



19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

11 Número de publicación: **2 358 438**

51 Int. Cl.:
H01L 31/20 (2006.01)
H01L 31/075 (2006.01)
H01L 31/0352 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **06006602 .4**
96 Fecha de presentación : **29.03.2006**
97 Número de publicación de la solicitud: **1708282**
97 Fecha de publicación de la solicitud: **04.10.2006**

54 Título: **Dispositivo fotovoltaico y método de fabricación del dispositivo fotovoltaico.**

30 Prioridad: **29.03.2005 JP 2005-94640**
31.03.2005 JP 2005-100446
14.02.2006 JP 2006-36005

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
10.05.2011

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
10.05.2011

73 Titular/es: **SANYO ELECTRIC Co., Ltd.**
5-5, Keihan-Hondori
2-chome, Moriguchi-shi, Osaka 570-8677, JP

72 Inventor/es: **Asami, Toshio;**
Baba, Toshiaki;
Terakawa, Akira y
Tsunomura, Yasufumi

74 Agente: **Carvajal y Urquijo, Isabel**

ES 2 358 438 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

Dispositivo fotovoltaico y método de fabricación del dispositivo fotovoltaico

ANTECEDENTES DE LA INVENCION

5 Campo de la Invención

La presente invención se refiere a un dispositivo fotovoltaico que comprende un sustrato semiconductor cristalino de un primer tipo de conducción que tiene una primera superficie principal y una segunda superficie principal, y una capa semiconductor de un segundo tipo de conducción formada en la primera superficie principal del sustrato semiconductor cristalino, y se refiere a un método de fabricación del dispositivo fotovoltaico.

10 Descripción de la Técnica Relacionada

En los últimos años existe una demanda creciente de dispositivos fotovoltaicos de varios tamaños para satisfacer las necesidades de los consumidores. Como método de fabricación de dispositivos fotovoltaicos de varios tamaños, existe un método en el que los dispositivos fotovoltaicos se fabrican mediante la utilización de un sustrato en un tamaño estándar, y a continuación son divididos en un tamaño deseado.

15 Por ejemplo, la publicación de patente no examinada número 2001 – 274441, da a conocer un método de separación de un sustrato de vidrio en un dispositivo fotovoltaico. De acuerdo con el método, los dispositivos fotovoltaicos fabricados de un sustrato de vidrio formado por electrodos transparentes, películas amorfas de silicio y electrodos metálicos sobre las mismas, son sometidos a la irradiación de un haz de láser. El haz de láser es irradiado sobre posiciones a separar, desde el lado del electrodo metálico. Por lo tanto, se forman zanjas en las
20 posiciones desde las cuales son retirados los electrodos metálicos, las películas amorfas de silicio y los electrodos transparentes. Y a continuación, el sustrato de vidrio se corta a lo largo de las zanjas, creando los dispositivos fotovoltaicos de un tamaño deseado.

Mientras tanto, en los últimos años se han buscado activamente estudios y aplicaciones prácticas de baterías solares que sirven como dispositivos fotovoltaicos, las cuales están fabricadas de silicio cristalino tal como silicio
25 monocristalino o silicio policristalino. Entre éstas, atrae mucha atención una batería solar con una heterounión que está formada combinando un silicio amorfo y un silicio cristalino, debido a sus capacidades para obtener la heterounión en un proceso de baja temperatura, igual o menor a 200 °C, y para obtener una eficiencia e levada de conversión.

La figura 1 es una vista esquemática en sección transversal, para explicar un ejemplo de dicha batería solar con una heterounión que está formada combinando un silicio amorfo y un silicio cristalino. Una batería solar 50 tiene una estructura en la cual están formadas una capa 3 semiconductor amorfa intrínseca, una capa 4 semiconductor amorfa 4 de tipo p, una capa 5 de película conductora transparente del lado p, y un electrodo colector 6 del lado p, sobre una superficie principal del sustrato semiconductor cristalino 2 de tipo n, en el orden indicado. Además, están formadas una capa semiconductor amorfa intrínseca 7, una capa semiconductor amorfa 8 de tipo n, una capa de película conductora transparente 9 del lado n, y un electrodo colector 10 del lado n, sobre la otra superficie principal
35 del sustrato de semiconductor cristalino 2 de tipo n, en el orden indicado.

Tal como se ha descrito anteriormente, en el caso de fabricación de dispositivos fotovoltaicos del tamaño deseado con una heterounión formada combinando un silicio amorfo y un silicio cristalino, el proceso consiste en primer lugar en formar zanjas en la parte en la que se llevará a cabo el proceso de separación, eliminando los electrodos del colector, las capas del semiconductor amorfo y las capas de semiconductor amorfo intrínseco, y separar a continuación los dispositivos fotovoltaicos a lo largo de las zanjas. Sin embargo, el proceso acorde con la exposición descrita anteriormente puede conducir ocasionalmente a reducciones en la tensión en abierto Voc y en el factor de llenado F. F. (fill factor). El documento S-B-6 210 991 describe un dispositivo de célula solar con zanjas inducidas por láser.

45 RESUMEN DE LA INVENCION

De acuerdo con un aspecto de la presente invención, un dispositivo fotovoltaico tiene un sustrato semiconductor cristalino de un primer tipo de conducción que comprende una primera superficie principal y una segunda superficie principal proporcionada en el lado opuesto de la primera superficie principal, y una capa semiconductor del segundo tipo de conducción proporcionada sobre la primera superficie principal. El sustrato semiconductor cristalino comprende una superficie lateral procesada separada, formada mediante el proceso de separación, interpuesta entre la primera superficie principal y la segunda superficie principal. La superficie lateral procesada
50

separada, comprende una región procesada por láser formada mediante un proceso láser y una región procesada por corte, formada mediante un proceso de corte. La región procesada por láser es una región que se extiende desde la segunda superficie principal hacia el lado de la primera superficie principal, sin alcanzar la capa semiconductor del segundo tipo de conducción.

5 De acuerdo con el aspecto descrito anteriormente, puesto que la región procesada por láser es una región que se extiende desde la segunda superficie principal hacia el lado de la primera superficie principal sin alcanzar la capa semiconductor del segundo tipo de conducción, es posible impedir la generación de microcristal mediante la tensión térmica del haz de láser, en la capa semiconductor del segundo tipo de conducción. Como resultado, es posible impedir una fuga de corriente a través del microcristal, y un deterioro de la tensión en abierto Voc y del factor de llenado F. F.

10 De acuerdo con un aspecto de la presente invención, la capa semiconductor del segundo tipo de conducción tiene una estructura en la que una capa semiconductor amorfa del segundo tipo de conducción y una capa de película conductora del segundo tipo de conducción están laminadas por orden a partir de la primera superficie principal del sustrato semiconductor cristalino.

15 De acuerdo con un aspecto de la presente invención, el dispositivo fotovoltaico comprende una capa semiconductor del primer tipo de conducción dispuesta sobre la segunda superficie principal del sustrato semiconductor cristalino. La capa semiconductor del primer tipo de conducción tiene una estructura en la que una capa semiconductor amorfa del primer tipo de conducción y una capa de película conductora del primer tipo de conducción, están laminadas por orden a partir de la segunda superficie principal del sustrato semiconductor cristalino.

20 De acuerdo con un aspecto de la presente invención, por lo menos una capa semiconductor amorfa del segundo tipo de conducción y la capa semiconductor amorfa del primer tipo de conducción comprenden la capa semiconductor amorfa intrínseca.

25 De acuerdo con un aspecto de la presente invención, el proceso de corte es un proceso de plegado y flexión. La región procesada por láser tiene una serie de partes convexas que se extienden hacia el lado de la primera superficie principal, en el límite entre la región procesada por láser y la región procesada por corte. La región procesada por corte tiene marcas de tensión concentradas, formadas radialmente desde las partes convexas de la región procesada por láser, marcas que se generan durante el proceso de flexión y corte.

30 De acuerdo con un aspecto de la presente invención, la altura promedio de las partes convexas es igual o mayor que $15\ \mu\text{m}$.

De acuerdo con un aspecto de la presente invención, el intervalo promedio entre las partes convexas es de 0,2 a 0,3 veces la altura promedio de las partes convexas.

35 De acuerdo con un aspecto de la presente invención, la longitud promedio desde la segunda superficie principal hasta la parte superior de las partes convexas es igual o mayor al 50% de la longitud desde la segunda superficie principal hasta la primera superficie principal.

40 De acuerdo con un aspecto de la presente invención, un método de fabricación de un dispositivo fotovoltaico que tiene un sustrato semiconductor cristalino de un primer tipo de conducción, que comprende una primera superficie principal y una segunda superficie principal dispuesta en el lado opuesto de la primera superficie principal, incluye las siguientes etapas. Las etapas son (a) formar una capa semiconductor del segundo tipo de conducción sobre la primera superficie principal del sustrato semiconductor cristalino, (b) formar una zanja que se extiende desde la segunda superficie principal hacia el lado de la primera superficie principal, sin alcanzar la capa semiconductor del segundo tipo de conducción, irradiando un haz de láser desde la segunda superficie principal del sustrato semiconductor cristalino, (c) separar el sustrato semiconductor cristalino y la capa semiconductor del segundo tipo de conducción, cortando el sustrato semiconductor cristalino y la capa semiconductor del segundo tipo de conducción, a lo largo de la zanja.

45 De acuerdo con un aspecto de la presente invención, el método de fabricación de un dispositivo fotovoltaico comprende una etapa (d) de formación de una capa semiconductor del primer tipo de conducción sobre la superficie principal del sustrato semiconductor cristalino. La etapa (b) comprende una etapa de irradiación del haz de láser desde la capa semiconductor del primer tipo de conducción.

50 De acuerdo con un aspecto de la presente invención, la capa semiconductor del primer tipo de conducción tiene una estructura en la que una capa semiconductor amorfa del primer tipo de conducción y una capa de película conductora del primer tipo de conducción están laminadas por orden a partir de la segunda superficie principal del sustrato semiconductor cristalino. La capa semiconductor del segundo tipo de conducción tiene una estructura en

la que una capa semiconductor amorfa del segundo tipo de conducción y una capa de película conductora del segundo tipo de conducción, están laminadas por orden a partir de la primera superficie principal del substrato semiconductor cristalino.

5 De acuerdo con un aspecto de la presente invención, por lo menos una capa semiconductor amorfa del segundo tipo de conducción y la capa semiconductor amorfa del primer tipo de conducción, comprenden la capa semiconductor amorfa intrínseca.

10 De acuerdo con un aspecto de la presente invención, la etapa (b) comprende una etapa de formación de la zanja con una serie de partes convexas que se prolongan hacia la primera superficie principal. La etapa (c) comprende una etapa de flexión del substrato semiconductor cristalino y de la capa semiconductor del segundo tipo de conducción, a lo largo de la zanja.

De acuerdo con un aspecto de la presente invención, la etapa (b) comprende una etapa de formación de la zanja con la serie de partes convexas que se prolongan hacia la primera superficie principal, controlando la frecuencia de impulsos y la velocidad de barrido del haz de láser.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

15 La figura 1 es una vista esquemática en sección transversal, para explicar una estructura de un dispositivo fotovoltaico con una heterounión, que está formada combinando un semiconductor amorfo y un semiconductor cristalino.

20 Las figuras 2A y 2B son vistas esquemáticas que muestran secciones transversales ampliadas en las proximidades de las zanjas formadas irradiando un haz de láser sobre el dispositivo fotovoltaico que tiene la heterounión, que está formada combinando un semiconductor amorfo y un semiconductor cristalino.

La figura 3 es una vista esquemática en sección transversal para explicar la configuración de una estructura acorde con la primera realización de la presente invención.

25 La figura 4 es una vista esquemática en sección transversal para explicar una etapa de la formación de zanjas en la estructura acorde con la primera realización de la presente invención, irradiando un haz de láser sobre la estructura.

La figura 5 es una vista esquemática en sección transversal para explicar la configuración de un dispositivo fotovoltaico acorde con la primera realización de la presente invención.

La figura 6 es una vista esquemática en sección transversal para explicar la configuración de una estructura acorde con la segunda realización de la presente invención.

30 La figura 7 es una vista esquemática en sección transversal para explicar una etapa de la formación de zanjas en la estructura acorde con la segunda realización de la presente invención, irradiando un haz de láser sobre la estructura.

La figura 8 es una vista esquemática en sección transversal para explicar la configuración de un dispositivo fotovoltaico acorde con la segunda realización de la presente invención.

35 La figura 9 es un diagrama esquemático en sección transversal para explicar una etapa de la formación de zanjas sobre una estructura acorde con el ejemplo comparativo 1, irradiando un haz de láser sobre la estructura.

La figura 10 es una vista esquemática en sección transversal para explicar una configuración de un dispositivo fotovoltaico acorde con el ejemplo comparativo 1.

40 La figura 11 es un diagrama esquemático en sección transversal para explicar una etapa de la formación de zanjas sobre una estructura acorde con el ejemplo comparativo 2, irradiando un haz de láser sobre la estructura.

La figura 12 es una vista esquemática en sección transversal para explicar una configuración de un dispositivo fotovoltaico acorde con el ejemplo comparativo 2.

45 La figura 13 es una vista lateral de un dispositivo fotovoltaico de una tercera realización acorde con la presente invención.

La figura 14 es una vista en perspectiva del dispositivo fotovoltaico de la tercera realización acorde con la presente invención.

5 La figura 15 es una vista lateral que muestra el estado del dispositivo fotovoltaico de la tercera realización acorde con la presente invención, cuando se lleva a cabo el proceso de separación, viéndose el dispositivo fotovoltaico desde la dirección indicada por una flecha A en la figura 13.

La figura 16 es una vista en planta que muestra una parte, que corresponde a las hileras a separar, del dispositivo fotovoltaico de la tercera realización acorde con la presente invención.

La figura 17 es una vista en perspectiva que muestra un estado en el que se lleva a cabo el proceso de flexión-corte en la tercera realización acorde con la presente invención.

10 La figura 18 es una fotografía microscópica que muestra una superficie lateral del dispositivo fotovoltaico de la tercera realización acorde con la presente invención.

La figura 19 es una fotografía microscópica que muestra una superficie lateral de un dispositivo fotovoltaico del ejemplo comparativo 3.

La figura 20 es una vista lateral correspondiente a la fotografía microscópica de la figura 18.

15 La figura 21 es una vista lateral correspondiente a la fotografía microscópica de la figura 19.

Las figuras 22A a 22C son vistas laterales que muestran las influencias sobre el perfil de la región del proceso por láser, mediante la frecuencia de impulsos y la velocidad del barrido cuando se lleva a cabo la irradiación del láser.

20 La figura 23 es una vista lateral para explicar un método de medición de una altura promedio de las partes convexas de la región procesada por láser.

La figura 24 es un diagrama que muestra la relación entre un factor de llenado estandarizado y la altura promedio de las partes convexas de la región procesada con láser.

25 La figura 25 es un diagrama que muestra la relación entre un factor de llenado estandarizado y un valor obtenido dividiendo el valor del promedio de la longitud desde la otra superficie principal hasta la parte superior de las partes convexas, por un valor del grosor del sustrato.

La figura 26 es una vista en planta para explicar otra realización acorde con la presente invención.

La figura 27 es una vista en planta para explicar otra realización acorde con la presente invención.

DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LAS REALIZACIONES PREFERIDAS

30 A continuación, se describirá haciendo referencia a los dibujos anexos, el resultado de un amplio estudio llevado a cabo por los inventores de la presente invención, Los inventores encontraron que las reducciones en la tensión en abierto Voc y el factor de llenado F. F. se producen cuando el haz de láser es irradiado sobre la batería solar 50 desde un lado de la capa semiconductor amorfa 4 de tipo p, y que las reducciones en la tensión en abierto Voc y el factor de llenado F. F. no se producen cuando el haz de láser es irradiado desde el lado de la capa semiconductor amorfa 8 de tipo n. Las razones de este fenómeno se describirán a continuación.

35 Las figuras 2A y 2B son vistas esquemáticas que muestran secciones transversales aumentadas de la batería solar 50 en las proximidades de las partes sometidas a la irradiación del haz de láser. Se describirán a continuación las razones para el fenómeno mencionado anteriormente, haciendo referencia a las figuras 2A y 2B.

40 Cuando el haz de láser es irradiado desde la capa semiconductor amorfa 4 de tipo p, tal como se indica con la flecha L, se forma una sección transversal de la batería solar 50 con el perfil que se muestra en la figura 2A. En la figura 2A, la batería solar 50a es la batería solar después de someterse a la irradiación del haz de láser, y la zanja 50 es una zanja formada en la batería solar 50a mediante la irradiación del haz de láser.

45 Tal como se muestra en la figura 2A, sobre una superficie extrema de la batería solar 50a, en una posición en la que son extraídos el electrodo colector 6 del lado p, la capa 5 de película conductora transparente del lado p, la capa semiconductor amorfa 4 de tipo p, la capa semiconductor amorfa intrínseca 3, y parte del sustrato semiconductor cristalino 2 de tipo n, son microcristalizadas partes de la capa semiconductor amorfa intrínseca 3 y de la capa

semiconductora amorfa 4 de tipo p, mediante la influencia del calor durante la irradiación del haz de láser, y la resistencia en estas partes se reduce. En la figura 2A, el microcristal de referencia 3a es un microcristal de la capa semiconductora amorfa intrínseca 3, mientras que el microcristal 4a es un microcristal de la capa semiconductora amorfa 4 de tipo p. Tal como se muestra en la figura 2A, el microcristal 3a contacta con el sustrato semiconductor cristalino 2 de tipo n sobre una interfaz 51 con el sustrato semiconductor cristalino 2 de tipo n. Mientras tanto, el microcristal 4a contacta con la capa 5 de película conductora transparente del lado p sobre una interfaz 52 con la capa 5 de película conductora transparente del lado p. Puesto que el microcristal 3a y el microcristal 4a tienen una resistencia pequeña, fluye una corriente de fuga entre la capa semiconductora amorfa 4 del tipo p y el sustrato semiconductor cristalino 2 de tipo n, que tienen los tipos de conducción opuestos respectivamente, a través del microcristal 4a, del microcristal 3a y de la interfaz 51. Por lo tanto, esta batería solar 50a muestra una tensión en abierto Voc baja y un factor de llenado F. F. bajo.

Por el contrario, cuando el haz de láser es irradiado desde el lado de la capa semiconductora amorfa 8 de tipo n tal como se indica con otra flecha L, la sección transversal de la batería solar 50 se forma con un perfil como el mostrado en la figura 2B. En la figura 2B, la batería solar 50b es la batería solar después de someterse a la irradiación del haz de láser, y la zanja 50 es una zanja formada en la batería solar 50b mediante la irradiación del haz de láser.

En este caso, la forma en sección transversal de la batería solar 50b es similar a la del caso de la figura 2A, excepto en que la capa semiconductora amorfa 4 de tipo p y el microcristal 4a de la misma son sustituidos por la capa semiconductora amorfa 8 de tipo n y un microcristal 8a de la misma, y en que la capa semiconductora amorfa intrínseca 3 y el microcristal 3a de la misma son sustituidos por la capa semiconductora amorfa intrínseca 7 y un microcristal 7a de la misma. Tal como se muestra en la figura 2B, el microcristal 7a contacta con el sustrato semiconductor cristalino 2 de tipo n sobre una interfaz 53 con el sustrato semiconductor cristalino 2 de tipo n. Mientras tanto, el microcristal 8a contacta con la capa 9 de película conductora transparente del lado n, sobre una interfaz 54 con la capa 9 de película conductora transparente del lado n. Aunque el microcristal 7a y el microcristal 8a tienen una resistencia pequeña, no fluye una corriente de fuga entre la capa semiconductora amorfa 8 de tipo n y el sustrato semiconductor cristalino 2 de tipo n, a través del microcristal 8a, del microcristal 7a y de la interfaz 53, debido a que el microcristal 8a y el sustrato semiconductor cristalino 2 de tipo tienen el mismo tipo de conducción. Por lo tanto, esta batería solar 50b no muestra las reducciones en la tensión en abierto Voc y el factor de llenado F. F..

Mientras tanto, en el caso de utilización de un sustrato semiconductor cristalino de tipo p en vez del sustrato semiconductor cristalino 2 del tipo n, cuando el haz de láser es irradiado desde el lado de la capa semiconductora amorfa de tipo n se produce una corriente de fuga y se reducen la tensión en abierto Voc y el factor de llenado F. F., mientras que cuando el haz de láser es irradiado desde el lado de la capa semiconductora amorfa de tipo p no se produce una corriente de fuga y no se reducen la tensión en abierto Voc y el factor de llenado F. F.

Es decir, es posible fabricar una batería solar que pueda eliminar la aparición de una corriente de fuga y suprimir las reducciones en la tensión en abierto Voc y el factor de llenado F. F., irradiando el haz de láser sobre la batería solar de manera que no forme el microcristal con una resistencia reducida sobre la capa semiconductora amorfa que tiene tipo de conducción diferente al tipo de conducción del sustrato monocristalino.

Específicamente, es posible fabricar una batería solar que pueda eliminar la aparición de una corriente de fuga y suprimir las reducciones en la tensión en abierto Voc y el factor de llenado F. F., irradiando el haz de láser desde un lado de la superficie principal dispuesto en el lado opuesto a la otra superficie principal sobre la cual está formada la capa semiconductora amorfa, y formando una zanja en la batería solar, no alcanzando la zanja la capa semiconductora amorfa. Por lo tanto, es posible asimismo fabricar una batería solar que pueda eliminar la aparición de una corriente de fuga y suprimir las reducciones en la tensión en abierto Voc y en el factor de llenado de F. F., irradiando el haz de láser desde la cara del lado de la capa semiconductora amorfa que tiene el mismo tipo de conducción que el del sustrato monocristalino, y formar la zanja en la batería solar, no alcanzando la zanja la capa semiconductora amorfa que tiene el tipo de conducción diferente respecto del tipo del sustrato monocristalino.

(Primera realización)

Se describirán un dispositivo fotovoltaico y un método de fabricación del dispositivo fotovoltaico de acuerdo con la primera realización de la presente invención, haciendo referencia a la figura 3, la figura 4 y la figura 5.

En primer lugar, se fabrica una estructura 1 con una heterounión configurada combinando un semiconductor amorfo y un semiconductor cristalino, tal como se muestra en la figura 3.

La figura 3 es una vista esquemática en sección transversal para explicar la configuración de la estructura a fabricar mediante el método de fabricación de un dispositivo fotovoltaico acorde con la primera realización. La estructura 1 tiene la configuración en la cual está formado un primer cuerpo laminado 11 sobre una superficie principal de un

5 substrato semiconductor cristalino 2 de tipo n, mientras que está formado un segundo cuerpo laminado 12 sobre la otra superficie principal dispuesta en el lado opuesto de la primera superficie principal. Como substrato semiconductor cristalino, es posible aplicar un sustrato de silicio, un sustrato de germanio o similar, que tenga una estructura monocristalina o policristalina. El primer cuerpo laminado 11 tiene una estructura en la cual están formadas, sobre una superficie principal del substrato semiconductor cristalino 2 de tipo n una capa semiconductor amorfa intrínseca 3, una capa semiconductor amorfa 4 de tipo p con un tipo de conducción diferente del tipo del substrato semiconductor cristalino 2 de tipo n, una capa 5 de película conductora transparente del lado p, y un electrodo colector 6 del tipo p, en el orden indicado. Además, el segundo cuerpo laminado 11 tiene una estructura en la cual están formados, sobre la otra superficie principal del substrato semiconductor monocristalino 2 de tipo n, una capa semiconductor amorfa intrínseca 7, una capa semiconductor amorfa 8 de tipo n con el mismo tipo de conducción que el tipo del substrato cristalino semiconductor 2 de tipo n, una capa 9 de película conductora transparente del lado n, y un electrodo colector 10 del lado n, en el orden indicado. Puede utilizarse silicio, germanio o similares, como el semiconductor amorfo.

15 La capa semiconductor amorfa intrínseca 3, la capa semiconductor amorfa 4 de tipo p, la capa semiconductor amorfa intrínseca 7, y la capa semiconductor amorfa 8 de tipo n pueden formarse respectivamente mediante la utilización de un método de CVD (chemical vapor deposition, deposición química en fase de vapor) de plasma. Mientras tanto, la capa 5 de película conductora transparente del lado p y la capa 9 de película conductora transparente del lado n pueden aplicar películas conductoras transmisoras de la luz tales como ITO (indium tin oxide, óxido de indio y estaño) a formar mediante la utilización de un método de pulverización, un método de deposición por vapor en vacío, y similares. Al mismo tiempo, el electrodo colector 6 del lado p y el electrodo colector 10 del lado n pueden aplicar un metal tal como Ag a formar respectivamente en patrones mediante la utilización de un método de serigrafía, el método de deposición de vapor en vacío, el método de pulverización, y similares.

25 A continuación, se describirá una etapa de formación de zanjas en la estructura 1 irradiando un haz de láser sobre la estructura 1, haciendo referencia a la figura 4. La figura 1 es una vista esquemática en sección transversal que muestra una estructura 13 con las zanjas formadas en la estructura 1 mediante la irradiación del haz de láser sobre la estructura 1 mostrada en la figura 3. Tal como se muestra en la figura 4, el haz de láser que se indica con flechas L es irradiado sobre la estructura 1 desde el otro lado de la superficie principal del substrato semiconductor cristalino 2 de tipo n, o desde el lado del segundo cuerpo laminado 12 que incluye la capa semiconductor amorfa 8 de tipo n con el mismo tipo de conducción que el substrato semiconductor cristalino 2 de tipo n de la primera realización, formando de ese modo zanjas 15 sobre el segundo cuerpo laminado 12 y sobre el substrato semiconductor cristalino 2 de tipo n, y fabricando la estructura 13.

35 En la primera realización, las zanjas 15 se forman sobre el electrodo colector 10 del lado n, sobre la capa de película conductora transparente 9 del lado n, sobre la capa semiconductor amorfa 8 de tipo n, sobre la capa semiconductor amorfa intrínseca 7 y sobre el substrato semiconductor cristalino 2 de tipo n, tal como se muestra en la figura 4. Sin embargo, solamente es necesario que las zanjas 15 no alcancen la capa semiconductor amorfa 4 de tipo p, que tiene el tipo de conducción diferente del tipo del substrato semiconductor cristalino 2 de tipo n. Por consiguiente, la profundidad de las zanjas 15 puede seleccionarse de manera apropiada con el objeto de facilitar la separación a lo largo de las zanjas 15 después de la formación de las zanjas 15.

40 En este momento, pueden ser ajustadas de manera apropiada las condiciones para la irradiación del haz de láser, tales como el tiempo de irradiación del haz de láser o la energía de irradiación del mismo, con el objeto de detener las zanjas 15 en el substrato semiconductor cristalino 2 de tipo n, y no alcanzar la capa semiconductor amorfa 4 de tipo p que tiene el tipo de conducción diferente respecto del tipo del substrato semiconductor cristalino 2 de tipo n. Si el haz de láser es irradiado provocando que las zanjas 15 alcancen la capa semiconductor amorfa 4 del tipo p que tiene el tipo de conducción diferente respecto del tipo del substrato semiconductor cristalino 2 de tipo n, se forman microcristales con una resistencia reducida en las proximidades de las zanjas 15 sobre la capa semiconductor amorfa 4 del tipo p, y fluirá una corriente de fuga entre los microcristales y el substrato semiconductor cristalino 2 de tipo n. Por lo tanto, un dispositivo fotovoltaico fabricado este modo acarreará reducciones en la tensión en abierto Voc y en el factor de llenado F. F..

50 En relación con las condiciones para la irradiación del haz de láser para la formación de las zanjas 15 descritas anteriormente, es posible utilizar un láser con una longitud de onda por encima de 400 nm, tal como un láser YAG (yttrium aluminum garnet, granate itrio-aluminio) o una onda del segundo armónico de un láser Ar para aplicar potencia en el rango de 1 a 20 W, por ejemplo. Además, en relación con el diámetro de haz, del haz de láser, es posible utilizar uno con un diámetro del haz en el rango desde 20 hasta 200 μm , por ejemplo. Mediante la irradiación del haz de láser que satisface las condiciones anteriores, es posible formar las zanjas 15 con la anchura sustancialmente igual al diámetro de haz, del haz de láser.

55 En la estructura mostrada en la figura 4, una parte en la proximidad de cada una de las zanjas 15 sobre el primer cuerpo laminado 11 y sobre el sustrato semiconductor cristalino 2 de tipo n, es similar a la estructura mostrada en la figura 2B. Tal como se muestra en la figura 2B, las partes extremas de la capa semiconductor amorfa 8 de tipo n y de la capa semiconductor intrínseca amorfa 7 son microcristalizadas debido a la influencia del calor mediante la

irradiación del haz de láser, formando de ese modo un microcristal 8a y un microcristal 7a, respectivamente. Aunque el microcristal 8a y el microcristal 7a tienen una resistencia reducida, no fluyen corrientes de fuga entre la capa semiconductor amorfa 8 de tipo n y el sustrato semiconductor cristalino 2 de tipo n, debido a que el microcristal 8a y el sustrato semiconductor cristalino 2 de tipo n tienen el mismo tipo de conducción.

5 Por consiguiente, tal como se muestra en la figura 5, la estructura 13 está dividida a lo largo de las zanjas 15. La figura 5 es una vista esquemática en sección transversal, que muestra un dispositivo fotovoltaico 14 acorde con la presente invención, el cual se obtiene separando la estructura 13 a lo largo de las zanjas 15. Como método de separación, es posible aplicar un proceso de corte descrito a continuación. Específicamente, el proceso de corte puede ser un proceso para soportar las partes periféricas de la estructura 13 con soportes, y flexionar la estructura
10 13 a lo largo de las zanjas 15. El proceso de corte puede ser un proceso para cortar la estructura 13 a lo largo de las zanjas 15 mediante la utilización de un pulverizador, de una sierra cortadora o similar, por ejemplo. Es posible fabricar el dispositivo fotovoltaico 14 en un tamaño deseado, separando la estructura 13 tal como se ha descrito anteriormente.

15 Mediante el proceso de fabricación descrito anteriormente, es posible fabricar el dispositivo fotovoltaico 14 en el cual, por lo menos, una de las superficies laterales interpuestas entre la primera superficie principal del sustrato semiconductor cristalino 2 de tipo n, y la otra superficie principal dispuesta en el lado opuesto de la superficie principal, está formada como una superficie lateral 18 procesada por separado, tal como se muestra en la figura 5. En este caso, la superficie lateral 18 procesada por separado comprende una región 16 procesada por láser, formada mediante un proceso con láser, que se extiende desde el otro lado de la superficie principal hacia el primer
20 lado de la superficie principal, sin que la región alcance la capa semiconductor amorfa 4 de tipo p que tiene el tipo de conducción diferente respecto del tipo del sustrato semiconductor cristalino 2 de tipo n, y comprende una región 17 procesada por corte, formada mediante un proceso de corte, que se extiende desde el primer lado de la superficie principal hacia el otro lado de la superficie principal.

25 De acuerdo con la primera realización, es posible fabricar un dispositivo fotovoltaico del tamaño deseado con una heterounión formada combinando un semiconductor amorfo y un semiconductor cristalino, que es capaz de eliminar la aparición de una corriente de fuga entre el semiconductor cristalino y el semiconductor amorfo, y de suprimir las reducciones en la tensión en abierto Voc y en el factor de llenado F. F..

(Segunda realización)

30 A continuación, se describirá una estructura de un dispositivo fotovoltaico fabricado mediante un método de fabricación del mismo acorde con la segunda realización, haciendo referencia a las vistas esquemáticas en sección transversal mostradas en la figura 6, la figura 7 y la figura 8.

En primer lugar, se fabrica una estructura 23 con una heterounión de una configuración a formar combinando un semiconductor amorfo y un semiconductor cristalino, tal como se muestra en la figura 6.

35 La figura 6 es una vista esquemática en sección transversal para explicar la configuración de la estructura a fabricar mediante un método de fabricación de un dispositivo fotovoltaico acorde con la segunda realización. La estructura 23 tiene la configuración en la cual está formado un primer cuerpo laminado 21 sobre una superficie principal de un sustrato semiconductor cristalino 20 de tipo p, mientras que está formado un segundo cuerpo laminado 22 sobre la otra superficie principal dispuesta en el lado opuesto de la primera superficie principal. Como sustrato semiconductor cristalino, es posible aplicar un sustrato de silicio, un sustrato de germanio o similar, que tenga una
40 estructura monocristalina o policristalina. El primer cuerpo laminado 21 tiene una estructura en la cual están formadas, sobre una superficie principal del sustrato semiconductor cristalino 20 de tipo p, una capa semiconductor amorfa intrínseca 7, una capa semiconductor amorfa 8 de tipo n con el tipo de conducción diferente del tipo del sustrato semiconductor cristalino 20 de tipo p, una capa 9 de película conductora transparente del lado n, y un electrodo colector 10 del tipo p, en el orden indicado. Además, el segundo cuerpo laminado 22 tiene
45 una estructura en la cual están formados en la otra superficie principal del sustrato semiconductor cristalino 20 de tipo p, una capa semiconductor amorfa intrínseca 3, una capa semiconductor amorfa 4 de tipo p con el mismo tipo de conducción del tipo del sustrato semiconductor cristalino 20 de tipo p, una capa 5 de película conductora transparente del lado p, y un electrodo colector 6 del lado p, en el orden indicado. Como semiconductor amorfo pueden utilizarse silicio, germanio o similares.

50 El método de fabricación de la estructura 23 es similar al método de fabricación de la estructura 1 de la primera realización, excepto en que el sustrato semiconductor cristalino de tipo n es sustituido por el sustrato semiconductor cristalino 20 de tipo p, en que la capa semiconductor amorfa 8 de tipo n es sustituida por la capa semiconductor amorfa 4 de tipo p, en que la capa semiconductor amorfa 4 de tipo p es sustituida por la capa semiconductor amorfa 8 de tipo n, en que la capa semiconductor amorfa intrínseca 3 es sustituida por la capa semiconductor amorfa intrínseca 7, en que la capa 9 de película conductora transparente del lado n es sustituida por la capa 5 de película conductora transparente del lado p, en que la capa 5 de película conductora transparente del lado p es sustituida por la capa 9 de película conductora transparente del lado n, en que el electrodo colector 10 del lado n es

sustituido por el electrodo colector 6 del lado p, y en que el electrodo colector 6 del lado p es sustituido por el electrodo colector 10 del lado n.

5 A continuación, se describirá una etapa de formación de zanjas en la estructura 23 irradiando un haz de láser sobre la estructura 23, haciendo referencia a la figura 7. La figura 7 es una vista esquemática en sección transversal que muestra una estructura 24 con las zanjas formadas en la estructura 23 mediante la irradiación del haz de láser sobre la estructura 23 mostrada en la figura 6. Tal como se muestra en la figura 7, el haz de láser que se indica con flechas L es irradiado sobre la estructura 23 desde el otro lado de la superficie principal del sustrato semiconductor cristalino 20 de tipo p, o desde el lado del segundo cuerpo laminado 22 que incluye la capa semiconductor amorfa 4 de tipo p con el mismo tipo de conducción del tipo del sustrato semiconductor cristalino 20 de tipo p de la segunda realización, formando de ese modo zanjas 15 sobre el segundo cuerpo laminado 22 y sobre el sustrato semiconductor cristalino 2 de tipo p, y fabricando la estructura 24.

Las condiciones para la irradiación del haz de láser para la formación de las zanjas 15 descritas anteriormente, son similares a las del caso de la primera realización.

15 En este caso, pueden ser ajustadas de manera apropiada las condiciones para la irradiación del haz de láser, tales como el tiempo de irradiación del haz de láser, o la energía de irradiación del mismo, para detener las zanjas 15 en el sustrato semiconductor cristalino 20 de tipo p, y no alcanzar la capa semiconductor amorfa 8 de tipo n que tiene el tipo de conducción diferente respecto del tipo del sustrato semiconductor cristalino 20 de tipo p. Si el haz de láser es irradiado provocando que las zanjas 15 alcancen la capa semiconductor amorfa 8 del tipo n que tiene el tipo de conducción diferente respecto del tipo del sustrato semiconductor cristalino 20 de tipo p, se forman microcristales con una resistencia reducida en las proximidades de las zanjas 15 sobre la capa semiconductor amorfa 8 del tipo n, y fluirá una corriente de fuga entre los microcristales y el sustrato semiconductor cristalino 20 de tipo p. Por lo tanto, un dispositivo fotovoltaico fabricado este modo acarreará reducciones en la tensión en abierto Voc y en el factor de llenado F. F..

25 En la segunda realización, las zanjas 15 se forman sobre el electrodo colector 6 del lado p, sobre la capa 5 de película conductora transparente del lado p, sobre la capa semiconductor amorfa 4 de tipo p, sobre la capa semiconductor amorfa intrínseca 3, y sobre el sustrato semiconductor cristalino 20 de tipo p, tal como se muestra en la figura 7. Sin embargo, solamente es necesario que las zanjas 15 no alcancen la capa semiconductor amorfa 8 de tipo n que tiene el tipo de conducción diferente respecto del tipo del sustrato semiconductor cristalino 20 de tipo p. Por consiguiente, la profundidad de las zanjas 15 puede seleccionarse de manera apropiada para facilitar la separación a lo largo de las zanjas 15, después de la formación de las zanjas 15.

35 En la estructura mostrada en la figura 7, una parte en la proximidad de cada una de las zanjas 15 en el segundo cuerpo laminado 22 y en el sustrato semiconductor cristalino 20 de tipo p, es similar a la estructura mostrada en la figura 2, excepto en que el sustrato semiconductor cristalino 2 de tipo n es sustituido por el sustrato semiconductor cristalino 20 de tipo p. En este caso, las partes extremas de la capa semiconductor amorfa 4 de tipo p y de la capa semiconductor amorfa intrínseca 3, son microcristalizadas debido a la influencia del calor por la irradiación del haz de láser, formando de ese modo un microcristal 4a y un microcristal 3a, respectivamente. Aunque el microcristal 4a y el microcristal 3a tienen una resistencia reducida, no fluyen corrientes de fuga entre la capa semiconductor amorfa 4 de tipo p y el sustrato semiconductor cristalino 20 de tipo p, debido a que el microcristal 4a y el sustrato semiconductor cristalino 20 de tipo p tienen el mismo tipo de conducción.

40 Por consiguiente, tal como se muestra en la figura 8, la estructura 24 está dividida a lo largo de las zanjas 15. El método de separación es similar al del caso de la primera realización. Es posible fabricar un dispositivo fotovoltaico 25 en un tamaño deseado, separando la estructura 24 tal como se ha descrito anteriormente.

45 De acuerdo con la segunda realización, es posible fabricar un dispositivo fotovoltaico del tamaño deseado con una heterounión formada combinando un semiconductor amorfo y un semiconductor cristalino, que es capaz de eliminar la aparición de una corriente de fuga entre el semiconductor cristalino y el semiconductor amorfo, y de suprimir las reducciones en la tensión en abierto Voc y en el factor de llenado F. F..

(Ejemplo 1)

A continuación, se explicará un ejemplo del método de fabricación de un dispositivo fotovoltaico acorde con la primera realización descrita anteriormente, haciendo referencia a la figura 3, la figura 4 y la figura 5.

50 En primer lugar, el sustrato semiconductor cristalino 2 de tipo n, con una resistividad aproximadamente igual a 1 Ω -cm, un tamaño igual a 10,4 cm x 10,4 cm, y un grosor aproximadamente igual a 200 μ m, se limpia y a continuación se sitúa en una cámara de vacío, y después se calienta hasta 170 $^{\circ}$ C. A continuación, se introduce hidrógeno gaseoso en la cámara para provocar la descarga del plasma. De este modo, se lleva a cabo un tratamiento superficial sobre la otra superficie principal del sustrato semiconductor cristalino 2 de tipo n.

Después, se introducen SiH₄ gaseoso e hidrógeno gaseoso en la cámara, y se forma la capa semiconductor amorfa intrínseca 7 con el grosor de 10 nm sobre la otra superficie principal del sustrato semiconductor cristalino 2 de tipo n descrito anteriormente, mediante el método de CVD de plasma. A continuación, se introducen SiH₄ gaseoso, PH₃ gaseoso e hidrógeno gaseoso en la cámara, y se forma la capa semiconductor amorfa 8 de tipo n con el grosor de 5nm, sobre la capa semiconductor amorfa intrínseca 7, mediante el método de CVD de plasma.

Después, se retira de la cámara el sustrato semiconductor cristalino 2 de tipo n sobre el cual se han formado la capa semiconductor amorfa intrínseca 7 y la capa semiconductor amorfa 8 de tipo n, y se coloca de nuevo en la cámara. El sustrato semiconductor cristalino 2 de tipo n se calienta hasta 170 °C, y se lleva a cabo sobre la primera superficie principal un tratamiento similar al tratamiento superficial descrito anteriormente sobre la otra superficie principal, en el lado opuesto al de la otra superficie principal.

Después, se introducen SiH₄ gaseoso e hidrógeno gaseoso en la cámara, y se forma la capa semiconductor amorfa intrínseca 3 con el grosor de 10 nm sobre la primera superficie principal del sustrato semiconductor cristalino 2 de tipo n descrito anteriormente, mediante el método de CVD de plasma. A continuación, se introducen SiH₄ gaseoso, B₂H₆ gaseoso e hidrógeno gaseoso en la cámara, y se forma la capa semiconductor amorfa 4 de tipo p con el grosor de 5 nm, sobre la capa semiconductor amorfa intrínseca 3, mediante el método de CVD de plasma.

En la tabla 1 se muestran las condiciones de formación de la capa para las capas semiconductoras amorfa descritas anteriormente. En la tabla 1, el "tipo i" significa la capa semiconductor amorfa intrínseca 3 y la capa semiconductor amorfa intrínseca 7, el "tipo p" significa la capa semiconductor amorfa 4 de tipo p, y el "tipo n" significa la capa semiconductor amorfa 8 de tipo n, respectivamente. Además, se diluye B₂H₆ gaseoso y PH₃ gaseoso al 2% y el 1%, respectivamente, mediante la utilización de H₂ gaseoso.

Tabla 1

Semiconductor amorfo	Caudales de gas (sccm)				Temperatura del sustrato (°C)	Presión del gas de descarga (Pa)	Potencia de descarga (mW/cm ²)
	SiH ₄	B ₂ H ₆ (2%)	PH ₃ (1%)	H ₂			
tipo p	40	40	-	0 a 100	170	40	8,33
tipo n	40	-	40	0 a 100	170	40	8,33
tipo i	40	-	-	0 a 100	170	40	8,33

A continuación, se forman respectivamente la capa 9 de película semiconductor transparente del lado n y la capa 5 de película conductora transparente del lado p fabricadas de ITO en un grosor de 100 nm, mediante el método de pulverización, sobre la capa semiconductor amorfa 8 del tipo n y la capa semiconductor amorfa 4 del tipo p, que están formadas sobre las superficies principales respectivas del sustrato semiconductor cristalino 2 de tipo n.

Después, son aplicados el electrodo colector 10 del lado n y el electrodo colector 6 del lado p fabricados de pasta de plata, respectivamente a la capa 9 de película conductora transparente del lado n, formada sobre el otro lado de la superficie principal del sustrato semiconductor cristalino 2 de tipo n, y a la capa 5 de película conductora transparente del lado p, formada sobre el primer lado de la superficie principal de la misma, mediante el método de serigrafía. A continuación, la pasta de plata es endurecida mediante cocción a una temperatura de unos 180 °C durante aproximadamente 1 hora. De este modo, se completan el segundo cuerpo laminado 12 y el primer cuerpo laminado 11. La estructura 1 es fabricada de este modo.

A continuación, el haz de láser es irradiado sobre la estructura 1, y se forman las zanjas en la estructura 1 eliminando las partes de la estructura en las que es irradiado el haz de láser.

En este caso, se aplica un láser YAG con un diámetro del haz de láser de 50 µm y una longitud de onda de 1064 nm. El haz de láser con una potencia en el rango de 3 a 5 W es irradiado sobre la estructura 1, tal como se muestra en la figura 4. En concreto, el haz de láser es irradiado en la dirección de las flechas L desde el lateral del segundo cuerpo laminado 12, es decir, desde el lado de la otra superficie principal del sustrato semiconductor cristalino 2 de tipo n. Llevando a cabo la irradiación del haz de láser tal como se ha descrito anteriormente, las partes del primer cuerpo laminado 11 y del sustrato semiconductor cristalino 2 de tipo n son eliminadas para formar las zanjas 15 en la estructura 1, tal como se muestra en la figura 4. De este modo, la estructura 13 está fabricada. Ajustando de manera apropiada las condiciones para la irradiación del haz de láser, las zanjas 15 se forman en una profundidad que no

alcanza la capa semiconductor amorfa 4 de tipo p que tiene el tipo de conducción diferente respecto del tipo del sustrato semiconductor cristalino 2 de tipo n. La profundidad en las zanjas 15 es aproximadamente igual a 60 μm , y la anchura de las zanjas 15 es aproximadamente igual que el diámetro del haz de láser mencionado anteriormente.

5 Finalmente, la estructura 13 se separa mecánicamente a lo largo de las zanjas 15 aplicando tensión a la estructura 13. El dispositivo fotovoltaico 14 de un tamaño deseado, se fabrica mediante esta operación de separación (figura 5).

10 Mediante el proceso de fabricación descrito anteriormente, es posible fabricar el dispositivo fotovoltaico 14 en el cual, por lo menos, una de las superficies laterales interpuestas entre la primera superficie principal del sustrato semiconductor cristalino 2 de tipo n, y la otra superficie principal dispuesta en el lado opuesto de la superficie principal, está formada como la superficie lateral 18 procesada por separado, tal como se muestra en la figura 5. En este caso, la superficie lateral 18 procesada por separado comprende la región 16 procesada por láser, formada mediante un proceso con láser, que se prolonga desde el otro lado de la superficie principal hacia el primer lado de la superficie principal, sin que la región alcance la capa semiconductor amorfa 4 de tipo p que tiene el tipo de conducción diferente respecto del tipo del sustrato semiconductor monocristalino 2 de tipo n, y comprende la región 15 17 procesada por corte, formada mediante un proceso de corte, que se prolonga desde el primer lado de la superficie principal hacia el otro lado de la superficie principal.

(Ejemplo 2)

A continuación, se explicará un ejemplo del método de fabricación de un dispositivo fotovoltaico acorde con la segunda realización descrita anteriormente, haciendo referencia a la figura 6, la figura 7 y la figura 8.

20 En primer lugar, el sustrato semiconductor cristalino 20 de tipo p que tiene una resistividad aproximadamente igual a 1 $\Omega\text{-cm}$, un tamaño igual a 10,4 cm x 10,4 cm, y un grosor aproximadamente igual a 200 μm , se limpia y a continuación se coloca en la cámara de vacío, y después se calienta hasta 170 $^{\circ}\text{C}$. A continuación, se introduce hidrógeno gaseoso en la cámara para provocar la descarga del plasma. De este modo, se lleva a cabo un tratamiento superficial sobre la otra superficie principal del sustrato semiconductor cristalino 20 de tipo p.

25 Después, se introducen SiH_4 gaseoso e hidrógeno gaseoso en la cámara, y se forma la capa semiconductor amorfa intrínseca 3 con el grosor de 10 nm sobre la otra superficie principal del sustrato semiconductor cristalino 20 de tipo p descrito anteriormente, mediante el método de CVD de plasma. A continuación, se introducen SiH_4 gaseoso, B_2H_6 gaseoso e hidrógeno gaseoso en la cámara, y se forma la capa semiconductor amorfa 4 de tipo p con el grosor de 5 nm, sobre la capa semiconductor amorfa intrínseca 3, mediante el método de CVD de plasma.

30 Después, se retira de la cámara el sustrato semiconductor cristalino 20 de tipo p sobre el cual se han formado la capa semiconductor amorfa intrínseca 3 y la capa semiconductor amorfa 4 de tipo p, y se sitúa de nuevo en la cámara. El sustrato semiconductor cristalino 20 de tipo n se calienta hasta 170 $^{\circ}\text{C}$, y se lleva a cabo sobre la primera superficie principal un tratamiento similar al tratamiento superficial descrito anteriormente sobre la otra superficie principal, en el lado opuesto al de la otra superficie principal.

35 Después, se introducen SiH_4 gaseoso e hidrógeno gaseoso en la cámara, y se forma la capa semiconductor amorfa intrínseca 7 con el grosor de 10 nm sobre la primera superficie principal del sustrato semiconductor cristalino 20 de tipo p descrito anteriormente, mediante el método de CVD de plasma. A continuación, se introducen SiH_4 gaseoso, PH_3 gaseoso e hidrógeno gaseoso en la cámara, y se forma la capa semiconductor amorfa 8 de tipo n con el grosor de 5 nm, sobre la capa semiconductor amorfa intrínseca 7, mediante el método de CVD de plasma.

40 Las condiciones de formación de capas, para las capas semiconductoras amorfas descritas anteriormente, son similares a las mostradas en la tabla 1 del ejemplo 1.

45 A continuación, se forman respectivamente la capa 5 de película semiconductor transparente del lado p y la capa 9 de película conductora transparente del lado n fabricadas de ITO en un grosor de 100 nm, mediante el método de pulverización, sobre la capa semiconductor amorfa 4 del tipo p y la capa semiconductor amorfa 8 del tipo p, que están formadas sobre las superficies principales respectivas del sustrato semiconductor cristalino 20 de tipo n.

50 Después, son aplicados el electrodo colector 6 del lado p y el electrodo colector 10 del lado n fabricados de pasta de plata, respectivamente a la capa 9 de película conductora transparente del lado p, formada sobre el otro lado de la superficie principal del sustrato semiconductor cristalino 20 de tipo p, y a la capa 9 de película conductora transparente del lado n, formada sobre el primer lado de la superficie principal de la misma, mediante el método de serigrafía. A continuación, la pasta de plata es endurecida mediante cocción a una temperatura de unos 180 $^{\circ}\text{C}$ durante aproximadamente 1 hora. De este modo, se completan el segundo cuerpo laminado 22 y el primer cuerpo laminado 21. La estructura 23 es fabricada de este modo.

A continuación, el haz de láser es irradiado sobre la estructura 23, y se forman las zanjas en la estructura 23 eliminando las partes de la estructura en las que es irradiado el haz de láser.

5 En este caso, el láser YAG con el diámetro del haz de láser de 50 μm y la longitud de onda de 1064 nm es aplicado de manera similar al ejemplo 1. El haz de láser con una potencia en el rango de 3 a 5 W es irradiado sobre la estructura 23, tal como se muestra en la figura 7. En concreto, el haz de láser es irradiado en la dirección de las flechas L desde el lateral del segundo cuerpo laminado 22, es decir, desde el lado de la otra superficie principal del sustrato semiconductor cristalino 20 de tipo p. Llevando a cabo la irradiación del haz de láser tal como se ha descrito anteriormente, las partes del segundo cuerpo laminado 22 y del sustrato semiconductor cristalino 20 de tipo p son eliminadas para formar las zanjas 15 en la estructura 23, tal como se muestra en la figura 7. Así se fabrica la estructura 24. Ajustando de manera apropiada las condiciones para la irradiación del haz de láser de modo similar al ejemplo 1, las zanjas 15 se forman a una profundidad que no alcanza la capa semiconductor amorfa 8 de tipo n que tiene el tipo de conducción diferente respecto del tipo del sustrato semiconductor cristalino 20 de tipo p. La profundidad en las zanjas 15 es aproximadamente igual a 60 μm , y la anchura de las zanjas 15 es aproximadamente igual que el diámetro del haz de láser mencionado anteriormente.

15 Finalmente, la estructura 24 se separa mecánicamente a lo largo de las zanjas 15 aplicando tensión a la estructura 24. El dispositivo fotovoltaico 25 de un tamaño deseado, se fabrica mediante esta operación de separación (figura 8).

20 Mediante el proceso de fabricación descrito anteriormente, es posible fabricar el dispositivo fotovoltaico 25 en el cual, por lo menos, una de las superficies laterales interpuestas entre la primera superficie principal del sustrato semiconductor cristalino 20 de tipo p, y la otra superficie principal dispuesta en el lado opuesto respecto de la primera superficie principal, se forma como una superficie 28 procesada por separado, tal como se muestra en la figura 8. En este caso, la superficie 28 procesada por separado comprende una región 26 procesada por láser, formada mediante un proceso con láser, que se prolonga desde el lado de la otra superficie principal del lado de la primera superficie principal, no alcanzando la región la capa semiconductor amorfa 8 de tipo n que tiene un tipo de conducción diferente respecto del sustrato semiconductor cristalino 20 de tipo p, y comprende una región 27 procesada por corte, formada mediante un proceso de corte, que se prolonga desde el lado de la primera superficie principal hacia el lado de la otra superficie principal.

(Ejemplo Comparativo 1)

A continuación, se explicará el ejemplo comparativo 1 haciendo referencia a la figura 3, la figura 9 y la figura 10.

30 En el ejemplo comparativo 1, la estructura 1 que es la misma que en el caso del ejemplo 1 mostrado en la figura 3, se fabrica de manera similar al caso del ejemplo 1.

Por consiguiente, tal como se muestra en la figura 9, el haz de láser es irradiado sobre la estructura 1 desde un lado opuesto al lado del caso del ejemplo 1, es decir, desde el lado del primer cuerpo laminado 11, y las zanjas 15 se forman sobre la estructura 1 eliminando las partes de la estructura en las que es irradiado del haz de láser. De este modo, se fabrica una estructura 31.

40 En este caso, es aplicado el láser YAG con el diámetro del haz de láser de 50 μm y la longitud de onda de 1064 nm, de manera similar al ejemplo 1. El haz de láser con potencia en el rango de 3 a 5 W es irradiado sobre la estructura 1 en la dirección de las flechas L, desde el lado del primer cuerpo laminado 11, tal como se muestra en la figura 9. Llevando a cabo la irradiación del haz de láser tal como se ha descrito anteriormente, las partes del primer cuerpo laminado 11 y del sustrato semiconductor cristalino 2 de tipo n son eliminadas para formar las zanjas 15 en la estructura 1, tal como se muestra en la figura 9. De este modo, la estructura 31 está fabricada. Ajustando de manera apropiada las condiciones para la irradiación del haz de láser de modo similar al ejemplo 1, se forman las zanjas 15 a una profundidad que no alcanza la capa semiconductor amorfa 8 de tipo n que tiene el mismo tipo de conducción respecto del tipo del sustrato semiconductor cristalino 2 de tipo n. La profundidad en las zanjas 15 es aproximadamente igual a 60 μm , y la anchura de las zanjas 15 es aproximadamente igual al diámetro del haz de láser mencionado anteriormente.

Finalmente, la estructura 31 se separa mecánicamente a lo largo de las zanjas 15 aplicando tensión a la estructura 31. Mediante esta operación de separación, se fabrica un dispositivo fotovoltaico 32 de un tamaño deseado.

50 Mediante el proceso de fabricación descrito anteriormente, es posible fabricar el dispositivo fotovoltaico 32 en el cual, por lo menos, una de las superficies laterales interpuestas entre la primera superficie principal del sustrato semiconductor cristalino 2 de tipo n, y la otra superficie principal dispuesta en el lado opuesto respecto de la primera superficie principal, se forma como una superficie 38 procesada por separado, tal como se muestra en la figura 10. En este caso, la superficie 38 procesada por separado comprende una región 36 procesada por láser, formada mediante un proceso con láser, que se prolonga desde el lado de la primera superficie principal hacia el lado de la

otra superficie principal, no alcanzando la región la capa semiconductor amorfa 8 de tipo n que tiene el mismo tipo de conducción que el tipo del sustrato semiconductor monocristalino 2 de tipo n, y comprende una región 37 procesada por corte, formada mediante un proceso de corte, que se prolonga desde el lado de la otra superficie principal hacia el lado de la primera superficie principal.

5 **(Ejemplo Comparativo 2)**

A continuación, se explicará el ejemplo comparativo 2 haciendo referencia a la figura 6, la figura 11 y la figura 12.

En el ejemplo comparativo 2, la estructura 23 que es la misma que en el caso del ejemplo 2 mostrado en 4, se fabrica de manera similar al caso del ejemplo 2.

10 Por consiguiente, tal como se muestra en la figura 11, el haz de láser es irradiado sobre la estructura 23 desde un lado opuesto al lado del caso del ejemplo 2, es decir, desde el lado del primer cuerpo laminado 21, y las zanjas 15 se forman sobre la estructura 23 eliminando las partes de la estructura en las que es irradiado del haz de láser. De este modo, se fabrica una estructura 41.

15 En este caso, es aplicado el láser YAG con el diámetro del haz de láser de 50 µm y la longitud de onda de 1064 nm, de manera similar al ejemplo 2. El haz de láser con una potencia en el rango de 3 a 5 W es irradiado sobre la estructura 23, tal como se muestra en la figura 11. En concreto, el haz de láser es irradiado en la dirección de las flechas L desde el lado del primer cuerpo laminado 21. Llevando a cabo la irradiación del haz de láser tal como se ha descrito anteriormente, las partes del primer cuerpo laminado 21 y del sustrato semiconductor cristalino 20 de tipo p son eliminadas para formar las zanjas 15 en la estructura 23, tal como se muestra en la figura 11. De este modo, la estructura 41 está fabricada. Ajustando de manera apropiada las condiciones para la irradiación del haz de láser de modo similar al ejemplo 2, las zanjas 15 se forman a una profundidad que no alcanza la capa semiconductor amorfa 4 de tipo p que tiene el mismo tipo de conducción respecto del tipo del sustrato semiconductor cristalino 20 de tipo p. La profundidad en las zanjas 15 es aproximadamente igual a 60 µm, y la anchura de las zanjas 15 es aproximadamente igual que el diámetro del haz de láser mencionado anteriormente.

25 Finalmente, la estructura 41 se separa mecánicamente a lo largo de las zanjas 15 aplicando tensión a la estructura 41. Mediante esta operación de separación, se fabrica un dispositivo fotovoltaico 42 de un tamaño deseado.

30 Mediante el proceso de fabricación descrito anteriormente, es posible fabricar el dispositivo fotovoltaico 42 en el cual, por lo menos, una de las superficies laterales interpuestas entre la primera superficie principal del sustrato semiconductor cristalino 20 de tipo p, y la otra superficie principal dispuesta en el lado opuesto respecto de la primera superficie principal, se forma como una superficie 48 procesada por separado, tal como se muestra en la figura 12. En este caso, la superficie 48 procesada por separado comprende una región 46 procesada por láser, formada mediante un proceso con láser, que se prolonga desde el lado de la primera superficie principal hacia el lado de la otra superficie principal, no alcanzando la región la capa semiconductor amorfa 4 de tipo n que tiene el mismo tipo de conducción que el tipo del sustrato semiconductor cristalino 20 de tipo p, y comprende una región 47 procesada por corte, formada mediante un proceso de corte, que se prolonga desde el lado de la otra superficie principal hacia el lado de la primera superficie principal.

(Resultado de la evaluación)

40 Las características de salida se miden en términos de los dispositivos fotovoltaicos del ejemplo 1, del ejemplo 2, del ejemplo comparativo 1 y del ejemplo comparativo 2, fabricados respectivamente tal como se ha descrito anteriormente. Los resultados de medición de las características de salida relativas a los dispositivos fotovoltaicos acordes con el ejemplo 1 y con el ejemplo comparativo 1 se muestran en la tabla 2, mientras que los de las características de salida relativas a los dispositivos fotovoltaicos acordes con el ejemplo 2 y con el ejemplo comparativo 2 se muestran en la tabla 3.

Tabla 2

	Voc (V)	Isc (A)	F. F.	Pmax (W)
Ejemplo 1	0,702	3,725	0,775	2,026
Ejemplo comparativo 1	0,695	3,722	0,758	1,960

Tabla 3

	Voc (V)	Isc (A)	F. F.	Pmax (W)
Ejemplo 2	0,676	3,686	0,745	1,858
Ejemplo comparativo 2	0,674	3,680	0,700	1,736

5 Tal como es evidente a partir de la tabla 2, el dispositivo fotovoltaico del ejemplo 1 tiene valores en la tensión en abierto Voc, en la corriente de cortocircuito Isc, en el factor de llenado F. F. y en la salida máxima Pmax, mayores que los valores del dispositivo fotovoltaico del ejemplo comparativo 1, y por lo tanto tiene características superiores. El ejemplo 1 y el ejemplo comparativo 1 tienen la siguiente diferencia. En concreto, en el ejemplo 1, el haz de láser es irradiado sobre la estructura 1 desde el lado de la otra superficie principal del sustrato semiconductor cristalino 2 de tipo n, es decir, desde el lado de la superficie principal opuesto a la superficie principal sobre la cual está formada la capa semiconductor amorfa 4 de tipo p que tiene el tipo de conducción diferente respecto del tipo del sustrato semiconductor cristalino 2 de tipo n. Por el contrario, en el ejemplo comparativo 1, el haz de láser es irradiado sobre la estructura 31 desde el lado de la primera superficie principal del sustrato semiconductor cristalino 2 de tipo n, es decir desde el lado del primer cuerpo laminado 11 que comprende la capa semiconductor amorfa 4 de tipo p que tiene el tipo de conducción diferente respecto del tipo del sustrato semiconductor cristalino 2 de tipo n.

15 En el caso del ejemplo comparativo 1, después de la irradiación del haz de láser, la configuración de la estructura 31 en la proximidad de una parte irradiada con haz de láser, resulta similar a la configuración de la batería solar 50a mostrada en la figura 2A. Sobre una superficie extrema de la estructura 31, en la proximidad de la parte irradiada con el haz de láser, la parte extrema de la capa semiconductor amorfa intrínseca 3 y la parte extrema de la capa semiconductor amorfa 4 de tipo p son microcristalizadas debido a la influencia del calor en el momento de la irradiación del láser, mediante lo que se reduce la resistencia de estas partes. Por lo tanto, fluye una corriente de fuga entre la capa semiconductor amorfa 4 de tipo p y el sustrato semiconductor cristalino 2 de tipo n, que tienen respectivamente los tipos de conducción opuestos. Por este motivo, el dispositivo fotovoltaico 32 del ejemplo comparativo 1 fabricado tal como se ha descrito anteriormente, presenta reducciones en la tensión en abierto Voc y en el factor de llenado F. F..

25 Por el contrario, en el ejemplo 1, el haz de láser es irradiado sobre la estructura 1 desde el lado de la superficie principal dispuesto en el lado opuesto de la superficie principal sobre la cual está formada la capa semiconductor amorfa 4 de tipo p que tiene el tipo de conducción diferente respecto del tipo del sustrato semiconductor cristalino 2 de tipo n. Por consiguiente, a diferencia del ejemplo comparativo 1, no fluyen corrientes de fuga entre la capa semiconductor amorfa 4 de tipo p y el sustrato semiconductor cristalino 2 de tipo n, que tienen respectivamente los tipos de conducción opuestos.

30 Por este motivo, tal como se ha descrito previamente, se considera que el dispositivo fotovoltaico del ejemplo 1 posee características superiores a las del dispositivo fotovoltaico del ejemplo comparativo 1.

35 Tal como es evidente a partir de la tabla 3, el dispositivo fotovoltaico del ejemplo 2 tiene valores en la tensión en abierto Voc, en la corriente de cortocircuito Isc, en el factor de llenado F. F. y en la salida máxima Pmax, mayores que aquellos para el dispositivo fotovoltaico del ejemplo comparativo 2, y por lo tanto tiene características superiores.

40 El ejemplo 2 y el ejemplo comparativo 2 tienen la siguiente diferencia. En concreto, en el ejemplo 2, el haz de láser es irradiado sobre la estructura 23 desde el lado de la otra superficie principal del sustrato semiconductor cristalino 20 de tipo p, es decir, desde el lado de la superficie principal dispuesto en el lado opuesto a la superficie principal sobre la cual se forma la capa semiconductor amorfa 8 de tipo n que tiene el tipo de conducción diferente respecto del tipo del sustrato semiconductor cristalino 20 de tipo p. Por el contrario, en el ejemplo comparativo 2, el haz de láser es irradiado sobre la estructura 41 desde el lado de la primera superficie principal del sustrato semiconductor cristalino 20 de tipo p, es decir, desde el lado del primer cuerpo laminado 21 que comprende la capa semiconductor amorfa 8 de tipo n que tiene el tipo de conducción diferente respecto del tipo del sustrato semiconductor cristalino 20 de tipo p.

45 En el caso del ejemplo comparativo 2, la configuración en la proximidad de una parte irradiada por el haz de láser, de la estructura 41, después de la irradiación del haz de láser, resulta similar a la configuración de la batería solar 50b mostrada en la figura 2B, en donde el sustrato semiconductor cristalino 12 de tipo n es sustituido por el sustrato semiconductor cristalino 20 de tipo p. Sobre una superficie extrema de la estructura 41, en la proximidad de la parte irradiada con el haz de láser, la parte extrema de la capa semiconductor amorfa intrínseca 7 y la parte extrema de la capa semiconductor amorfa 8 de tipo p son microcristalizadas debido a la influencia del calor en el momento de

la irradiación del láser, mediante lo que se reduce la resistencia de estas partes. Por lo tanto, fluye una corriente de fuga entre la capa semiconductor amorfa 8 de tipo p y el sustrato semiconductor cristalino 20 de tipo n, que tienen respectivamente los tipos de conducción opuestos. Por este motivo, el dispositivo fotovoltaico 42 del ejemplo comparativo 2 fabricado tal como se ha descrito anteriormente, presenta reducciones en la tensión en abierto Voc y en el factor de llenado F. F..

Por el contrario, en el ejemplo 2, el haz de láser es irradiado sobre la estructura 23 desde el lado de la superficie principal dispuesto en el lado opuesto de la superficie principal sobre la cual está formada la capa semiconductor amorfa 8 de tipo n que tiene el tipo de conducción diferente respecto del tipo del sustrato semiconductor cristalino 20 de tipo p. Por consiguiente, a diferencia del ejemplo comparativo 2, no fluyen corrientes de fuga entre la capa semiconductor amorfa 8 de tipo n y el sustrato semiconductor cristalino 20 de tipo p, que tienen respectivamente los tipos de conducción opuestos.

Por este motivo, tal como se ha descrito previamente, se considera que el dispositivo fotovoltaico del ejemplo 2 posee características superiores a las del dispositivo fotovoltaico del ejemplo comparativo 2.

Por lo tanto, independientemente de si el sustrato monocristalino es del tipo n o del tipo p, es posible fabricar un dispositivo fotovoltaico con características de salida excelentes, irradiado el haz de láser desde el lado en el que la capa semiconductor amorfa tiene el mismo tipo de conducción que el tipo del sustrato monocristalino, es decir, desde el lado de la superficie principal dispuesto en oposición al lado de la superficie principal sobre el cual está formada la capa semiconductor amorfa que tiene el tipo de conducción diferente respecto del tipo del sustrato monocristalino, y formando de ese modo la zanja en la estructura, sin que la zanja alcance la capa semiconductor amorfa que tiene el tipo de conducción diferente respecto del tipo del sustrato monocristalino.

El sustrato semiconductor cristalino puede ser un sustrato de silicio monocristalino, o un sustrato de silicio policristalino. Además, la presente invención es aplicable no solo al sustrato de silicio sino asimismo a otros sustratos semiconductores tales como un sustrato de germanio. Las capas semiconductoras amorfas pueden ser capas de germanio amorfas.

Tal como se ha descrito anteriormente, de acuerdo con la presente invención, es posible proporcionar una técnica para la fabricación de un dispositivo fotovoltaico de un tamaño deseado que tiene una heterounión formada combinando un semiconductor amorfo y un semiconductor cristalino, eliminando al mismo tiempo las reducciones en la tensión en abierto Voc y en el factor de llenado F. F..

(Tercera realización)

A continuación, se describirá la tercera realización de la presente invención haciendo referencia a los dibujos.

La figura 13 es una vista lateral que muestra un dispositivo fotovoltaico de una tercera realización acorde con la presente invención. La figura 14 es una vista en perspectiva que muestra el dispositivo fotovoltaico mostrado en la figura 13. El dispositivo fotovoltaico mostrado en las figuras 13 y 14 es fabricado separando las hileras de un sustrato del dispositivo fotovoltaico respecto del sustrato, mediante la utilización de líneas de corte 114 tal como se muestra en la figura 16.

Tal como se muestra en la figura 13, el dispositivo fotovoltaico de la tercera realización tiene la estructura siguiente. Se forma una capa semiconductor amorfa sustancialmente intrínseca 102 con un grosor de 5 nm, sobre una superficie principal 101a del plano (100) dispuesta en un sustrato semiconductor cristalino 101 de tipo n que tiene la primera superficie principal 101a. Sobre la capa semiconductor amorfa intrínseca 102, se forma una capa semiconductor amorfa 103 de tipo p con un grosor de 5 nm. Además, sobre la capa semiconductor amorfa 103 de tipo p, se forma una capa 104 de película conductora transparente del lado p, con un grosor de aproximadamente 80 nm a 100 nm. En la capa 104 de película conductora transparente del lado p, se crea un electrodo colector 105 del lado p formado de un ITO. La película de ITO está formada de InO_2 , que contiene aproximadamente el 5 por ciento en masa de SnO_2 . Tal como se muestra en la figura 14, el electrodo colector 105 del lado p está configurado una serie de electrodos de dedo 105a y de electrodos de barra de contacto 105b. Los electrodos de dedo 105a están formados con intervalos predeterminados, extendiéndose en paralelo. Los electrodos de barra de contacto 105b recogen corrientes eléctricas han sido recogidas por los electrodos de dedo 105a.

Además, en la otra superficie principal 101b (superficie posterior) del sustrato semiconductor cristalino 101 de tipo n, se forma una capa semiconductor amorfa sustancialmente intrínseca 106 que tiene un grosor de aproximadamente 5 nm. Sobre la capa semiconductor amorfa intrínseca 106, se forma una capa semiconductor amorfa 107 de tipo n, con un grosor de aproximadamente 5 nm. Además, sobre la capa semiconductor amorfa 107 de tipo n, se forma una capa 108 de película conductora transparente del lado n con un grosor entre unos 80 nm y unos 100 nm. Sobre la capa 108 de película conductora transparente del lado n, se forma un electrodo colector 109 del lado n,

configurado de electrodos de dedo y de electrodos de barra de contacto, como en el caso del electrodo colector 105 del lado p.

5 Tal como se ha descrito anteriormente, se forma un dispositivo fotovoltaico 120 mostrado en la figura 13, mediante separar las hileras compuestas de cuatro lados, respecto del dispositivo fotovoltaico 120, sobre las líneas de corte 114 mostradas en la figura 16. Mediante la separación de las hileras sobre las líneas de corte 114, se forman cuatro superficies laterales procesadas 110 diferentes, tal como se muestra en la figura 14.

10 Tal como se muestra en la figura 13, sobre la superficie lateral procesada separada 110, se forma una región 111 procesada por láser y una región 112 procesada por corte. La región 111 procesada por láser se prolonga desde la otra superficie 101b hasta la primera superficie principal 101a. La región 112 procesada por corte se prolonga desde la primera superficie principal 101a hasta la otra superficie principal 101b. Obsérvese que la región procesada por láser 111 y la región procesada por corte 112, de la superficie lateral procesada separada 110, están ampliadas en la figura 13.

15 Tal como se muestra en la figura 13, un gran número de partes convexas 101a que se extienden hacia la superficie principal 101a, están formadas en el límite entre la región procesada por láser 111 y la región procesada por corte 111. Debido a las partes convexas 111a, se forman irregularidades en el límite. Las partes convexas 111a se forman al mismo tiempo que la región procesada por láser 111.

20 La figura 15 es una vista lateral para describir un proceso de formación de la región procesada por láser. La figura 15 muestra el dispositivo fotovoltaico visto desde la dirección indicada por la flecha A mostrada en la figura 13. En la figura 15, una parte indicada por las líneas de trazos muestra las hileras del dispositivo fotovoltaico 120. Las hileras son extraídas llevando a cabo el proceso de láser, y el proceso de flexión-corte desde el sustrato. Tal como se muestra en la figura 15, se aplica un haz de láser al sustrato desde el lado de la otra superficie principal 101b del sustrato semiconductor cristalino 101 de tipo n, para formar una zanja 113. Cuando esta zanja 113 está formada, se forma la región 111 procesada por láser en una parte sobre la superficie lateral procesada separada 110 en el interior de la zanja 113. El proceso de flexión-corte puede llevarse a cabo del siguiente modo. En primer lugar, se forma previamente la zanja 113 de la manera anterior. A continuación, tal como se muestra en la figura 17, se interpone la hilera del dispositivo fotovoltaico 120 entre elementos de sujeción 115, y se flexiona utilizando una parte correspondiente de la zanja 113 como línea de flexión. Por consiguiente, una sección transversal formada durante el proceso de flexión-corte sirve como la región 112 procesada por corte, tal como se muestra en la figura 15.

25 30 Las marcas de tensión concentradas 112a mostradas en la figura 13, se forman mediante la concentración de tensiones cuando se lleva a cabo el proceso de flexión-corte. Las marcas de tensión concentradas 112a se forman en torno a las partes convexas 111a en la región procesada por corte.

35 De acuerdo con la presente invención, cuando se lleva a cabo el proceso de flexión-corte, las tensiones se concentran, tal como se ha descrito anteriormente, en la parte superior de las partes convexas 111a en la región 111 procesada por láser, y sobre las partes periféricas de las mismas. Por consiguiente, se forman las marcas de tensión radial concentradas 112a que se prolongan desde las partes convexas 111a. Es posible realizar fácilmente el proceso de flexión-corte, puesto que el gran número de partes convexas 111a se forman en la región 111 procesada por láser, y las tensiones se concentran en la parte superior de las partes convexas 111a y en las partes periféricas de las mismas, cuando se lleva a cabo el proceso de flexión-corte. En otras palabras, el proceso de flexión-corte puede llevarse a cabo con tensiones pequeñas. Puesto que la hilera puede ser separada del sustrato con tensiones pequeñas durante el proceso de flexión-corte, es posible reducir la distensión que se provoca en ese momento. Como resultado, puede incrementarse el factor de llenado, y resulta posible obtener una eficiencia elevada de la conversión fotoeléctrica.

45 La figura 18 es una fotografía microscópica que muestra la superficie lateral del dispositivo fotovoltaico de una tercera realización acorde con la presente invención. La figura 19 es una fotografía microscópica que muestra una superficie lateral de un dispositivo fotovoltaico del ejemplo comparativo 3. Además, la figura 20 es un diagrama correspondiente a la figura 18, y muestra la superficie lateral del dispositivo fotovoltaico de la tercera realización de la presente invención. La figura 21 es un diagrama correspondiente a la figura 19 y muestra la superficie lateral del dispositivo fotovoltaico del ejemplo comparativo 3.

50 Tal como se muestra en las figuras 18 y 20, sobre la superficie lateral del dispositivo fotovoltaico acorde con la presente invención, se forman las partes convexas 111a en la parte superior de la región 111 procesada por láser. En la región 112 procesada por corte en torno las partes convexas 111a, se forman las marcas de tensión radial concentradas 111a que se prolongan desde las partes convexas 111a. Se considera que, puesto que las tensiones se concentran sobre las partes convexas 111a durante el proceso de flexión-corte, se forman las marcas de tensión radial concentradas 111a extendiéndose desde las partes convexas 111a.

Por otra parte, en el dispositivo fotovoltaico del ejemplo comparativo, no se forman partes convexas en la región 111 procesada por láser, tal como se muestra en las figuras 19 y 21. Si se lleva a cabo el proceso de flexión-corte en dicho estado, se aplica una gran tensión en la región 112 procesada por corte y, al ser retorcida, se separa una hilera de un sustrato del dispositivo fotovoltaico. Por este motivo, se observan grietas 111b que se extienden en cierta dirección.

La figura 22 es una vista lateral para describir la relación entre las condiciones de irradiación de láser para el proceso de láser, y las formas de la parte superior de la región procesada por láser. Como ejemplo de las condiciones de irradiación del láser que influyen sobre la forma de la región procesada por láser, pueden tomarse la salida del haz de láser, la frecuencia de impulsos del láser y la velocidad de barrido del láser, y el número de barridos de la irradiación de láser.

La profundidad de la región procesada por láser, en otras palabras, la profundidad de la zanja formada por medio del proceso de láser, tiene una relación proporcional con la salida. Por consiguiente, es posible incrementar la profundidad incrementando la salida.

La frecuencia de impulsos y la velocidad de barrido tienen la mayor influencia sobre las formas de las regiones convexas en la región procesada por láser. Cuanto mayor es el valor obtenido dividiendo el valor de la frecuencia de impulsos por el valor de la velocidad de barrido, menores se hacen los intervalos entre las partes convexas. Si los intervalos entre las partes convexas son más estrechos de cierta anchura, la forma de la parte superior de la región procesada por láser es tan plana que las partes convexas no pueden ser reconocidas mediante la utilización de un microscopio (a un aumento de X100). La figura 22A muestra dicho perfil.

Otra parte, existe la tendencia de que si el valor obtenido dividiendo el valor de la frecuencia de impulsos por el valor de la velocidad de barrido es menor, los intervalos entre las partes convexas tienden a ser más anchos y las alturas de las partes convexas tienden a reducirse. La figura 22C muestra dicho perfil.

Para formar las partes convexas 111a según la presente invención, tales como las mostradas en la figura 22B, es necesario controlar la frecuencia de impulsos y la velocidad de barrido de manera que el valor obtenido dividiendo el valor de la frecuencia de impulsos por el valor de la velocidad de barrido sea menor que en el caso con un perfil como el que se muestra en la figura 22A, y sea mayor que en el caso con un perfil como el que se muestra en la figura 22C.

Además, el número de barridos de la irradiación láser tiene una gran influencia sobre la profundidad de la zanja. Cuando el número de barridos se incrementa, se incrementa la profundidad procesada. Sin embargo, la velocidad del incremento de la profundidad se reduce gradualmente.

La figura 23 es una vista lateral para describir un método de medición de las alturas de las partes convexas según la presente invención. Las alturas de las partes convexas 111a en la región 111 procesada por láser, se miden del siguiente modo. Mediante la utilización de un microscopio con una función de medición, las partes convexas 111a se aumentan hasta un aumento de X 100, por ejemplo, para medir la distancia entre la parte superior de cada una de las partes convexas y la parte del fondo de cada una de las partes convexas. Puesto que las formas de las partes convexas son irregulares, se dibuja una línea de medición 117 en la posición central de la parte superior de las partes convexas 111a, se dibuja una línea de medición 116 en la posición central de las partes del fondo, y la distancia entre la línea de medición 116 y la línea de medición 117 se considera como la altura promedio de las partes convexas 111a.

Además, con respecto a los intervalos entre las partes convexas 111a, se utiliza un microscopio que tiene una función de medición tal como en el caso descrito anteriormente. Las partes convexas se aumentan hasta 200 veces, por ejemplo. A continuación, con respecto a las seis partes convexas que pueden ser reconocidas visualmente, se mide cada una de las distancias entre las partes convexas. El valor promedio de la distancias es considerado como el intervalo promedio de las partes convexas.

De acuerdo con la tercera realización de la presente invención se forman, en la región 111 procesada por láser, las partes convexas 111a, que se extienden hacia la primera superficie principal 101a del sustrato semiconductor cristalino 101 de tipo n. Por lo tanto, puesto que la tensión generada en el proceso de flexión y separación se concentra en la parte convexa 111a y la deformación es dispersada, se reduce la deformación de la superficie lateral procesada separada 110. Como resultado, se mejora la eficiencia fotovoltaica del dispositivo fotovoltaico 120.

50 (Ejemplo 3)

A continuación, se proporcionan descripciones para el ejemplo 3 en el cual se fabrica el dispositivo fotovoltaico acorde con la tercera realización de la presente invención.

[Primer Experimento]**<Fabricación del dispositivo fotovoltaico antes del proceso de separación>**

Con respecto a la figura 13, se eliminaron impurezas limpiando el sustrato semiconductor cristalino 101 de tipo n que tiene el plano (100). El sustrato semiconductor cristalino 101 de tipo n tuvo una resistividad de aproximadamente $1\Omega\cdot\text{cm}$ y un grosor de aproximadamente $300\ \mu\text{m}$.

A continuación, se formaron secuencialmente sobre la primera superficie principal 101a del sustrato semiconductor cristalino 101 de tipo n, la capa semiconductor amorfa intrínseca 102 y la capa semiconductor amorfa 103 de tipo p, cada una de las cuales tiene un grosor de unos $5\ \text{nm}$. Estas capas se formaron por medio de un método CVD de plasma bajo las condiciones de una frecuencia de aproximadamente $13,56\ \text{MHz}$; una temperatura de formación de aproximadamente $100\ \text{°C}$ a $300\ \text{°C}$; una presión de reacción de aproximadamente $5\ \text{Pa}$ a $100\ \text{Pa}$; y una potencia de RF de aproximadamente $1\ \text{mW}/\text{cm}^2$ a $500\ \text{mW}/\text{cm}^2$. A propósito, puede tomarse B, Al, Ga o In que son el grupo 3 de elementos, como un ejemplo de un dopante de tipo p utilizado cuando se forma la capa semiconductor amorfa 103 de tipo p. Adicionalmente, es posible formar la capa semiconductor amorfa 103 de tipo p mezclando un material gaseoso tal como SiH_4 (silano) con un compuesto gaseoso que contiene por lo menos uno de los dopantes de tipo p mencionados anteriormente, cuando se forma la capa semiconductor amorfa 103 de tipo p.

A continuación, tal como en el caso mencionado anteriormente, se formaron secuencialmente sobre la otra superficie principal 101b del sustrato semiconductor cristalino 101 de tipo n, la capa semiconductor amorfa intrínseca 106 y la capa semiconductor amorfa 107 de tipo n, cada una de las cuales tiene un grosor de aproximadamente $5\ \text{nm}$. Obsérvese que puede tomarse P, N, As ó Sb que son del grupo 5 de elementos, como ejemplo de un dopante de tipo n utilizado cuando se forma la capa semiconductor amorfa 107 de tipo n. Cuando se forma la capa semiconductor amorfa 107 de tipo n, es posible formar la capa semiconductor amorfa 107 de tipo n mezclando un material gaseoso con un compuesto gaseoso que contiene, por lo menos, uno de los dopantes de tipo n mencionados anteriormente.

A continuación, mediante un método de pulverización, se formaron a partir de películas de ITO la capa 104 de película conductora transparente del lado p y la capa 108 de película conductora transparente del lado n, respectivamente sobre la capa semiconductor amorfa 103 de tipo p y sobre la capa semiconductor amorfa 107 de tipo n. Tanto la capa 4 de película conductora transparente del lado p como la capa 108 de película conductora transparente del lado n, pueden formarse mediante la utilización del método de pulverización utilizando un objetivo formado de un cuerpo sinterizado de In_2O_3 en polvo, que contiene aproximadamente el 5 por ciento en peso de polvo de SnO_2 . Cambiando la cantidad de SnO_2 en polvo, se posibilita cambiar la cantidad de Sn en una película de ITO. La cantidad de Sn respecto de la cantidad de In es preferentemente de aproximadamente del 1 por ciento en masa hasta el 10 por ciento en masa. Cada una de las películas conductoras transparentes 4 y 8 está formada de un grosor de aproximadamente $80\ \text{nm}$ a $100\ \text{nm}$.

Después, mediante un método de serigrafía se transfirió una pasta conductora de epoxi termoendurecible (pasta de plata (Ag)) sobre una región predeterminada del electrodo transparente 4 en el lado de la primera superficie principal 101a. Después, se calentó la pasta conductora en un horno calentador para ser endurecida. Por consiguiente, se formó el electrodo colector 105 del lado p. El electrodo colector 109 del lado n se formó asimismo de manera similar.

<Formación de zanjas mediante el proceso de láser>

Mediante el proceso de láser, se formaron las zanjas en las hileras del dispositivo fotovoltaico fabricado tal como se ha descrito anteriormente. Tal como se muestra en la figura 16, las zanjas se formaron respectivamente en las cuatro partes en las hileras, mostrándose las partes mediante líneas de trazos (líneas de corte 114). Como haz de láser, se utilizó un haz de láser YAG, y el haz de láser YAG se aplicó a las hileras desde el lado de la otra superficie principal 101b del sustrato semiconductor cristalino 101 de tipo n. Se controló que el haz de láser estuviera en un rango de salida de $3\ \text{W}$ a $10\ \text{W}$, una longitud de onda de $1064\ \text{nm}$, y una frecuencia de impulsos de $1\ \text{kHz}$ a $30\ \text{kHz}$. El barrido se llevó a cabo alguna velocidad de barrido del láser constante, en el rango de 1 a $30\ \text{nm}$ por segundo. El número de barridos se seleccionó entre un rango de uno a seis.

Bajo las condiciones de irradiación de láser descritas anteriormente, se aplicaron haces de láser de manera que las alturas promedio de las partes convexas de los dispositivos fotovoltaicos fueron de aproximadamente $7\ \mu\text{m}$, $15\ \mu\text{m}$, $25\ \mu\text{m}$, $50\ \mu\text{m}$ y $75\ \mu\text{m}$. Adicionalmente, se formaron las partes convexas de manera que el intervalo promedio entre las partes convexas en cada uno de los casos estuvo en el rango de $0,2$ a $3,0$ veces cada una de las alturas promedio de las partes convexas. Además, se formaron las partes convexas de manera que, con respecto a cada uno de los dispositivos fotovoltaicos, el promedio de las alturas desde la otra superficie principal hasta la parte superior de las partes convexas estuvo dentro de un rango de $150\ \mu\text{m}$ a $200\ \mu\text{m}$.

<Proceso de flexión-corte del dispositivo fotovoltaico>

Se obtuvieron cinco dispositivos fotovoltaicos de la manera descrita anteriormente. Con respecto a cada uno de los dispositivos fotovoltaicos, se llevó a cabo un proceso de flexión-corte, flexionando las hileras de los mismos mediante la utilización de la zanja formada, como línea de flexión. Por consiguiente, se preparó cada uno de los dispositivos fotovoltaicos.

5 [Evaluación de características del dispositivo fotovoltaico]

Se aplicó un haz de luz de simulador solar de AM 1.5 y 1kW/m^2 a cada uno de los cinco tipos de dispositivos fotovoltaicos preparados de la manera anterior, y se midieron las características I-V de los mismos. La figura 24 muestra los resultados de la medición. El eje horizontal indica las alturas promedio de las partes convexas, y el eje vertical indica los factores de llenado (F. F., fill factors). Obsérvese que los valores del factor de llenado mostrados, son valores estandarizados en base al factor de llenado del dispositivo fotovoltaico del ejemplo comparativo 3. Como dispositivo fotovoltaico del ejemplo comparativo 3, se utilizó un dispositivo fotovoltaico en el que no se llevó a cabo ningún proceso de separación sobre las hileras del mismo.

Tal como es evidente a partir de la figura 24, con respecto al dispositivo fotovoltaico que tiene partes convexas cuya altura promedio es igual o mayor de $15\ \mu\text{m}$, el valor de F. F. estandarizado es igual o mayor que 1. Además, el valor del F. F. estandarizado se incrementa siempre que la altura promedio de las partes convexas sea menor de $25\ \mu\text{m}$. Se mantiene un valor similar del F. F. estandarizado, cuando la altura promedio de las partes convexas es igual o mayor de $25\ \mu\text{m}$. Por consiguiente, se entiende que la altura promedio de las partes convexas es preferentemente igual o mayor de $15\ \mu\text{m}$.

[Segundo Experimento]

Se fabricaron dispositivos fotovoltaicos como en el caso del primer experimento, excepto en que las formaciones de zanja se realizaron de la manera que se describe a continuación.

Se prepararon ocho tipos de dispositivos fotovoltaicos de manera que, con respecto a cada uno de los dispositivos fotovoltaicos, la altura promedio de las partes convexas estuvo en el interior de un rango de 25 a $30\ \mu\text{m}$. Cada uno de los ocho dispositivos fotovoltaicos tuvo una altura promedio diferente, desde la otra superficie principal hasta la parte superior de las partes convexas. Las alturas promedio fueron respectivamente de $60\ \mu\text{m}$, $90\ \mu\text{m}$, $120\ \mu\text{m}$, $150\ \mu\text{m}$, $200\ \mu\text{m}$, $250\ \mu\text{m}$, $270\ \mu\text{m}$, y $300\ \mu\text{m}$. Adicionalmente, se prepararon dispositivos fotovoltaicos de manera que, con respecto a cada uno de los dispositivos fotovoltaicos, el intervalo promedio entre las partes convexas estuvo en el interior del rango de $0,2$ a $3,0$ veces la altura promedio de las partes convexas.

[Evaluación de características del dispositivo fotovoltaico]

Tal como en el caso del primer experimento, se midieron las características de I-V con respecto a cada uno de los ocho tipos de dispositivos fotovoltaicos fabricados tal como se ha descrito anteriormente. La figura 25 muestra los resultados de la medición. Obsérvese que, en la figura 25, el eje horizontal indica valores, cada uno de los cuales se obtiene dividiendo el valor de una longitud promedio desde la otra superficie principal hasta la parte superior de las partes convexas, por un valor de un grosor de un sustrato. Por consiguiente, el valor se convierte en el 100% en el caso de un dispositivo fotovoltaico en el cual la longitud promedio desde la otra superficie principal hasta la parte superior de las partes convexas es de $300\ \mu\text{m}$, puesto que el sustrato tiene un grosor de $300\ \mu\text{m}$. Además, los puntos rodeados en las figuras 24 y 25 muestra los resultados de la medición del mismo dispositivo.

Tal como se muestra en la figura 25, cuando la longitud promedio desde la otra superficie principal hasta la parte superior de las partes convexas es igual o mayor que el 30% del grosor de un sustrato, el F. F. estandarizado resulta mayor que 1. Cuando la longitud promedio es igual o mayor que el 30% y es menor que el 50% del grosor de un sustrato, el factor de llenado estandarizado se incrementa de acuerdo con el incremento en la distancia desde la otra superficie principal hasta la parte superior de las partes convexas. Con respecto a los dispositivos fotovoltaicos en cada uno de los cuales la longitud promedio es igual o mayor del 50% del grosor de un sustrato, los valores de los factores de llenado estandarizado se mantienen sustancialmente en un cierto nivel. Por consiguiente, se entiende que la longitud promedio desde la otra superficie principal hasta la parte superior de las partes convexas es, más preferentemente, igual o mayor que el 50% del grosor de un sustrato. Además, con respecto al dispositivo fotovoltaico en el cual la longitud promedio es igual o mayor que el 90% del grosor de un sustrato, el factor de llenado estandarizado es menor que 1. Por esta razón, se entiende que el factor de llenado estandarizado es igual o mayor que 1 si la longitud promedio desde la otra superficie principal hasta la parte superior de las partes convexas está en el rango del 30% al 90% del grosor de un sustrato. Se entiende asimismo que la longitud promedio está, más preferentemente, en un rango del 50 al 90% del grosor de un sustrato.

Obsérvese que, en la figura 25, con respecto a un dispositivo fotovoltaico en el cual la longitud promedio es del 100% del grosor de un sustrato, la parte superior de las partes convexas del mismo alcanzan la primera superficie principal del sustrato. Se entiende que, si la parte superior de las partes convexas alcanza la primera superficie

principal, el factor de llenado estandarizado se reduce significativamente. Por consiguiente, la longitud promedio desde la otra superficie principal hasta la parte superior de las partes convexas es preferentemente menor del 100% del grosor de un sustrato.

5 En cada una de las realizaciones precedentes, las descripciones se han dado a conocer para el caso en el que son separados los cuatro lados en las hileras del dispositivo fotovoltaico. Sin embargo, obsérvese que la presente invención no se limita a esto, y la presente invención es aplicable asimismo a casos en cada uno de los cuales se separa solamente un lado, o se separan solamente dos o tres lados.

10 La presente invención es aplicable asimismo a un caso en el que los dispositivos fotovoltaicos 120 de pequeñas dimensiones son fabricados dividiendo una placa de una matriz 130 de dispositivos fotovoltaicos, en una serie de placas mediante la utilización de una parte indicada por la línea de trazos (líneas de corte 114), tal como se muestra en la figura 26. Adicionalmente, la separación no se limita a una separación a lo largo de una línea recta. La presente invención es aplicable asimismo a un caso en el que la separación se realiza a lo largo de una curva.

15 Además, en cada una de las realizaciones anteriores, las descripciones se han dado a conocer tomando como ejemplo el dispositivo fotovoltaico de la estructura HIT. Sin embargo, la presente invención es aplicable a dispositivos fotovoltaicos que utilizan cada uno un sustrato semiconductor cristalino, y asimismo a otros dispositivos fotovoltaicos. Por ejemplo, la presente invención puede ser aplicada asimismo a células solares de película delgada, cada una de las cuales está formada sobre un sustrato de silicio monocristalino, un sustrato de polisilicio, un sustrato semiconductor compuesto o un sustrato cristalino, y similares.

20 Además, en cada una de las realizaciones anteriores, como material para el electrodo colector se utilizó una pasta conductora termoendurecible de epoxi. Sin embargo, la presente invención no se limita a esto. Como material para la capa de unión, para los electrodos de la barra de contacto y para el electrodo de la superficie posterior, puede utilizarse un material conductor que contenga un material de resina diferente de los materiales de resina epoxi. Alternativamente, puede utilizarse una pasta conductora que contenga un material de resina de poliéster, acrílica, de polivinilo o fenólica, o similares.

25 Adicionalmente, en cada una de las realizaciones anteriores, cada uno de los electrodos del colector se forman calentando y endureciendo la pasta conductora. Sin embargo, la presente invención no se limita a esto. El electrodo colector puede fabricarse mediante un método diferente al descrito anteriormente. Por ejemplo, el electrodo colector puede formarse depositando Al o similar, o uniendo un cable metálico con una capa de unión.

30 Además, en cada una de las realizaciones anteriores, el electrodo de la superficie posterior está formado sobre la película conductora en el lado de la otra superficie principal, estando el electrodo de la superficie posterior formado de los electrodos de la barra colectora y de los electrodos de dedo. Sin embargo, la presente invención no se limita a esto. No importa si el electrodo de la superficie posterior se forma cubriendo toda la película conductora transparente del lado de la otra superficie principal.

35 Además, en cada una de las realizaciones anteriores, se utilizó silicio (Si) como material semiconductor. Sin embargo, la presente invención no se limita a esto. Es posible asimismo utilizar cualquier semiconductor seleccionado entre SiGe, SiGeC, SiC, SiN, SiGeN, SiSn, SiSnN, SiSnO, SiO, Ge, GeC y GeN. En este caso, cada uno de estos semiconductores puede ser cristalino, amorfo conteniendo por lo menos alguno entre hidrógeno y flúor, o microcristalino.

40 Además, en cada una de las realizaciones anteriores, se utilizó un óxido de indio dopado con Sn (ITO) como material para formar la película semiconductor transparente. Sin embargo, la presente invención no se limita a esto. Puede utilizarse una película conductora transparente formada de un material diferente a la película de ITO. Por ejemplo, puede formarse una película conductora transparente de óxido de indio, con el cual está mezclado por lo menos uno entre Zn, As, Ca, Cu, F, Ge, Mg, S, Si y Te.

45 Además, en cada una de las realizaciones anteriores, la capa semiconductor amorfa se formó mediante la utilización del método de CVD de plasma RF. Sin embargo, la presente invención no se limita a esto. La capa semiconductor amorfa puede formarse mediante otro método tal como un método de deposición, un método de pulverización, un método de CVD de plasma por microondas, un método ECR, un método de CVD térmico o un método de LPCVD (low-pressure CVD) (un método CVD a baja presión).

50 La presente invención se describe haciendo referencia a ciertas realizaciones. No obstante, debe observarse que las realizaciones anteriores son solamente ejemplos. Para los expertos en la materia, es obvio que son posibles diversos ejemplos modificados en términos de combinaciones de los componentes respectivos y de los procesos respectivos, y que tales ejemplos modificados están abarcados por el alcance de la presente invención tal como se define en las reivindicaciones anexas.

REIVINDICACIONES

5 1. Un dispositivo fotovoltaico que comprende un sustrato semiconductor cristalino (2) del primer tipo de conducción, que incluye una primera superficie principal y una segunda superficie principal proporcionada en el lado opuesto a la primera superficie principal, y una capa semiconductor (3) del segundo tipo de conducción dispuesta en la primera superficie principal, en el que,

el sustrato semiconductor cristalino comprende una superficie lateral procesada separada, formada por un proceso de separación, interpuesta entre la primera superficie principal y la segunda superficie principal.

caracterizado porque la superficie lateral procesada separada comprende una región (4a, 7a) procesada con láser, formada mediante un proceso con láser, y una región procesada por corte, formada mediante un proceso de corte,

10 la región procesada por láser es una región que se extiende desde la segunda superficie principal hacia el lado de la primera superficie principal, sin alcanzar la capa semiconductor del segundo tipo de conducción.

2. Un dispositivo fotovoltaico acorde con la reivindicación 1, en el que,

15 la capa semiconductor del segundo tipo de conducción tiene una estructura en la que una capa semiconductor amorfa (7) del segundo tipo de conducción y una capa (8) de película conductora del segundo tipo de conducción, están laminadas por orden a partir de la primera superficie principal del sustrato semiconductor cristalino.

3. Un dispositivo fotovoltaico acorde con la reivindicación 2, que comprende además:

una capa semiconductor (4) del primer tipo de conducción, dispuesta en la segunda superficie principal del sustrato semiconductor cristalino, en el que,

20 la capa semiconductor del primer tipo de conducción tiene una estructura en la que una capa semiconductor amorfa (4) del primer tipo de conducción y una capa de película conductora (5) del primer tipo de conducción, están laminadas por orden a partir de la segunda superficie principal del sustrato semiconductor cristalino.

4. Un dispositivo fotovoltaico acorde con la reivindicación 3, en el que,

por lo menos una entre la capa semiconductor amorfa del segundo tipo de conducción y la capa semiconductor amorfa del primer tipo de conducción, comprende una capa semiconductor amorfa intrínseca.

25 5. Un dispositivo fotovoltaico acorde con la reivindicación 1, en el que,

el proceso de corte es un proceso de flexión y de corte,

la región procesada por láser tiene una serie de partes convexas que se extienden hacia el lado de la primera superficie principal, en el límite entre la región procesada con láser y la región procesada por corte.

30 la región procesada por corte tiene marcas de tensión concentradas, formadas radialmente desde las partes convexas de la región procesada por láser, marcas que se generan durante el proceso de flexión y de corte.

6. Un dispositivo fotovoltaico acorde con la reivindicación 5, en el que,

la altura promedio de las partes convexas es igual o mayor que 15 μm .

7. Un dispositivo fotovoltaico acorde con la reivindicación 5, en el que,

el intervalo promedio entre las partes convexas es de 0,2 a 3,0 veces la altura promedio de las partes convexas.

35 8. Un dispositivo fotovoltaico acorde con la reivindicación 5, en el que,

la longitud promedio desde la segunda superficie principal hasta la parte superior de las partes convexas es igual o mayor que el 50 % de la longitud desde la segunda superficie principal hasta la primera superficie principal.

40 9. Un método de fabricación de un dispositivo fotovoltaico que comprende un sustrato semiconductor cristalino 2 del primer tipo de conducción, que incluye una primera superficie principal y una segunda superficie principal dispuesta en el lado opuesto a la primera superficie principal, que comprende las etapas de,

(a) formar una capa semiconductor 3 del segundo tipo de conducción sobre la primera superficie principal del sustrato semiconductor cristalino,

5 (b) formar una zanja 15 que se prolonga desde la segunda superficie principal hacia la primera superficie principal, sin alcanzar la capa semiconductor del segundo tipo de conducción, irradiado un haz de láser desde la segunda superficie principal del sustrato semiconductor cristalino,

(c) separar el sustrato semiconductor cristalino y la capa semiconductor del segundo tipo de conducción, cortando el sustrato semiconductor cristalino y la capa semiconductor del segundo tipo de conducción, a lo largo de la zanja.

10 10. Un método de fabricación de un dispositivo fotovoltaico acorde con la reivindicación 9, que comprende además las etapas de,

(d) formar una capa semiconductor 4 del primer tipo de conducción, sobre la segunda superficie principal del sustrato semiconductor cristalino, en el que,

la etapa (b) comprende una etapa de irradiación del haz de láser desde la capa semiconductor del primer tipo de conducción.

15 11. Un método de fabricación de un dispositivo fotovoltaico acorde con la reivindicación 10, en el que,

la capa semiconductor del primer tipo de conducción tiene una estructura en la que una capa semiconductor amorfa del primer tipo de conducción y una capa de película conductora del primer tipo de conducción, son laminadas por orden a partir de la segunda superficie principal del sustrato semiconductor cristalino,

20 la capa semiconductor del segundo tipo de conducción tiene una estructura en la que una capa semiconductor amorfa del segundo tipo de conducción y una capa de película conductora del segundo tipo de conducción, son laminadas por orden a partir de la primera superficie principal del sustrato semiconductor cristalino.

12. Un método de fabricación de un dispositivo fotovoltaico acorde con la reivindicación 11, en el que,

por lo menos una entre la capa semiconductor amorfa del segundo tipo de conducción y la capa semiconductor amorfa del primer tipo de conducción, comprende una capa semiconductor amorfa intrínseca.

25 13. Un método de fabricación de un dispositivo fotovoltaico acorde con la reivindicación 9, en el que,

la etapa (b) comprende una etapa de formación de la zanja con una serie de partes convexas que se prolongan hacia la primera superficie principal,

la etapa (c) comprende una etapa de flexión del sustrato semiconductor cristalino y de la capa semiconductor del segundo tipo de conducción, a lo largo de la zanja.

30 14. Un método de fabricación de un dispositivo fotovoltaico acorde con la reivindicación 13, en el que,

la etapa (b) comprende una etapa de formación de la zanja con la serie de partes convexas que se prolongan hacia la primera superficie principal, controlando una frecuencia de impulsos y una velocidad de barrido del haz de láser.

FIG.1
TÉCNICA ANTERIOR

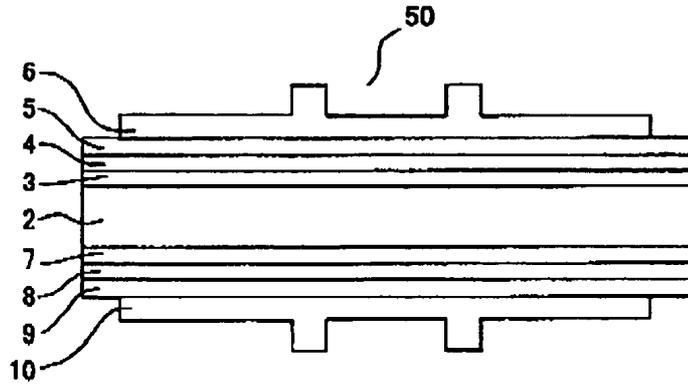


FIG.2A

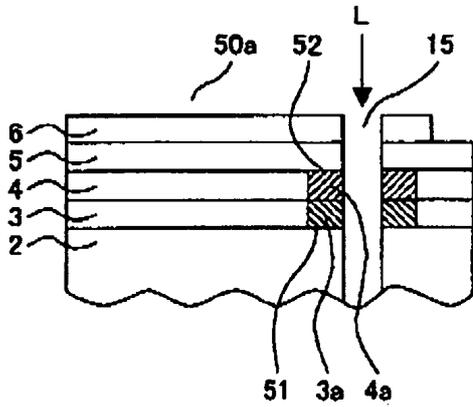


FIG.2B

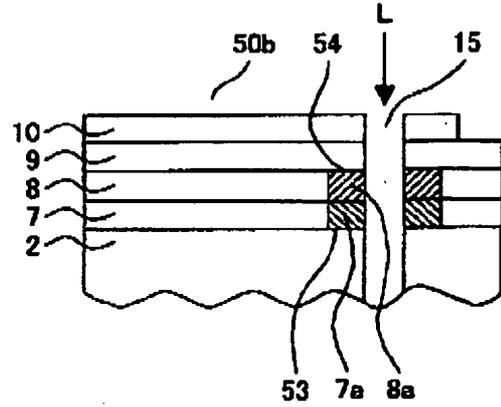


FIG.3

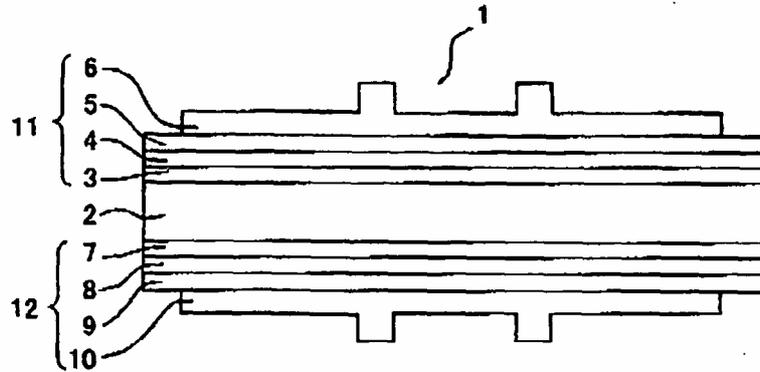


FIG.4

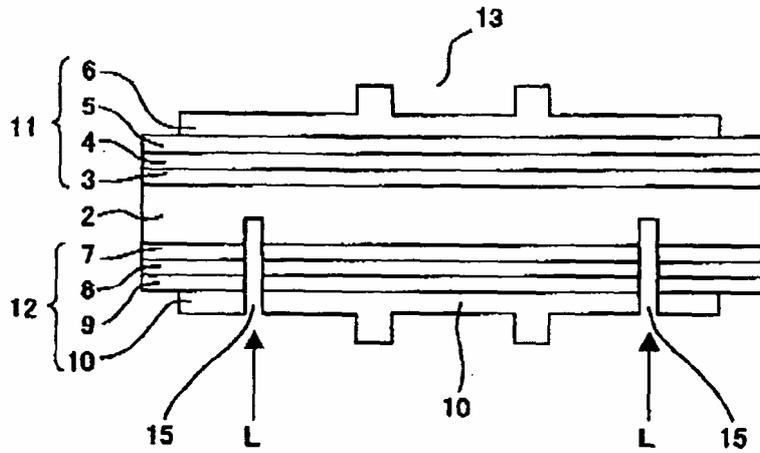


FIG.5

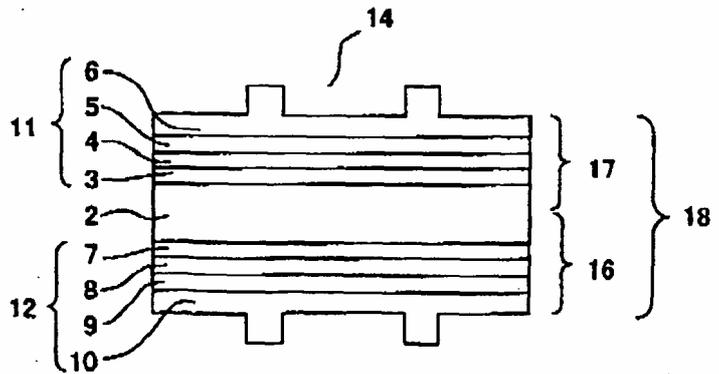


FIG.6

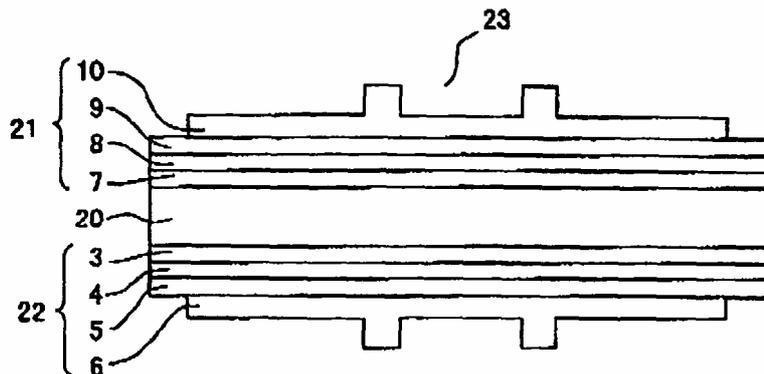


FIG.7

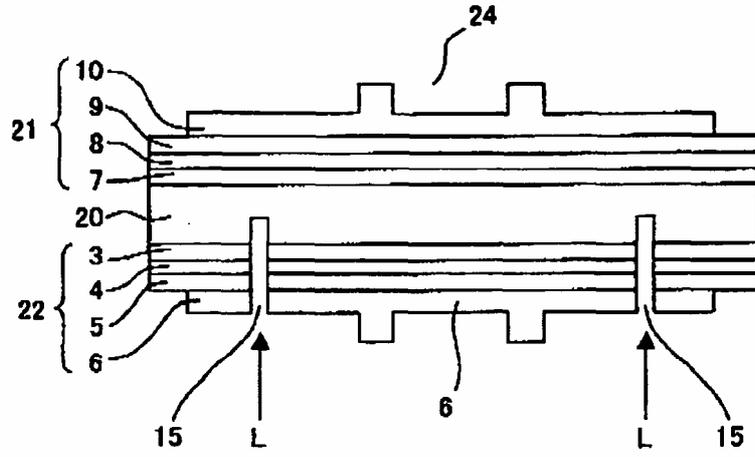


FIG.8

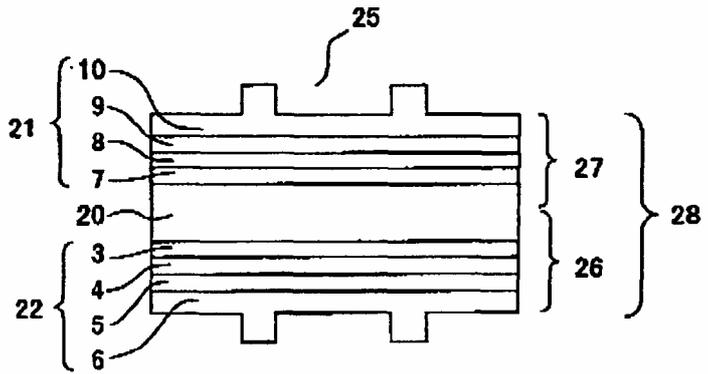


FIG.9

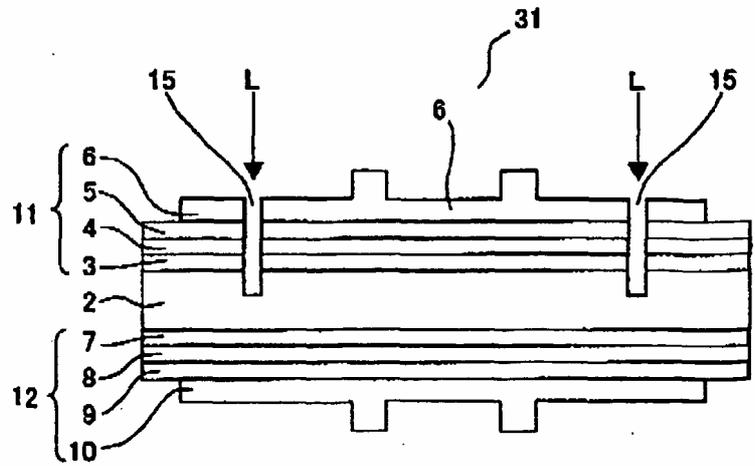


FIG.10

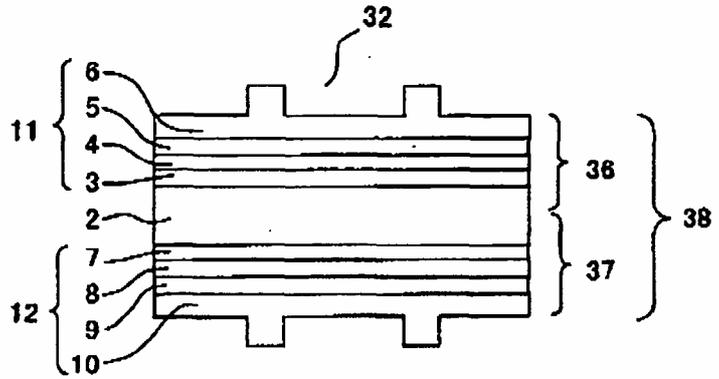


FIG.11

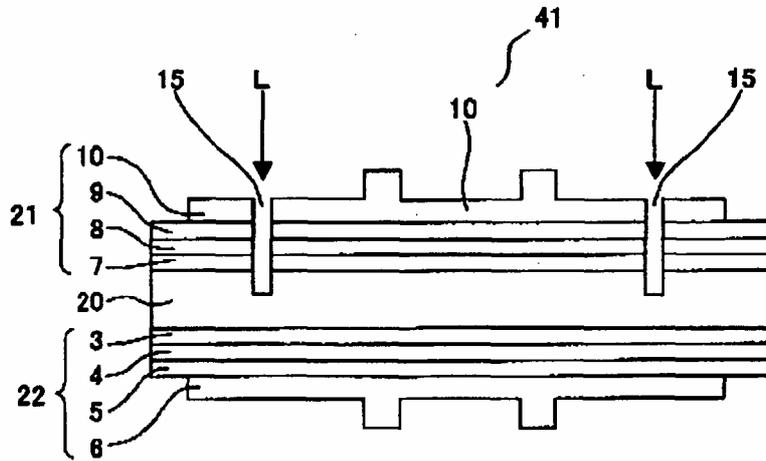


FIG.12

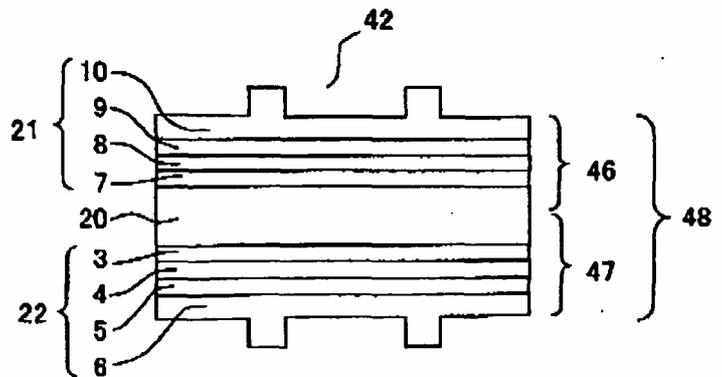


FIG.13

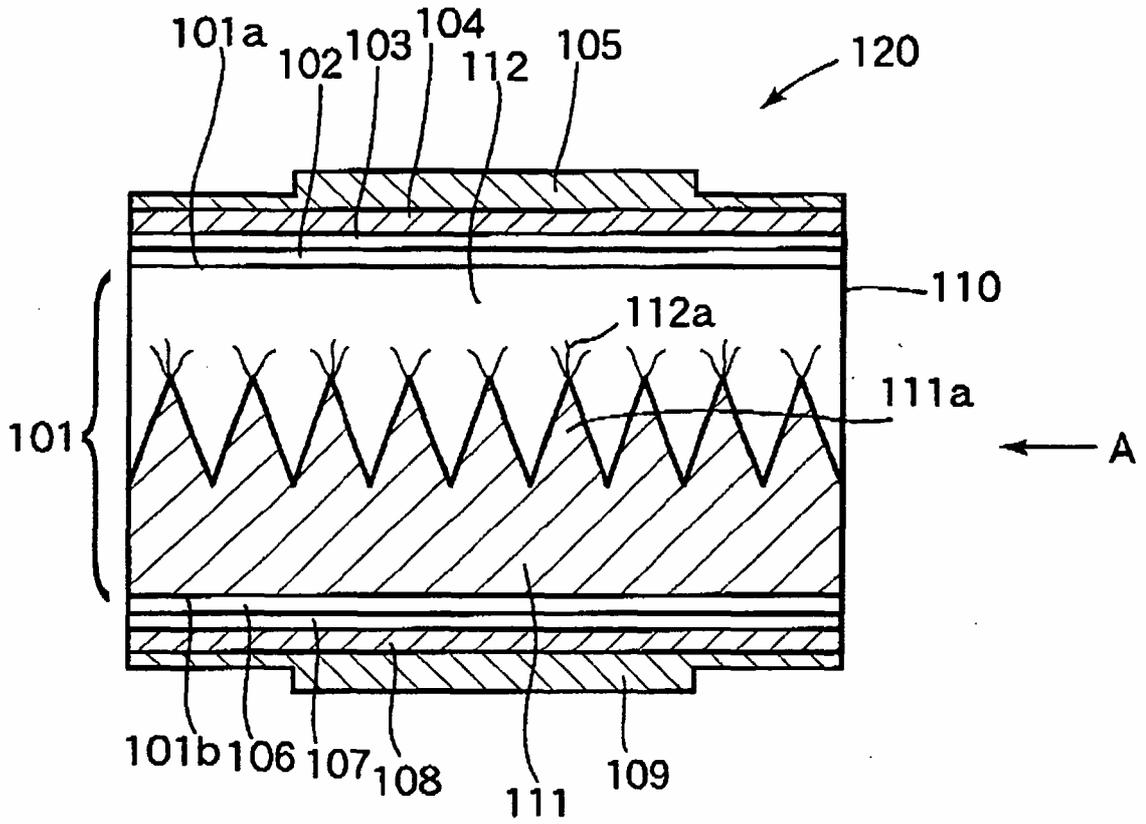


FIG.14

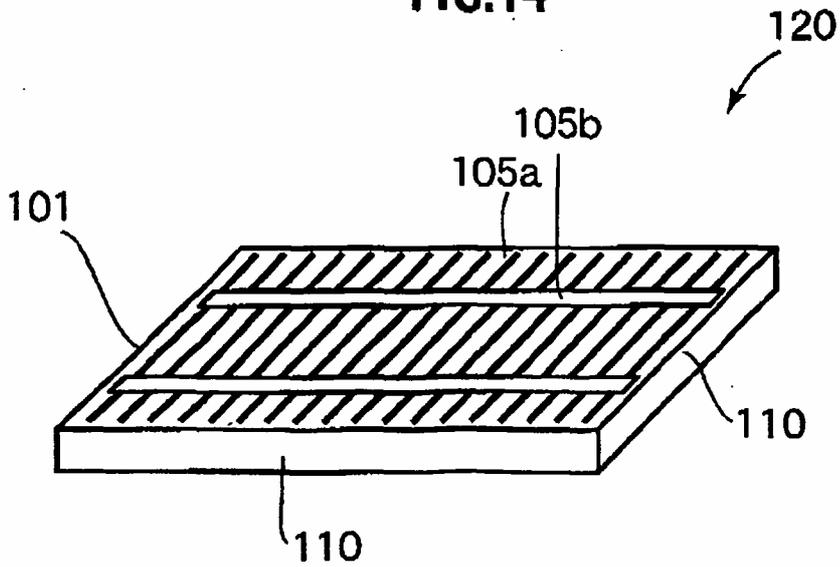


FIG.15

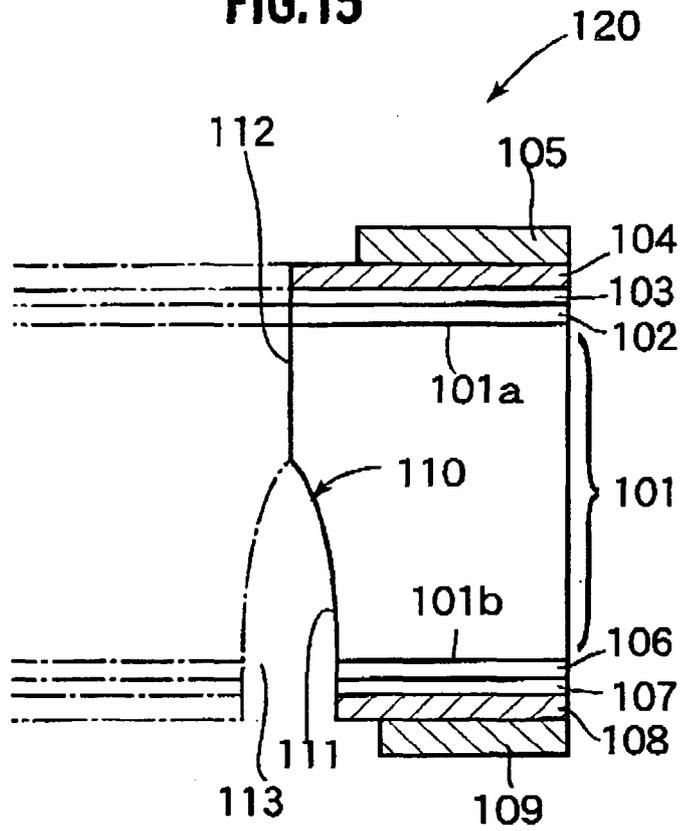


FIG.16

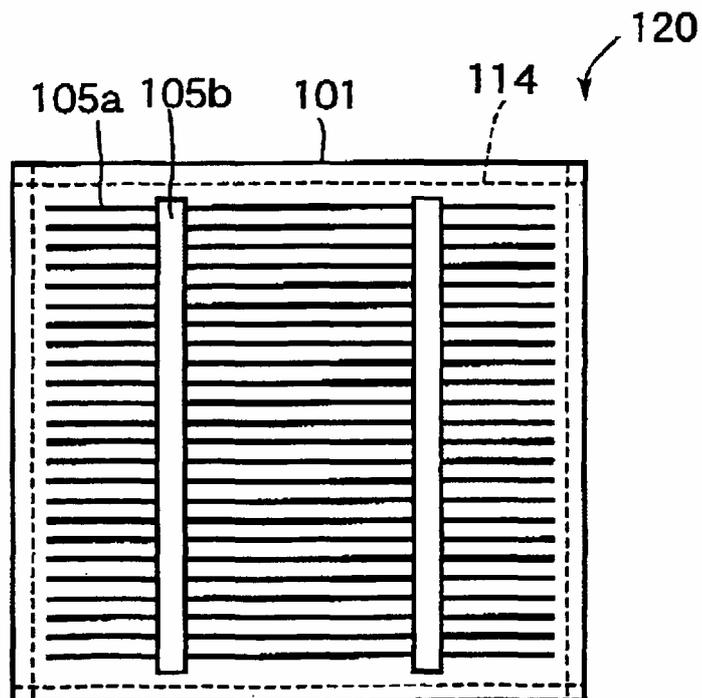


FIG.17

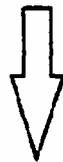
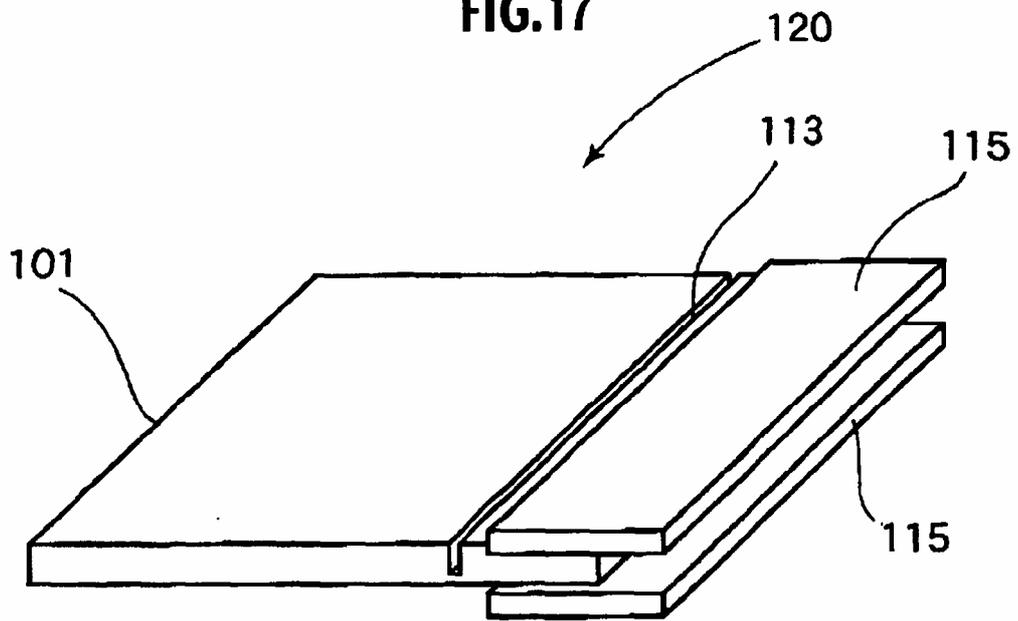


FIG.18



FIG.19



FIG.20

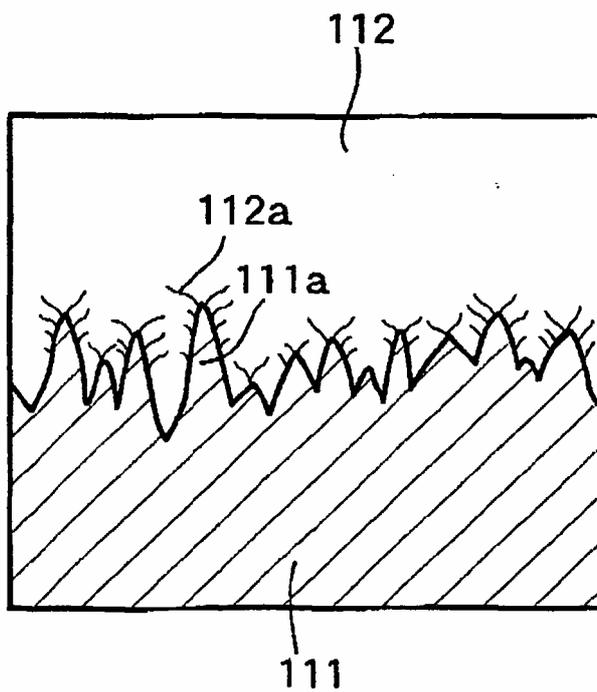


FIG.21

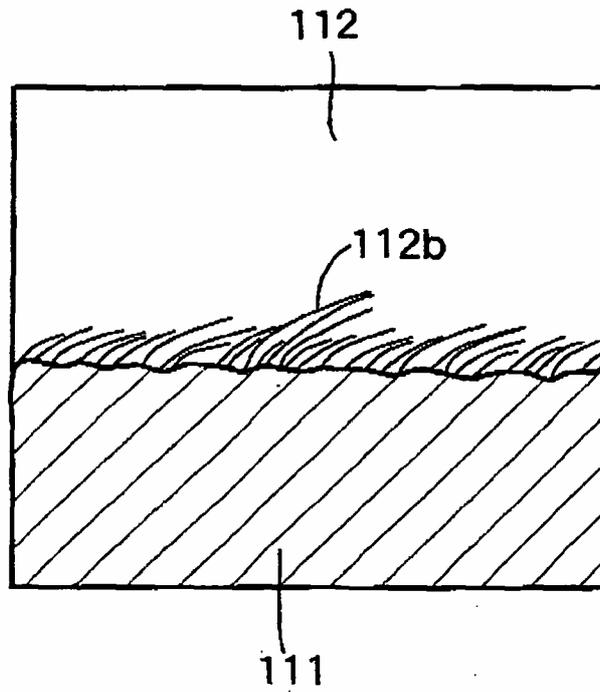


FIG.22A

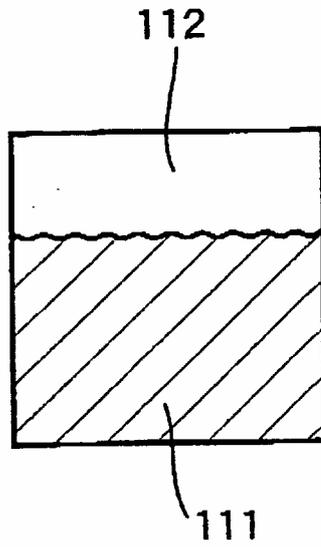


FIG.22B

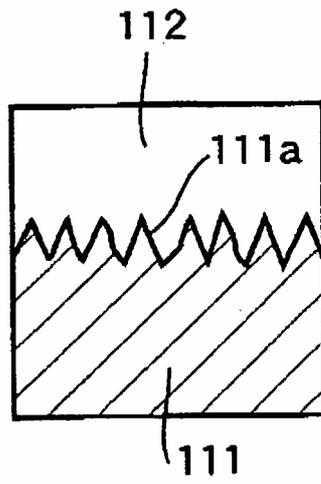


FIG.22C

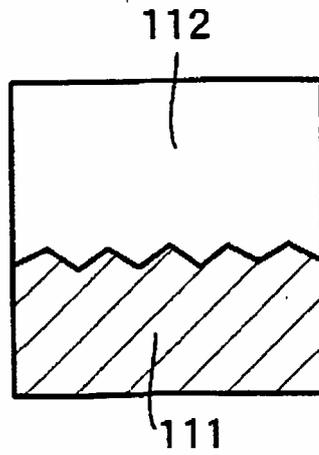


FIG.23

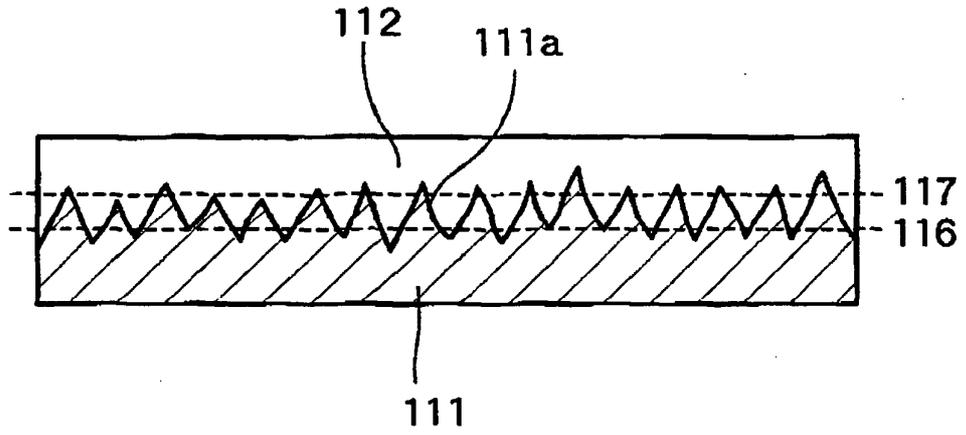


FIG.24

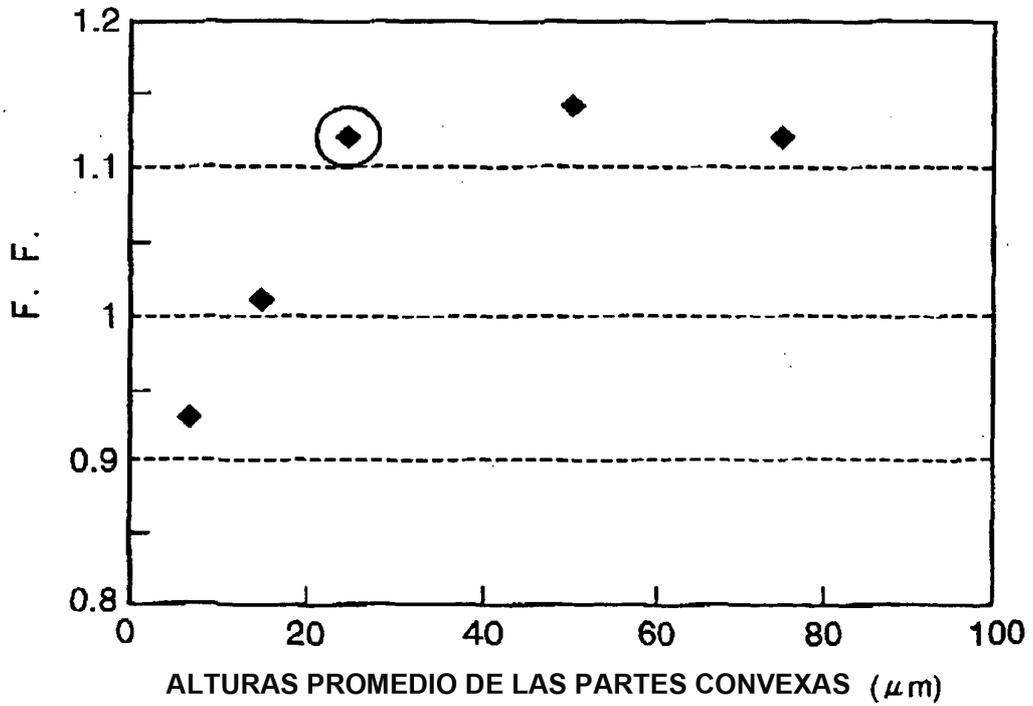
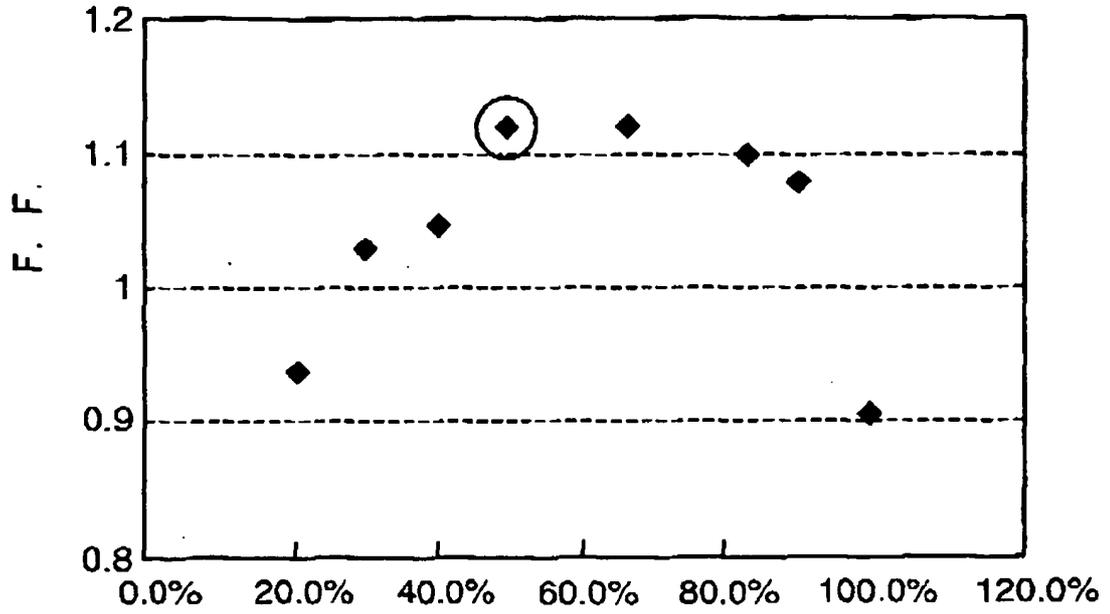


FIG.25



LONGITUD PROMEDIO DESDE LA OTRA SUPERFICIE HASTA LA PARTE SUPERIOR DE LAS PARTES CONVEXAS / GROSOR DEL SUSTRATO

FIG.26

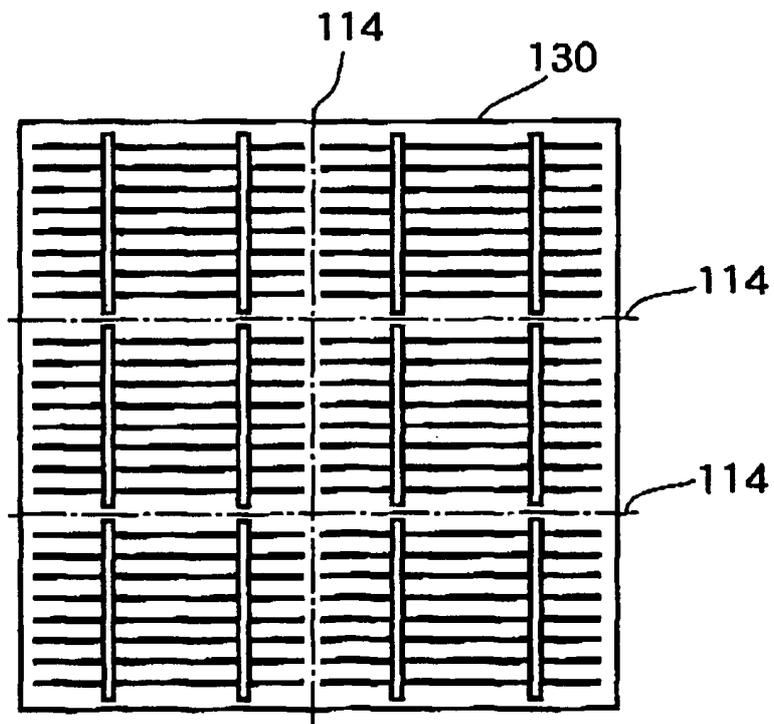


FIG.27

