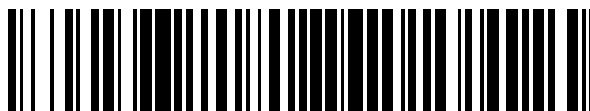


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 817 539**

51 Int. Cl.:

H01L 31/0747 (2012.01)

H01L 21/20 (2006.01)

H01L 21/265 (2006.01)

H01L 31/044 (2014.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **22.12.2016 PCT/JP2016/088582**

87 Fecha y número de publicación internacional: **28.09.2017 WO17163520**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **22.12.2016 E 16895543 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **01.07.2020 EP 3435426**

54 Título: **Célula solar, módulo de célula solar y procedimiento de fabricación de célula solar**

30 Prioridad:

23.03.2016 JP 2016057960

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

07.04.2021

73 Titular/es:

**PANASONIC INTELLECTUAL PROPERTY
MANAGEMENT CO., LTD. (100.0%)
1-61, Shiromi 2-chome, Chuo-ku
Osaka-shi, Osaka 540-6207, JP**

72 Inventor/es:

**TOHODA, SATOSHI;
SHIGEMATSU, MASATO y
MATSUYAMA, KENTA**

74 Agente/Representante:

GONZÁLEZ PECES, Gustavo Adolfo

ES 2 817 539 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

Célula solar, módulo de célula solar y procedimiento de fabricación de célula solar

La presente divulgación se refiere a una célula solar, un módulo de célula solar, y a un procedimiento de fabricación de la célula solar.

5 Como un módulo de célula solar convencional, es conocido un módulo de célula solar con un diodo de derivación, de acuerdo con lo descrito en la Bibliografía de Patentes 1. El módulo de célula solar tiene una pluralidad de cadenas de células solares conectadas en serie y una pluralidad de diodos de derivación conectados en serie. La cadena de células solares tiene una pluralidad de células solares conectadas en serie. Dos cadenas de células solares conectadas en serie constituyen una unidad. Cada uno de los diodos de derivación está conectado en paralelo a las
10 unidades respectivas que son diferentes entre sí (en adelante en la presente memoria denominadas unidad de cadena).

15 Cuando una o varias células solares dentro de una cadena de células solares están sombreadas por una barrera y el área sombreada aumenta, la corriente eléctrica fluye hacia un diodo de derivación conectado en paralelo a la unidad de cadena que contiene las células solares. Del mismo modo, una unidad de cadena que contiene células solares sombreadas es desviada para evitar que no haya salida del módulo de células solares.

La Bibliografía de Patentes 2 desvela un dispositivo fotovoltaico y el procedimiento de fabricación del mismo, y un módulo fotovoltaico.

Bibliografía de Patentes 1: Publicación de Patente Japonesa Expuesta al Público Núm. 2013-157457

Bibliografía de Patentes 2: JP 2014/093418 A

20 Con el módulo de células solares desvelado en la Bibliografía de Patentes 1, si las células solares están sombreadas, la unidad de cadena que contiene las células solares es desviada y por lo tanto no todas las células solares en la unidad de cadena contribuyen a la generación de energía. Por consiguiente, también es evitada la generación de energía de las células solares no sombreadas dentro de la unidad de cadena, lo que conduce a una gran disminución del rendimiento de la generación de energía.

25 Un objeto de la presente divulgación es proporcionar una célula solar que suprima con éxito la pérdida de rendimiento de generación de energía de un módulo de célula solar cuando esté a la sombra y un módulo de célula solar que contiene la célula solar.

30 El objeto de la presente invención es definido en las reivindicaciones 1 a 13 adjuntas. Las realizaciones descritas en la presente memoria que no están revestidas por las reivindicaciones sirven simplemente para ilustrar el contexto técnico de la presente invención.

35 Una célula solar, de acuerdo con una realización de la presente divulgación, tiene un primer sustrato de silicio de tipo conductor y una segunda capa de silicio amorfo de tipo conductor situada en un primer lado de la superficie principal del sustrato de silicio. El sustrato de silicio tiene una región de bajo dopaje que ha sido dopada para ser un primer tipo conductor, y un primer lado de la superficie principal de alto dopaje que es proporcionada entre la región de bajo dopaje y la segunda capa de silicio amorfo de tipo conductor y que tiene una concentración de un primer dopante de tipo conductor superior a la de la región de bajo dopaje.

40 Cabe destacar que el requisito de "una segunda capa conductora de silicio amorfo situada en una primera cara de la superficie principal del sustrato de silicio" se cumple en el caso de que la segunda capa conductora de silicio amorfo esté en contacto con el primer lado de la superficie principal del sustrato de silicio. El requisito de "una segunda capa conductora de silicio amorfo situada en una primera cara de la superficie principal del sustrato de silicio" también se cumple en el caso de que la segunda capa conductora de silicio amorfo esté en contacto con la primera superficie principal del sustrato de silicio con una capa tal como una capa semiconductor intrínseca intercalada entre la segunda capa conductora de silicio amorfo y la primera superficie principal del sustrato de silicio.

45 De acuerdo con la célula solar desvelada como una realización de la presente divulgación, es posible suprimir la pérdida de rendimiento de generación de energía de un módulo de célula solar cuando esté a la sombra.

La FIG. 1 es un diagrama esquemático de configuración que muestra la parte principal de un módulo de células solares de acuerdo con una primera realización;

La FIG. 2 es una vista seccional esquemática que muestra una célula solar del módulo de células solares;

50 La FIG. 3 es un gráfico que muestra los resultados de un ejemplo de prueba para el voltaje-corriente característico de una célula solar;

La FIG. 4 es una vista seccional esquemática que muestra una estructura parcial de una célula solar de acuerdo con un ejemplo de referencia;

La FIG. 5 es una vista seccional esquemática que muestra la célula solar de la primera realización comparable a la FIG. 4;

La FIG. 6 es un diagrama esquemático de configuración que muestra la parte principal del módulo de células solares de acuerdo con un ejemplo de referencia;

5 La FIG. 7 es una vista seccional esquemática que muestra la célula solar como parte principal de una segunda realización;

La FIG. 8 es una vista seccional esquemática que muestra la parte principal de la célula solar de una tercera realización;

10 La FIG. 9 es una vista seccional esquemática que muestra la parte principal de la célula solar de acuerdo con un ejemplo modificado de la tercera realización;

La FIG. 10 es una vista seccional esquemática que muestra una célula solar de una cuarta realización;

La FIG. 11 es una vista seccional esquemática que muestra una célula solar de acuerdo con un ejemplo modificado de la cuarta realización;

15 La FIG. 12 muestra un ejemplo modificado de un procedimiento para formar una región de alto dopaje de acuerdo con una realización de la presente solicitud; y

La FIG. 13 es una vista seccional esquemática que muestra la parte principal del módulo de células solares de acuerdo con la primera realización.

20 A continuación, las realizaciones de acuerdo con la presente divulgación (en adelante en la presente memoria denominadas las realizaciones) serán descritas más específicamente con referencia a los dibujos adjuntos. Las formas específicas, materiales, valores numéricos, direcciones y otros establecidos en la descripción son sólo ejemplos para facilitar la comprensión de la presente divulgación y pueden ser variados adecuadamente dependiendo, por ejemplo, del uso, propósito y especificación. Además, si bien a continuación se presenta una pluralidad de realizaciones y ejemplos modificados, el uso de las partes características de los mismos adecuadamente en combinación es parte del ámbito asumido. Los dibujos usados en las realizaciones como referencia están ilustrados esquemáticamente y las relaciones dimensionales de los componentes mostrados en los dibujos a menudo son diferentes de las dimensiones reales. En la especificación, la descripción: "sustancialmente..." significa, si es ilustrada tomando como ejemplo la descripción "sustancialmente toda la región", que no sólo es incluida la región entera sino también la región reconocida como sustancialmente toda la región.

(Primera realización - útil para entender la invención)

30 La FIG. 1 es un diagrama esquemático de configuración que muestra la parte principal de un módulo de células solares 50 de la primera realización.

35 Como es mostrado en la FIG. 1, el módulo de células solares 50 tiene 6 cadenas de células solares 20 y 3 diodos de desviación 30. Las 6 cadenas de células solares 20 están conectadas en serie. La cadena de células solares 20 tiene 12 células solares 10, que están conectadas en serie por un material de cableado 16. Los 3 diodos de derivación 30 están conectados en serie. Una sola unidad 22 (en adelante en la presente memoria denominada unidad de cadena) está constituida por 2 cadenas de células solares conectadas en serie. Cada uno de los diodos de derivación 30 está conectado en paralelo a una diferente de las unidades de cadena 22.

40 Cabe destacar que el flujo indicado por la línea discontinua A en la FIG. 1 es el flujo de corriente eléctrica producido por la generación de energía de la célula solar 10. Una sola célula solar eclosionada de 10k en la FIG. 1 es una célula solar sombreada por una barrera (no mostrada). El mecanismo de generación de energía de un módulo de célula solar 50 que tiene una célula solar sombreada de 10k será descrito a continuación con referencia, por ejemplo, a la FIG. 3.

45 La FIG. 2 es una vista seccional esquemática que muestra una célula solar 10. Como es mostrado en la FIG. 2, la célula solar 10 tiene un sustrato de silicio cristalino de tipo n (primer tipo conductor) (en adelante en la presente memoria, el sustrato de silicio de tipo n) 1, una primera capa de silicio amorfo de tipo i 2, una capa de silicio amorfo de tipo p (segundo tipo conductor) (en adelante en la presente memoria, la capa de silicio amorfo de tipo p) 3, una segunda capa de silicio amorfo de tipo i 4 y una capa de silicio amorfo de tipo n 5. El sustrato de silicio de tipo n 1 puede ser un sustrato de silicio policristalino de tipo n y preferentemente un sustrato de silicio monocristalino de tipo n.

50 La primera capa de silicio amorfo de tipo i 2 está formada en una primera superficie principal del sustrato 1 de silicio de tipo n. La capa de silicio amorfo de tipo p 3 está formada en una primera superficie principal del sustrato de silicio de tipo n 1. En otras palabras, la capa de silicio amorfo de tipo p 3 es proporcionada en la primera capa de silicio amorfo de tipo i 2 en el lado opuesto al lado que es proporcionada frente al sustrato de silicio de tipo n 1. La segunda capa de silicio amorfo de tipo i 4 es proporcionada en la segunda superficie principal del sustrato de silicio de tipo n 1.

La capa de silicio amorfo de tipo n 5 es proporcionada en la segunda capa de silicio amorfo de tipo i 4, en el lado opuesto al lado orientado hacia el sustrato de silicio de tipo n 1. Una cantidad muy pequeña de átomos de oxígeno puede estar contenida en o cerca de las interfaces entre el sustrato de silicio de tipo n 1 y las capas de silicio amorfo.

5 La primera capa de silicio amorfo de tipo i 2, la capa de silicio amorfo de tipo p 3, la segunda capa de silicio amorfo de tipo i 4 y la capa de silicio amorfo de tipo n 5 tienen la función de suprimir la recombinación de los portadores fotogenerados. Estas capas de silicio 2, 3, 4 y 5 están formadas adecuadamente por un procedimiento de deposición química de vapor (CVD), en particular, un procedimiento de CVD por plasma. Como gas fuente para la formación de la película de las capas de silicio 2, 3, 4 y 5, es usado adecuadamente un gas que contiene silicio tal como SiH_4 , Si_2H_6 o una mezcla de gas que contiene silicio y H_2 . Como gas dopante para la formación de las capas de silicio amorfo de tipo p o n 3 y 5, por ejemplo, B_2H_6 o PH_3 es usado adecuadamente. La cantidad de impureza de adición tal como P y B puede ser pequeña y puede ser usada una mezcla de gas que contenga SiH_4 y H_2 .

15 Las primeras y segundas capas de silicio amorfo de tipo i 2 y 4 son cada una preferentemente una capa de silicio amorfo hidrogenado de tipo i (tipo i a-Si:H). La capa de silicio amorfo de tipo p 3 es preferentemente una capa de silicio amorfo hidrogenado de tipo p (tipo p a-Si:H). La capa de silicio amorfo de tipo n 5 es preferentemente una capa de silicio amorfo hidrogenado de tipo n (tipo n a-Si:H). La capa a-Si:H de tipo i puede estar formada por el procedimiento de CVD usando un gas fuente preparado diluyendo SiH_4 con H_2 . La capa a-Si:H de tipo p está formada usando un gas fuente preparado añadiendo B_2H_6 a SiH_4 y diluyendo la mezcla de gas con hidrógeno. La capa tipo n a-Si:H está formada usando un gas fuente que contiene PH_3 en lugar de B_2H_6 . Cabe destacar que cada una de las capas de silicio amorfo 2 a 5 no está necesariamente hidrogenada. El procedimiento de formación de la película para cada una de las capas semiconductoras no está particularmente limitado. Las primeras y segundas capas de silicio amorfo de tipo i 2 y 4 pueden contener una cantidad muy pequeña de dopante por razones relacionadas con la fabricación.

25 Como es mostrado en la FIG. 2, el sustrato de silicio de tipo n 1 tiene una región 11 de bajo dopaje y una primera región 12 de alto dopaje en la superficie principal. La región 11 de bajo dopaje está dopada para ser un tipo n. El primer lado de la superficie principal de la región 12 de alto dopaje es proporcionado entre la región 11 de bajo dopaje y la capa de silicio amorfo de tipo p 3, y tiene una concentración de dopante de tipo n superior a la de la región 11 de bajo dopaje. Las concentraciones de dopante de tipo n en la región 11 de bajo dopaje y la primera región 12 de alto dopaje del lado de la superficie principal serán descritas a continuación con referencia a la FIG. 3. El primer lado de la superficie principal de la región 12 de alto dopaje es proporcionada en toda la superficie de la región 11 de bajo dopaje en el lado de la capa de silicio amorfo de tipo p 3. El primer lado de la superficie principal de la región 12 de alto dopaje es una región n+ dopada con una cantidad mayor de un dopante de tipo n que la de la región 11 de bajo dopaje. Cada una de las regiones 11 de bajo dopaje y la primera región 12 de la superficie principal de alto dopaje es formada, por ejemplo, mediante un procedimiento de implantación de iones, un procedimiento de difusión térmica, un procedimiento de dopaje por plasma o un procedimiento de crecimiento epitaxial. Como dopante de tipo n, son usados, por ejemplo, P, As y Sb y, en particular, es usado adecuadamente P. P es dopado adecuadamente suprimiendo la generación de defectos mediante el uso de una mezcla de gas con gas POCl_3 y aplicación de un tratamiento térmico. Si es empleado un procedimiento de implantación de iones, es preferente usar conjuntamente el recocido a alta temperatura y RTA (Recocido Térmico Rápido) para reducir los defectos producidos por la implantación de iones.

35 Si es usado un procedimiento de difusión térmica o un procedimiento de dopaje por plasma para formar el primer lado de la superficie principal de la región 12 de alto dopaje, es formado un gradiente de concentración, que es una condición en la que la concentración (dopante) aumenta gradualmente con la distancia de la región de bajo dopaje 11 del sustrato de silicio de tipo n 1. Si es usado un procedimiento de crecimiento epitaxial, en comparación con el caso en que, por ejemplo, es usado un procedimiento de difusión térmica, puede aumentarse rápidamente la concentración de dopante en la posición límite entre la región 11 de bajo dopaje y la primera región 12 de alto dopaje del lado de la superficie principal y puede igualarse fácilmente la concentración de dopante en toda la primera región 12 de alto dopaje del lado de la superficie principal.

45 Es asumido que la célula solar 10 recibe luz del lado de la capa de silicio amorfo de tipo n 5. Como es mostrado en la FIG. 2, la célula solar 10 tiene una capa conductora transparente 6 y un electrodo colector en el lado trasero 7 proporcionados secuencialmente en este orden en la capa 3 de silicio amorfo de tipo p, en el lado trasero (opuesta al lado receptor de la luz). La célula solar 10 tiene una capa conductora transparente 8 y un electrodo colector en el lado delantero 9, que están dispuestos secuencialmente en este orden en la capa de silicio amorfo de tipo n 5 en el lado delantero (el lado receptor de la luz). La capa conductora transparente 6 está formada prácticamente sobre toda la región de la superficie trasera de la capa de silicio amorfo de tipo p 3, mientras que la capa conductora transparente 8 está formada prácticamente sobre toda la región de la superficie del lado delantero de la capa de silicio amorfo de tipo n 5. Cada una de las capas conductoras transparentes 6 y 8 tiene transparencia y conductividad. Cada una de las capas conductoras transparentes 6 y 8 está constituida, por ejemplo, por un óxido metálico tal como In_2O_3 , ZnO , SnO_2 o TiO_2 . Estos óxidos metálicos pueden ser dopados con un dopante tal como Sn, Zn, W, Sb, Ti, Ce, Zr, Mo, Al y Ga.

60 Los electrodos colectores 7 y 9 del lado trasero y delantero están formados por serigrafía de una pasta conductora con un patrón que tiene, por ejemplo, un gran número de partes de los dedos y partes de la barra colector en menor número que las partes de los dedos. El electrodo colector de la parte trasera 7 está formado preferentemente de manera tal que tiene una superficie mayor que el electrodo colector de la parte delantera 9 y el número de las partes de los

dedos del electrodo colector de la lado trasero 7 es preferentemente mayor que el del electrodo colector de la lado delantero 9. Cabe destacar que la estructura de los electrodos no está particularmente limitada. Por ejemplo, el electrodo colector del lado trasero puede estar constituido por una capa de metal, que está formada sustancialmente sobre toda la región de la capa conductora transparente.

- 5 Es asumido que la célula solar 10 recibe luz del lado de la capa de silicio amorfo de tipo n 5. Sin embargo, la célula solar puede recibir luz del lado de la capa de silicio amorfo de tipo p. Alternativamente, la célula solar puede recibir luz de ambos lados, es decir, del lado de la capa de silicio amorfo de tipo p y del lado de la capa de silicio amorfo de tipo n. El primer lado de la superficie principal del sustrato de silicio de tipo n 1 se especifica preferentemente como superficie incidente no luminosa (superficie trasera). Esto se debe a que la movilidad del portador es baja en una
10 región de alto dopaje. Por consiguiente, si se especifica la región de alto dopaje como una superficie incidente de luz (superficie receptora de luz), los portadores generados en la región de alto dopaje son recombinados fácilmente, con el resultado de que la densidad de fotocorriente de cortocircuito disminuye en relación con la intensidad de la luz a ser irradiada. La disminución de la densidad de fotocorriente de cortocircuito puede suprimirse colocando la región de alto dopaje en el lado opuesto a la superficie incidente de la luz. La superficie de incidencia de la luz de la célula solar 10
15 es la superficie principal en la que incide principalmente la luz, y más de 50% a 100% de la luz que incide en la célula solar 10 incide en la superficie de incidencia de la luz. La superficie trasera es la superficie opuesta a la superficie incidente de la luz, y es la superficie principal que tiene una capa conductora transparente sobre la que está formado un electrodo colector de mayor superficie.

20 La FIG. 13 es una vista seccional de un módulo de célula solar 50 que está formado con la célula solar 10 ilustrada en la FIG. 2. La luz solar incide en el módulo de células solares 50, principalmente en la dirección indicada por la flecha S. El módulo de células solares 50 incluye una pluralidad de células solares 10, un material protector delantero 51 dispuesto en un lado más cercano a las superficies de incidencia de la luz de la pluralidad de células solares 10, y un material protector posterior 54 dispuesto en un lado más cercano a las superficies posteriores de la pluralidad de células solares 10. El módulo de células solares 10 incluye además un material de sellado delantero 52 que es
25 relleno entre el material de protección delantero 51 y las células solares 10, y un material de sellado trasero 53 que es relleno entre el material de protección posterior 54 y las células solares 10. La pluralidad de células solares 10 está interpuesta entre los materiales de protección con los electrodos colectores de la lado delantero 9 orientados hacia la superficie de incidencia de la luz del módulo de células solares 50 y los electrodos colectores de la lado trasero 7 orientados hacia la superficie trasera del módulo de células solares 50.

30 El material protector delantero 51 es un material de placa compuesto por un material transparente tal como vidrio o material de resina que transmite suficientemente la luz en una región de longitud de onda que contribuye a la generación de energía de las células solares 10. El material protector del lado trasero 54 es un material de placa o una lámina compuesta de vidrio o resina, pero no tiene por qué tener la propiedad de transmisión de la luz. Un material de sellado, tal como poliolefina o un copolímero de etileno y acetato de vinilo, que suele ser usado en los módulos de
35 células solares, puede ser usado como material de sellado del lado delantero 52 y como material de sellado del lado trasero 53. El material de sellado trasero 53 puede contener partículas de, por ejemplo, óxido de titanio (TiO_2) u óxido de zinc (ZnO_2), y puede ser, por ejemplo, de color blanco. En el módulo de células solares 50, tal como ha sido descrito con anterioridad, las células solares 10 están dispuestas de manera tal que la primera superficie principal del sustrato de silicio de tipo n 1, en la que está formado el primer lado de la superficie principal de la región 12 de alto dopaje,
40 está orientada hacia la superficie trasera del módulo de células solares 50.

La FIG. 3 es un gráfico que muestra la característica voltaje-corriente de la célula solar 10 de acuerdo con un ejemplo de prueba. En el ejemplo de prueba, la concentración promedio de dopaje de P dopado en la región de bajo dopaje 11 es de aproximadamente $1,8 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$. En la FIG. 3, la línea continua f muestra la característica voltaje-corriente en el caso de que la concentración promedio de dopaje de P dopado en la primera región de alto dopaje del lado de la superficie principal 12 sea de $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$. La línea punteada g muestra la característica voltaje-corriente en el caso de que la concentración promedio de dopaje de P dopado en la primera región 12 de la superficie principal de alto dopaje sea de $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$. La línea de puntos y rayas r muestra la característica voltaje-corriente en el caso de que la concentración promedio de dopaje de P dopado en la primera región de alto dopaje del lado de la superficie principal 12 sea de $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$. La línea continua h muestra la característica voltaje-corriente de la célula solar de acuerdo con un ejemplo de referencia en el que un sustrato de silicio de tipo n está constituido sólo por una región de bajo dopaje sin la primera región de alto dopaje del lado de la superficie principal.
50

Como indica la línea continua h, en el caso de la célula solar, de acuerdo con el ejemplo de referencia en el que no es proporcionada la primera región de alto dopaje del lado de la superficie principal, incluso si se aumentó la caída de tensión hasta 15 V, no fluyó ninguna corriente eléctrica. En cambio, en el caso de la célula solar indicada por la línea
55 continua f, si una caída de tensión era de aproximadamente 2 V o más, el flujo de corriente eléctrica comenzó gradualmente y el valor de la corriente eléctrica alcanzó finalmente una meseta alrededor de 3 A. En los casos de las células solares indicadas por la línea punteada g y la línea de puntos y rayas r, en los que la concentración promedio de P es de $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ o más, cuando la caída de tensión alcanzó 1,5 V o más, el flujo de corriente eléctrica comenzó rápidamente y, finalmente, la caída de tensión alcanzó casi 2 V o menos a una corriente eléctrica de 6 A. De igual
60 manera, fue obtenida una característica satisfactoria de voltaje-corriente.

La FIG. 4 es una vista seccional esquemática que muestra una estructura parcial de una célula solar 110 de acuerdo con el ejemplo de referencia. La célula solar 110 tiene un sustrato de silicio cristalino de tipo n 101 con una concentración promedio de dopaje de P de 1×10^{14} a $1 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$. La célula solar 110 tiene una estructura obtenida laminando secuencialmente una capa de silicio amorfo 111 de tipo i y una capa de silicio amorfo 112 de tipo p, en este orden, sobre el sustrato de silicio cristalino 101 de tipo n. La FIG. 5 es una vista seccional esquemática que muestra la célula solar 10 de la realización, comparable a la FIG. 4. La célula solar 10 tiene el tipo n de sustrato de silicio 1 que tiene la región 11 de bajo dopaje y la región 12 de alto dopaje del primer lado de la superficie principal. La célula solar 10 tiene una estructura obtenida laminando secuencialmente la capa 11 de silicio amorfo de tipo i y la capa 12 de silicio amorfo de tipo p, en este orden, sobre el sustrato de silicio de tipo n 1. La célula solar 110 del ejemplo de referencia difiere de la célula solar 10 en que una región de bajo dopaje y una primera región de alto dopaje del lado de la superficie principal no son proporcionadas en el sustrato de silicio cristalino 101 de tipo n y que el sustrato de silicio cristalino 101 de tipo n tiene una concentración uniforme de dopante de tipo n.

Ha sido confirmado que el rendimiento de generación de energía de la célula solar 10 es igual que el de la célula solar 110 del ejemplo de referencia. Cabe destacar que también ha sido confirmado que el rendimiento de generación de energía de una célula solar de acuerdo con un ejemplo modificado de la realización y el rendimiento de generación de energía de las células solares de las siguientes realizaciones y ejemplos modificados de las mismas son iguales al rendimiento de generación de energía de la célula solar 110 del ejemplo de referencia.

La FIG. 6 es un diagrama esquemático de configuración de una parte principal de un módulo de células solares de acuerdo con el ejemplo de referencia. El módulo de células solares 150 difiere del módulo de células solares 50 de la realización sólo en que la célula solar 110 mostrada en la FIG. 4 es usada en lugar de la célula solar 10. A continuación, la potencia de generación de energía del módulo de células solares 50 de la FIG. 1, cuando las células solares 10 están sombreadas, será descrito en comparación con la potencia de generación de energía del módulo de células solares 150 del ejemplo de referencia con una célula solar 110 sombreada. En el módulo de células solares 150 del ejemplo de referencia, una unidad de cadena 122 está constituida por dos cadenas de células solares 120 conectadas en serie. Cada diodo de derivación 130 está conectado en paralelo a una diferente de las unidades de cadena 122.

En el ejemplo de referencia mostrado en la FIG. 6, es asumido que una sola célula solar de 110k está sombreada en el módulo de células solares 150. En este caso, se requiere una caída de tensión excesiva para que la corriente eléctrica fluya a la célula solar 110k, tal y como es mostrado en el símbolo de referencia h (el ejemplo de referencia) de la FIG. 3. De este modo, en este caso, como es mostrado en la FIG. 6, la corriente eléctrica fluye hacia un diodo de derivación 130 conectado en paralelo a la unidad de cadena 122 y la unidad de cadena 122 que tiene la célula solar 110k es desviada. Por consiguiente, la corriente eléctrica fluye a través del pasaje indicado por la línea punteada señalada por la flecha D en la FIG. 6. Veinticuatro células solares 110 presentes en la región sombreada dentro de la unidad de cadena 220 no contribuyen a la generación de energía. Asimismo, se produce una importante pérdida de producción.

En cambio, en el caso de que es asumido que una sola célula solar de 10k está sombreada en el módulo de célula solar 50 de la realización mostrada en la FIG. 1, la corriente eléctrica fluye rápidamente en la célula solar de 10k debido a una pequeña caída de voltaje como se indica en la línea punteada g de la FIG. 3. Por consiguiente, dado que la corriente eléctrica que fluye por el módulo de célula solar 50 no suele ser tan grande, el consumo de energía en la célula solar 10k, que es expresa mediante un producto del pequeño voltaje mencionado con anterioridad y la corriente eléctrica "no tan grande", puede suprimirse hasta un valor pequeño. En consideración de que un gran número de las células solares 10 no sombreadas en la unidad de cadena 22, distintas de la célula solar 10k, participan en la generación de energía, la pérdida de salida del módulo de célula solar 50 de la realización es reducida considerablemente, en comparación con el módulo de célula solar 150 del ejemplo de referencia. Cabe destacar que en el caso de la realización, un único diodo de derivación 30 está conectado en paralelo a una unidad de cadena 22. Esto se debe a que si una pluralidad de las células solares 10 presentes en la misma unidad de cadena 22 están sombreadas, la pérdida de salida puede ser reducida ligeramente al puentear la unidad de cadena 22.

De acuerdo con la primera realización, la región 11 de bajo dopaje de tipo n y la región 12 de alto dopaje de la primera superficie principal de tipo n, que tiene una concentración de dopante mayor que la región 11 de bajo dopaje de tipo n, son proporcionadas en el sustrato de silicio de tipo n 1. El primer lado de la superficie principal de tipo n, la región 12 de alto dopaje, es proporcionada entre la región 11 de bajo dopaje de tipo n y la capa 3 de silicio amorfo de tipo p. La corriente eléctrica puede ser suministrada a la célula solar sombreada 10k con una baja caída de voltaje. De este modo, la pérdida del rendimiento de generación de energía del módulo de células solares 50, producida cuando la célula solar 10 está sombreada, puede ser suprimida.

Cabe destacar que en la primera realización ha sido ilustrado un caso en el que está formada una capa para suprimir la recombinación (denominada en adelante en la presente memoria capa supresora de la recombinación) laminando secuencialmente la primera capa de silicio amorfo de tipo i 2 y la capa de silicio amorfo de tipo p 3, en este orden, en el primer lado de la superficie principal del sustrato 1 de silicio de tipo n. Además, también ha sido ilustrado que la primera capa de silicio amorfo de tipo i es preferentemente una capa de silicio amorfo hidrogenado de tipo i (tipo i a-Si:H) y que la capa de silicio amorfo de tipo p 3 es preferentemente una capa de silicio amorfo hidrogenado de tipo p

(tipo p a-Si:H). Sin embargo, en el primer lado de la superficie principal del sustrato de silicio de tipo n 1, puede estar formada una capa supresora de la recombinación diferente a estas capas. En el primer lado de la superficie principal del sustrato de silicio de tipo n 1, puede estar formada adecuadamente una capa supresora de la recombinación formada por un material seleccionado entre los siguientes (1) a (6) e incluyendo estas capas: (1) tipo p a-Si:H, (2) tipo p a-SiC:H, (3) un laminado de tipo i o tipo p a-Si:H y de alta concentración tipo p a-Si:H (laminado de tipo i o tipo p a-Si:H/alta concentración tipo p a-Si:H), (4) un laminado de tipo i o tipo p a-Si:H/silicio microcristalino hidrogenado de alta concentración tipo p (tipo p $\mu\text{c-Si:H}$) (5) un laminado de tipo i o de tipo p a-SiC:H/alta concentración tipo p a-Si:H, y (6) un laminado de tipo i o de tipo p a-SiC:H/alta concentración tipo p $\mu\text{c-Si:H}$. Además, puede estar formada una capa supresora de la recombinación que contenga una capa de tipo p diferente a estas, por ejemplo, una capa supresora de la recombinación que incluya una capa de tipo p no hidrogenada. En la presente memoria, el término "alta concentración" significa, si es ilustrado tomando como ejemplo "una lámina de tipo p a-Si:H/alta concentración de tipo p a-Si:H", que la concentración de dopante de esta última capa es mayor que la de la primera. Más concretamente, esta expresión significa que se trata de una estructura obtenida laminando dos capas con diferentes cantidades de dopante.

Cabe destacar que ha sido explicado un caso en el que la segunda capa de silicio amorfo de tipo i 4 y la capa de silicio amorfo de tipo n 5 son laminadas secuencialmente en este orden en el segundo lado de la superficie principal del sustrato de silicio de tipo n 1 para formar una capa supresora de la recombinación. También ha sido ilustrado que la segunda capa de silicio amorfo de tipo i 4 es preferentemente una capa de silicio amorfo hidrogenado de tipo i (tipo i a-Si:H) y que la capa de silicio amorfo de tipo n 5 es preferentemente una capa de silicio amorfo hidrogenado de tipo n (tipo n a-Si:H). Sin embargo, en la segunda superficie principal del sustrato de silicio de tipo n 1 puede estar formada una capa supresora de la recombinación diferente a estas capas. Una capa supresora de la recombinación formada por un material seleccionado de entre los siguientes (7) a (12) e incluyendo estas capas puede estar formada adecuadamente en el segundo lado de la superficie principal del sustrato de silicio de tipo n 1: (7) a-Si:H de tipo n, (8) a-SiC:H de tipo n, (9) un laminado de tipo i o a-Si:H de tipo n y a-Si de alta concentración:H (laminado de tipo i o de tipo n a-Si:H/alta concentración de tipo n a-Si:H), (10) un laminado de tipo i o de tipo n a-Si:H/alta concentración de tipo n de silicio microcristalino hidrogenado (tipo n $\mu\text{c-Si:H}$), (11) un laminado de tipo i o de tipo n a-SiC:H/alta concentración de tipo n a-Si:H, (12) un laminado de tipo i o de tipo n a-SiC:H/alta concentración de tipo n $\mu\text{c-Si:H}$. Además, puede estar formada una capa supresora de la recombinación que contenga una capa de tipo n diferente a estas, por ejemplo, una capa supresora de la recombinación que incluya una capa de tipo n no hidrogenada. En la presente memoria, el término "alta concentración" significa, si es ilustrado tomando como ejemplo "una lámina de tipo n a-Si:H/alta concentración de tipo n a-Si:H", que la concentración de dopante de esta última capa es mayor que la de la primera. Más concretamente, esta expresión significa que se trata de una estructura obtenida laminando dos capas con diferentes cantidades de dopante.

Cabe destacar que ha sido ilustrado un caso en el que no está formada una capa protectora en la capa supresora de la recombinación presente en la primera y segundo lado de la superficie principal del sustrato de silicio de tipo n 1. Sin embargo, puede estar formada una capa protectora en al menos un lado de las capas supresoras de la recombinación en el primer y segundo lado de la superficie principal del sustrato de silicio de tipo n 1. La capa protectora tiene la función, por ejemplo, de suprimir los daños de la capa supresora de la recombinación, suprimiendo así la reflexión de la luz. 2. La capa protectora está constituida preferentemente por un material de gran transparencia y adecuadamente constituida, por ejemplo, por óxido de silicio (SiO_2), nitruro de silicio (SiN) u óxido de silicio (SiON).

En la superficie del sustrato de silicio de tipo n 1, puede ser proporcionada una estructura de textura (no mostrada). La estructura de textura se refiere a una estructura que tiene una superficie desigual para aumentar la absorción de luz del sustrato de silicio de tipo n 1 suprimiendo la reflexión de la superficie, y es formada, por ejemplo, sólo en la superficie receptora de luz o tanto en la superficie receptora de luz como en la superficie trasera. La estructura de la textura puede estar formada mediante grabado anisotrópico del plano (100) del sustrato de silicio monocristalino con una solución alcalina. De esta manera, está formada una estructura piramidal desigual (el plano (111) como plano oblicuo) en la superficie del sustrato de silicio monocristalino. La distancia entre la parte más alta y la parte más baja de las partes desiguales de la estructura de la textura es, por ejemplo, de 1 μm a 15 μm .

No hace falta decir que el espesor de cada una de las capas 1 a 5, 11 y 12 puede variar adecuadamente dependiendo de la especificación. Por ejemplo, el espesor del sustrato de silicio de tipo n 1 puede estar fijado entre 50 μm y 300 μm . El espesor del primer lado de la superficie principal de tipo n, región 12 de alto dopaje, puede estar fijado, por ejemplo, en 200 nm o menos, y puede estar dentro del intervalo de varios a 500 nm, preferentemente en el intervalo de 15 nm a 200 nm, y más preferentemente en el intervalo de 50 nm a 100 nm. El espesor de cada una de las capas supresoras de la recombinación presentes en la primera y segundo lado de la superficie principal del sustrato de silicio de tipo n 1 puede estar fijado en el intervalo de 1 nm a 50 nm y preferentemente de 2 nm a 15 nm.

Si la concentración de dopaje en la superficie de la región 11 de bajo dopaje es de 1×10^{14} a $1 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$, entonces cuando la concentración de P de dopaje en la superficie del primer lado de la superficie principal de la región 12 de alto dopaje es de $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ o más, se obtienen resultados adecuados. Por ejemplo, un intervalo adecuado de la concentración de P de dopaje en la superficie del primer lado de la superficie principal de la región 12 de alto dopaje es de $2 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ a $2,5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$. Como ha sido descrito con anterioridad, las primeras y segundas capas de silicio amorfo de tipo i 2 y 4 pueden contener una cantidad muy pequeña de dopante. En este caso, la concentración de P

dopante en la superficie de la primera región 12 de la superficie principal de alto dopaje se encuentra preferentemente en un intervalo de concentración más bajo que el intervalo de concentración adecuado descrito con anterioridad, por ejemplo, de $0,5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ a $2,0 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$. Sin embargo, las concentraciones de dopaje en la superficie en la región de bajo dopaje y en la primera región de alto dopaje del lado principal no están limitadas a estos valores. Esto se debe a que el efecto de la invención de la presente solitud puede ser obtenido formando el primer lado de la superficie principal de la región 12 de alto dopaje con una concentración de dopaje de superficie más grande que la región de bajo dopaje 11. Incluso si la concentración promedio de dopaje del primer lado de la superficie principal de la región 12 de alto dopaje es menor que $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$, si la concentración de dopaje en la superficie de la región 11 de alto dopaje es, por ejemplo, de $1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ o más y más preferentemente de $5 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ o más, la corriente eléctrica fluye debido a una pequeña caída de voltaje de aproximadamente 2 V. De este modo, incluso en este caso, en comparación con el ejemplo de referencia en el que la corriente eléctrica no fluye hasta que una caída de tensión alcanza los 15 V, como indica el símbolo de referencia h de la FIG. 3, es muy fácil que se produzca un efecto túnel. Por consiguiente, en este caso, la pérdida de salida de un módulo de célula solar producida cuando una célula solar esté a la sombra puede ser suprimida dependiendo de la especificación. En este momento, la concentración de P de dopaje superficial en la primera región 12 de la superficie principal de alto dopaje es más preferentemente de $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ o más y $5 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ o menos.

Ha sido ilustrado un caso en el que el primer lado de la superficie principal de la región 12 de alto dopaje es proporcionado en toda la superficie de la región 11 de bajo dopaje en el lado de la capa de silicio amorfo de tipo p 3. Sin embargo, la primera región de alto dopaje del lado de la superficie principal puede ser proporcionada en una parte de la superficie de la región de bajo dopaje en el lado de la capa de silicio amorfo de tipo p. Por ejemplo, la primera región de alto dopaje del lado de la superficie principal puede ser proporcionada sólo en ambos extremos o en el centro de la región de bajo dopaje 11 en la dirección sustancialmente perpendicular a la dirección de espesor.

Ha sido ilustrado un caso en el que el primer tipo conductor es de tipo n y el segundo tipo conductor es de tipo p, pero puede aceptarse un caso en el que el primer tipo conductor sea de tipo p y el segundo tipo conductor sea de tipo n.

Ha sido ilustrado un caso en el que el módulo de células solares 50 tiene 6 cadenas de células solares 20 y la cadena de células solares 20 tiene 12 células solares 10. Sin embargo, el número de cadenas de células solares contenidas en el módulo de células solares puede ser diferente a 6, y el número de células solares contenidas en cada cadena de células solares puede ser diferente a 12. Además, ha sido ilustrado un caso en el que un único diodo de derivación 30 está conectado en paralelo a una unidad de cadena 22 compuesta por 2 cadenas de células solares 20 conectadas en serie, pero un único diodo de derivación puede estar conectado en paralelo a una unidad de cadena compuesta por cadenas de células solares, cuyo número es diferente a 2 (incluyendo uno), conectadas en serie. El módulo de células solares puede no tener un diodo de derivación.

(Segunda realización)

La FIG. 7 es una vista seccional esquemática que muestra la parte principal de una célula solar 210 de acuerdo con una segunda realización. En la FIG. 7, no se muestran una capa conductora transparente y un electrodo colector. En la célula solar de la segunda realización son usados los mismos números de referencia para designar los mismos elementos estructurales correspondientes a los de la primera realización y es omitida cualquier otra explicación. En la célula solar de la segunda realización es omitida toda explicación adicional sobre el efecto operacional y el ejemplo modificado en común con los de la primera realización y sólo serán descritos la estructura, el efecto operacional y el ejemplo modificado, que difieren de los de la primera realización.

La segunda realización difiere de la primera en que un sustrato de silicio cristalino de tipo n 201 tiene una segunda región de alto dopaje del lado de la superficie principal 213 además de la región 11 de bajo dopaje y la primera región de alto dopaje del lado de la superficie principal 12.

El segundo lado de la superficie principal de la región 213 de alto dopaje es proporcionado en un segundo lado de la superficie principal del sustrato de silicio cristalino de tipo n 201. El segundo lado de la superficie principal de la región 213 de alto dopaje es proporcionado entre la región 11 de bajo dopaje y la capa de silicio amorfo de tipo n 5. El segundo lado de la superficie principal de alto dopaje región 213 es proporcionado en toda la superficie de la región 11 de bajo dopaje en el lado de la capa 5 de silicio amorfo de tipo n.

La segunda región 213 de la superficie principal de alto dopaje tiene una concentración promedio de dopante de tipo n superior a la de la región 11 de bajo dopaje. La concentración promedio de dopaje de tipo n del segundo lado de la superficie principal de la región 213 de alto dopaje puede ser igual o diferente de la concentración promedio de dopaje de tipo n del primer lado de la superficie principal de la región 12 de alto dopaje. La concentración promedio de dopaje de tipo n de la segunda región 213 del lado de la superficie principal de alto dopaje puede variar adecuadamente y es preferentemente de $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ o más, y, por ejemplo, de $2 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ a $2,5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$. Como ha sido descrito con anterioridad, las primeras y segundas capas de silicio amorfo de tipo i 2 y 4 pueden contener una cantidad muy pequeña de dopante. En este caso, la concentración promedio de dopante de tipo n de la segunda región 213 de la superficie principal de alto dopaje se encuentra preferentemente en un intervalo de concentración más bajo que el intervalo de concentración adecuado descrito con anterioridad, por ejemplo, de $0,5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ a $2,0 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$.

El espesor de la capa de la segunda región 213 de la superficie principal de alto dopaje puede ser igual o diferente al de la primera región 12 de la superficie principal de alto dopaje. El espesor de la capa del segundo lado de la superficie principal de la región 213 de alto dopaje puede variar adecuadamente dependiendo de la especificación. El espesor de la capa del segundo lado de la superficie principal de la región 213 de alto dopaje puede estar fijado, por ejemplo, en 200 nm o menos, y puede estar dentro del intervalo de varios a 500 nm, preferentemente de 15 nm a 200 nm, y más preferentemente de 50 nm a 100 nm. Si la región de alto dopaje de tipo n es proporcionada en el sustrato de silicio cristalino 201 de tipo n en el lado de la capa 5 de silicio amorfo de tipo n (segundo lado de la superficie principal), se suprime la recombinación de los portadores fotogenerados y se mejora la producción.

De acuerdo con la segunda realización, dado que la segunda región 213 de la superficie principal de alto dopaje, que tiene una concentración de dopante superficial superior a la de la región 11 de bajo dopaje, es proporcionada entre la región 11 de bajo dopaje y la capa de silicio amorfo de tipo n 5, se puede suprimir la recombinación de portadores fotogenerados y mejorar la producción. En particular, es preferente que la concentración de dopaje superficial de tipo n de la primera región 12 de alto dopaje del lado de la superficie principal sea fijada en $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ o más y la concentración de dopaje superficial de tipo n de la segunda región 213 de alto dopaje del lado de la superficie principal se fije en $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ o más. Esto se debe a que se ejerce notablemente el efecto de suprimir una disminución de la producción del módulo 50 de la célula solar cuando una célula solar (como 10k) está sombreada y el efecto de suprimir la recombinación de los portadores fotogenerados. Cabe destacar que en este momento, la concentración de dopaje superficial de tipo n de la primera región 12 de la superficie principal de alto dopaje es más preferentemente $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ o más y $5 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ o menos.

En la segunda realización ha sido ilustrado un caso en el que el segundo lado de la superficie principal, la región 213 de alto dopaje, es proporcionado en toda la superficie de la región 11 de bajo dopaje en el lado de la capa de silicio amorfo de tipo n 5. Sin embargo, la segunda región de alto dopaje del lado de la superficie principal puede ser proporcionada sólo en una parte de la superficie de la región de bajo dopaje del lado de la capa de silicio amorfo de tipo n. Por ejemplo, el segundo lado de la superficie principal de alto dopaje región puede ser proporcionado sólo en ambos extremos o el centro de la región baja dopada 11 en la dirección sustancialmente perpendicular a la dirección de espesor, o alternativamente puede ser proporcionado en puntos como planos.

(Tercera realización)

La FIG. 8 es una vista seccional esquemática que muestra la parte principal de una célula solar 310 de acuerdo con una tercera realización. Una capa conductora transparente y un electrodo colector no se muestran en la FIG. 8. En la célula solar 310 de la tercera realización, son usados los mismos números de referencia para designar los mismos elementos estructurales correspondientes a los de la célula solar 210 de la segunda realización y es omitida una explicación más detallada. 9. En la célula solar 310 de la tercera realización es omitida toda explicación adicional sobre el efecto operacional y el ejemplo modificado en común con los de las células solares 10 y 210 de la primera y segunda realización y sólo serán descritos la estructura, el efecto operacional y el ejemplo modificado, que difieren de los de las células solares 10 y 210 de la primera y segunda realización.

La tercera realización es igual que la segunda, dado que un sustrato de silicio cristalino de tipo n 301 tiene la región 11 de bajo dopaje de tipo n, la región 12 de alto dopaje del lado de la superficie principal y la región 213 del lado de la superficie principal de alto dopaje. Por el contrario, la tercera realización es diferente de la segunda realización dado que el sustrato de silicio cristalino de tipo n 301 tiene primeras y segundas regiones laterales de alto dopaje 314a y 314b, proporcionadas para revestir ambas superficies laterales de la región 11 de bajo dopaje de tipo n.

Como es mostrado en la FIG. 8, el sustrato de silicio cristalino de tipo n 301 tiene la primera región lateral 314a de alto dopaje en uno de los lados de la región 11 de bajo dopaje tipo n en la dirección sustancialmente perpendicular a la dirección de espesor. El sustrato 301 de silicio cristalino de tipo n tiene la segunda región lateral 314b de alto dopaje en el otro lado de la región 11 de bajo dopaje de tipo n en la dirección sustancialmente perpendicular a la dirección de espesor. Cada una de la primera y segunda región lateral de alto dopaje 314a y 314b se extiende en la dirección de espesor de tipo n de sustrato de silicio cristalino 301. La primera región lateral de alto dopaje 314a conecta la primera región 12 del lado de la superficie principal de alto dopaje y la segunda región 213 del lado de la superficie principal de alto dopaje en uno de los lados en la dirección sustancialmente perpendicular mencionada con anterioridad. La segunda región lateral de alto dopaje 314b conecta el primer lado de la superficie principal de alto dopaje región 12 y el segundo lado de la superficie principal de alto dopaje región 213 en el otro lado en la dirección sustancialmente perpendicular mencionada con anterioridad.

Cada una de las regiones laterales 314a y 314b de alto dopaje tiene una concentración promedio de dopante de tipo n superior a la de la región 11 de bajo dopaje. La concentración promedio de dopante de tipo n de la primera región lateral de alto dopaje 314a puede ser igual que la concentración promedio de dopante de tipo n de una o más regiones de la primera región de alto dopaje del lado de la superficie principal 12 y de la segunda región de alto dopaje del lado de la superficie principal 213. La concentración promedio de dopante de tipo n de la primera región lateral de alto dopaje 314a puede diferir del promedio de las concentraciones de dopante de tipo n de ambas regiones 12 y 213. La concentración promedio de dopantes de tipo n de la segunda región lateral de alto dopaje 314b puede ser igual que la concentración promedio de dopantes de tipo n de una o más regiones de la primera región de alto dopaje del lado de la superficie principal 12, la segunda región de alto dopaje del lado de la superficie principal 213 y la primera región

lateral de alto dopaje 314a. La concentración promedio de dopante de tipo n de la segunda región lateral de alto dopaje 314b puede diferir del promedio de las concentraciones de dopante de tipo n de todas estas regiones 12, 213 y 314a. Cada una de la primera y segunda región lateral de alto dopaje 314a y 314b preferentemente tiene una concentración promedio de dopante de tipo n de $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ o más, y, por ejemplo, de $2 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ a $2,5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$. El espesor de la capa de cada una de las primeras y segundas regiones laterales de alto dopaje 314a y 314b en la dirección perpendicular a la dirección de espesor del sustrato puede variar adecuadamente de acuerdo con la especificación. El espesor de la capa de cada una de las regiones laterales 314a y 314b de alto dopaje en dirección perpendicular a la dirección de espesor del sustrato puede estar fijado, por ejemplo, en 200 nm o menos, y puede estar dentro del intervalo de varios a 500 nm, preferentemente de 15 nm a 200 nm, y más preferentemente de 50 nm a 100 nm.

De acuerdo con la tercera realización, dado que ambas superficies laterales del sustrato de silicio cristalino de tipo n 301 están revestidas con las primeras y segundas regiones laterales de alto dopaje 314a y 314b, la recombinación de la superficie en ambas superficies laterales del sustrato de silicio cristalino de tipo n 301 puede reducirse y el rendimiento de la generación de energía puede mejorarse.

Además, dado que la región de alto dopaje de tipo n es proporcionada de forma que rodee a la región 11 de bajo dopaje del sustrato de silicio cristalino de tipo n 301, cada una de las regiones de alto dopaje 12, 213, 314a y 314b pueden ser formadas simultánea y fácilmente alrededor de la región 11 de bajo dopaje mediante, por ejemplo, la difusión de calor usando gas POCl_3 . En consecuencia, el número de etapas para la fabricación de la célula solar 310 puede reducirse y el tiempo de ciclo puede acortarse. En este caso, todas las regiones de alto dopaje 12, 213, 314a y 314b tienen la misma concentración promedio de dopante de tipo n, preferentemente de $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ o más, y más preferentemente de $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ o más y $5 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ o menos.

Cabe destacar que en la tercera realización ha sido ilustrado un caso en el que las primeras y segundas regiones laterales de alto dopaje 314a y 314b son proporcionadas para revestir las dos superficies laterales de la región 11 de bajo dopaje de tipo n. Sin embargo, la región lateral de alto dopaje puede ser proporcionada sólo en una de las superficies laterales de la región 11 de bajo dopaje de tipo n.

Ha sido ilustrado otro caso en el que la primera y la segunda región lateral de alto dopaje 314a y 314b conectan la primera región 12 de la superficie principal de alto dopaje y la segunda región 213 de la superficie principal de alto dopaje. Sin embargo, es posible que al menos una región lateral de alto dopaje no conecte la primera región de alto dopaje del lado de la superficie principal y la segunda región de alto dopaje del lado de la superficie principal. Al menos una región lateral de alto dopaje puede ser proporcionada sólo en una parte de las superficies laterales de la región de bajo dopaje. Si la segunda región de alto dopaje del lado de la superficie principal no está presente, la región lateral de alto dopaje puede ser proporcionada al menos en una parte de las superficies laterales de la región de bajo dopaje. Como es mostrado en la FIG. 9, más específicamente, la vista seccional esquemática que muestra la parte principal de una célula solar 410 de acuerdo con un ejemplo modificado de la tercera realización, la región de alto dopaje de tipo n puede no ser proporcionada en el centro de un sustrato de silicio de tipo n 401 en el primer lado de la superficie principal. Como es mostrado en la FIG. 9, la primera región de alto dopaje del lado de la superficie principal puede ser proporcionada sólo en ambos extremos de tipo n de sustrato de silicio 401 en la dirección sustancialmente perpendicular a la dirección de espesor. Cabe destacar que una capa conductora transparente y un electrodo colector no se muestran en la FIG. 9.

(Cuarta realización - no de acuerdo con la invención)

La FIG. 10 es una vista seccional esquemática que muestra una célula solar 510 de una cuarta realización. En la célula solar 510 de la cuarta realización, es omitida cualquier otra explicación sobre el efecto operacional y el ejemplo modificado en común con la célula solar 10 de la primera realización y sólo serán descritos la estructura, el efecto operacional y el ejemplo modificado, que difieren de la célula solar 10 de la primera realización.

La célula solar 510 de la cuarta realización difiere de las de la primera a la tercera realización en que una capa semiconductor de tipo p 550 y una capa semiconductor de tipo n 560 son proporcionadas en el primer lado de la superficie principal de un sustrato de silicio cristalino de tipo n 501.

Como es mostrado en la FIG. 10, la célula solar 510 tiene el tipo n de sustrato de silicio cristalino (en adelante en la presente memoria denominado simplemente el sustrato) 501, la capa semiconductor de tipo p 550 y la capa semiconductor de tipo n 560, formadas en la primera superficie principal del sustrato 501. La capa semiconductor de tipo p 550 y la capa semiconductor de tipo n 560 tienen una porción mutuamente superpuesta en la dirección de espesor. Una capa aislante 570 es proporcionada en el espacio de la porción superpuesta en la dirección de espesor. La superficie receptora de luz del sustrato 501 corresponde a la superficie opuesta a la primera superficie principal del sustrato 501. La célula solar 510 tiene una región 511 de bajo dopaje de tipo n y una región 512 de alto dopaje en la primera superficie principal de tipo n. El primer lado de la superficie principal de tipo n, región 512 de alto dopaje, tiene una concentración promedio de dopaje de tipo n mayor que la de la región 511 de bajo dopaje de tipo n. El primer lado de la superficie principal de tipo n región 512 de alto dopaje está formada en toda la superficie de la región 511 de bajo dopaje de tipo n en el lado opuesta al lado de la superficie receptora de luz.

Una parte del primer lado de la superficie principal de tipo n, la región 512 de alto dopaje, es proporcionada entre la región 511 de bajo dopaje de tipo n y la capa semiconductor de tipo p 550. La capa semiconductor de tipo p 550 está constituida, por ejemplo, por una estructura laminada formada por una capa de silicio amorfo de tipo i y una capa de silicio amorfo de tipo p, de acuerdo con lo descrito en la primera realización. La capa semiconductor de tipo p 550 puede estar constituida por una capa supresora de la recombinación formada por un material seleccionado de entre los anteriores (1) a (6).

La otra parte del primer lado de la superficie principal de tipo n, la región de alto dopaje 512, es proporcionada entre la región de bajo dopaje de tipo n 511 y la capa semiconductor de tipo n 560. La capa semiconductor de tipo n 560 está constituida por una estructura laminada formada, por ejemplo, por una capa de silicio amorfo de tipo i y una capa de silicio amorfo de tipo n, de acuerdo con lo descrito en la primera realización. La capa semiconductor de tipo n 560 puede estar constituida por una capa supresora de la recombinación formada por un material preferentemente seleccionado de entre los anteriores (7) a (12).

En el lado de la capa semiconductor de tipo p 550 opuesto al lado del sustrato 501, es proporcionado un electrodo del lado p 580. El electrodo 580 del lado p consiste en una capa conductora transparente formada en la capa semiconductor de tipo p 550 y un electrodo colector formado en la capa conductora transparente. En el lado de la capa semiconductor de tipo n 560, opuesto al lado del sustrato 501, es proporcionado un electrodo 590 del lado n. El electrodo 590 del lado n consiste en una capa conductora transparente formada sobre la capa semiconductor de tipo n 560 y un electrodo colector formado sobre la capa conductora transparente. La pérdida de sombra se suprime disponiendo tanto el electrodo del lado p 580 como el electrodo del lado n 590 en el sustrato 501 en el lado opuesto al de la superficie de recepción de luz.

Como material para cada una de las capas conductoras transparentes y un procedimiento de fabricación de las mismas, el material y el procedimiento de fabricación descritos en la primera realización pueden ser usados adecuadamente. Cada electrodo colector puede estar formado usando una pasta conductora y preferentemente formado por un revestimiento electrolítico. Cada uno del mencionado electrodo colector del lado trasero y del lado delantero es formado de un metal tal como Ni, Cu y Ag, puede ser una estructura laminada de una capa de Ni y una capa de Cu, y puede tener una capa de estaño (Sn) en la superficie más exterior para mejorar la resistencia a la corrosión. Como estructura laminada adecuada de la capa conductora transparente y el electrodo colector hay una estructura laminada de una capa conductora transparente formada por óxido de indio y estaño (ITO) y un electrodo colector formado por Cu.

El electrodo del lado p 580 y el electrodo del lado n 590 no están en contacto entre sí y están separados eléctricamente. La célula solar 510 tiene un par de electrodos formados sólo en el lado trasero del sustrato de silicio cristalino de tipo n 501. Los orificios producidos en la región de generación de energía son recogidos por el electrodo del lado p, mientras que los electrones son recogidos por el electrodo del lado n.

La capa semiconductor de tipo p 550 y la capa semiconductor de tipo n 560 están laminadas en la superficie trasera del sustrato de silicio cristalino de tipo n 501 para formar una región de tipo p y una región de tipo n en la superficie trasera. La región de tipo p y la región de tipo n están dispuestas alternativamente, por ejemplo, en una sola dirección, y encajan entre sí como un diente de peine (patrón de forma) en la vista plana. En el ejemplo mostrado en la FIG. 10, una parte de la capa semiconductor de tipo p 550 anula una parte de la capa semiconductor de tipo n 560 para formar capas semiconductoras individuales (región de tipo p, región de tipo n) sin espacio entre estas en la superficie trasera del sustrato de silicio cristalino de tipo n 501. En la parte en que la capa semiconductor de tipo p 550 está superpuesta con la capa semiconductor de tipo n 560, es proporcionada la capa aislante 570. La capa aislante 570 está formada, por ejemplo, por óxido de silicio, nitruro de silicio u oxinitruro de silicio. En cada capa y en cada región, la concentración de dopante, el espesor de la capa y el procedimiento de producción de cada una de estas puede variar adecuadamente de acuerdo con la especificación. Como la concentración, el espesor de la capa y el procedimiento de producción de cada capa, pueden ser empleados los descritos en la primera realización y el ejemplo modificado.

De acuerdo con la cuarta realización, una parte de la primera región 512 de la superficie principal de alto dopaje, que está formada en toda la superficie de la región 511 de bajo dopaje en el lado opuesto al lado de la superficie de recepción de luz, está situada entre la región 511 de bajo dopaje de tipo n y la capa semiconductor de tipo p 550. Por otra parte, la otra parte del primer lado de la superficie principal de la región 512 de alto dopaje es proporcionada entre la región 511 de bajo dopaje de tipo n y la capa semiconductor de tipo n 560. De este modo, las capas correspondientes al primer y segundo lado de la superficie principal de las regiones de alto dopaje 12 y 213 en la segunda realización pueden ser formadas simultáneamente sólo proporcionando una región de alto dopaje 512 en la región de bajo dopaje 511 en el lado opuesto al lado de la superficie receptora de luz. Por consiguiente, se puede obtener fácilmente un efecto de supresión de una disminución de la producción del módulo de células solares cuando esta es proporcionada en la sombra y un efecto de supresión de la recombinación de portadores fotogenerados.

En la cuarta realización ha sido ilustrado un caso en el que el primer lado de la superficie principal de la región 512 de alto dopaje es proporcionado en toda la superficie de la región 511 de bajo dopaje de tipo n. Sin embargo, la primera región de alto dopaje del lado de la superficie principal puede no estar disponible en toda la superficie de la región de bajo dopaje de tipo n. La FIG. 11 es una vista seccional esquemática que muestra una célula solar 610 de acuerdo

con un ejemplo modificado de la cuarta realización. En el ejemplo modificado son usados los mismos números de referencia para designar los mismos elementos estructurales correspondientes a los de la cuarta realización y es omitida cualquier otra explicación. Como es mostrado en la FIG. 11, en el ejemplo modificado, es proporcionada una primera región 612 de alto dopaje del lado de la superficie principal, en parte entre una región 611 de bajo dopaje de tipo n de un sustrato de silicio cristalino de tipo n 601 y la capa semiconductora de tipo p 550. Al igual que en el ejemplo modificado, si el primer lado de la superficie principal de la región de alto dopaje 612 no es proporcionado entre la región 611 de bajo dopaje de tipo n y la capa semiconductora de tipo n 560, se puede suprimir una disminución de la producción del módulo de células solares cuando una célula solar 610 esté a la sombra. Cabe destacar que la primera región de alto dopaje del lado de la superficie principal puede ser proporcionada en toda la región entre la región de bajo dopaje de tipo n del sustrato de silicio cristalino de tipo n y la capa semiconductora de tipo p, y puede no ser proporcionada en ninguna parte entre la región de bajo dopaje de tipo n del sustrato de silicio cristalino de tipo n y la capa semiconductora de tipo n. Alternativamente, la primera región de alto dopaje del lado de la superficie principal puede ser proporcionada en toda la región entre la región de bajo dopaje de tipo n del sustrato de silicio cristalino de tipo n y la capa semiconductora de tipo p y puede ser proporcionada en parte entre la región de bajo dopaje de tipo n del sustrato de silicio cristalino de tipo n y la capa semiconductora de tipo n. Alternativamente, la primera región de alto dopaje del lado de la superficie principal puede ser proporcionada sólo parcialmente entre la región de bajo dopaje de tipo n del sustrato de silicio cristalino de tipo n y la capa semiconductora de tipo p y puede ser proporcionada sólo parcialmente entre la región de bajo dopaje de tipo n del sustrato de silicio cristalino de tipo n y la capa semiconductora de tipo n.

20 (Ejemplo modificado)

En cada una de las realizaciones mencionadas es formada una región de alto dopaje, por ejemplo, mediante un procedimiento de implantación de iones, un procedimiento de difusión térmica, un procedimiento de dopaje por plasma o un procedimiento de crecimiento epitaxial. Una región de alto dopaje con un dopante de tipo conductor predeterminado puede estar formada por un procedimiento perteneciente al procedimiento de difusión térmica, es decir un procedimiento de difusión del dopante de tipo conductor predeterminado en un sustrato de silicio cristalino mediante la aplicación de una etapa de puesta en contacto de una solución que contenga el dopante de tipo conductor predeterminado con la superficie del sustrato de silicio cristalino, seguido de una etapa de tratamiento térmico del sustrato de silicio cristalino, o alternativamente, por preparación de una solución que contenga el dopante de tipo conductor predeterminado para oxidar el silicio, puesta en contacto de la solución con el sustrato de silicio cristalino para formar una capa de óxido de silicio que contenga el dopante de tipo conductor predeterminado en la superficie del sustrato de silicio cristalino y, a continuación, aplicación de la etapa de tratamiento térmico para difundir el dopante de tipo conductor predeterminado desde la capa de óxido de silicio hasta la superficie del sustrato de silicio cristalino. Por ejemplo, puede estar formada una región de alto dopaje de tipo n usando una solución que contenga un dopante de tipo n, tal como P, As y Sb. Un caso de uso de un dopante de tipo n particularmente preferente P será descrito más específicamente mediante un ejemplo modificado de la tercera realización.

La FIG. 12 es una vista que ilustra un procedimiento de formación de las regiones de alto dopaje 12, 213, 314a y 314b, de acuerdo con el ejemplo modificado. Cabe destacar que son usados los mismos números de referencia para designar los mismos o similares elementos estructurales correspondientes a los de la tercera realización.

En primer lugar es preparada una solución química para formar un óxido de silicio que contiene P, que sirve para formar una capa de óxido de silicio 370 en la superficie del sustrato de silicio cristalino de tipo n 301 que tiene una estructura de textura superficial. El sustrato de silicio cristalino de tipo n 301 consiste en la región 11 de bajo dopaje que tiene una concentración de dopante de tipo n inferior a la de las regiones 12, 213, 314a y 314b de alto dopaje. Luego, el sustrato de silicio cristalino de tipo n 301, que tiene una estructura de textura en una superficie, es empapado en la solución química para formar un óxido de silicio para formar una capa de óxido que contiene P 370 con un espesor de varios a aproximadamente 20 angstroms, en toda la superficie del sustrato de silicio cristalino de tipo n 301 (S1). A continuación, el sustrato de silicio cristalino 301 de tipo n, que tiene en su superficie la capa 370 de óxido que contiene P, es sometido a un tratamiento térmico en una atmósfera de nitrógeno o de oxígeno (S2). Debido al tratamiento térmico, el P contenido en la capa de óxido 370 es difundido desde la superficie del sustrato de silicio cristalino 301 de tipo n hacia el interior del sustrato para formar las regiones de alto dopaje 12, 213, 314a y 314b, que son regiones n⁺ en las que la concentración de P es mayor que en otras regiones, en o cerca de la interfaz entre el sustrato de silicio cristalino 301 de tipo n y la capa de óxido 370. A continuación, el sustrato de silicio cristalino 301 de tipo n es empapado en una solución de ácido fluorhídrico (HF) para eliminar la capa de óxido 370 y exponer las regiones de alto dopaje 12, 213, 314a y 314b en la superficie del sustrato de silicio cristalino 301 de tipo n (S3).

La solución química para formar un óxido de silicio usada en la etapa de proceso húmedo de S1 puede ser cualquier solución acuosa ácida que contenga un dopante de tipo n y que sirva para oxidar la superficie del silicio. En el ejemplo modificado es usada una mezcla de una solución acuosa de ácido nítrico con una concentración de 85% en masa y una solución acuosa de ácido fosfórico con una concentración de 70% en masa. La relación de mezcla de las soluciones acuosas individuales, más específicamente, la relación de volumen de la solución acuosa de ácido nítrico : solución acuosa de ácido fosfórico, está en el intervalo de 10 : 90 a 50 : 50 y preferentemente 20 : 80 a 40 : 60. La temperatura de procesamiento de la etapa S1 es, por ejemplo, de 20°C a 100°C, y está preferentemente en el intervalo de aproximadamente 50°C a 80°C.

La solución acuosa ácida descrita con anterioridad no está limitada a las que contienen ácido fosfórico (ácido ortofosfórico) y ácido nítrico y, por ejemplo, puede contener otro ácido tal como ácido clorhídrico o una solución de peróxido de hidrógeno, en lugar del ácido nítrico o junto con este. El ácido metafosfórico puede ser usado como ácido fosfórico que sirve como fuente de dopante de tipo n, y la solución acuosa ácida puede contener un compuesto que contenga P diferente al ácido fosfórico.

Aunque en la descripción anterior es descrito a modo de ejemplo un procedimiento en el que es usada una solución acuosa ácida, también puede ser usada otra solución química, excepto una solución acuosa alcalina en la que es disuelto el sustrato de silicio cristalino de tipo n 301, tal como una solución química neutra.

El tratamiento térmico (S2), que es un tratamiento para la difusión térmica de un dopante, es llevado a cabo bajo una atmósfera de oxígeno o nitrógeno, y particularmente preferentemente bajo una atmósfera de oxígeno. Alternativamente, el tratamiento térmico puede ser realizado bajo una atmósfera de vapor de agua. La temperatura del tratamiento térmico está dentro del intervalo de preferentemente 700°C a 1000°C y más preferentemente 800°C a 950°C. Sin embargo, la temperatura puede ser controlada adecuadamente. El tiempo para el tratamiento térmico es, por ejemplo, de aproximadamente 10 a 60 minutos, pero el tiempo puede ser controlado adecuadamente.

La capa 370 de óxido que contiene P, formada por el uso de la solución química para formar un óxido de silicio, puede revestir toda la superficie del sustrato de silicio cristalino de tipo n 301 o puede estar formada en una parte o en forma de islas. El espesor y el área de formación de la capa de óxido 370 pueden ser controlados variando la proporción de mezcla de una pluralidad de soluciones acuosas ácidas contenidas en la solución química para formar un óxido de silicio para uso en la formación de la capa de óxido 370, las concentraciones de las distintas soluciones acuosas ácidas y las condiciones de formación, tal como la temperatura y el tiempo de la capa de óxido 370. Al difundir P en el sustrato de silicio cristalino de tipo n 301, la profundidad de difusión y la concentración de P pueden ser controladas variando, por ejemplo, la temperatura y el tiempo para el tratamiento térmico.

En el ejemplo modificado anterior de la tercera realización, ha sido ilustrado un procedimiento para formar una región de alto dopaje poniendo en contacto una solución que contiene un dopante de tipo conductor predeterminado con un sustrato, seguido de la aplicación de un tratamiento térmico predeterminado para difundir el dopante de tipo conductor predeterminado en el sustrato. Las regiones de alto dopaje en la primera, segunda y cuarta realización pueden ser formadas de la misma manera que en este procedimiento. El sustrato de silicio cristalino de tipo n 301, que tiene una región de alto dopaje y una región de bajo dopaje en la superficie, puede ser formado, por ejemplo, formando la capa de óxido 370 que contiene P en toda la superficie del sustrato de silicio cristalino de tipo n 301, eliminando una parte de la capa de óxido 370 y aplicando un tratamiento térmico. Alternativamente, el sustrato de silicio cristalino 301 de tipo n, que tiene una región de alto dopaje y una región de bajo dopaje en la superficie, puede estar formada formando la capa de óxido 370 que contiene P en toda la superficie del sustrato de silicio cristalino 301 de tipo n, aplicando un tratamiento térmico para formar la región de alto dopaje en toda la superficie del sustrato de silicio cristalino 301 de tipo n, y eliminando una parte de la región de alto dopaje así formada por el grabado, etc.

El sustrato de silicio cristalino de tipo n 301, que tiene una región de alto dopaje formada por un proceso húmedo y un tratamiento térmico como el descrito con anterioridad, puede ser sometido a la misma etapa de fabricación que en cada una de las realizaciones anteriores para obtener una célula solar completa. El proceso de fabricación de una célula solar incluye una etapa de formación de una capa de silicio amorfo de tipo p en el primer lado de la superficie principal del sustrato de silicio cristalino 301 de tipo n, del que es eliminada la capa de óxido 370. Además, el proceso de fabricación de una célula solar incluye preferentemente una etapa de formación de una capa de silicio amorfo de tipo n en el segundo lado de la superficie principal del sustrato de silicio cristalino de tipo n 301 del que es eliminada la capa de óxido 370. Incluso en el caso de usar un procedimiento de difusión dopante que emplee un proceso húmedo y un tratamiento térmico, puede estar formada una célula solar que tenga una característica satisfactoria de voltaje-corriente y obtener resultados adecuados. Cabe destacar que un procedimiento para formar una región de alto dopaje descrito en el ejemplo modificado es sólo un ejemplo. Aparte de los procedimientos mostrados en el ejemplo modificado, una región de alto dopaje puede estar formada aplicando una solución que contenga un dopante a la superficie de un sustrato de silicio cristalino mediante, por ejemplo, un procedimiento de revestimiento por centrifugado o un procedimiento de pulverización y luego aplicando un tratamiento térmico.

Listado de signos de referencia

1, 201, 301, 401, 501, 601 sustrato de silicio de tipo n, 2 primera capa de silicio amorfo de tipo i, 3 capa de silicio amorfo de tipo p, 4 segunda capa de silicio amorfo de tipo i, 5 capa de silicio amorfo de tipo n, 10, 210, 310, 410, 510, 610 célula solar, 11, 511, 611 región de bajo dopaje, 12, 512, 612 primera región de alto dopaje del lado de la superficie principal, 16 material de cableado, 20 cadena de células solares, 30 diodo de derivación, 50 módulo de células solares, 213 segunda región de alto dopaje del lado de la superficie principal, 314a primera región lateral de alto dopaje, 314b segunda región lateral de alto dopaje, 550 capa semiconductor de tipo p, 560 capa semiconductor de tipo n, 370 capa de óxido.

REIVINDICACIONES

1. Una célula solar (10, 210, 310, 410) que comprende un primer sustrato de silicio de tipo conductor (1, 201, 301, 401), una segunda capa de silicio amorfo de tipo conductor (3) colocada en un primer lado de la superficie principal del sustrato de silicio (1, 201, 301, 401), y una primera capa de silicio amorfo de tipo conductor (5) colocada en un segundo lado de la superficie principal del sustrato de silicio (1, 201, 301, 401), en la que el sustrato de silicio (1, 201, 301, 401) tiene una región de bajo dopaje (11) que ha sido dopada para ser un primer tipo conductor, una primera región de alto dopaje del lado de la superficie principal (12) que es proporcionada entre la región de bajo dopaje (11) y la segunda capa de silicio amorfo de tipo conductor (3) y tiene una concentración de un primer dopante de tipo conductor superior a la de la región de bajo dopaje (11), y una segunda región de alto dopaje del lado de la superficie principal (213) que es proporcionada entre la región de bajo dopaje (11) y la primera capa de silicio amorfo de tipo conductor (5) y tiene una concentración del primer dopante de tipo conductor superior a la de la región de bajo dopaje (11).
2. La célula solar (10, 210, 310, 410), de acuerdo con la reivindicación 1, en la que el sustrato de silicio (1, 201, 301, 401) tiene una región lateral de alto dopaje (314a, 314b) que es proporcionada para revestir un lado que se extiende en una dirección de espesor del sustrato de silicio (1, 201, 301, 401) y tiene una concentración del primer dopante de tipo conductor superior a la de la región de bajo dopaje (11).
3. La célula solar (10, 210, 310, 410) de acuerdo con la reivindicación 1 o 2, en la que la primera región de alto dopaje del lado de la superficie principal (12) es proporcionada en ambos extremos del sustrato de silicio (1, 201, 301, 401) en una dirección sustancialmente perpendicular a una dirección de espesor.
4. La célula solar (10, 210, 310, 410) de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, en la que una concentración de dopante en la primera región de alto dopaje del lado de la superficie principal (12) es de $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ o más.
5. La célula solar (10, 210, 310, 410) de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, en la que la región de bajo dopaje (11) comprende un silicio cristalino de tipo n, y la primera región de alto dopaje del lado de la superficie principal (12) es una región n⁺ que está dopada con una cantidad mayor de dopante de tipo n que la de la región de bajo dopaje (11).
6. La célula solar (10, 210, 310, 410) de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, en la que la primera superficie principal del sustrato de silicio (1, 201, 301, 401) es una superficie incidente no luminosa.
7. Un módulo de células solares (50) con células solares conectadas en serie (10, 210, 310, 410) de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6.
8. El módulo de células solares (50) de acuerdo con la reivindicación 7, comprendiendo un diodo de derivación (30), que está conectado en paralelo a dos o más células solares (10, 210, 310, 410) conectadas en serie.
9. Un procedimiento de fabricación de una célula solar (10, 210, 310, 410) de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, comprendiendo el procedimiento:
 - empapar un sustrato de silicio cristalino de tipo n (1, 201, 301, 401) en una solución acuosa ácida que contiene un dopante de tipo n para formar una capa de óxido de silicio que contiene el dopante de tipo n en una superficie del sustrato (1, 201, 301, 401);
 - someter el sustrato de silicio cristalino de tipo n (1, 201, 301, 401) a un tratamiento térmico para hacer que el dopante de tipo n se difunda desde la capa de óxido de silicio hacia el interior del sustrato de silicio cristalino de tipo n (1, 201, 301, 401) para formar una región n⁺ (12) en el que la concentración del dopante de tipo n es mayor que en otras regiones, al menos, en una interfaz entre el sustrato de silicio cristalino de tipo n (1, 201, 301, 401) y la capa de óxido de silicio;
 - eliminar la capa de óxido de silicio para exponer la región n⁺ (12) del sustrato de silicio cristalino de tipo n (1, 201, 301, 401); y
 - formar una capa de silicio amorfo de tipo p (3) en un lado más cercano a la primera superficie principal del sustrato de silicio cristalino de tipo n (1, 201, 301, 401) del que es eliminada la capa de óxido de silicio.
10. El procedimiento de fabricación de una célula solar (10, 210, 310, 410) de acuerdo con la reivindicación 9, comprendiendo el procedimiento además formar una capa de silicio amorfo de tipo n (5) en un lado más cercano a una segunda superficie principal del sustrato de silicio cristalino de tipo n (1, 201, 301, 401) del que es eliminada la capa de óxido de silicio.
11. El procedimiento de fabricación de una célula solar (10, 210, 310, 410) de acuerdo con la reivindicación 9 o 10, en el que la solución acuosa ácida contiene ácido fosfórico y ácido nítrico.

12. El procedimiento de fabricación de una célula solar (10, 210, 310, 410) de acuerdo con la reivindicación 9, que comprende además: después de formar la capa de óxido de silicio que contiene el dopante de tipo n, eliminar una parte de la capa de óxido de silicio que contiene el dopante de tipo n.

5 **13.** El procedimiento de fabricación de una célula solar (10, 210, 310, 410) de acuerdo con la reivindicación 9, que comprende además: después de formar la región n⁺ en la cual la concentración del dopante de tipo n es mayor, eliminar una parte de la región n⁺ mediante grabado.

10

15

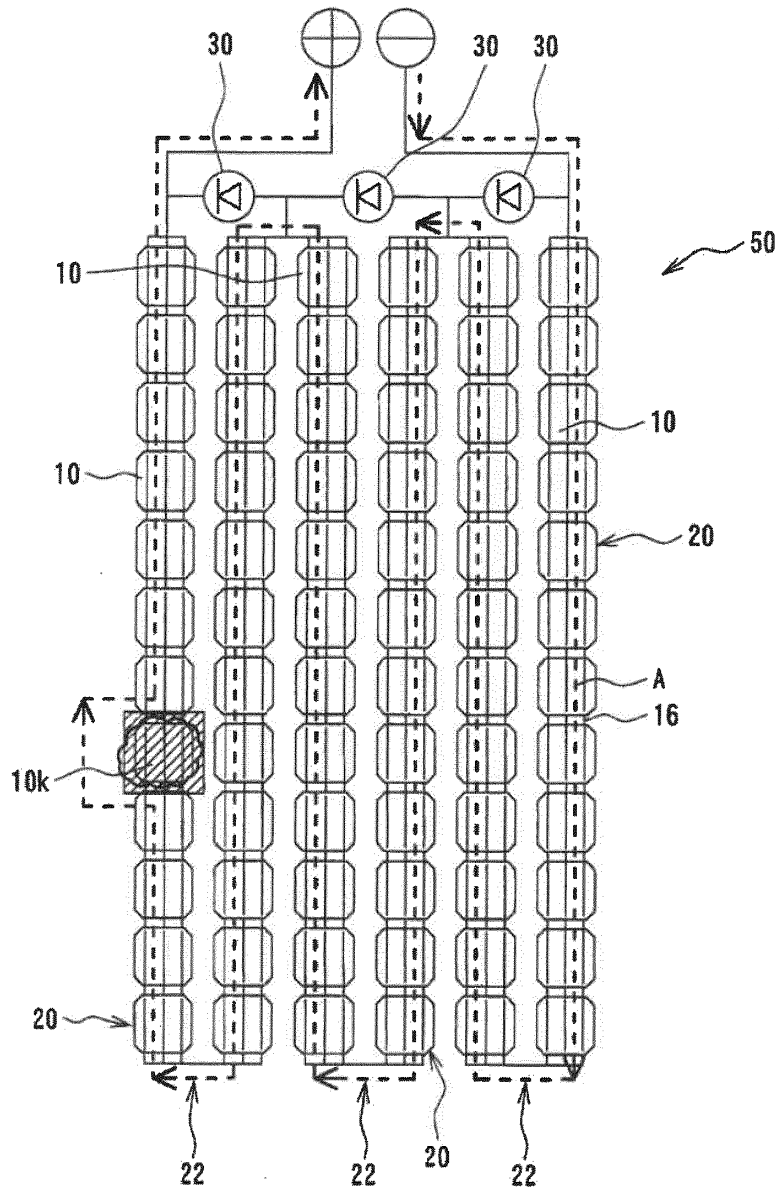


FIG. 1

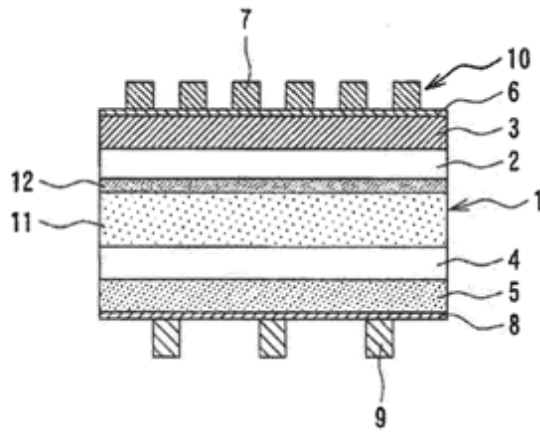


FIG. 2

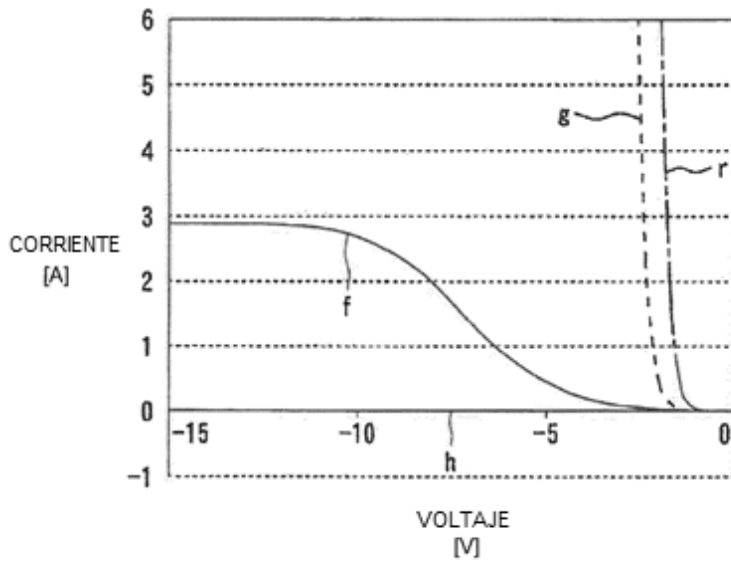


FIG. 3

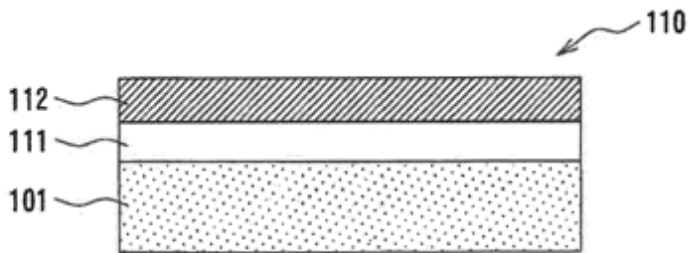


FIG. 4

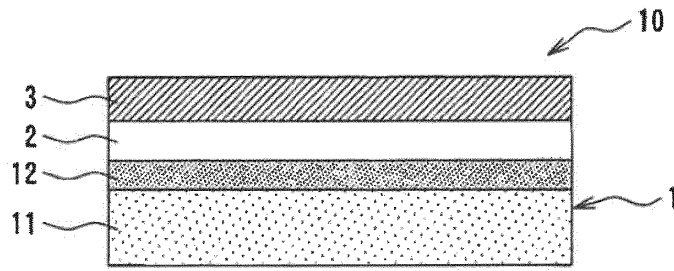


FIG. 5

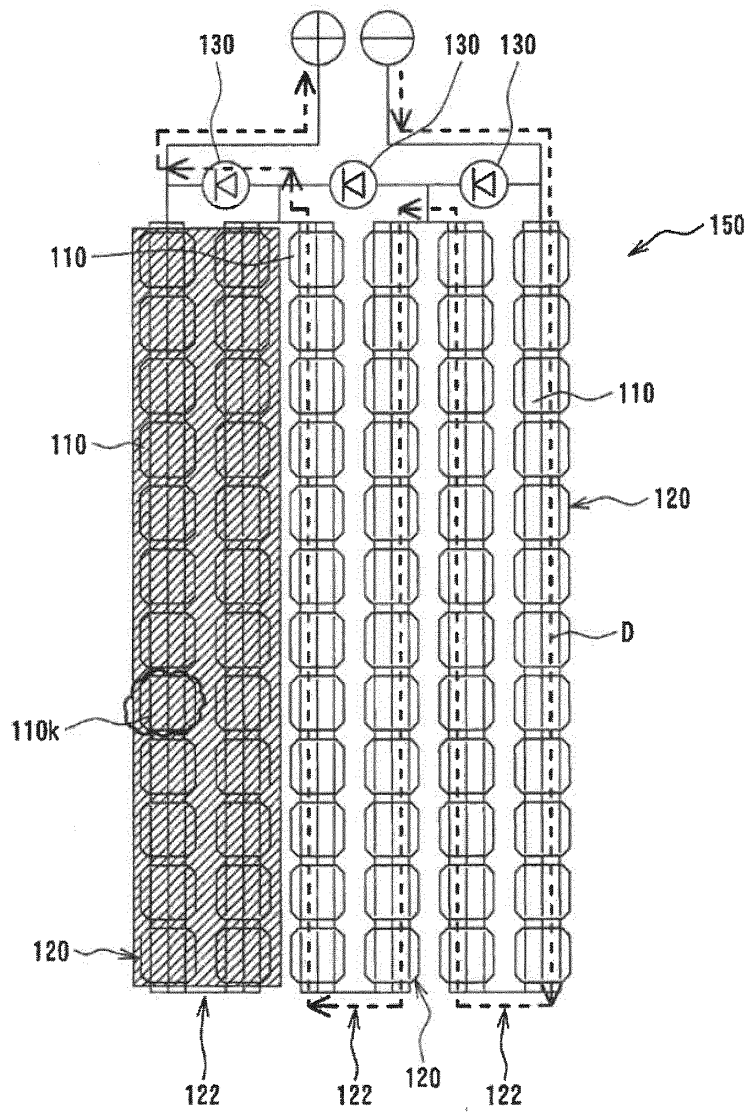


FIG. 6

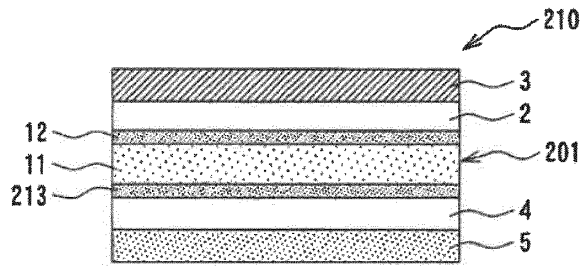


FIG. 7

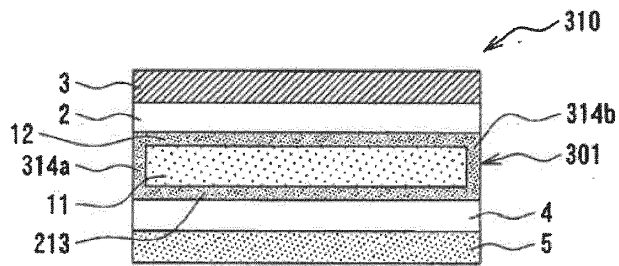


FIG. 8

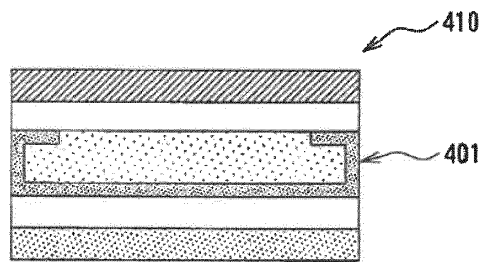


FIG. 9

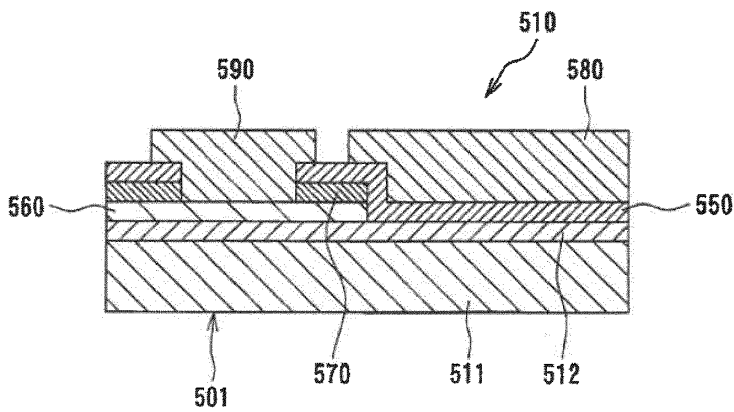
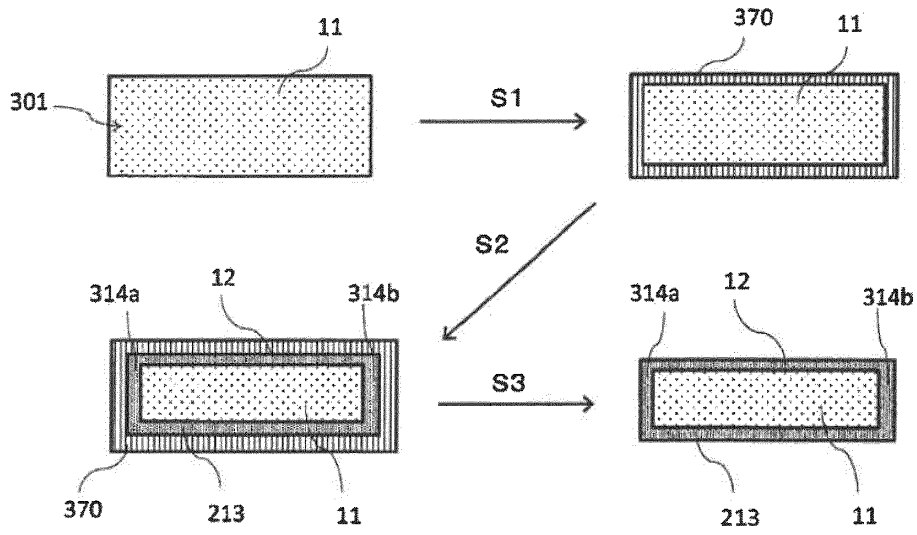
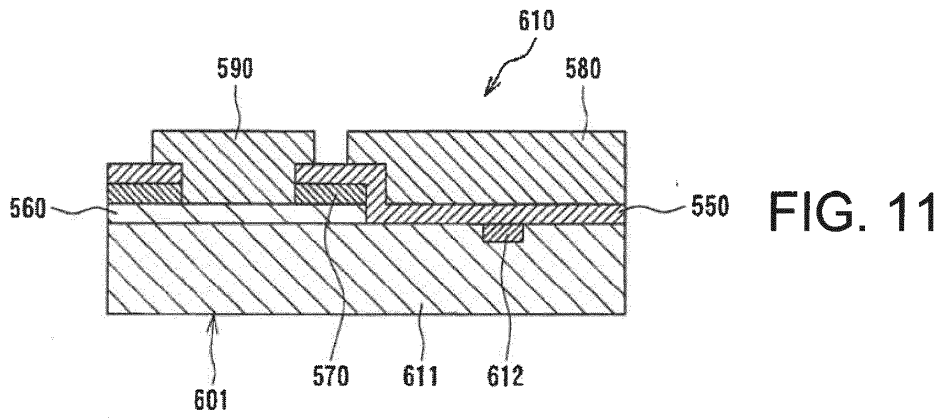


FIG. 10



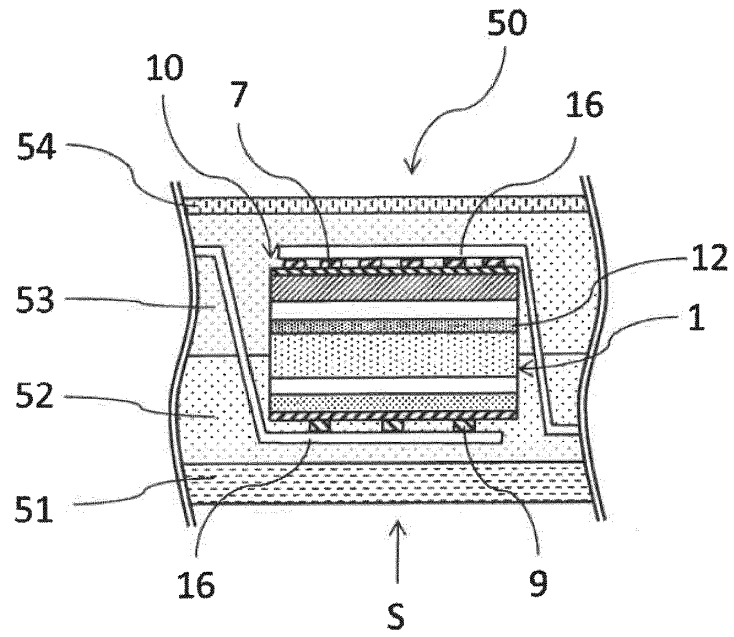


FIG. 13