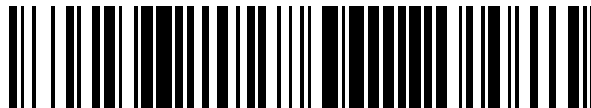


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 611 937**

51 Int. Cl.:

**H01L 31/04** (2006.01)

**H01L 31/0224** (2006.01)

**H01L 21/28** (2006.01)

**H01L 21/288** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **02.08.2007 PCT/JP2007/065127**

87 Fecha y número de publicación internacional: **14.12.2016 WO2008026415**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **02.08.2007 E 07791807 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **14.12.2016 EP 2058865**

54 Título: **Sustrato semiconductor, procedimiento de formación de electrodo, y procedimiento de fabricación de célula solar**

30 Prioridad:

**31.08.2006 JP 2006236499**

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

**11.05.2017**

73 Titular/es:

**SHIN-ETSU HANDOTAI CO., LTD. (50.0%)**

**2-1, Ohtemachi 2-chome**

**Chiyoda-ku, Tokyo , JP y**

**SHIN-ETSU CHEMICAL CO., LTD. (50.0%)**

72 Inventor/es:

**ISHIKAWA, NAOKI;**

**OJIMA, SATOYUKI;**

**OHTSUKA, HIROYUKI;**

**WATABE, TAKENORI;**

**SAISU, SHIGENORI y**

**UEGURI, TOYOHIRO**

74 Agente/Representante:

**CURELL AGUILÁ, Mireia**

ES 2 611 937 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

Sustrato semiconductor, procedimiento de formación de electrodo, y procedimiento de fabricación de célula solar.

5 **Campo técnico**

La presente invención se refiere a un sustrato semiconductor que presenta un electrodo formado sobre el mismo, y se refiere a un procedimiento para formar un electrodo sobre un sustrato semiconductor, y un procedimiento para fabricar una célula solar que lo utiliza.

10

**Técnica anterior**

La figura 3 representa la estructura de una célula solar típica en la técnica convencional. En un lado de superficie principal de un sustrato de Si de tipo p 21 hecho de Si monocristalino o policristalino que presenta un espesor de aproximadamente 0,25 mm está formada una capa emisora 22 (una capa n<sup>+</sup>) que presenta P o similar difundido en la misma en una profundidad de 0,1 μm a 0,5 μm, sobre la que está formado un revestimiento 23 antirreflector hecho de Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> o SiO<sub>2</sub> para reducir una reflectancia de superficie y un electrodo de superficie anterior 34 (es decir, un electrodo de superficie de recepción de luz) para extraer una corriente. En el otro lado de superficie (es decir, un lado de superficie posterior) del sustrato de Si está formada una capa de BSF (una capa p<sup>+</sup>) 25 que presenta Al o similar difundido en la misma a una alta concentración. Además, un electrodo de superficie posterior 26 está formado en la superficie posterior.

15

20

25

Al fabricar una célula solar de este tipo, por motivos de facilidad y un bajo coste, el electrodo de superficie anterior 34 está generalmente formado por impresión y cocción de la siguiente manera. Una pasta conductora que incorpora polvo de plata en la misma se utiliza generalmente como un material para el electrodo de superficie anterior. La pasta conductora se aplica mediante impresión serigráfica o similar, seguida de sinterización a una alta temperatura dentro de un horno de cocción, formando así un electrodo de superficie anterior. En un procedimiento de formación de electrodo tal, la pasta conductora que va a utilizarse normalmente incluye principalmente el polvo de plata, frita de vidrio, un vehículo orgánico, y un disolvente orgánico.

30

35

El electrodo de superficie de recepción de luz necesita presentar un área de ocupación pequeña y una baja resistencia de modo que no apantalla la luz, y por tanto, requiere ser un electrodo espeso que presenta un ancho de línea fino (es decir, una alta relación de aspecto). Sin embargo, es en principio difícil formar un electrodo que presenta una alta relación de aspecto mediante una impresión en el procedimiento de impresión serigráfica. Así, como medidas de resolución eficaz se conoce bien una estructura de electrodo de múltiples capas obtenida imprimiendo pastas de electrodo sobre un sustrato de célula solar en superposición una pluralidad de veces mediante impresión serigráfica, logrando así una alta relación de aspecto (véase, por ejemplo, la solicitud de patente japonesa abierta a consulta por el público n<sup>o</sup>. H11-103084).

40

El documento JP 11 312813 A da a conocer un procedimiento para formar un electrodo que presenta una estructura de múltiples capas sobre un sustrato semiconductor, en el que la pasta conductora para la capa de electrodo superior puede presentar un contenido de plata total del 95% en peso.

45

Sin embargo, cuando el electrodo que presenta la alta relación de aspecto se forma simplemente repitiendo la impresión serigráfica y el secado de las pastas de electrodo para una célula solar en la técnica convencional, como la estructura de electrodo de múltiples capas descrita anteriormente en la técnica convencional, ha surgido un problema; la contracción de una partícula de plata durante la sinterización induce a veces una rotura, haciendo así que el electrodo sea inoperativo. Además, ha surgido un problema; sucede la formación de espuma, grietas, combustión incompleta de un aglutinante orgánico contenido en la pasta conductora de una capa inferior (un lado del sustrato), o similar durante la sinterización de las pastas para un electrodo de múltiples capas, degradando las características del electrodo.

50

**Divulgación de la invención**

55

La presente invención se ha realizado a partir de los problemas descritos anteriormente, y un objetivo de la presente invención es formar un electrodo, que presenta una alta relación de aspecto y apenas experimenta un inconveniente tal como una rotura, sobre un sustrato semiconductor mediante un procedimiento sencillo.

60

La presente invención se ha realizado para resolver los problemas descritos anteriormente. La presente invención proporciona un sustrato semiconductor que presenta un electrodo formado sobre el mismo, incluyendo el electrodo por lo menos plata y frita de vidrio, incluyendo el electrodo: una estructura de múltiples capas constituida por una primera capa de electrodo unida directamente al sustrato semiconductor, y una capa de electrodo superior formada por al menos una capa y dispuesta sobre la primera capa de electrodo; en el que la capa de electrodo superior está formada mediante la cocción de una pasta conductora que presenta un contenido de plata total del 75% en peso o más y el 95% en peso o menos, siendo el contenido de partículas de plata que presentan un diámetro medio de partícula de 4 μm o superior y 8 μm o inferior con respecto al contenido de plata total en la capa de electrodo

65

superior mayor que aquel en la primera capa de electrodo, tal como se define adicionalmente en la reivindicación 1.

En el sustrato semiconductor que presenta el electrodo de la estructura de múltiples capas formado sobre el mismo, en el que la capa de electrodo superior está formada mediante la cocción de la pasta conductora que presenta un contenido de plata total del 75% en peso o más y del 95% en peso o menos, siendo el contenido de las partículas de plata que presentan un diámetro medio de partícula de 4  $\mu\text{m}$  o superior y 8  $\mu\text{m}$  o inferior con respecto al contenido de plata total en la capa de electrodo superior mayor que aquel en la primera capa de electrodo, es posible conseguir el sustrato semiconductor que presenta el electrodo que presenta una alta relación de aspecto y que apenas sufre un inconveniente tal como una rotura debido a la contracción de la partícula de plata. El electrodo que presenta la alta relación de aspecto puede exhibir una baja resistencia a pesar de una pequeña área ocupada sobre el sustrato semiconductor.

En este caso, resulta preferido que cada uno del contenido de las partículas de plata que presentan un diámetro medio de partícula de 0,5  $\mu\text{m}$  o superior e inferior a 4  $\mu\text{m}$  con respecto al contenido de plata total en la capa de electrodo superior y el contenido de las partículas de plata que presentan un diámetro medio de partícula de 4  $\mu\text{m}$  o superior y 8  $\mu\text{m}$  o inferior con respecto al contenido de plata total en la capa de electrodo superior sea del 20% en peso o más y el 80% en peso o menos. Además, es preferible que el contenido de las partículas de plata que presentan un diámetro medio de partícula inferior a 0,5  $\mu\text{m}$  o superior a 8  $\mu\text{m}$  con respecto al contenido de plata total en la capa de electrodo superior sea del 30% en peso o menos.

De este modo, cuando cada uno del contenido de las partículas de plata que presentan un diámetro medio de partícula de 0,5  $\mu\text{m}$  o superior e inferior a 4  $\mu\text{m}$  con respecto al contenido de plata total en la capa de electrodo superior y el contenido de las partículas de plata que presentan un diámetro medio de partícula de 4  $\mu\text{m}$  o superior y 8  $\mu\text{m}$  o inferior con respecto al contenido de plata total en la capa de electrodo superior es del 20% en peso o más y el 80% en peso o menos, o cuando el contenido de las partículas de plata que presentan un diámetro medio de partícula inferior a 0,5  $\mu\text{m}$  o superior a 8  $\mu\text{m}$  con respecto al contenido de plata total en la capa de electrodo superior es del 30% en peso o menos, es posible suprimir de manera más fiable la contracción de la partícula de plata en el electrodo mientras que se mantiene la alta relación de aspecto.

Además, el sustrato semiconductor descrito anteriormente puede comprender una unión p-n, en la que el electrodo es un electrodo de superficie anterior, en un lado del cual se dispone un revestimiento antirreflector, y un electrodo de superficie posterior está formado sobre una superficie posterior, para servir así como una célula solar.

El sustrato semiconductor descrito anteriormente sirve como la célula solar, en la que el electrodo de superficie anterior (es decir, el electrodo de superficie de recepción de luz) puede presentar la alta relación de aspecto y apenas puede experimentar un inconveniente tal como una rotura debido a la contracción de la partícula de plata. En la célula solar descrita anteriormente, puede reducirse un área del electrodo de superficie de recepción de luz ocupada en una superficie de recepción de luz, ocupando así un área de recepción de luz grande, para mejorar la eficacia de conversión. Además, como el electrodo presenta la baja resistencia, puede reducirse una resistencia en serie, logrando así la célula solar de una alta eficacia.

Además, la presente invención proporciona un procedimiento para formar un electrodo que presenta una estructura de múltiples capas sobre un sustrato semiconductor mediante impresión serigráfica con una pasta conductora que incluye por lo menos polvo de plata, frita de vidrio, un vehículo orgánico, y un disolvente orgánico, incluyendo el procedimiento: formar una primera capa de electrodo unida directamente al sustrato semiconductor; y formar una capa de electrodo superior constituida por al menos una capa sobre la primera capa de electrodo; en el que la pasta conductora para la capa de electrodo superior, para formar la capa de electrodo superior, presenta un contenido de plata total del 75% en peso o más y el 95% en peso o menos, y el contenido de partículas de plata que presentan un diámetro medio de partícula de 4  $\mu\text{m}$  o superior y 8  $\mu\text{m}$  o inferior con respecto al contenido de plata total en la pasta conductora para la capa de electrodo superior es mayor que aquel en la pasta conductora para la primera capa de electrodo, para formar la primera capa de electrodo, formando así el electrodo.

De este modo, en el procedimiento para formar el electrodo que presenta la estructura de múltiples capas, en la que la pasta conductora para la capa de electrodo superior presenta un contenido de plata total del 75% en peso o más y el 95% en peso o menos, y el contenido de partículas de plata que presentan un diámetro medio de partícula de 4  $\mu\text{m}$  o superior y 8  $\mu\text{m}$  o inferior con respecto al contenido de plata total en la pasta conductora para la capa de electrodo superior es mayor que aquel en la pasta conductora para la primera capa de electrodo, para formar la primera capa de electrodo, formando así el electrodo, es posible conseguir el electrodo que presenta una alta relación de aspecto y que apenas experimenta un inconveniente tal como una rotura debido a la contracción de la partícula de plata de una manera sencilla. El electrodo que presenta la alta relación de aspecto puede exhibir una baja resistencia a pesar de una pequeña área ocupada sobre el sustrato semiconductor.

En este caso, resulta preferido que cada uno del contenido de las partículas de plata que presentan un diámetro medio de partícula de 0,5  $\mu\text{m}$  o superior e inferior a 4  $\mu\text{m}$  con respecto al contenido de plata total en la pasta conductora para la capa de electrodo superior y el contenido de las partículas de plata que presentan un diámetro

5 medio de partícula de 4  $\mu\text{m}$  o superior y 8  $\mu\text{m}$  o inferior con respecto al contenido de plata total en la capa de electrodo superior sea del 20% en peso o más y el 80% en peso o menos. Además, resulta preferido que el contenido de las partículas de plata que presentan un diámetro medio de partícula inferior a 0,5  $\mu\text{m}$  o superior a 8  $\mu\text{m}$  con respecto al contenido de plata total en la pasta conductora para la capa de electrodo superior sea del 30% en peso o menos.

10 De este modo, cuando cada uno del contenido de las partículas de plata que presentan un diámetro medio de partícula de 0,5  $\mu\text{m}$  o superior e inferior a 4  $\mu\text{m}$  con respecto al contenido de plata total en la pasta conductora para la capa de electrodo superior y el contenido de las partículas de plata que presentan un diámetro medio de partícula de 4  $\mu\text{m}$  o superior y 8  $\mu\text{m}$  o inferior con respecto al contenido de plata total en la capa de electrodo superior es del 20% en peso o más y el 80% en peso o menos, o cuando el contenido de las partículas de plata que presentan un diámetro medio de partícula inferior a 0,5  $\mu\text{m}$  o superior a 8  $\mu\text{m}$  con respecto al contenido de plata total en la pasta conductora para la capa de electrodo superior es del 30% en peso o menos, es posible formar de manera más fiable el electrodo que presenta la alta relación de aspecto en el que puede suprimirse la contracción de la partícula de plata.

15 Adicionalmente, resulta preferido que el vehículo orgánico contenido en la pasta conductora para la primera capa de electrodo presente una temperatura de inicio de descomposición superior a 250°C, y el vehículo orgánico contenido en la pasta conductora para la capa de electrodo superior presente una temperatura de inicio de descomposición de 170°C o superior y 250°C o inferior.

20 De este modo, cuando el vehículo orgánico contenido en la pasta conductora para la primera capa de electrodo presenta una temperatura de inicio de descomposición superior a 250°C, y el vehículo orgánico contenido en la pasta conductora para la capa de electrodo superior presenta una temperatura de inicio de descomposición de 170°C o superior y 250°C o inferior, es posible suprimir la oclusión de gas de combustión en el calentamiento y la sinterización de la pasta de la capa inferior del electrodo de múltiples capas, para evitar cualquier acontecimiento de combustión incompleta, formación de espuma, grietas, o similares.

25 Además, resulta preferido que la viscosidad de cada una de las pastas conductoras para la primera capa de electrodo y la capa de electrodo superior sea de 80 Pa·s o más y 200 Pa·s o menos. Además, es preferible que la pasta conductora para la primera capa de electrodo presente una tixotropía (un valor de TI) de 1,5 o más y 5,0 o menos a 5 rpm/50 rpm, y la pasta conductora para la capa de electrodo superior presente una tixotropía (un valor de TI) de 1,2 o más y 3,5 o menos a 5 rpm/50 rpm.

30 De este modo, cuando la viscosidad de cada una de las pastas conductoras para la primera capa de electrodo y la capa de electrodo superior es de 80 Pa·s o más y 200 Pa·s o menos, o cuando la pasta conductora para la primera capa de electrodo presenta una tixotropía (un valor de TI) de 1,5 o más y 5,0 o menos a 5 rpm/50 rpm, y la pasta conductora para la capa de electrodo superior presente una tixotropía (un valor de TI) de 1,2 o más y 3,5 o menos a 5 rpm/50 rpm, es posible mantener de manera favorable la capacidad de impresión en la impresión serigráfica de la pasta conductora.

35 Además, la presente invención proporciona un procedimiento de fabricación de célula solar que incluye: formar un revestimiento antirreflector en una superficie anterior de un sustrato semiconductor que presenta una unión pn; formar un electrodo de superficie anterior en el revestimiento antirreflector; y formar un electrodo de superficie posterior sobre una superficie posterior; en el que por lo menos el electrodo de superficie anterior está formado mediante el procedimiento de formación de electrodo descrito anteriormente.

40 De este modo, en el procedimiento de fabricación de célula solar proporcionado con el procedimiento de formación de electrodo de superficie anterior según el procedimiento de formación de electrodo descrito anteriormente, es posible fabricar la célula solar dotada del electrodo de superficie anterior que presenta la alta relación de aspecto y que apenas experimenta un inconveniente tal como una rotura debido a la contracción de la partícula de plata de una manera sencilla. En la célula solar descrita anteriormente, puede reducirse un área del electrodo de superficie de recepción de luz ocupada sobre una superficie de recepción de luz, ocupando así un área de recepción de luz grande, para mejorar la eficacia de conversión. Además, como el electrodo presenta la baja resistencia, puede reducirse una resistencia en serie, consiguiendo así la célula solar de una alta eficacia.

45 El sustrato semiconductor según la presente invención puede dotarse del electrodo que presenta la alta relación de aspecto, en el que puede suprimirse el inconveniente tal como la rotura.

50 Además, el electrodo que presenta la alta relación de aspecto y rendimiento actual favorable puede formarse sobre el sustrato semiconductor de la manera sencilla mediante el procedimiento de formación de electrodo según la presente invención. El procedimiento de formación de electrodo sencillo puede reducir un coste. La célula solar de la alta eficacia puede fabricarse a un bajo coste aplicando el sustrato semiconductor y el procedimiento de formación de electrodo a la célula solar.

65

**Breve descripción de los dibujos**

- 5 [Figura 1] La figura 1 es una vista en sección transversal esquemática que representa un sustrato semiconductor dotado de un electrodo según la presente invención.
- [Figura 2] La figura 2 es una vista en sección transversal esquemática que representa la estructura de una célula solar que ejemplifica específicamente un sustrato semiconductor provisto de un electrodo según la presente invención.
- 10 [Figura 3] La figura 3 es una vista esquemática que representa la estructura de una célula solar en la técnica convencional.

**Mejores modos de poner en práctica la invención**

15 La presente invención se explicará con mayor detalle a continuación.

Tal como se describió anteriormente, en el caso en el que el electrodo formado sobre el sustrato semiconductor presenta una alta relación de aspecto simplemente repitiendo impresión serigráfica y secando pastas de electrodo para una célula solar, como la estructura de electrodo de múltiples capas en la técnica convencional, la contracción de la partícula de plata en la sinterización a veces induce la rotura, surgiendo así el problema de no funcionamiento del electrodo.

20 Sobre el problema, los presentes inventores han estudiado concienzudamente un electrodo en el que puede suprimirse un inconveniente tal como una rotura incluso si se forma un electrodo que presenta una alta relación de aspecto.

25 Así, los presentes inventores han descubierto que un electrodo de alto rendimiento, que no podría conseguirse mediante la estructura de electrodo en la técnica convencional, asignando rendimiento de contacto con un sustrato, propiedad de baja resistencia, y resistencia a la contracción a respectivas capas en una estructura de múltiples capas constituyendo un electrodo de dos o más capas en una estructura de múltiples capas que está constituida por una primera capa hecha de partículas de plata excelentes en rendimiento de contacto, formada directamente sobre un sustrato de célula solar con el fin de mantener el rendimiento de contacto con el sustrato semiconductor, y capas segundas y posteriores hechas de cuerpos sinterizados incluyendo principalmente partículas de plata que presentan una alta resistencia a la contracción y frita de vidrio.

30 Los presentes inventores han realizado experimentos y estudios, dando como resultado la optimización de varias condiciones para completar la presente invención.

A continuación en la presente memoria, la presente invención se describirá más específicamente haciendo referencia a los dibujos. Aquí, la presente invención no se limita a ello.

La figura 1 es una vista esquemática que muestra un sustrato 1 semiconductor según la presente invención.

45 Por ejemplo, un electrodo 12 está formado sobre un sustrato bruto 11 tal como un sustrato monocristalino de silicio. El electrodo 12 presenta una estructura de múltiples capas constituida por una primera capa de electrodo 13 unida directamente al sustrato bruto 11 y una capa de electrodo superior 14 dispuesta sobre la primera capa de electrodo y que consiste en por lo menos una capa. El electrodo 12 está conectado a un cableado, no mostrado, sobre la capa de electrodo superior 14.

50 Fuera de las capas de electrodo que constituyen el electrodo 12, la primera capa de electrodo 13 contiene por lo menos plata y frita de vidrio. Mientras tanto, la capa de electrodo superior 14 contiene por lo menos plata y frita de vidrio, y obtenida mediante la cocción de una pasta conductora que presenta el contenido de plata total del 75% en peso o más y el 95% en peso o menos, y además, el contenido de partículas de plata que presentan un diámetro medio de partícula de 4 µm o superior y 8 µm o inferior con respecto al contenido de plata total en la capa de electrodo superior que es mayor que aquel en la primera capa de electrodo.

El diámetro medio de partícula en el presente documento se refiere a un diámetro de partícula SEM obtenido calculando una media basándose en la medición de un diámetro de una partícula mediante fotografía SEM.

60 Circunstancialmente, en el electrodo 12, cada uno del contenido de la partícula de plata que presenta un diámetro medio de partícula de 0,5 µm o superior e inferior a 4 µm con respecto al contenido de plata total en la capa de electrodo superior 14 y el contenido de la partícula de plata que presenta un diámetro medio de partícula de 4 µm o superior y 8 µm o inferior con respecto al contenido de plata total en la capa de electrodo superior 14 debe ser preferentemente del 20% en peso o más y el 80% en peso o menos. Además, es preferible que el contenido de la partícula de plata que presenta un diámetro medio de partícula inferior a 0,5 µm o superior a 8 µm con respecto al

contenido de plata total en la capa de electrodo superior 14 sea preferentemente del 30% en peso o menos.

El electrodo en el sustrato semiconductor según la presente invención configurado tal como se describió anteriormente se forma de la siguiente manera. Tras preparar el sustrato bruto 11, la primera capa de electrodo 13 se forman en primer lugar sobre el sustrato bruto 11. En este momento, puede formarse una película delgada de óxido o nitruro sobre el sustrato bruto 11 por un motivo descrito a continuación. Una pasta conductora que incluye por lo menos polvo de plata, frita de vidrio, un vehículo orgánico, y un disolvente orgánico se aplica sobre el sustrato bruto 11, seguido de calentamiento de, por ejemplo, 150°C a 200°C, y entonces, el disolvente orgánico contenido en la pasta conductora se evapora, formando así la primera capa de electrodo 13.

Aquí, el vehículo orgánico y el disolvente orgánico que va a utilizarse normalmente pueden mezclarse en la pasta conductora para la primera capa de electrodo, en la que el vehículo orgánico debe presentar preferentemente una temperatura de inicio de descomposición superior a 250°C por un motivo descrito a continuación.

Una viscosidad de la pasta conductora para la primera capa de electrodo debe preferentemente ser de 80 Pa·s o más y 200 Pa·s o menos o su tixotropía (un valor de TI) debe preferentemente ser de 1,5 o más y 5,0 o menos (5 rpm/50 rpm), haciendo así que la capacidad de impresión sea más favorable. De este modo, puede imprimirse una línea fina sobre la primera capa de electrodo. La viscosidad en el presente documento se mide a una temperatura de 25°C en el caso en el que una velocidad de rotación del viscosímetro rotacional de Brookfield (por ejemplo, HB tipo SSA 15/6R) se fija a 50 rpm. La tixotropía (el valor de TI) se representa por una relación de las viscosidades a velocidades de rotación de 5 rpm y 50 rpm a una temperatura de 25°C. La viscosidad y tixotropía descri tas anteriormente de la pasta conductora se consiguen ajustando el tipo y contenido del disolvente orgánico o el vehículo orgánico.

En este momento, para conseguir la capacidad de impresión favorable de la pasta conductora para la primera capa de electrodo, el contenido de plata total contenida en la pasta conductora para la primera capa de electrodo debe fijarse de manera deseable al 75% en peso o más y el 95% en peso o menos. De este modo, el contenido de plata total contenida en la primera capa de electrodo que va a formarse también se convierte en casi el 75% en peso o más y el 95% en peso o menos.

Además, para mejorar el rendimiento de contacto entre la primera capa de electrodo y el sustrato semiconductor, el contenido de partículas de plata que presentan un diámetro medio de partícula de 0,5 µm o superior e inferior a 4 µm con respecto al contenido de plata total en la pasta conductora para la primera capa de electrodo se fija como relativamente grande como el 80% en peso o más. De este modo, el contenido de partículas de plata que presentan un diámetro medio de partícula de 0,5 µm o superior e inferior a 4 µm con respecto al contenido de plata total contenida en la primera capa de electrodo que va a formarse también se convierten en casi el 80% en peso o más.

Posteriormente, la capa de electrodo superior 14 se forma sobre la primera capa de electrodo 13, tal como se describe a continuación. Específicamente, la pasta conductora que incluye por lo menos polvo de plata, frita de vidrio, un vehículo orgánico, y un disolvente orgánico y que presenta el contenido de plata total del 75% en peso o más y el 95% en peso o menos y siendo el contenido de partículas de plata que presentan un diámetro medio de partícula de 4 µm o superior y 8 µm o inferior con respecto al contenido de plata total más que aquel en la pasta conductora para la primera capa de electrodo se aplica sobre la primera capa de electrodo 13, seguido de calentamiento de, por ejemplo, 150°C a 200°C, con lo que el disolvente orgánico contenido en la pasta conductora se evapora, formando así una primera capa fuera de la capa de electrodo superior. Este proceso se realiza una vez o más, formando así la capa de electrodo superior 14 en una capa o una pluralidad de capas.

Circunstancialmente, en el electrodo 12, cada uno del contenido de la partícula de plata que presenta un diámetro medio de partícula de 0,5 µm o superior e inferior a 4 µm con respecto al contenido de plata total en la capa de electrodo superior 14 y el contenido de la partícula de plata que presenta un diámetro medio de partícula de 4 µm o superior y 8 µm o inferior con respecto al contenido de plata total en la capa de electrodo superior 14 es del 20% en peso o más y 80% en peso o menos, y además, el contenido de la partícula de plata que presenta un diámetro medio de partícula inferior a 0,5 µm o superior a 8 µm con respecto al contenido de plata total en la capa de electrodo superior 14 es del 30% en peso o menos. Esto puede lograrse sustancialmente ajustando cada uno del contenido de la partícula de plata que presenta un diámetro medio de partícula de 0,5 µm o superior e inferior a 4 µm con respecto al contenido de plata total en la pasta conductora para la capa de electrodo superior y el contenido de la partícula de plata que presenta un diámetro medio de partícula de 4 µm o superior y 8 µm o inferior con respecto al contenido de plata total en la pasta conductora para la capa de electrodo superior para que sea del 20% en peso o más y el 80% en peso o menos, y ajustando el contenido de la partícula de plata que presenta un diámetro medio de partícula inferior a 0,5 µm o superior a 8 µm con respecto al contenido de plata total en la pasta conductora para la capa de electrodo superior para que sea del 30% en peso o menos.

Aquí, un vehículo orgánico y un disolvente orgánico que va a utilizarse normalmente pueden mezclarse en la pasta conductora para la capa de electrodo superior, en la que un vehículo orgánico preferentemente deber presentar una temperatura de inicio de descomposición de 170°C o superior y 250°C o inferior. Tal como se describió

anteriormente, la temperatura de inicio de descomposición del vehículo orgánico contenido en la pasta conductora para la primera capa de electrodo se fija para ser superior a 250°C, y la temperatura de inicio de descomposición del vehículo orgánico contenido en la pasta conductora para la capa de electrodo superior se fija para ser inferior a aquel de la pasta conductora para la primera capa de electrodo, suprimiendo así la oclusión del gas de combustión para evitar de manera más eficaz la combustión incompleta, formación de espuma, grietas, o similares en la cocción y sinterización de la primera capa de electrodo.

Además, una viscosidad de la pasta conductora para la capa de electrodo superior deber ser preferentemente de 80 Pa-s o más y 200 Pa-s o menos o su tixotropía (un valor de TI) debe ser preferentemente de 1,2 o más y 3,5 o menos (5 rpm/50 rpm), haciendo que sea favorable la capacidad de impresión de superposición.

Las capas en el electrodo 12 se forman del modo descrito anteriormente, seguido de la cocción tan alta como de, por ejemplo, 600°C a 850°C durante, por ejemplo, 1 minuto a 5 minutos. Con esta cocción, el vehículo orgánico contenido en la pasta conductora de cada una de las capas se disipa, y entonces, la plata contenida en cada una de las capas en el electrodo se sinteriza, formando así el electrodo 12. Se lleva a cabo el calentamiento para la cocción descrita anteriormente, de modo que incluso si el electrodo 12 se forma sobre una película de óxido tan delgada como 100 nm o menos, la película de óxido se funde simultáneamente en el calentamiento para la cocción, y entonces, el electrodo rompe la película de óxido para unirse directamente a una capa semiconductor *per se* del sustrato bruto 11 (este fenómeno se denomina *fire-through*).

Los electrodos formados sobre el sustrato semiconductor se configuran tal como se describió anteriormente, produciendo así las siguientes funciones.

Es decir, el contenido de la partícula de plata que presenta el diámetro medio de partícula de 4 µm o superior y 8 µm o inferior con respecto al contenido de plata total en la capa de electrodo superior 14 es superior al contenido de la partícula de plata que presenta un diámetro medio de partícula de 4 µm o superior y 8 µm o inferior con respecto al contenido de plata total en la primera capa de electrodo 13, potenciando así la resistencia a la contracción de la capa de electrodo superior, para mejorar la resistencia a la contracción de todo el electrodo 12. Esto es porque la partícula de plata relativamente grande que presenta el diámetro medio de partícula de 4 µm o superior y 8 µm o inferior presenta un intervalo de contracción inferior a una partícula de plata más pequeña. Con el electrodo que presenta la alta resistencia a la contracción descrita anteriormente, es posible suprimir el acontecimiento de un inconveniente tal como una rotura más que en el electrodo que presenta la estructura de múltiples capas en la técnica convencional.

El electrodo 12 descrito anteriormente es adecuado para, en particular, un electrodo de superficie anterior en una célula solar.

La figura 2 es una vista esquemática que ejemplifica una célula solar según la presente invención. Una estructura es idéntica a la de una célula solar convencional excepto un electrodo de superficie anterior, que puede configurarse, por ejemplo, tal como se describe a continuación. En un lado de superficie principal de un sustrato de Si de tipo p 21 hecho de Si monocristalino o policristalino está formada una capa emisora (una capa n<sup>+</sup>) 22 que presenta P o similar difundido en la misma en una profundidad de 0,1 µm a 0,5 µm, sobre la que están formados un revestimiento 23 antirreflector hecho de Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> o SiO<sub>2</sub> para reducir una reflectancia de superficie y un electrodo de superficie anterior (es decir, un electrodo de superficie de recepción de luz) 27 para extraer una corriente. En el otro lado de superficie (es decir, un lado de superficie posterior) del sustrato de Si están formados un electrodo de superficie posterior 26, y una capa de BSF (una capa p<sup>+</sup>) 25 que presenta Al o similar difundido en la misma a una alta concentración, según se requiera. Entre ellos, el electrodo de superficie anterior 27 incluye una primera capa de electrodo 27a y una capa de electrodo superior 27b. La primera capa de electrodo 27a contiene por lo menos plata y frita de vidrio, y la capa de electrodo superior 27b contiene por lo menos plata y frita de vidrio. El contenido de plata total contenida en la capa de electrodo superior 27b es del 75% en peso o más y el 95% en peso o menos. El contenido de las partículas de plata que presentan un diámetro medio de partícula de 4 µm o superior y 8 µm o inferior con respecto al contenido de plata total en la capa de electrodo superior 27b es mayor al contenido en la primera capa de electrodo 27a.

La figura 2 muestra el electrodo de superficie anterior 27 constituida por las dos capas. Aquí, la estructura de electrodo mostrada en la figura 1 puede aplicarse al electrodo de superficie anterior 27. Específicamente, la capa de electrodo superior 27b puede constituirse por dos o más capas, de modo que el electrodo de superficie anterior 27 puede constituirse por tres o más capas de electrodo. De otro modo, aunque el sustrato semiconductor según la presente invención se utiliza para la célula solar, la presente invención no se limita a ello. Es decir, la presente invención puede aplicarse a cualquier sustrato semiconductor que presenta un electrodo.

La célula solar descrita anteriormente puede fabricarse de la siguiente manera, por ejemplo.

Un sustrato de silicio de tipo p monocristalino {100} tal cual esté cortado 21 dopado con un elemento del grupo III tal como boro o galio en silicio de alta pureza y que presenta una resistividad de 0,1 Ω·cm a 5 Ω·cm y un espesor de

aproximadamente 0,1 mm a 1,0 mm se somete a un tratamiento de eliminación de daño de laminado y formación de textura (irregularidad de confinamiento de luz). La textura se produce fácilmente sumergiendo el sustrato de silicio en una disolución alcalina que incorpora hidróxido de sodio, hidróxido de potasio, carbonato de potasio, carbonato de sodio, carbonato ácido de sodio calentado o similares (a una concentración de varios % a varias decenas de % y a una temperatura de 60°C a 100°C) durante aproximadamente 10 minutos a 30 minutos. Una cantidad predeterminada de 2-propanol se disuelve en la disolución descrita anteriormente en muchos casos, promoviendo así la reacción. Con el fin de formar la textura de manera uniforme, es preferible utilizar una disolución que incorpora varios % de 2-propanol en una disolución de hidróxido de sodio o hidróxido de potasio que presenta una concentración de varios % y que se calienta a una temperatura de 60°C a 70°C.

Tras la formación de la textura, el sustrato semiconductor 21 se limpia en una disolución ácida compuesta por un ácido clorhídrico, un ácido sulfúrico, un ácido nítrico, un ácido fluorhídrico, o una mezcla de los mismos. Desde los puntos de vista económico y de eficacia, se prefiere la limpieza en una disolución de ácido clorhídrico. Con el fin de mejorar la limpieza, pueden mezclarse varios % de peróxido de hidrógeno en la disolución de ácido clorhídrico, seguido de calentamiento a 60°C a 90°C, para utilizarse así para la limpieza.

A continuación, la capa emisora 22 se forma mediante un procedimiento de difusión en fase de vapor que utiliza oxiclورو de fósforo. Con el fin de evitar cualquier difusión a la superficie posterior, es preferible para disponer las capas en pares sobre una tabla de difusión con las superficies posteriores de la misma superpuestas una sobre otra, seguido de la difusión en fase de vapor. Específicamente, el tratamiento de calor se lleva a cabo de 820°C a 880°C durante varias decenas de minutos en la atmósfera de oxiclورو de fósforo, formando así una capa de tipo n en una superficie de recepción de luz. La capa emisora formada presenta una profundidad de 0,2 μm a 1,0 μm y una resistencia laminar de 40 Ω/□ a 150 Ω/□. Tras la difusión, se sumerge el vidrio de fósforo formado mediante la difusión en una disolución de varios % de un ácido fluorhídrico durante varios minutos, para así eliminarse.

A continuación, se forma el revestimiento 23 antirreflector en la superficie anterior. El revestimiento 23 antirreflector se compone de una película de dos capas de óxido de cerio, alúmina, dióxido de estaño, dióxido de titanio, fluoruro de magnesio, óxido de tántalo, y una mezcla de dos tipos de los mismos además de óxido de silicio o nitruro de silicio, en el que la utilización de cualquier componente no trae problemas. El revestimiento antirreflector se forma mediante PVD, CVD, o similar, que puede utilizarse. Con el fin de fabricar una célula solar de una alta eficacia, los revestimientos antirreflectores deben preferentemente formarse con nitruro de silicio mediante CVD de plasma remoto ya que puede conseguirse una velocidad de re-unión de superficie baja.

Posteriormente, el electrodo de superficie posterior 26 se forma en 10 μm a 50 μm sobre la superficie posterior. El electrodo de superficie posterior 26 puede hacerse de metal tal como plata o cobre, en el que Al es lo más preferible desde los puntos de vista de economía, facilidad de mecanizado, y rendimiento de contacto a silicio. Una capa metálica puede depositarse mediante cualquier técnica de pulverización, deposición en vacío, e impresión serigráfica. El metal para el electrodo se deposita de manera uniforme sobre la superficie posterior. Aquí, es deseable que Al se difunda al interior del sustrato de Si en una unión al sustrato de Si mediante la cocción de un electrodo que incluye principalmente Al mediante la impresión serigráfica, de modo que la zona 25 de campo eléctrico de superficie posterior (es decir, la capa de BSF; una zona de p<sup>+</sup> de alta concentración) que contiene una gran cantidad de una impureza de tipo p puede formarse sobre el sustrato de Si.

A continuación, el electrodo de superficie anterior 27 según la presente invención se forma de la siguiente manera. La primera capa de electrodo 27a se hace de la pasta conductora que incluye principalmente el polvo de plata, la frita de vidrio, el vehículo orgánico, y el disolvente orgánico. La capa de electrodo superior 27b se forma aplicando, sobre el revestimiento antirreflector, la pasta conductora que presenta el contenido de plata total del 75% en peso o más y el 95% en peso o menos y siendo el contenido de partículas de plata que presentan un diámetro medio de partícula de 4 μm o superior y 8 μm o inferior con respecto al contenido de plata total más de aquel en la pasta conductora para la primera capa de electrodo, seguido del secado del disolvente orgánico y su cocción de, por ejemplo, 600°C a 850°C durante 1 minuto a 5 minutos. En este momento, tal como se describió anteriormente, incluso si cada una de las capas sobre el electrodo de superficie anterior 27 se forma sobre el revestimiento antirreflector, el revestimiento antirreflector se funde durante el calentamiento para la cocción, de modo que el electrodo de superficie anterior 27 rompe el revestimiento antirreflector para unirse entonces de modo que el electrodo se une directamente a la capa semiconductor *per* se del sustrato semiconductor 21. Circunstancialmente, el electrodo de superficie anterior 27 y el electrodo de superficie posterior 26 pueden formarse en un orden inverso.

#### [Ejemplos]

La presente invención se describirá específicamente por medio de ejemplos y ejemplos comparativos según la presente invención, pero la presente invención no se limita a éstos.

#### (Ejemplos 1 a 10 y ejemplos comparativos 1 y 2)

En cada ejemplo, diez piezas de sustratos semiconductores se sometieron al siguiente procedimiento, fabricando así diez células solares.



5 En primer lugar, un sustrato semiconductor se fabricó de modo que el electrodo de superficie posterior 26 se formó mediante la preparación de un sustrato 21 de silicio tal cual esté cortado de tipo p {100} dopado con boro que presenta un lado de 15 cm, un espesor de 250  $\mu\text{m}$ , y una resistividad de 2,0  $\Omega\cdot\text{cm}$ ; la eliminación de una capa dañada en una disolución de hidróxido de potasio concentrado; la formación de una textura; la formación de la capa emisora 22 calentada a 850°C en la atmósfera de oxi cloruro de fósforo; le eliminación de vidrio de fósforo; la formación del revestimiento 23 antirreflector; la impresión serigráfica de la pasta que incluye principalmente aluminio en toda la superficie posterior; y el secado del disolvente orgánico.

10 El electrodo de superficie anterior 27 se formó sobre el sustrato semiconductor a través del procedimiento para formar el electrodo de superficie posterior 26, de la siguiente manera.

15 En primer lugar, la pasta conductora para la primera capa de electrodo, que principalmente incluía el polvo de plata, la frita de vidrio, el vehículo orgánico, y el disolvente orgánico, en la que el contenido de plata total era del 80% en peso y los contenidos de las partículas de plata que presentan diámetros de partícula de 0,5  $\mu\text{m}$  o superior e inferior a 4  $\mu\text{m}$ , 4  $\mu\text{m}$  o superior y 8  $\mu\text{m}$  o inferior, e inferior a 0,5  $\mu\text{m}$  o superior a 8  $\mu\text{m}$ , con respecto al contenido de plata total eran del 90% en peso, el 5% en peso, y el 5% en peso, respectivamente, una viscosidad de 120 Pa·s, y una tixotropía (un valor de TI) de 2,5 (es decir, la misma pasta conductora que se utilizó en el ejemplo comparativo 4, descrito a continuación), se aplicó sobre el revestimiento antirreflector formado sobre el sustrato semiconductor mediante la impresión serigráfica, seguido del secado del disolvente orgánico en un horno limpio a 150°C, formando así la primera capa de electrodo 27a.

25 A continuación, las pastas conductoras para la capa de electrodo superior, que principalmente incluían el polvo de plata, la frita de vidrio, el vehículo orgánico, y el disolvente orgánico, en la que el contenido de plata total, el contenido de las partículas de plata que presentan diámetros de partícula con respecto al contenido de plata total en la pasta conductora para la capa de electrodo superior, la viscosidad, y la tixotropía (el valor de TI) se mostraron en la tabla 1 a continuación, se aplicaron sobre la primera capa de electrodo, seguido del secado del disolvente orgánico en un horno limpio a 150°C, formando así la capa de electrodo superior 27b. Los sustratos semiconductores que presentan las capas de electrodo descritas anteriormente formadas sobre los mismos se calentaron durante 5 minutos en un horno de infrarrojo cercano en el que se fijó una temperatura mayor a 750°C, seguido de la cocción de todo el electrodo 27. En la presente memoria, en los ejemplos comparativos 1 y 2, el contenido de plata total en la pasta conductora para la capa de electrodo superior era del 70% en peso y el 97% en peso, respectivamente, que estaban más allá del intervalo del 75% en peso o más al 95% en peso o menos.

[Tabla 1]

	Estructura de electrodo	Contenido de plata total (% en peso) en pasta conductora para capa(s) de electrodo superior(es)	Contenido (% en peso) de partículas de plata que presentan diámetros de partícula con respecto al contenido de plata total en capa(s) de electrodo superior(es)			Viscosidad (Pa·s) de pasta conductora para capa(s) de electrodo superior(es) (25°C, 50 rpm)	Valor ti de pasta conductora para capa(s) de electrodo superior(es) (5 rpm / 50 rpm)
			0,5 µm o superior e inferior a 4 µm	4 µm o superior y 8 µm o inferior	inferior a 0,5 µm o superior a 8 µm		
Ejemplo 1	dos capas	85	20	80	0	110	2,2
Ejemplo 2	dos capas	85	30	70	0	120	2,1
Ejemplo 3	dos capas	85	50	50	0	140	1,9
Ejemplo 4	dos capas	85	70	30	0	170	2,0
Ejemplo 5	dos capas	85	80	20	0	190	2,0
Ejemplo 6	dos capas	75	20	80	0	95	2,2
Ejemplo 7	dos capas	95	20	80	0	200	3,0
Ejemplo 8	dos capas	90	20	65	15	150	1,8
Ejemplo 9	dos capas	90	15	55	30	160	1,9
Ejemplo 10	dos capas	90	20	40	40	140	2,1
Ejemplo 11	tres capas	85	20	80	0	110	2,2
Ejemplo comparativo 1	dos capas	70	20	80	0	100	2,4
Ejemplo comparativo 2	dos capas	97	20	80	0	350	3,5<

La evaluación de características se hizo en las diez células solares fabricadas de la manera descrita anteriormente.

5 La evaluación de características se realizó mediante la medición de electricidad (una corriente de cortocircuito, una densidad, una tensión en circuito abierto, un factor de forma, y una eficacia de conversión) bajo un simulador solar (intensidad de irradiación: 1 kW/m<sup>2</sup>; espectro: AM 1,5 global) a una atmósfera de temperatura de 25°C.

#### (Ejemplo 11)

10 Diez piezas de sustratos semiconductores se fabricaron en el mismo procedimiento que en el ejemplo 1 excepto que había dos capas de electrodo superiores, es decir, todo el electrodo de superficie anterior estaba constituido por tres capas.

15 En primer lugar, la primera capa de electrodo se fabricó de la misma manera que en el ejemplo 1. A continuación, las pastas conductoras para la capa de electrodo superior que principalmente incluía el polvo de plata, la frita de vidrio, el vehículo orgánico, y el disolvente orgánico, en la que el contenido de plata total, el contenido de las partículas de plata que presentan diámetros de partícula con respecto al contenido de plata total en la pasta conductora para la capa de electrodo superior, la viscosidad, y la tixotropía (un valor de TI) se mostraron en la tabla 1, se aplicaron sobre la primera capa de electrodo, seguido del secado del disolvente orgánico en un horno limpio a 20 150°C, formando así la primera capa en la capa de electrodo superior. Posteriormente, la misma pasta conductora que la utilizada en la formación de la primera capa en la capa de electrodo superior se aplicó sobre la primera capa en la capa de electrodo superior, seguido del secado del disolvente orgánico en el horno limpio a 150°C, formando así una segunda capa en la capa de electrodo superior.

25 El sustrato semiconductor que presenta las capas de electrodo descritas anteriormente formadas sobre el mismo se calentó durante 5 minutos en un horno de infrarrojo cercano en el que se fijó una temperatura más mayor a 750°C, seguido de la cocción de todo el electrodo.

30 La evaluación de características se hizo en las diez células solares fabricadas tal como se describió anteriormente de la misma manera que en el ejemplo 1.

#### (Ejemplos comparativos 3 y 4)

35 En cada ejemplo, se fabricaron diez piezas de sustratos semiconductores en las que los procedimientos hasta la formación del electrodo de superficie posterior 26 eran idénticos a los del ejemplo 1 y el electrodo de superficie anterior se formó sólo una vez en la estructura de capa única en la figura 3, tal como se describió anteriormente.

40 El electrodo de superficie anterior 34 se formó de la siguiente manera. Las pastas conductoras que principalmente incluían el polvo de plata, la frita de vidrio, el vehículo orgánico, y el disolvente orgánico, en las que el contenido de plata total, el contenido de las partículas de plata que presentan los diámetros de partícula con respecto al contenido de plata total en la pasta conductora para la capa de electrodo, la viscosidad, y la tixotropía se mostraron en la tabla 2 a continuación, se aplicaron sobre el sustrato semiconductor, seguido del secado del disolvente orgánico en un horno limpio a 150°C, formando así el electrodo. Los sustratos semiconductores que presentan las capas de electrodo descritas anteriormente formadas sobre los mismos se calentaron durante 5 minutos en un horno de infrarrojo cercano en el que se fijó una temperatura mayor a 750°C, cociendo el electrodo de superficie anterior 34.

45 La evaluación de características se realizó en las diez células solares fabricadas tal como se describió anteriormente de la misma manera que en el ejemplo 1.

#### (Ejemplos comparativos 5 y 6)

50 En cada ejemplo, se fabricaron diez piezas de sustratos semiconductores en las que los procedimientos hasta la formación del electrodo de superficie posterior 26 eran idénticos a los del ejemplo 1 y el electrodo de superficie anterior se formó de la misma manera que en el ejemplo 1 excepto que las pastas conductoras para las capas de electrodo primera y superior tenían la misma composición. Aquí, las pastas conductoras enumeradas en la tabla 2 se utilizaron como las pastas conductoras para las capas de electrodo primera y superior.

55 La evaluación de características se realizó en las diez células solares fabricadas tal como se describió anteriormente de la misma manera que en el ejemplo 1.

[Tabla 2]

	Estructura de electrodo	Contenido de plata total (% en peso) en pasta conductora para cada capa de electrodo	Contenido (% en peso) de partículas de plata que presentan diámetros de partícula con respecto al contenido de plata total en cada una de las capa(s) de electrodo			Viscosidad (Pa·s) de pasta conductora para cada una de las capa(s) de electrodo (25°C, 50 rpm)	Valor ti de pasta conductora para cada una de las capa(s) de electrodo (5 rpm / 50 rpm)
			0,5 µm o superior e inferior a 4 µm	4 µm o superior y 8 µm o inferior	Inferior a 0,5 µm o superior a 8 µm		
Ejemplo comparativo 3	Capa única	85	20	80	0	110	2,2
Ejemplo comparativo 4	Capa única	80	90	5	5	120	2,5
Ejemplo comparativo 5	Dos capas	85	20	80	0	110	2,2
Ejemplo comparativo 6	Dos capas	80	90	5	5	120	2,5

Los resultados de los ejemplos 1 a 11 y los ejemplos comparativos 1 a 6 se muestran en la tabla 3. En la presente memoria, la tabla 3 muestra medias de medidas de características eléctricas de las diez células solares.

[Tabla 3]

5

	Corriente de cortocircuito (mA/cm <sup>2</sup> )	Tensión en circuito abierto (mV)	Factor de forma (%)	Eficacia de conversión (%)
Ejemplo 1	35,1	620	78,3	17,0
Ejemplo 2	35,0	621	77,9	16,9
Ejemplo 3	34,9	619	77,5	16,7
Ejemplo 4	35,2	620	77,1	16,8
Ejemplo 5	35,3	619	76,9	16,8
Ejemplo 6	34,8	622	77,5	16,8
Ejemplo 7	35,1	618	78,5	17,0
Ejemplo 8	35,4	622	78,0	17,2
Ejemplo 9	35,2	620	77,8	17,0
Ejemplo 10	34,8	619	73,7	15,9
Ejemplo 11	34,8	618	78,9	17,0
Ejemplo comparativo 1	34,7	619	73,1	15,7
Ejemplo comparativo 2	33,1	615	51,5	10,5
Ejemplo comparativo 3	35,0	618	65,2	14,1
Ejemplo comparativo 4	35,2	620	72,9	15,8
Ejemplo comparativo 5	34,0	615	65,2	13,6
Ejemplo comparativo 6	33,0	610	49,3	10,0

A partir de la tabla 3 se descubre lo siguiente.

10 Las células solares que presentan altas eficacias se obtuvieron en cada uno de los ejemplos 1 a 11. Aquí, el contenido de las partículas de plata que presentan un diámetro medio de partícula inferior a 0,5 µm o superior a 8 µm con respecto al contenido de plata total en la capa de electrodo superior era tan relativamente grande como el 40% en peso y la eficacia de conversión era ligeramente baja en el ejemplo 10. Parece ser que esto es porque el bajo contenido de las partículas de plata, que presentan un diámetro medio de partícula de 4 µm o superior y 8 µm o inferior que eran de alta resistencia a la contracción, indujo una rotura o una altura de electrodo insuficiente debido a la contracción de la partícula de plata, disminuyendo así un factor de forma.

15 En cambio, en los ejemplos comparativos 1 a 6, los factores de forma disminuyeron principalmente, y por tanto, las eficacias de conversión eran más bajas que aquéllas en los ejemplos.

20 En el ejemplo comparativo 1, el contenido de plata total en la pasta conductora para la capa de electrodo superior era inferior al valor según la presente invención, induciendo así una rotura o una altura de electrodo insuficiente debido a la contracción de la partícula de plata. Parece ser que, como resultado de esto, aumentó una resistencia en serie de la célula solar, y por tanto, la eficacia se degradó debido a la disminución en el factor de forma.

25 En el ejemplo comparativo 2, el contenido de plata total en la pasta conductora para la capa de electrodo superior era mayor al valor según la presente invención, deteriorando así extremadamente la capacidad de impresión, de modo que la capa de electrodo superior no pudo formarse de manera satisfactoria. Parece ser que, como resultado de esto, aumentó una resistencia en serie de la célula solar, y por tanto, la eficacia se degradó debido a la disminución en el factor de forma.

30 En el ejemplo comparativo 3, la estructura de electrodo único se proporcionó utilizando la pasta conductora que se utilizó como la pasta conductora para la capa de electrodo superior en el ejemplo 1. Parece ser que un área en contacto con el sustrato se redujo por la influencia de la partícula de plata que presenta un tamaño relativamente grande como un diámetro medio de partícula de 4 µm o superior y 8 µm o inferior, aumentando así la resistencia en serie de la célula solar, y por tanto, la eficacia se degradó debido a la disminución en el factor de forma.

35 En el ejemplo comparativo 4, la estructura de electrodo único se proporcionó utilizando la pasta conductora que se utilizó como la pasta conductora para la primera capa de electrodo en los ejemplos 1 a 11. La característica de contacto óhmico era favorable, pero la altura de electrodo era insuficiente. Parece ser que, como resultado de esto, aumentó la resistencia en serie de la célula solar, y por tanto, la eficacia se degradó debido a la disminución en el

40

factor de forma.

En el ejemplo comparativo 5, la pasta conductora que se utilizó como la pasta conductora para la capa de electrodo superior en el ejemplo 1 se utilizó tanto como la primera capa de electrodo como la capa de electrodo superior.

5 Aunque la altura de electrodo era suficiente, un área en contacto con el sustrato se redujo por la influencia de la partícula de plata que presenta un tamaño relativamente grande como un diámetro medio de partícula de 4  $\mu\text{m}$  o superior y 8  $\mu\text{m}$  o inferior, como en el ejemplo comparativo 3, aumentando así la resistencia en serie de la célula solar, y por tanto, la eficacia de conversión se degradó debido a la disminución en el factor de forma.

10 En el ejemplo comparativo 6, la pasta conductora que se utilizó como la pasta conductora para la primera capa de electrodo en los ejemplos 1 a 11 se utilizó tanto como la primera capa de electrodo como la capa de electrodo superior. Durante la cocción y la sinterización, se produjo la formación de espuma, grietas, combustión incompleta de la pasta conductora para la primera capa de electrodo, o similar, y la contracción del electrodo indujo una rotura. Parece ser que, así, aumentó la resistencia en serie de la célula solar. Por tanto, la eficacia de conversión se degradó debido a la disminución en el factor de forma.

15

Como consecuencia, las células solares obtenidas en los ejemplos 1 a 11, en particular, los ejemplos 1 a 9 y 11 exhibieron características eléctricas favorables, con lo que se demostraron los efectos según la presente invención.

## REIVINDICACIONES

1. Sustrato semiconductor (1) que presenta un electrodo (12) formado sobre el mismo, incluyendo el electrodo por lo menos plata y frita de vidrio, comprendiendo el electrodo:

5 una estructura de múltiples capas constituida por una primera capa de electrodo (13) unida directamente al sustrato semiconductor (1), y una capa de electrodo superior (14) formada por al menos una capa y dispuesta sobre la primera capa de electrodo;

10 en el que la capa de electrodo superior (14) está formada mediante la cocción de una pasta conductora que presenta un contenido de plata total de 75% en peso o más y 95% en peso o menos, siendo el contenido de partículas de plata que presentan un diámetro medio de partícula de 4  $\mu\text{m}$  o superior y 8  $\mu\text{m}$  o inferior con respecto al contenido de plata total en la capa de electrodo superior que aquel en la primera capa de electrodo, y siendo el contenido de partículas de plata que presentan un diámetro medio de partícula de 0,5  $\mu\text{m}$  o superior e inferior a 4  $\mu\text{m}$  con respecto al contenido de plata total en la pasta conductora para la primera capa de electrodo de 80% en peso o más.

2. Sustrato semiconductor (1) según la reivindicación 1, en el que cada uno del contenido de las partículas de plata que presentan un diámetro medio de partícula de 0,5  $\mu\text{m}$  o superior e inferior a 4  $\mu\text{m}$  con respecto al contenido de plata total en la capa de electrodo superior y el contenido de las partículas de plata que presentan un diámetro medio de partícula de 4  $\mu\text{m}$  o superior y 8  $\mu\text{m}$  o inferior con respecto al contenido de plata total en la capa de electrodo superior es de 20% en peso o más y 80% en peso o menos.

3. Sustrato semiconductor (1) según la reivindicación 1 o 2, en el que el contenido de las partículas de plata que presentan un diámetro medio de partícula inferior a 0,5  $\mu\text{m}$  o superior a 8  $\mu\text{m}$  con respecto al contenido de plata total en la capa de electrodo superior es de 30% en peso o menos.

4. Sustrato semiconductor (1) según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, que comprende además una unión pn, en el que el electrodo es un electrodo de superficie anterior, sobre un lado del cual está dispuesto un revestimiento antirreflector, y un electrodo de superficie posterior está formado sobre una superficie posterior, para servir así como una célula solar.

5. Procedimiento para formar un electrodo que presenta una estructura de múltiples capas sobre un sustrato semiconductor mediante impresión serigráfica utilizando una pasta conductora que incluye por lo menos polvo de plata, frita de vidrio, un vehículo orgánico, y un disolvente orgánico, comprendiendo el procedimiento:

formar una primera capa de electrodo unida directamente al sustrato semiconductor; y

formar una capa de electrodo superior constituida por al menos una capa sobre la primera capa de electrodo;

40 en el que la pasta conductora para la capa de electrodo superior, para formar la capa de electrodo superior, presenta un contenido de plata total de 75% en peso o más y 95% en peso o menos, y el contenido de partículas de plata que presentan un diámetro medio de partícula de 4  $\mu\text{m}$  o superior y 8  $\mu\text{m}$  o inferior con respecto al contenido de plata total en la pasta conductora para la capa de electrodo superior es superior a aquel en la pasta conductora para la primera capa de electrodo, para formar la primera capa de electrodo, en el que el contenido de las partículas de plata que presentan un diámetro medio de partícula de 0,5  $\mu\text{m}$  o superior e inferior a 4  $\mu\text{m}$  con respecto al contenido de plata total en la pasta conductora para la primera capa de electrodo es de 80% en peso o más, formando así el electrodo.

50 6. Procedimiento de formación de electrodo según la reivindicación 5, en el que cada uno del contenido de las partículas de plata que presentan un diámetro medio de partícula de 0,5  $\mu\text{m}$  o superior e inferior a 4  $\mu\text{m}$  con respecto al contenido de plata total en la pasta conductora para la capa de electrodo superior y el contenido de las partículas de plata que presentan un diámetro medio de partícula de 4  $\mu\text{m}$  o superior y 8  $\mu\text{m}$  o inferior con respecto al contenido de plata total en la pasta conductora para la capa de electrodo superior es de 20% en peso o más y 80% en peso o menos.

7. Procedimiento de formación de electrodo según la reivindicación 5 o 6, en el que el contenido de las partículas de plata que presentan un diámetro medio de partícula inferior a 0,5  $\mu\text{m}$  o superior a 8  $\mu\text{m}$  con respecto al contenido de plata total en la pasta conductora para la capa de electrodo superior es de 30% en peso o menos.

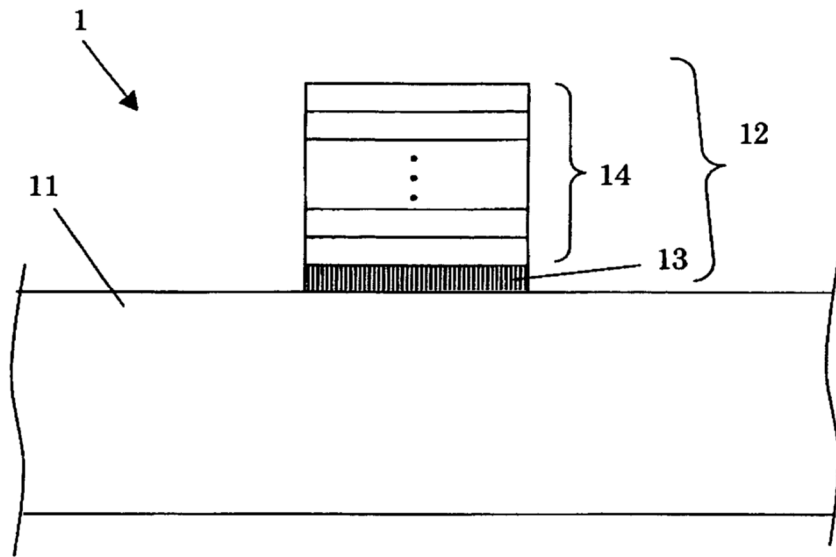
8. Procedimiento de formación de electrodo según cualquiera de las reivindicaciones 5 a 7, en el que el vehículo orgánico contenido en la pasta conductora para la primera capa de electrodo presenta una temperatura de inicio de descomposición superior a 250°C, y el vehículo orgánico contenido en la pasta conductora para la capa de electrodo superior presenta una temperatura de inicio de descomposición de 170°C o superior y 250°C o inferior.

65

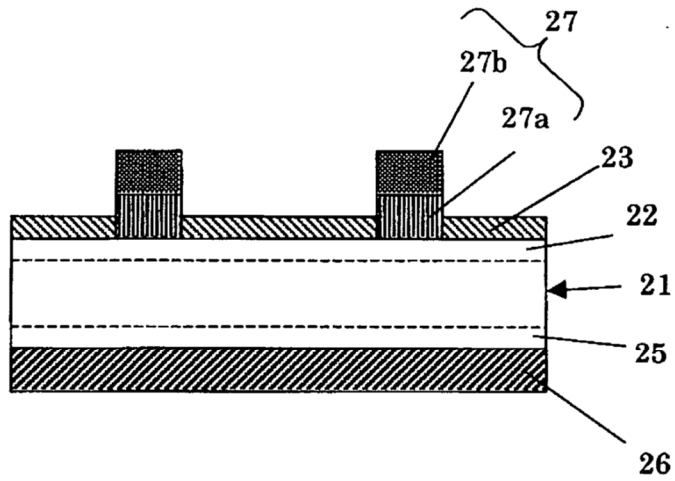
9. Procedimiento de formación de electrodo según una cualquiera de las reivindicaciones 5 a 8, en el que la viscosidad de cada una de las pastas conductoras para la primera capa de electrodo y la capa de electrodo superior es de 80 Pa·s o más y 200 Pa·s o menos.
- 5 10. Procedimiento de formación de electrodo según cualquiera de las reivindicaciones 5 a 9, en el que la pasta conductora para la primera capa de electrodo presenta una tixotropía (un valor de TI) de 1,5 o más y 5,0 o menos a 5 rpm/50 rpm, y la pasta conductora para la capa de electrodo superior presenta una tixotropía (un valor de TI) de 1,2 o más y 3,5 o menos a 5 rpm/50 rpm.
- 10 11. Procedimiento de fabricación de célula solar que comprende por lo menos:
- formar un revestimiento antirreflector en una superficie anterior de un sustrato semiconductor que presenta una unión pn;
- 15 formar un electrodo de superficie anterior en el revestimiento antirreflector; y
- formar un electrodo de superficie posterior sobre una superficie posterior;
- 20 en el que por lo menos el electrodo de superficie anterior está formado mediante el procedimiento de formación de electrodo según cualquiera de las reivindicaciones 5 a 10.



[Fig. 1]



[Fig. 2]



[Fig. 3]

