.

Tabla 1.- Constituyentes del vehículo orgánico.

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

Tabla 2.- Composición del vidrio - composición elemental dada en % en peso, basado en el peso total del vidrio

Ejemplo	W	O	Te	Pb	Si	P	B
1	6	37	0	0	46	4	7
2	6	24	0	40	19	4	7
3	6	23	3	40	17	4	7
Comparativo	0	39	0	0	50	4	7

Tabla 3.- Composición de la pasta

Constituyente de la pasta	Partículas de Ag	Vehículo orgánico	Vidrio	ZnO
% en peso en la pasta	85	9	5	1

10 Preparación de células solares y mediciones

Las pastas se aplicaron a obleas de silicio monocristalinas de tipo Cz-n con una cara frontal dopada con boro y una cara posterior dopada con fósforo. Las obleas tenían unas dimensiones de 156 × 156 mm<sup>2</sup> y una forma pseudo-cuadrada. Las obleas tenían una capa antirreflectante/pasivación de SiN<sub>x</sub> con un espesor de aproximadamente 75 nm en ambas caras. Las células solares usadas se texturizaron por grabado alcalino. La pasta del ejemplo se imprimió en la cara dopada de tipo p de la oblea usando una impresora de pantalla semiautomática X1 SL de Asys Group, EKRA Automatisierungssysteme ajustada con los siguientes parámetros de pantalla: malla 290, espesor de alambre 20 μm, emulsión sobre malla de 18 μm, 72 dedos, abertura de los dedos 60 μm, 3 barras de contacto, ancho de la barra de contacto 1,5 mm. Se imprimió una pasta de Ag disponible en el mercado, SOL9600A, disponible en Heraeus Precious Metals GmbH & Co. KG, en la cara posterior dopada de tipo n del dispositivo usando la misma impresora y los siguientes parámetros de pantalla: malla 325, espesor de alambre 30 μm, emulsión sobre malla de 18 μm, 156 dedos, abertura de los dedos 80 μm, 3 barras de contacto, ancho de la barra de contacto 1,5 mm. El dispositivo con los patrones impresos se secó durante 10 minutos a 150°C en un horno después de imprimir cada lado. Luego, se cocieron los sustratos con el lado dopado de tipo p hacia arriba en un horno Centrotherm DO-FF 8600-300 durante 1,5 min. Para cada ejemplo, la cocción se realizó con una temperatura de cocción máxima de 800°C. La eficiencia de la célula solar se midió y se muestra en la Tabla 4. Los Ejemplos 2 y 3 son según la invención.

Tabla 4.- Propiedades eléctricas de las células solares.

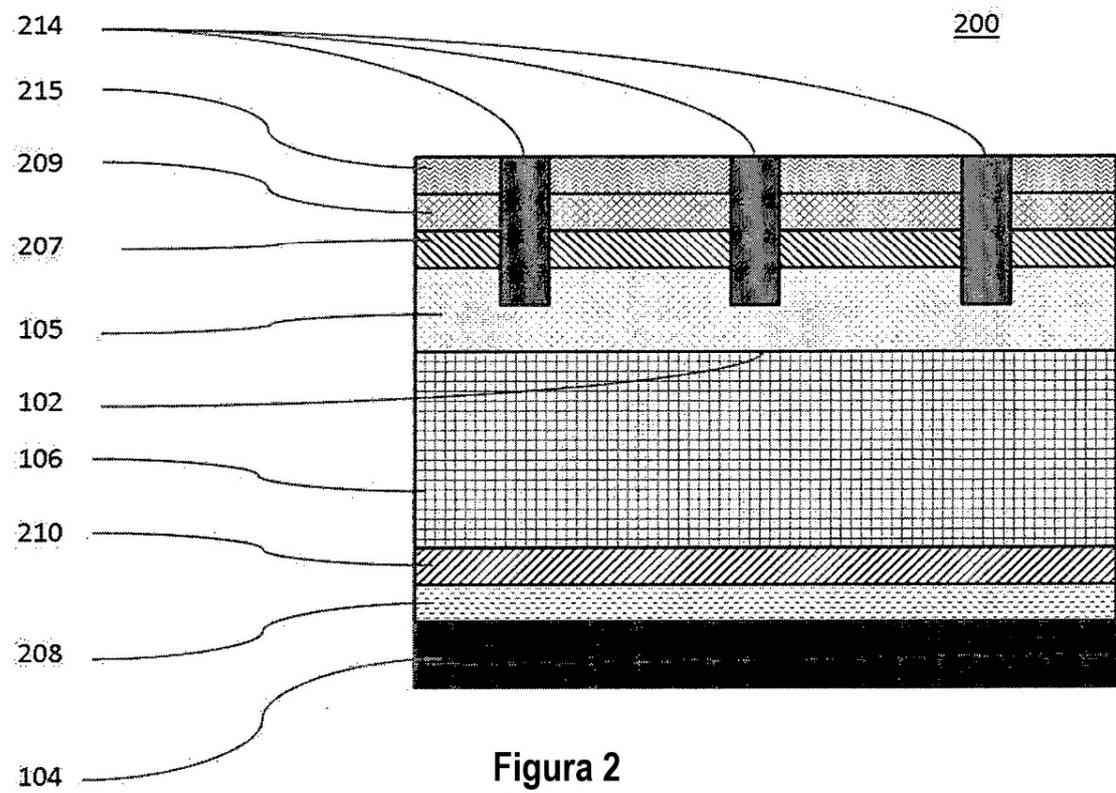
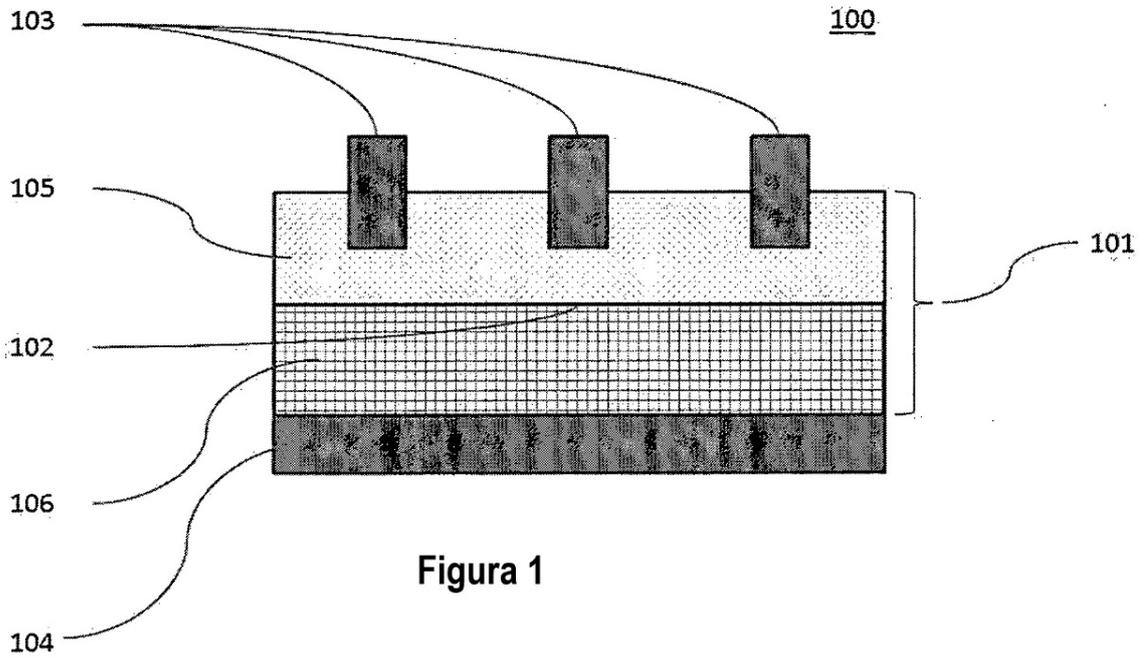
Ejemplo	Eficiencia de la célula
1	o
2	+
3	++
comparativo	--
Los resultados se muestran como: --; muy desfavorable, -; desfavorable, o; moderado, +; favorable, ++; muy favorable	

**Lista de referencias**

	100	Célula solar
	101	Oblea de Si dopado
	102	Límite de unión p-n
5	103	Electrodo frontal
	104	Electrodo posterior
	105	Capa dopada frontal
	106	Capa dopada posterior
	200	Células solares
10	207	Capa de pasivación frontal
	208	Capa de pasivación posterior
	209	Capa antirreflectante
	210	Capa posterior altamente dopada
	300	Oblea
15	311	Capas adicionales en la cara posterior
	312	Capas adicionales en la cara frontal
	313	Pasta electro-conductiva
	214	Dedos electrodos frontales
	215	Barras de contacto de electrodos frontales
20	420	Oblea
	421	Cortes
	422	Líneas de dedos

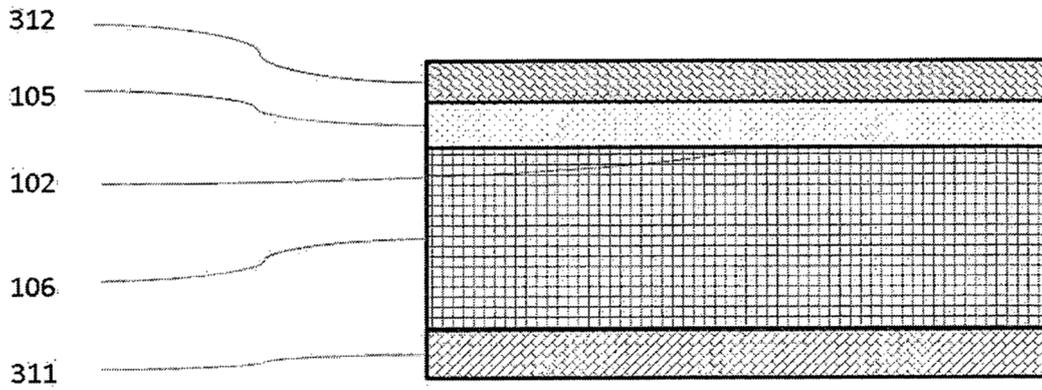
**REIVINDICACIONES**

- 1.- Un precursor que comprende al menos como partes precursoras:
- i) una oblea;
  - ii) una pasta electro-conductiva que al menos comprende como constituyentes de pasta:
- 5 a) partículas metálicas;
- b) un vidrio;
- c) un vehículo orgánico; y
- d) un aditivo;
- en donde el vidrio comprende lo siguiente:
- 10 i) Pb en el intervalo del 10 al 40% en peso;
- ii) W en el intervalo del 2 al 30% en peso;
- iii) O en el intervalo del 1 al 50% en peso;
- con el % en peso en cada caso basado en el peso total del vidrio.
- 2.- El precursor según la reivindicación 1, en donde el Pb está en el estado de oxidación 2.
- 15 3.- El precursor según la reivindicación 1 o 2, en donde el W está en el estado de oxidación 6.
- 4.- El precursor según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en donde el vidrio comprende Te.
- 5.- El precursor según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en donde las partículas metálicas son partículas de Ag.
- 20 6.- El precursor según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en donde el vidrio está presente en la pasta en el intervalo del 1% en peso al 6% en peso, basado en el peso total de la pasta.
- 7.- El precursor según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en donde la oblea es una oblea de Si.
- 8.- El precursor según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en donde la oblea comprende al menos una región dopada de tipo n y al menos una región dopada de tipo p.
- 9.- El precursor según la reivindicación 8, en donde la pasta se superpone sobre una región dopada de tipo p.
- 25 10.- El precursor según la reivindicación 8 o 9, en donde la pasta se superpone sobre una región dopada de tipo n.
- 11.- El precursor según cualquiera de las reivindicaciones 8 a 10, en donde la pasta se superpone sobre la cara frontal de la oblea.
- 12.- El precursor según cualquiera de las reivindicaciones 8 a 11, en donde la pasta se superpone sobre la cara posterior de la oblea.
- 30 13.- Un proceso para la preparación de una célula solar que comprende al menos las etapas:
- i) provisión de un precursor según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 12;
  - ii) cocción del precursor para obtener una célula solar.
- 14.- Una célula solar obtenible por el proceso según la reivindicación 13.
- 15.- Un módulo que comprende al menos una célula solar según la reivindicación 14 y al menos otra célula solar.



**Figura 3a**

300a



**Figura 3b**

300b

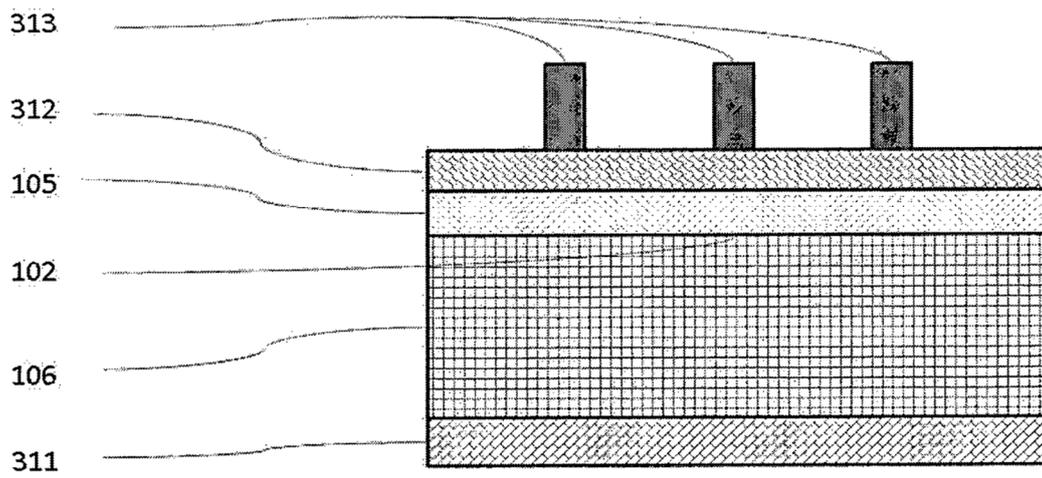


Figura 3c

300c

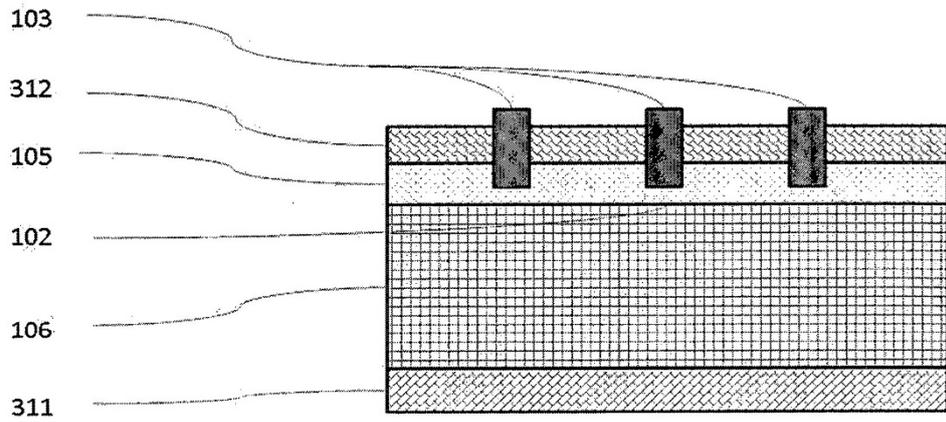


Figura 4

400

