

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 971 470**

51 Int. Cl.:

**H01L 31/0224** (2006.01)

12

## TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **17.09.2013** **PCT/JP2013/074979**

87 Fecha y número de publicación internacional: **08.05.2014** **WO14069118**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **17.09.2013** **E 13851232 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **27.12.2023** **EP 2916361**

54 Título: **Celda solar y módulo de celdas solares**

30 Prioridad:

**01.11.2012 JP 2012241498**

**21.08.2013 JP 2013171202**

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

**05.06.2024**

73 Titular/es:

**SHIN-ETSU CHEMICAL CO., LTD. (100.0%)**  
**4-1, Marunouchi 1-chome, Chiyoda-ku**  
**Tokyo, JP**

72 Inventor/es:

**ENDO YOKO y**  
**OTSUKA HIROYUKI**

74 Agente/Representante:

**VALLEJO LÓPEZ, Juan Pedro**

ES 2 971 470 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

Celda solar y módulo de celdas solares

## 5 Campo técnico

Esta invención se refiere a una celda solar que tiene fiabilidad a largo plazo, una alta eficiencia de conversión y mantiene un alto rendimiento, a su método de fabricación y a un módulo de celdas solares que comprende celdas solares dispuestas en serie.

## 10 Antecedentes de la técnica

Usando una técnica anterior, una celda solar se fabrica generalmente como se muestra en las FIGS. 1 a 3. En un sustrato semiconductor 100b de tipo p, de silicio o similar, se difunde un dopante de tipo n para formar una capa 101 de difusión de tipo n para definir una juntura pn. En la capa 101 de difusión de tipo n, se forma una capa 102 de revestimiento antirreflectante, tal como una película de SiNx. En el lado posterior (lado inferior en la FIG. 1) del sustrato semiconductor 100b de tipo p, se imprime pasta de aluminio sobre sustancialmente toda la superficie y se alea en silicio para formar una capa 103 de campo posterior (BSF) y un electrodo 104 de aluminio mediante cocción. Además, para la recogida de corriente en el lado posterior, se imprime una pasta conductora que contiene plata o similar y se cuece para formar un electrodo grueso 106 que se conoce como electrodo de barra colectora. En el lado de superficie receptora de luz (lado superior en la FIG. 1, en la capa 102 de revestimiento antirreflectante), unos electrodos 107 de dedo para la recogida de corriente y unos electrodos gruesos formados para recoger la corriente de los electrodos de dedo, conocidos como electrodos 105 de barra colectora, están dispuestos en forma de peine-rejilla de modo que se intersecan sustancialmente en ángulos rectos.

La resistencia de contacto entre los electrodos frontales 107 de dedo y el sustrato semiconductor 100b, así como la resistencia de línea de los electrodos, tienen un gran impacto en la eficiencia de conversión de la celda solar. Para obtener una alta eficiencia (baja resistencia en serie de celdas y alto factor de relleno (FF) de curva), se requiere que la resistencia de contacto y la resistencia de línea de los electrodos 107 de dedo tengan valores completamente bajos.

Al mismo tiempo, a menudo se emplea un método de serigrafía como método de formación de electrodos para celdas solares. El método de serigrafía tiene ventajas que incluyen la facilidad de formación de un patrón impreso, la capacidad de ajustar la presión de impresión para minimizar el daño al sustrato, una alta velocidad de trabajo por celda, un bajo coste y una alta productividad. Si se usa una pasta conductora que sea tan tixotrópica que pueda mantenerse el perfil incluso después de la transferencia, se pueden formar electrodos con una relación de aspecto alta.

No obstante, existen ciertos problemas. En general, se usa silicio (Si) para el sustrato de la celda solar, mientras que para el material de electrodo se utilizan Al, Ag y similares. Cuando se imprime y sinteriza pasta conductora sobre el sustrato de celda solar, se produce alabeo debido a una diferencia de coeficientes de expansión lineal entre el sustrato de Si y el material del electrodo, tal como Al o Ag. Del mismo modo, los extremos de los electrodos de dedo pueden desprenderse debido a la falta de fuerza adhesiva, de modo que el rendimiento de la celda solar se ve degradado.

Como contramedida, tal como se muestra en la FIG. 4, se acortan los electrodos 107, 107 de dedo conectados a los electrodos 105, 105 de barra colectora de manera que los extremos distales de los electrodos 107, 107 de dedo queden separados, reduciendo así el alabeo. Sin embargo, esto induce la desconexión de los electrodos 107 de dedo entre los electrodos 105, 105 de barra colectora. Dado que el número de extremos distales de los electrodos de dedo se duplica en comparación con los electrodos de dedo de la FIG. 1, puede aumentar la tasa de fallos de desprendimiento de los extremos distales. También se propone en el documento JP-A 2006-324504 ampliar el ancho (o área) de las porciones distales del electrodo de dedo para aumentar el área adhesiva, para de este modo aumentar la fuerza adhesiva. De hecho, se aumenta la fuerza adhesiva de las porciones distales del electrodo de dedo. Este método logró mitigar el alabeo del sustrato de celda solar y aumentar la resistencia adhesiva de los electrodos de dedo, pero no logró evitar el aumento de la resistencia de línea debido a roturas locales en los electrodos de dedo ni el problema del factor de llenado reducido.

Específicamente, los electrodos de dedo se diseñan típicamente con un ancho de línea de aproximadamente 60 a 120  $\mu\text{m}$ . Se imprimen y forman mediante el método de serigrafía, como se ha mencionado anteriormente. Tal ancho de línea reducido puede inducir problemas como sacudidas, estrechamiento adicional del ancho de línea, y roturas. Tales fallos, si se producen, puede conllevar un problema de interferencia con la conducción eléctrica desde el electrodo de dedo en el sitio del fallo hasta el electrodo de barra colectora.

El Documento de Patente 2 divulga un método para fabricar un patrón de metalización en una celda fotovoltaica, y una celda solar de silicio cristalino cuadrada que comprende pestañas, dedos y tiras de conexión.

## Lista de citas

### Documento de patente

Documento de Patente 1: JP-A 2006-324504

Documento de Patente 2: US 6573445 B1

5

### Sumario de la invención

#### Problema técnico

10 Un objeto de la invención, que se ha realizado en las circunstancias mencionadas anteriormente, es proporcionar una celda solar y un módulo de celdas solares que presenten un alabeo mitigado de un sustrato de celda solar contra la alta resistencia adhesiva de las porciones distales de los electrodos de dedo y que permitan la conducción eléctrica desde un electrodo de dedo hasta un electrodo de barra colectora incluso si los electrodos se cortan o rompen localmente, teniendo finalmente una fiabilidad a largo plazo y una alta eficiencia de conversión, y manteniendo un alto rendimiento.

15

#### Solución al problema

20 Para lograr el objeto anterior, la invención proporciona una celda solar, un método de fabricación de la misma y un módulo de celdas solares como se define en las reivindicaciones.

20

#### Efectos ventajosos de la invención

25 La celda solar de la invención elimina los inconvenientes asociados con las roturas de los electrodos de dedo y ofrece un alto factor de llenado, una alta eficiencia de conversión, un alabeo mitigado de las celdas, un rendimiento de fabricación mejorado, un menor aumento del coste y una fiabilidad a largo plazo. El módulo de celdas solares que comprende tales celdas solares tiene un alto porcentaje de retención de salida.

25

#### Breve descripción de los dibujos

30

[FIG. 1] La FIG. 1 es una vista en sección transversal que muestra la construcción de una celda solar convencional.

[FIG. 2] La FIG. 2 es una vista en planta que muestra un patrón de electrodos en la superficie frontal de la celda solar convencional.

35

[FIG. 3] La FIG. 3 es una vista en planta que muestra un patrón de electrodos en la superficie posterior de la celda solar convencional.

[FIG. 4] La FIG. 4 es una vista en planta que muestra un patrón de electrodos en la superficie frontal de una celda solar de la técnica anterior.

[FIG. 5] La FIG. 5 es una vista en planta que muestra un patrón de electrodos en la superficie frontal de una celda solar de referencia, que no es una realización de la invención.

40

[FIG. 6] La FIG. 6 es una vista en planta que muestra un patrón de electrodos en la superficie frontal de una celda solar de referencia, que no es una realización de la invención.

[FIG. 7] La FIG. 7 es una vista en planta que muestra un ejemplo modificado (1) del patrón de electrodos en la superficie frontal de la celda solar de la FIG. 5.

45

[FIG. 8] La FIG. 8 es una vista en planta que muestra un ejemplo modificado (2) del patrón de electrodos en la superficie frontal de la celda solar de la FIG. 5.

[FIG. 9] La FIG. 9 es una vista en sección transversal esquemática que muestra la construcción básica de un módulo de celdas solares convencional.

[FIG. 10] La FIG. 10 ilustra cómo evaluar el alabeo de una celda solar.

50

[FIG. 11] La FIG. 11 es un diagrama que muestra la densidad de corriente de cortocircuito y el factor de llenado en el Ejemplo de Referencia 3.

[FIG. 12] La FIG. 12 es un diagrama que muestra la eficiencia de conversión en el Ejemplo de Referencia 3.

#### Descripción de las realizaciones

55 En lo sucesivo, se describen la celda solar y el módulo de celdas solares de acuerdo con la invención. Comprensiblemente, la invención no se limita a las celdas solares de las realizaciones ilustradas.

60 Con referencia a las FIGS. 5 a 8, se ilustran la celda solar de referencia (FIGS. 5 y 6, que no forma parte de la invención) y la celda solar de la invención (FIGS. 7 y 8) que comprenden un sustrato semiconductor que tiene al menos una juntura pn formada en el mismo, una multiplicidad de electrodos 107a, 107b de dedo que presentan forma de peine en al menos una superficie del sustrato semiconductor, y una pluralidad de (dos en las FIGS. 5 a 8) electrodos 105a, 105b de barra colectora que se extienden ortogonales a la dirección longitudinal de los electrodos 107a, 107b de dedo y están conectados a los electrodos 107a, 107b de dedo. En el presente documento, los primeros electrodos 107a de dedo que están conectados a un primer electrodo 105a de barra colectora están separados de los segundos electrodos 107b de dedo que están conectados a un electrodo 105b de barra colectora, que se extiende paralelo al primer electrodo 105a de barra colectora, y los extremos longitudinales (también denominados porciones distales, en

65

lo sucesivo) de dos o más electrodos adyacentes de los electrodos de dedo conectados a cada electrodo de barra colectora están conectados eléctricamente entre sí mediante un electrodo auxiliar 108. Cabe señalar que la celda solar de la invención se caracteriza por el patrón de electrodos de superficie frontal, mientras que la construcción restante puede ser como se muestra en la FIG. 1, por ejemplo.

En la celda solar de referencia mostrada en la FIG. 5, todas las porciones distales adyacentes de los electrodos 107a, 107b de dedo conectados a cada uno de los electrodos 105a, 105b de barra colectora están conectadas entre sí por el electrodo auxiliar 108. En la celda solar de referencia mostrada en la FIG. 6, dos porciones distales adyacentes están conectadas por el electrodo auxiliar 108. El modo de conectar porciones distales adyacentes mediante el electrodo auxiliar 108 no se limita a estas realizaciones. Del mismo modo, como se muestra en las FIGS. 5 y 6, los electrodos 107a, 107b de dedo se proyectan desde los electrodos 105a, 105b de barra colectora a los que están conectados, en direcciones opuestas ortogonales a los electrodos 105a, 105b de barra colectora. Preferentemente, en cada uno de los extremos opuestos de los electrodos 107a de dedo (o 107b) que se proyectan desde el electrodo 105a (o 105b) de barra colectora, los extremos longitudinales de los electrodos 107a (o 107b) de dedo adyacentes están conectados eléctricamente entre sí por el electrodo auxiliar 108.

En la celda solar de la invención, en una posición distinta del extremo longitudinal de los electrodos 107a (o 107b) de dedo, los electrodos 107a (o 107b) de dedo adyacentes conectados a un electrodo 105a (o 105b) de barra colectora común están conectados eléctricamente por otro electrodo auxiliar 108 que se extiende ortogonal a la dirección longitudinal de los electrodos 107a (o 107b) de dedo. En esta realización en donde el electrodo auxiliar 108 adicional se proporciona en una posición que no es el extremo longitudinal de los electrodos (107a o 107b) de dedo conectados a cada electrodo de barra colectora, el número de electrodos auxiliares 108 adicionales es de 2 a 10. Esto garantiza la supresión de una disminución del factor de llenado de celda solar en caso de que se rompan los electrodos de dedo. Del mismo modo, si el número de electrodos auxiliares 108 adicionales supera los 10, el área de recepción de luz se reduce en consecuencia, dando como resultado la reducción de la corriente de cortocircuito y la eficiencia de conversión.

Las FIGS. 7 y 8 muestran las realizaciones de la invención en donde se proporcionan electrodos auxiliares 108 adicionales en posiciones que no son el extremo longitudinal (o porción distal) de los electrodos 107a, 107b de dedo, en el patrón de electrodos de la FIG. 5.

En la realización de la FIG. 7, además de los electrodos auxiliares 108 proporcionados en las porciones distales de los electrodos 107a, 107b de dedo, se proporcionan tres electrodos auxiliares 108 que se extienden ortogonales a la dirección longitudinal de los electrodos 107a de dedo en cada lado de modo que estén igualmente separados entre las porciones distales de los electrodos 107a de dedo y el electrodo 105a de barra colectora, para conectar todos los electrodos 107a de dedo entre sí; y se proporcionan tres electrodos auxiliares 108 que se extienden ortogonales a la dirección longitudinal de los electrodos 107b de dedo en cada lado de modo que estén igualmente separados entre las porciones distales de los electrodos 107b de dedo y el electrodo 105b de barra colectora, para conectar todos los electrodos 107b de dedo entre sí.

Esta realización reduce al mínimo requerido la pasta conductora necesaria para formar electrodos auxiliares, y es eficaz para suprimir cualquier reducción del factor de llenado de celda solar incluso si se rompen los electrodos de dedo por casualidad. La realización de la FIG. 7 también tiene la ventaja de que si se rompe un electrodo de dedo en cualquier posición, la distancia desde el sitio de rotura hasta el electrodo auxiliar es tan corta que se minimiza la reducción del factor de llenado.

En la realización de la FIG. 8, además de los electrodos auxiliares 108 proporcionados en las porciones distales de los electrodos 107a, 107b de dedo, se proporcionan dos electrodos auxiliares 108 que se extienden ortogonales a la dirección longitudinal de los electrodos 107a, 107b de dedo cerca de las porciones distales de los electrodos 107a, 107b de dedo, para conectar todos los electrodos 107a de dedo entre sí y conectar todos los electrodos 107b de dedo entre sí. La proximidad a las porciones distales de los electrodos 107a, 107b de dedo indica una región que se desvía de un punto intermedio entre la porción distal de electrodo de dedo y el electrodo de barra colectora hacia la porción distal de electrodo de dedo, preferentemente una región que se extiende dentro de una distancia de  $L/3$  desde la porción distal de electrodo de dedo, en donde  $L$  es la distancia entre la porción distal y el electrodo de barra colectora, y más preferentemente una región que se extiende dentro de una distancia de  $L/4$  desde la porción distal de electrodo de dedo en donde  $L$  es la distancia definida anteriormente.

Esta realización reduce al mínimo requerido la pasta conductora necesaria para formar electrodos auxiliares, y es eficaz para suprimir cualquier reducción del factor de llenado de celda solar incluso si se rompen los electrodos de dedo por casualidad. La invención se basa en un método de impresión de electrodos para formar electrodos de barra colectora, electrodos de dedo y electrodos auxiliares a la vez mediante la técnica de serigrafía. En este punto, la dirección de impresión generalmente se establece paralela a los electrodos de dedo y ortogonal a los electrodos de barra colectora y electrodos auxiliares. Esto se debe a que en la técnica de serigrafía resulta difícil imprimir líneas ortogonales a la dirección de impresión, con el riesgo de adelgazamiento o rotura de tales líneas. Cuando las líneas auxiliares están dispuestas estrechamente como se muestra en la FIG. 8, los electrodos auxiliares resultantes pueden compensar la rotura o el adelgazamiento. Los electrodos auxiliares engrosados, aunque posibles de imprimir, no

resultan deseables porque se reduce el área de recepción de luz.

Aunque los patrones de electrodos de las FIGS. 7 y 8 se muestran como ejemplos modificados de la FIG. 5, pueden aplicarse al patrón de electrodos de la FIG. 6 como realizaciones de la invención.

5 Del mismo modo, cuando se conectan porciones distales adyacentes mediante un electrodo auxiliar, el electrodo auxiliar no se limita a la conexión lineal ortogonal a la dirección longitudinal de los electrodos de dedo como se muestra en las FIGS. 5 a 8. Es aceptable un método de conexión que use un conector con forma curva, que sea convexo hacia fuera de la dirección longitudinal de los electrodos de dedo, entre dos electrodos de dedo a conectar. Es decir, el electrodo auxiliar puede ser un conector con forma de arco (arquiforme) o una protuberancia de tipo montaña (forma pseudoarqueada) que consista en segmentos lineales cortos que se conectan entre los extremos de dos electrodos de dedo adyacentes o cercanos, de modo que el ángulo de conexión entre el electrodo auxiliar y el electrodo de dedo (ángulo formado entre el electrodo auxiliar y el electrodo de dedo) no sea ortogonal.

15 Cabe señalar que el electrodo de barra colectora se forma preferentemente con un ancho de línea de 0,5 a 3,0 mm, más preferentemente de 1,0 a 1,5 mm. El electrodo de dedo se forma preferentemente con un ancho de línea de 30 a 120  $\mu\text{m}$ , más preferentemente de 60 a 120  $\mu\text{m}$  y lo más preferentemente de 70 a 100  $\mu\text{m}$ . El electrodo auxiliar se forma preferentemente con un ancho de línea de 30 a 500  $\mu\text{m}$ , más preferentemente de 60 a 500  $\mu\text{m}$ , incluso más preferentemente de 60 a 360  $\mu\text{m}$ , y lo más preferentemente de 70 a 240  $\mu\text{m}$ . El espaciado entre los electrodos de barra colectora es preferentemente de 20 a 100 mm, más preferentemente de 39 a 78 mm. El espaciado entre los electrodos de dedo es preferentemente de 0,5 a 4,0 mm, más preferentemente de 1,5 a 2,5 mm.

25 La relación entre el ancho de línea de electrodo auxiliar y el ancho de línea de electrodo de dedo es preferentemente de 0,5 a 8,0, más preferentemente de 0,5 a 2,5. Una relación de menos de 0,5 puede dificultar la fabricación de una placa de serigrafía y puede conllevar probabilidad de rotura, mientras que una relación superior a 8,0 puede provocar una reducción en el área de recepción de luz y, por lo tanto, una disminución de la eficiencia de conversión.

30 La celda solar de la invención como se muestra en la FIG. 1 puede fabricarse mediante cualquier método bien conocido. En el presente documento, pueden formarse electrodos de barra colectora, electrodos de dedo y electrodos auxiliares mediante el método de serigrafía. Deseablemente, estos electrodos se forman simultáneamente mediante el método de serigrafía. Esto proporciona las ventajas de reducir el coste de fabricación mediante una única etapa de impresión y de mejorar el rendimiento de fabricación, ya que se reducen los agrietamientos o las fisuras debido al número reducido de etapas que aplican tensión en el sustrato semiconductor. La invención también es aplicable a una celda solar en donde se forman electrodos de dedo y electrodos de barra colectora en el lado posterior, es decir, una celda solar bifacial.

Cuando se usa el patrón de electrodos de acuerdo con la invención, no solo se minimiza el alabeo del sustrato, sino que también se logran las siguientes ventajas.

40 En primer lugar, incluso si durante el historial térmico se rompe un determinado electrodo de dedo, como en una prueba de ciclos térmicos, debido a que el extremo de ese electrodo de dedo roto está conectado al extremo de otro electrodo de dedo por el electrodo auxiliar, el flujo de corriente se puede extraer a través del otro electrodo de dedo, evitando cualquier pérdida de potencia. En segundo lugar, dado que el electrodo auxiliar está conectado a los extremos de los electrodos de dedo, se agranda el área de contacto con el sustrato semiconductor en el extremo del electrodo de dedo, de modo que se mejora la fuerza adhesiva del extremo del electrodo de dedo para evitar que el electrodo de dedo se desprenda durante el servicio a largo plazo. En tercer lugar, esto mismo evita que el extremo de electrodo de dedo se desprenda del sustrato semiconductor tras la contracción térmica después de la cocción. En cuarto lugar, los electrodos auxiliares sirven para reducir la resistencia de línea, lo que conlleva un factor de llenado aumentado y una eficiencia de conversión mejorada. En quinto lugar, la provisión de electrodos auxiliares mantiene una alta eficiencia de conversión en el sentido de que una pérdida de densidad de corriente de cortocircuito ( $J_{sc}$ ) asociada con una reducción del área de recepción de luz se compensa con un aumento del factor de relleno.

Las ventajas de la invención también pueden obtenerse mediante un módulo de celdas solares.

55 Cuando la celda solar se expone a un entorno exterior, el electrodo de recogida de corriente se ve dañado por el impacto de la temperatura, la humedad, la presión, o similares, dando como resultado la disminución de la eficiencia de conversión. Cuando se depositan en la superficie receptora de luz polvo y partículas extrañas que no transmiten luz, interfieren con la entrada de la luz solar, propiciando una disminución sustancial en la eficiencia de conversión. Por tanto, en la técnica anterior se une bajo calor y presión un laminado con el orden: cubierta frontal transparente (por ejemplo, placa de vidrio reforzada incolora)/relleno (por ejemplo, etileno-acetato de vinilo = EVA)/celda solar/relleno (por ejemplo, EVA)/cubierta posterior resistente a la intemperie de película de resina (por ejemplo, tereftalato de polietileno = PET), produciendo un módulo de celdas solares construido para minimizar la pérdida de eficiencia de conversión. Sin embargo, incluso un módulo de celdas solares con la construcción anterior, si se ve expuesto a un entorno exterior severo durante muchos años, tiende a disminuir su eficiencia de conversión gradualmente. Entre otras cosas, los electrodos se corroen con la humedad y en algunos casos permiten que se filtren partículas metálicas presentes en la humedad, y, de ser así, debilitan su unión al sustrato semiconductor y con el

tiempo terminan despegándose.

Los problemas anteriores, y otros, se resuelven usando la celda solar de la invención ya que se aumenta la fuerza adhesiva de los extremos de electrodo de dedo.

El módulo de celdas solares de la invención se construye usando las celdas solares de la invención. Tal y como se muestra en la FIG. 9, se conectan eléctricamente una pluralidad de celdas solares a sus electrodos de barra colectora mediante conductores de soldadura o interconectores 201. En la realización ilustrada, los interconectores 201 se conectan al electrodo frontal 105 de barra colectora y al electrodo posterior 106 de barra colectora en la celda solar 100 a través de unas soldaduras 202.

El módulo de celdas solares de la invención se obtiene disponiendo una pluralidad de celdas solares 100, con la construcción ilustrada, a lo largo de la dirección longitudinal de los electrodos 105 de barra colectora, con sus superficies receptoras de luz orientadas en una dirección idéntica, y conectando un electrodo frontal 105 de barra colectora de una celda solar 100 a un electrodo posterior 106 de barra colectora de una celda solar 100 adyacente a través de un interconector 201. El número de celdas solares conectadas es típicamente de 2 a 60.

En general, deben protegerse las superficies frontal y posterior de las celdas solares en el módulo de celdas solares. Por lo tanto, un producto de módulo de celdas solares se construye de tal manera que una pluralidad de celdas solares, con interconectores 201 como se ha ilustrado anteriormente, queden intercaladas entre un sustrato transparente tal como una placa de vidrio y una cubierta posterior tal como una lámina posterior. En este caso, generalmente se emplea un sistema súper recto, por ejemplo, en donde una pluralidad de celdas solares 100 con interconectores 201 se intercalan entre el sustrato transparente y la cubierta posterior con sus superficies receptoras de luz orientadas hacia el sustrato transparente, y se encapsulan con un material de relleno transparente tal como polivinilbutilol (PVB) que tiene una pérdida mínima de transmitancia de luz, o etileno acetato de vinilo (EVA) que tiene resistencia a la humedad mejorada, y se conectan a las mismas terminales externas. En el presente documento, se conecta a un terminal externo un interconector externo de extracción conectado a los electrodos posteriores 106 de barra colectora de las celdas solares 100, y se conecta al otro terminal externo un interconector externo de extracción conectado a los electrodos frontales 105 de barra colectora de las celdas solares 100.

## Ejemplos

A continuación se proporcionan Ejemplos de referencia y Ejemplos comparativos para ayudar a la comprensión de la invención.

### Ejemplos de referencia 1 y 2, y Ejemplos comparativos 1 y 2

Para confirmar la eficacia de la invención, se fabricaron celdas solares 100 como se muestran en las FIGS. 2, 4, 5 y 6 procesando 400 sustratos semiconductores mediante las siguientes etapas.

En primer lugar, se suministraron unos sustratos 100b de silicio tipo p {100} dopado con boro cortados en cuadrados de 15 cm y 250 µm de espesor, con una resistividad de 2,0 Ω·cm. El sustrato se trató con una solución acuosa conc. de hidróxido de potasio para eliminar la capa dañada, se texturizó y trató térmicamente en una atmósfera de oxiclورو de fósforo a 850 °C para formar una capa 101 de difusión de tipo n, se trató con ácido fluorhídrico para eliminar el vidrio de fósforo, se limpió y se secó. A continuación, usando un sistema de CVD mejorado con plasma, se depositó SiNx como una capa 102 de revestimiento antirreflectante. En el lado posterior, se serigrafó una pasta, obtenida mezclando polvo de plata y frita de vidrio con un aglutinante orgánico, en un patrón de barra colectora para el electrodo posterior 106 de barra colectora. Posteriormente, se serigrafó una pasta, obtenida mezclando polvo de aluminio con un aglutinante orgánico, en una región excepto en el patrón de barra colectora previamente impreso, para un electrodo 104 de aluminio. Se secó el disolvente orgánico, produciendo el sustrato semiconductor con electrodos posteriores formados sobre el mismo.

A continuación, en el sustrato semiconductor, se imprimió una pasta conductora que contiene polvo de plata, frita de vidrio, un portador orgánico y un disolvente orgánico como componentes principales, y óxido metálico como aditivo, en la capa 102 de revestimiento antirreflectante del sustrato semiconductor mediante una plancha en unas condiciones de, p. ej., una dureza del caucho de racleta de 70°, un ángulo de la racleta de 70°, una presión de impresión 0,3 MPa y una velocidad de impresión de 50 mm/seg. Tras la impresión, se secó la pasta a 150 °C en un horno limpio para eliminar el disolvente orgánico y se coció a 800 °C en una atmósfera de aire, produciendo la celda solar 100.

Se formaron dos electrodos de barra colectora con una separación de 78 mm (en el caso de tres electrodos de barra colectora, 52 mm) y un ancho de línea de 1,5 mm. Los electrodos de dedo tenían una anchura de línea de 90 µm y una separación mutua de 2,0 mm. Los electrodos auxiliares tenían un ancho de línea de 120 µm.

Se evaluaron cuatrocientas (400) celdas solares así fabricadas mediante las siguientes pruebas.

(1) Propiedades eléctricas

Se evaluaron las propiedades eléctricas de las celdas solares utilizando un simulador solar (modelo YSS-160A de Yamashita Denso Corp.). Se midieron las características I-V irradiando luz solar simulada desde el simulador sobre una muestra de celda solar (temperatura del sustrato 25 °C, irradiancia 1 kW/m<sup>2</sup>, espectro AM 1,5 global). A partir de los datos, se calcularon el factor de llenado, la densidad de corriente de cortocircuito y la eficiencia de conversión. Se informó de la medición como un promedio de 100 muestras de celdas solares para cada ejemplo.

(2) Alabeo de la celda solar

Se evaluó el alabeo de una celda solar como se muestra en la FIG. 10. En la medición, se colocó una muestra de celda solar 100 en una plataforma 300 y se midió la distancia "d" desde la parte superior de la muestra hasta la plataforma 300.

Los resultados se muestran en la tabla 1.

Tabla 1

	Ejemplo comparativo 1	Ejemplo comparativo 2	Ejemplo de referencia 1	Ejemplo de referencia 2
Patrón de electrodos	FIG. 2	FIG. 4	FIG. 5	FIG. 6
Relación de área de electrodo	1,00	0,97	1,03	1,00
Relación de coste del electrodo	1,00	0,97	1,03	1,00
Densidad de corriente de cortocircuito (mA/cm <sup>2</sup> )	35,9	36,2	35,8	35,9
Factor de Relleno (%)	75,0	73,0	78,0	77,9
Eficiencia de conversión (%)	16,7	16,4	17,5	17,5
Alabeo de celda (mm)	3,0	0,5	0,5	0,5

En los Ejemplos comparativos, la corriente de cortocircuito aumentó porque se redujo el área de electrodo en la superficie receptora de luz, lo que significa que aumentó en consecuencia la cantidad de luz solar que entra en el sustrato. Sin embargo, la resistencia de línea de la celda solar aumentó debido a la rotura de los electrodos de dedo y al desprendimiento de los extremos de los electrodos de dedo, dando como resultado una reducción en el factor de relleno.

Por el contrario, los patrones de electrodos de los Ejemplos de referencia 1 y 2 demuestran que, incluso cuando el área de electrodo aumenta como en el Ejemplo de referencia 1, la reducción de la corriente de cortocircuito es menor y el factor de llenado aumenta notablemente. Esto conlleva un aumento del 0,8 % en la eficiencia de conversión con respecto al Ejemplo comparativo 1.

A continuación, usando las celdas solares fabricadas en los Ejemplos de referencia 1 y 2 y los Ejemplos comparativos 1 y 2, se fabricaron los módulos mediante el siguiente procedimiento.

Se usó un interconector lineal 201 de 2 mm de ancho y 0,2 mm de espesor. Tal y como se muestra en la FIG. 9, se aplicó previamente un flujo en la región para la conexión entre el interconector 201 y el electrodo 105 de barra colectora, y se conectó el interconector 201 por soldadura al electrodo 105 de barra colectora en la superficie receptora de luz de la celda solar. De igual manera, se soldó un interconector 201 al electrodo posterior 106 de barra colectora de la celda solar. A continuación, se apilaron los componentes en el siguiente orden: vidrio reforzado incoloro/etileno acetato de vinilo (EVA)/celda solar 100 interconectada/EVA/tereftalato de polietileno (PET). Creando un vacío en la atmósfera ambiente, se produjo una unión por calor/presión a una temperatura de 150 °C durante 10 minutos para convertir los componentes en un módulo. Asimismo, se recoció este módulo a 150 °C durante 1 hora para lograr un curado completo. En el presente documento, se conectaron entre sí 60 celdas solares mediante interconectores 201 y se encapsularon las mismas.

Mediante el procedimiento anterior, se fabricaron los módulos de celdas solares.

Se llevó a cabo una prueba de ciclos térmicos (JIS C8917) en cada uno de los módulos de celdas solares fabricados usando las celdas solares de los Ejemplos de referencia 1 y 2 y los Ejemplos comparativos 1 y 2, comparando la salida del módulo de celdas solares antes y después de la prueba. La prueba de ciclos térmicos incluyó 400 ciclos en las condiciones de acuerdo con las normas JIS C8917. Específicamente, la prueba incluye el calentamiento desde una temperatura ambiente (25 °C) hasta 90 °C a una velocidad de hasta 87 °C/h, manteniendo a la temperatura (90 °C)

durante 10 minutos, enfriándola luego hasta -40 °C a una velocidad de hasta 87 °C/h, manteniendo la temperatura (-40 °C) durante 10 minutos, y calentándola hasta 25 °C a una velocidad de hasta 87 °C/h. Tomando estas etapas como un ciclo (3 horas 20 minutos), se repitió la prueba hasta 400 ciclos. La salida del módulo de celdas solares se midió mediante el simulador solar mencionado anteriormente bajo exposición a luz a AM 1,5 y 100 mW/cm<sup>2</sup>, tras lo cual se calculó un porcentaje de retención de salida = (salida después de la prueba)/(salida antes de la prueba) × 100 %. Los resultados se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2

	Ejemplo comparativo 1	Ejemplo comparativo 2	Ejemplo de referencia 1	Ejemplo de referencia 2
Retención de salida	77 %	54 %	99 %	97 %

Como se ve a partir de los resultados, tras 400 ciclos de la prueba de ciclos térmicos, el módulo de celdas solares que usa las celdas solares del Ejemplo comparativo 1 mostró una caída de salida del 77 %. En el módulo de celdas solares que usa las celdas solares del Ejemplo comparativo 2, la salida se redujo al 54 %.

El módulo de celdas solares que usa las celdas solares del Ejemplo de referencia 1 mostró una retención de salida del 99 %. El módulo de celdas solares que usa las celdas solares del Ejemplo de referencia 2 mostró una retención de salida del 97 %. No se encontraron caídas de salida significativas.

#### Ejemplo de referencia 3

Se midieron las propiedades de la celda solar del Ejemplo de referencia 1 (estructura de la FIG. 5) mientras se cambiaba el ancho de línea de los electrodos auxiliares. Específicamente, se fabricaron celdas solares en las mismas condiciones que en el Ejemplo de referencia 1, excepto por que se cambió el ancho de línea de los electrodos auxiliares a 0 (sin electrodo auxiliar), 60, 120, 240, 360, 480 y 600 µm. Se midieron las propiedades eléctricas de las celdas solares en las mismas condiciones de medición que en el Ejemplo de referencia 1. Las mediciones de la densidad de corriente de cortocircuito y del factor de llenado se muestran en la FIG. 11, y las mediciones de la eficiencia de conversión se muestran en la FIG. 12.

En ausencia de electrodos auxiliares (ancho de línea 0 µm), se observaron una alta corriente de cortocircuito y un factor de llenado notablemente bajo, mientras que el factor de llenado y la eficiencia de conversión mejoraron sustancialmente mediante la provisión de electrodos auxiliares. En la región donde el ancho de línea de los electrodos auxiliares es de 60 a 500 µm, a medida que aumenta el ancho de línea, disminuye la corriente de cortocircuito y aumenta el factor de llenado. Se observa una relación de compensación entre la corriente de cortocircuito y el factor de llenado (FIG. 11) y se mantiene cierta eficiencia de conversión alta (FIG. 12). Cuando el ancho de línea de los electrodos auxiliares supera los 500 µm, la reducción en la corriente de cortocircuito se vuelve sustancial debido a la pérdida de sombra de los electrodos auxiliares (FIG. 11) y cae la eficiencia de conversión (FIG. 12), mientras que el factor de relleno aumenta poco.

Estos resultados muestran que la anchura de línea óptima de los electrodos auxiliares es de 60 a 500 µm en la celda solar de la invención.

#### **Lista de símbolos de referencia**

100	celda solar
100b	sustrato semiconductor de tipo p
101	capa de difusión de tipo n
102	capa de revestimiento antirreflectante
103	capa BSF
104	electrodo de aluminio
105, 105a, 105b	electrodo de barra colectora
106	electrodo posterior de barra colectora
107, 107a, 107b	electrodo de dedo
108	electrodo auxiliar
201	interconector
202	soldadura

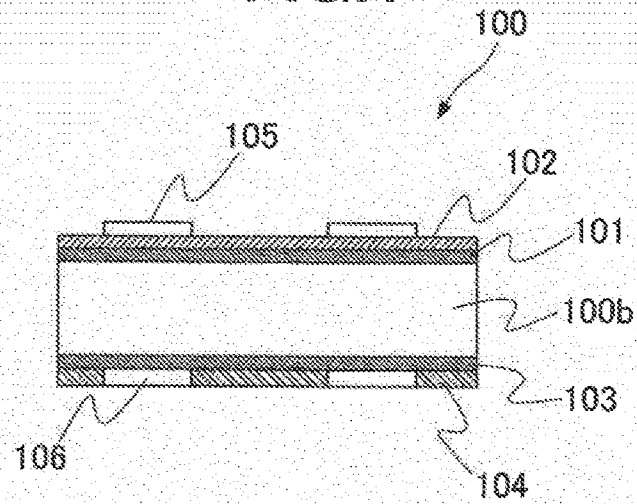


## REIVINDICACIONES

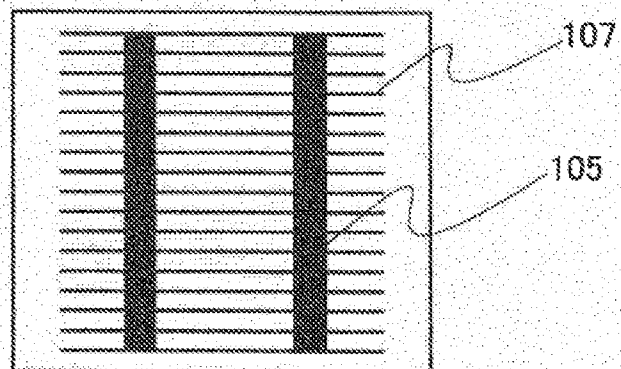
1. Una celda solar que comprende un sustrato semiconductor que tiene al menos una juntura pn formada en el mismo, una multiplicidad de electrodos de dedo para la recogida de corriente que presentan forma de peine en la superficie frontal del sustrato semiconductor, y una pluralidad de electrodos de barra colectora para recoger la corriente de los electrodos de dedo que se extienden ortogonales a la dirección longitudinal de los electrodos de dedo y están conectados a los electrodos de dedo, en donde
  - dichos electrodos de barra colectora incluyen un primer electrodo (105a) de barra colectora y un segundo electrodo (105b) de barra colectora que se extiende paralelo al primer electrodo (105a) de barra colectora, dichos electrodos de dedo incluyen unos primeros electrodos (107a) de dedo conectados al primer electrodo de barra colectora, proyectándose cada primer electrodo (107a) de dedo desde el primer electrodo de barra colectora en cada lado en direcciones opuestas ortogonales al mismo, y teniendo extremos longitudinales opuestos, y unos segundos electrodos (107b) de dedo conectados al segundo electrodo de barra colectora, proyectándose cada segundo electrodo (107b) de dedo desde el segundo electrodo de barra colectora en cada lado en direcciones opuestas ortogonales al mismo, y teniendo extremos longitudinales opuestos, estando los primeros electrodos (107a) de dedo separados de los segundos electrodos (107b) de dedo;
- 20 **caracterizada por que** en cada uno del primer y segundo electrodos de barra colectora:
  - todos los extremos longitudinales adyacentes de los electrodos de dedo adyacentes están conectados eléctricamente por un electrodo auxiliar (108) en dichos extremos, y dichos electrodos de dedo adyacentes también están todos conectados eléctricamente mediante 2 a 10 electrodos auxiliares (108) adicionales, en posiciones que no son los extremos longitudinales.
2. Una celda solar de la reivindicación 1, en donde los electrodos auxiliares (108) adicionales están igualmente espaciados entre los extremos longitudinales de los electrodos de dedo y los electrodos de barra colectora a los que están conectados.
3. Una celda solar de la reivindicación 1, en donde los electrodos auxiliares (108) adicionales se proporcionan en regiones de los electrodos de dedo que se desvían hacia los extremos longitudinales de los electrodos de dedo, desde un punto intermedio entre los extremos longitudinales y el electrodo de barra colectora.
- 35 4. Una celda solar de la reivindicación 3 en donde, donde L es la distancia entre el extremo longitudinal del electrodo de dedo y el electrodo de barra colectora, y dichas regiones de los electrodos de dedo en las cuales se proporcionan los electrodos auxiliares adicionales están dentro de una distancia de L/3 desde los extremos longitudinales de los electrodos de dedo.
- 40 5. Una celda solar de una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, en donde cada electrodo de dedo tiene un ancho de línea de 30 a 120  $\mu\text{m}$ .
6. Una celda solar de la reivindicación 5, en donde cada electrodo de dedo tiene una anchura de línea de 70 a 100  $\mu\text{m}$ .
- 45 7. Una celda solar de una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde cada electrodo auxiliar tiene un ancho de línea de 30 a 500  $\mu\text{m}$ .
8. Una celda solar de la reivindicación 7, en donde cada electrodo auxiliar tiene un ancho de línea de 60 a 360  $\mu\text{m}$ .
- 50 9. Una celda solar de una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde la relación entre el ancho de línea del electrodo auxiliar y el ancho de línea del electrodo de dedo es de 0,5 a 8,0.
10. Una celda solar de una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde la separación entre los electrodos de dedo es de 1,5 a 2,5 mm.
- 55 11. Una celda solar de una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde los electrodos auxiliares (108) son conexiones lineales ortogonales a la dirección longitudinal de los electrodos (107) de dedo.
- 60 12. Un módulo de celdas solares que comprende una pluralidad de celdas solares como se expone en una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 11, en donde sus electrodos de barra colectora están conectados en serie.
13. Un método de fabricación de una celda solar de una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 11, que comprende serigrafar una pasta conductora sobre un sustrato semiconductor usando una placa de serigrafía que tiene un patrón de electrodos para los electrodos de barra colectora, los electrodos de dedo y los electrodos auxiliares de la celda solar, para formarlos a la vez.
- 65

14. Un método de la reivindicación 13, en el cual la dirección de impresión se establece paralela a los electrodos de dedo y ortogonal a los electrodos de barra colectora y los electrodos auxiliares.

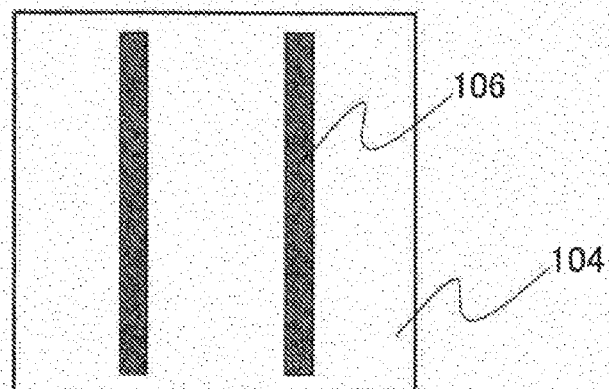
**FIG.1**



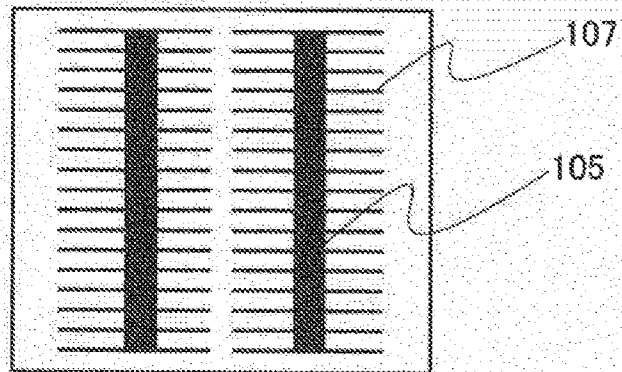
**FIG.2**



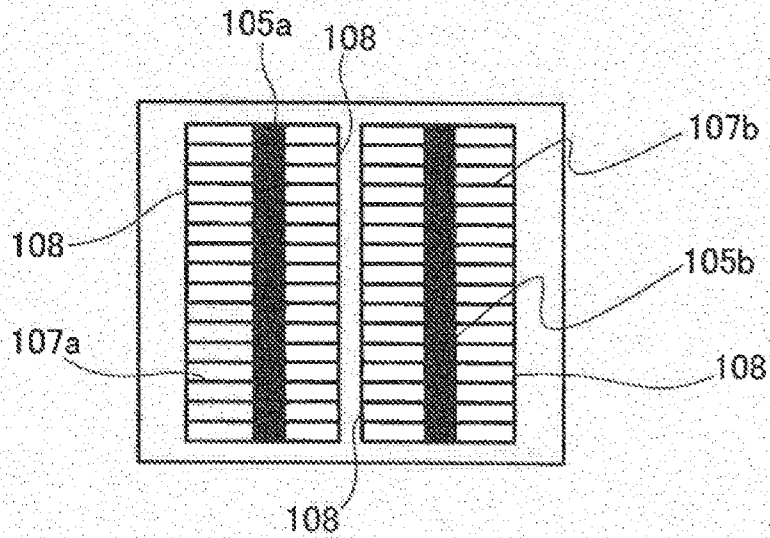
**FIG.3**



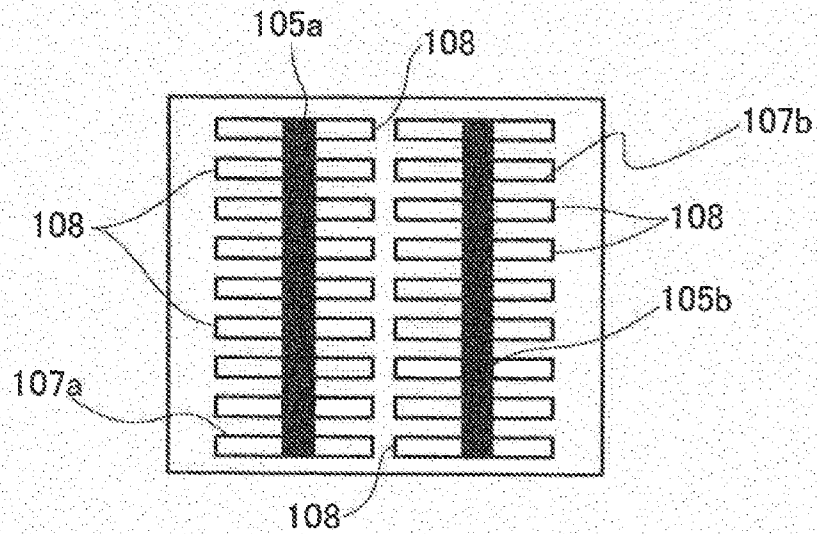
**FIG.4**



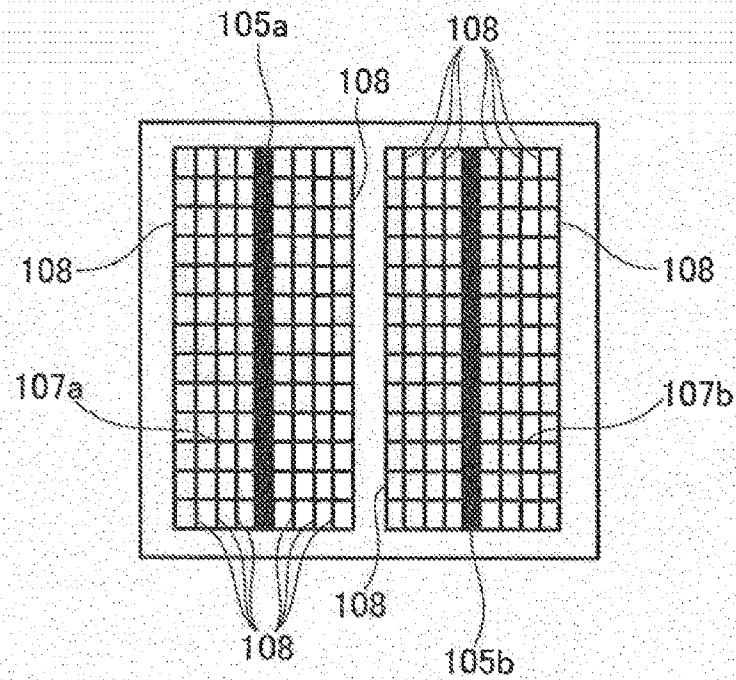
**FIG.5**



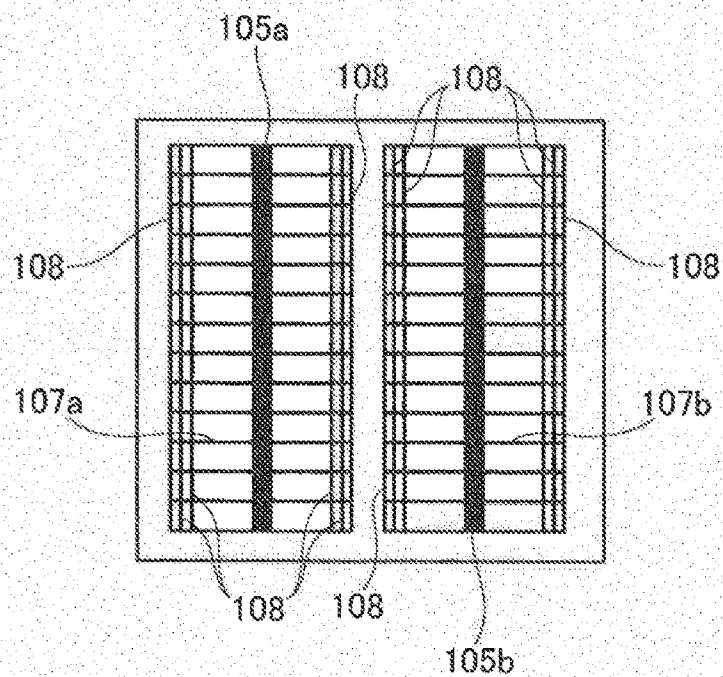
**FIG.6**



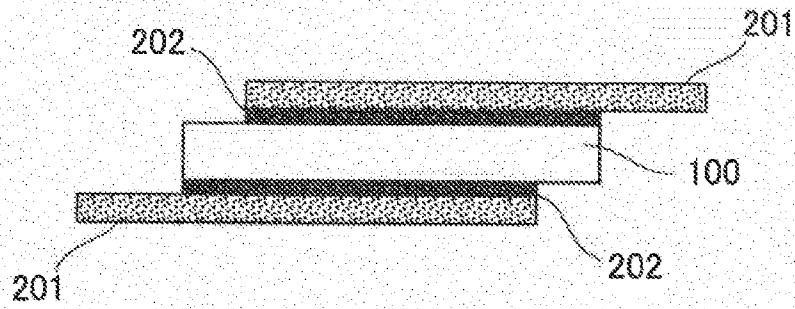
**FIG.7**



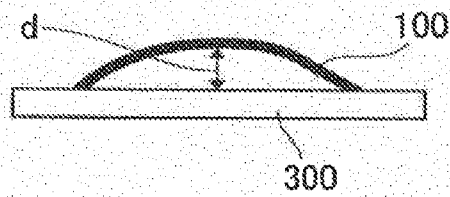
**FIG.8**



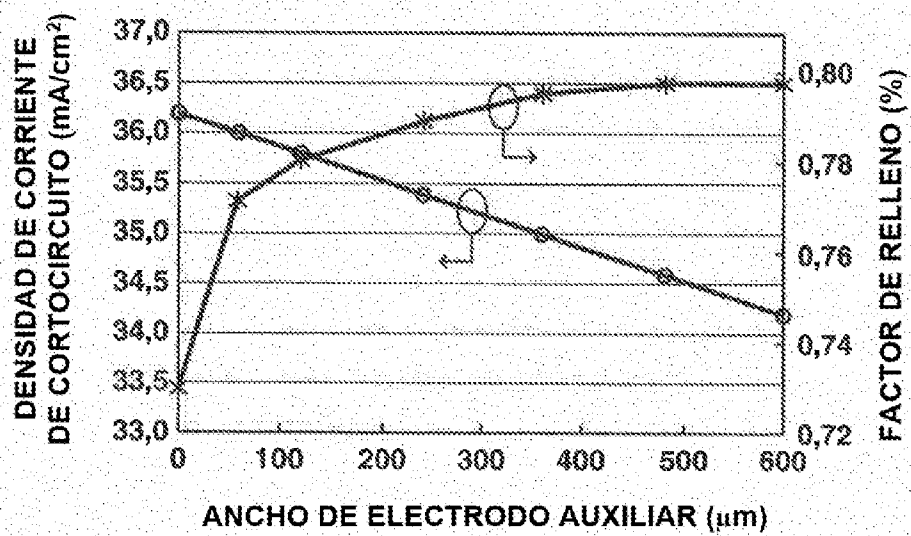
**FIG.9**



**FIG.10**



**FIG.11**



**FIG.12**

