



19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

11 Número de publicación: **2 356 162**

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

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **05109760 .8**

96 Fecha de presentación : **19.10.2005**

97 Número de publicación de la solicitud: **1650814**

97 Fecha de publicación de la solicitud: **26.04.2006**

54 Título: **Célula solar en tándem de película delgada.**

30 Prioridad: **20.10.2004 JP 2004-305144**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:  
**05.04.2011**

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:  
**05.04.2011**

73 Titular/es: **mitsubishi heavy industries, Ltd.**  
**16-5, Konan 2-chome**  
**Minato-ku, Tokyo 108-8215, JP**

72 Inventor/es: **Nakano, Youji y**  
**Yamashita, Nobuki**

74 Agente: **Carpintero López, Mario**

ES 2 356 162 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

### Antecedentes de la Invención

#### 1. Campo de la Invención

La presente invención se refiere a células solares en tándem de película delgada.

#### 2. Descripción de la Técnica Relacionada

El desarrollo de células solares se dirige a menudo a las técnicas siguientes según se muestran a continuación:

(1) Una técnica para mejorar el rendimiento de introducción de luz solar en la región de conversión de energía, que incluye normalmente una unión con patillas hecha de material semiconductor.

(2) Una técnica para mejorar el rendimiento de conversión de la energía solar en la región de conversión de energía.

La mejora de estos rendimientos consigue efectivamente un rendimiento total de potencia de células solares.

La Figura 1 es una vista esquemática en sección transversal que ilustra una estructura de una célula solar apilada de película delgada convencional que adopta una estructura en tándem. La célula solar convencional está compuesta por una pila formada por un sustrato aislante transparente 1, un primer electrodo transparente 2, una capa de silicio amorfo de tipo P 3, una capa de silicio amorfo de tipo I 4, una capa de silicio amorfo de tipo N 5, una capa de silicio policristalino de tipo P 6, una capa de silicio policristalino de tipo I 7, una capa de silicio policristalino de tipo N 8 y un segundo electrodo transparente 9, y un electrodo posterior 10.

La capa de silicio amorfo de tipo P 3, la capa de silicio amorfo de tipo I 4 y la capa de silicio amorfo de tipo N 5 actúan como una célula solar de silicio amorfo. Estas capas de silicio amorfo pueden estar hechas de material semiconductor basado en silicio que contiene principalmente silicio, como carburo de silicio que incluye carbono por debajo del 50% atómico, y silicio germanio que incluye germanio por debajo del 20% atómico. Las capas de silicio amorfo pueden estar dopadas con otros elementos menores por debajo de varios %. Las cristalinidades de la capa de silicio amorfo de tipo P 3 y la capa de silicio amorfo de tipo N 5 no son tan importantes; la célula solar de silicio amorfo requiere que sólo la parte principal de la capa de silicio amorfo de tipo I 4 sea amorfa, lo que proporciona principalmente conversión fotoeléctrica.

Por otra parte, la capa de silicio policristalino de tipo P 6, la capa de silicio policristalino de tipo I 7 y la capa de silicio policristalino de tipo N 8 actúan como una célula solar de silicio policristalino. Estas capas de silicio policristalino pueden estar hechas de material semiconductor basado en silicio que contienen principalmente silicio, por ejemplo carburo de

silicio que incluye carbono por debajo del 50% atómico, y silicio germanio que incluye germanio por debajo del 20% atómico. Las capas de silicio policristalino pueden estar dopadas con otros elementos menores por debajo de varios %. La cristalinidades de la capa de silicio policristalino de tipo P 6 y la capa de silicio amorfo de tipo N 8 no son tan importantes; la célula solar de silicio policristalino requiere que sólo la parte principal de la capa de silicio amorfo de tipo I 4 sea policristalina, lo que proporciona principalmente conversión fotoeléctrica.

La luz solar que entra a través del sustrato transparente 1 se convierte primero en energía eléctrica dentro de la célula solar de silicio amorfo. La luz solar restante, que no se absorbe en la célula solar de silicio amorfo, entra a continuación en la célula solar de silicio policristalino, y se convierte adicionalmente en energía eléctrica.

En la célula solar mostrada en la Figura 1, el grosor del primer electrodo transparente 2 se ajusta de manera que la luz solar se introduzca en el mismo en la mayor medida posible. Adicionalmente, las calidades de las películas de las capas de silicio amorfo se mejoran cuando se reducen los defectos de las capas reducidas para reducción de la degradación inducida por la luz (es decir, mejora del rendimiento de conversión estabilizado); la degradación inducida por la luz es conocida como un fenómeno en el que una célula solar amorfa sufre la reducción en la producción de energía eléctrica después de exposición a la luz.

Existen numerosas cuestiones sin resolver en las tecnologías de células solares, como la optimización de la estructura apilada de células solares, y los grosores de capas dentro de las células solares. Especialmente, se desea que los grosores de capas amorfas dentro de la célula solar de silicio amorfo sean delgados para reducir la degradación inducida por la luz y, con ello, mejorar el rendimiento de estabilización. Adicionalmente, se desea que los grosores de las capas policristalinas dentro de la célula solar de silicio policristalino sean delgados para mejorar el rendimiento de generación de potencia y la productividad. Además, la corriente eléctrica de una célula solar de tipo tándem depende principalmente de al menos una de las corrientes eléctricas de la célula solar de silicio amorfo y de la célula solar de silicio policristalino, ya que las células solares amorfas y policristalinas están conectadas en serie dentro de la célula solar de tipo tándem. Por tanto, el equilibrio de las corrientes eléctricas de la célula solar de silicio amorfo y la célula solar de silicio policristalino es importante. La optimización de los grosores de capas dentro de la célula solar basándose en estas situaciones se hace cada vez más importante.

Se han propuesto varios enfoques para abordar estas situaciones.

La solicitud de patente japonesa abierta a inspección pública nº H10-117.006 desvela un aparato convertidor fotoeléctrico de película delgada compuesto por una capa de conversión fotoeléctrica sustancialmente policristalina que tiene superficies principales primera y segunda,

y una película delgada metálica que cubre la segunda superficie principal. La capa de conversión fotoeléctrica policristalina, que está compuesta sustancialmente por películas delgadas de silicio policristalino, tiene un grosor medio de 0,5 a 20  $\mu\text{m}$ . La primera superficie principal tiene una estructura texturizada. La estructura texturizada se proporciona con diminutas protuberancias de alturas inferiores a la mitad del grosor medio, estando comprendidas las alturas sustancialmente entre 0,05 y 3  $\mu\text{m}$ .

La solicitud de patente japonesa abierta a inspección pública nº 2001-177.134 desvela un aparato de convertidor fotoeléctrico híbrido integrado de película delgada compuesto por una capa de electrodo transparente, una capa unitaria de conversión fotoeléctrica de semiconductor amorfo, una capa unitaria de conversión fotoeléctrica de semiconductor policristalino y un electrodo posterior, que están laminados en secuencia para cubrir el sustrato aislante transparente. La pila de la capa del electrodo transparente, la capa unitaria de conversión fotoeléctrica de semiconductor amorfo, la capa unitaria de conversión fotoeléctrica de semiconductor policristalino y el electrodo posterior se divide mediante surcos de separación formados en paralelo a través de trazado con láser para formar con ello un conjunto de células de convertidor fotoeléctrico híbrido. Las células de convertidor fotoeléctrico híbrido están conectadas eléctricamente en serie mediante surcos de conexión formados en paralelo con los surcos de separación. Esta publicación desvela que el grosor de una capa de conversión fotoeléctrica amorfa dentro de la capa unitaria de conversión fotoeléctrica amorfa es de 250 nm o más, mientras que el grosor de una capa conversión fotoeléctrica policristalina dentro de la capa unitaria de conversión fotoeléctrica policristalina es de 3  $\mu\text{m}$  o menos, estando el grosor de la capa de conversión fotoeléctrica policristalina en un intervalo de cuatro a ocho veces el de la capa de conversión fotoeléctrica amorfa.

La solicitud de patente japonesa abierta a inspección pública nº 2002-118.273 desvela un aparato de convertidor fotoeléctrico híbrido integrado de película delgada compuesto por una capa de electrodo transparente, una capa unitaria de conversión fotoeléctrica de semiconductor amorfo, una capa intermedia conductora óptica que refleja y transmite luz parcialmente, una capa unitaria de conversión fotoeléctrica de semiconductor policristalino y un electrodo posterior, que están laminados en secuencia para cubrir un sustrato aislante transparente. La pila de la capa de electrodo transparente, la capa unitaria de conversión fotoeléctrica de semiconductor amorfo, la capa unitaria de conversión fotoeléctrica de semiconductor policristalino y el electrodo posterior se divide mediante surcos de separación formados en paralelo a través de trazado con láser para formar con ello un conjunto de células de convertidor fotoeléctrico híbrido. Las células de convertidor fotoeléctrico híbrido están conectadas eléctricamente en serie mediante surcos de conexión formados en paralelo con los

surcos de separación. Esta publicación desvela que el grosor de la capa unitaria de conversión fotoeléctrica amorfa está en un intervalo de 0,01 a 0,5  $\mu\text{m}$ , y el grosor de la capa unitaria de conversión fotoeléctrica policristalina está en un intervalo de 0,1 a 10  $\mu\text{m}$ , teniendo la capa intermedia óptica un grosor de 10 a 100 nm y una resistividad de  $1 \times 10^{-3}$  a  $1 \times 10^{-1} \Omega \cdot \text{cm}$ .

5 El documento EP-A-1.478.030, comprendido en el estado de la técnica según el art. 54(3) EPC, desvela una célula solar en tándem de película delgada que tiene las características del preámbulo de la reivindicación 1, en la que la primera capa conductora tiene una irregularidad de superficie con un paso en el intervalo de 0,2 a 0,9  $\mu\text{m}$ .

10 Sin embargo, este documento no proporciona ninguna información relativa a la amplitud de la irregularidad de superficie o al cociente entre la amplitud y el paso.

El documento US-B-6.388.301 describe una célula solar en tándem con superficies irregulares.

### **Sumario de la Invención**

15 Por tanto, la presente invención se dirige a proporcionar una célula solar en tándem de película delgada superior en rendimiento de conversión y productividad.

20 En un aspecto de la presente invención, una célula solar en tándem de película delgada está compuesta por una primera capa conductora formada en un sustrato transparente a través del cual la luz solar entra en la célula solar en tándem de película delgada; una primera capa de célula solar formada en la primera capa conductora; y una segunda capa de célula solar que cubre la primera capa de célula solar. La primera capa conductora tiene irregularidad de superficie, estando un paso de la irregularidad de superficie en un intervalo de 0,2 a 2,5  $\mu\text{m}$ , y estando una amplitud de la irregularidad de superficie en un intervalo de un tercio a la mitad del paso de la irregularidad de superficie.

25 En una realización, la primera capa de célula solar es una célula solar de silicio amorfo formada principalmente por silicio amorfo, incluyendo la célula solar de silicio amorfo: una primera capa de silicio de primer tipo de conductividad seleccionada entre tipo P y tipo N; una capa de silicio amorfo de tipo I; y una segunda capa de silicio de segundo tipo de conductividad diferente del primer tipo de conductividad, mientras que la segunda capa de célula solar es una célula solar de silicio policristalino formada principalmente por silicio policristalino, incluyendo la  
30 célula solar de silicio policristalino: una tercera capa de silicio de tercer tipo de conductividad seleccionada entre tipo P y tipo N; una capa de silicio amorfo de tipo I; y una cuarta capa de silicio de cuarto tipo de conductividad diferente del tercer tipo de conductividad.

35 Es preferible que el grosor de la primera capa de célula solar esté en un intervalo de 200 a 400 nm, y que el grosor de la segunda capa de célula solar esté en un intervalo de 1,5 a 3,0  $\mu\text{m}$ .

Preferentemente, la célula solar en tándem de película delgada puede incluir además una capa conductora intermedia formada entre la primera capa de célula solar y la segunda capa de célula solar.

5 En este caso, es preferible que el grosor de la primera capa de célula solar esté en un intervalo de 100 a 400 nm, y que el grosor de la segunda capa de célula solar esté en un intervalo de 1,0 a 3,0  $\mu\text{m}$ .

10 En una realización preferida, la capa conductora intermedia está formada principalmente por material seleccionado entre ZnO, SnO<sub>2</sub> y óxido de indio y estaño, y la capa conductora intermedia tiene un coeficiente de absorción de luz inferior al 1% en longitudes de onda de 600 a 1.200 nm.

La célula solar en tándem de película delgada está formada preferentemente por una segunda capa conductora que cubre la segunda capa de célula solar, estando formada la segunda capa conductora por plata.

15 En este caso, la célula solar en tándem de película delgada está formada preferentemente por una tercera capa conductora formada entre la segunda capa de célula solar y la segunda capa conductora. La tercera capa conductora está formada preferentemente principalmente por ZnO, que tiene un grosor de 20 a 100 nm.

#### **Breve Descripción de los Dibujos**

20 Las anteriores y otras ventajas de la presente invención serán más evidentes a partir de la siguiente descripción tomada conjuntamente con los dibujos adjuntos, en los que:

la Figura 1 es una vista en sección transversal que ilustra esquemáticamente una estructura de ejemplo de una célula solar en tándem de película delgada convencional;

25 la Figura 2 es una vista en sección transversal que ilustra esquemáticamente una estructura de ejemplo de una célula solar en tándem de película delgada en una primera realización de la presente invención;

la Figura 3 es un gráfico que ilustra la asociación de los grosores de una célula solar de silicio amorfo y una célula solar de silicio policristalino dentro de una célula solar en tándem de película delgada con el rendimiento de conversión estabilizado de la misma en una segunda realización;

30 la Figura 4 es una vista en sección transversal que ilustra esquemáticamente una estructura de ejemplo de una célula solar en tándem de película delgada en una tercera realización de la presente invención;

35 la Figura 5 es una tabla que ilustra una asociación del grosor de una capa intermedia transparente dentro de una célula solar en tándem de película delgada con el rendimiento cuántico de una célula solar de silicio policristalino a una longitud de onda de 800 nm.

la Figura 6 es un gráfico que ilustra la asociación de los grosores de una célula solar de silicio amorfo y una célula solar de silicio policristalino dentro de una célula solar en tándem de película delgada con el rendimiento de conversión estabilizado de la misma en una quinta realización; y

5 la Figura 7 es una tabla que ilustra una asociación del grosor de un segundo electrodo transparente dentro de una célula solar en tándem de película delgada con el rendimiento de conversión estabilizado de la misma.

### **Descripción de las Realizaciones Preferidas**

10 A continuación se describirá la invención en la presente memoria descriptiva con referencia a los dibujos adjuntos.

La presente invención se dirige a mejorar el rendimiento de conversión y la productividad de una célula solar. Con el fin de conseguirlo, se optimiza la morfología de superficie de un primer electrodo transparente sobre el que incide la luz solar, incluyendo el paso y la amplitud de irregularidad de superficie. Así se mejora efectivamente el rendimiento de conversión estabilizado de la célula solar a través del aumento de la distancia recorrida en la célula solar. Adicionalmente, se presenta una célula solar en tándem en la que se optimizan los grosores de una célula solar de silicio amorfo y una célula solar de silicio policristalino.

20 Debe señalarse que es deseable que el grosor de la célula solar de silicio amorfo sea delgado para mejorar el rendimiento de conversión estabilizado. Adicionalmente, es deseable que el grosor de la célula solar de silicio policristalino sea delgado para mejorar el rendimiento de conversión estabilizado y la productividad.

Las realizaciones descritas a continuación proporcionan células solares con rendimiento mejorado de conversión estabilizado y productividad a través del equilibrio apropiado de los grosores de capas dentro de la célula solar.

#### **Primera Realización**

La Figura 2 es una vista en sección transversal que ilustra una estructura en sección de ejemplo de una célula solar en tándem de película delgada en una primera realización de la presente invención.

30 La célula solar en tándem de película delgada en esta realización está compuesta por un sustrato aislante transparente 10, un primer electrodo transparente 20, una célula solar de silicio amorfo 150, una célula solar de silicio policristalino 200, un segundo electrodo transparente 90 y un electrodo posterior 100. El primer electrodo transparente 20 está formado por OIE (óxido de indio y estaño), y el segundo electrodo transparente 90 está formado por ZnO. El electrodo posterior 100 está formado por metal, por ejemplo, plata (Ag).

35 La célula solar de silicio amorfo 150 está compuesta por una capa de silicio amorfo de

tipo P 30, una capa de silicio amorfo de tipo I 40 y una capa de silicio amorfo de tipo N 50. Debe observarse que el orden de las capas dentro de la célula solar de silicio amorfo 150 puede invertirse; la célula solar de silicio amorfo 150 puede adoptar una estructura PIN o una estructura NIP. En correspondencia, la célula solar de silicio policristalino 200 está compuesta  
5 por una capa de silicio policristalino de tipo P 60, una capa de silicio policristalino de tipo I 70 y una capa de silicio policristalino de tipo N 80. Debe observarse también que el orden de las capas dentro de la célula solar de silicio policristalino 200 puede invertirse; la célula solar de silicio policristalino 200 puede adoptar una estructura PIN o una estructura NIP.

La superficie principal del primer electrodo transparente 20, sobre la que se forma la  
10 célula solar de silicio amorfo 150, es texturizada, y muestra irregularidad de superficie. El paso de la irregularidad de superficie se selecciona en un intervalo de 0,2 a 2,5  $\mu\text{m}$ , y la amplitud de la irregularidad de superficie se selecciona en un intervalo de una cuarta parte a la mitad del paso de la irregularidad de superficie. En esta realización, según se muestra en la Figura 2, el paso de la irregularidad de superficie se define como comprendido en los intervalos de las raíces sobre la superficie principal del primer electrodo transparente 20, mientras que la  
15 amplitud de la irregularidad de superficie se define como las alturas de las crestas del primer electrodo transparente 20 desde las raíces de las mismas.

En esta realización, el paso de la irregularidad de superficie del primer electrodo transparente 20 es de 0,6  $\mu\text{m}$ , mientras que la amplitud del mismo es de 0,2  $\mu\text{m}$ . Las  
20 morfologías de las capas que cubren el primer electrodo transparente 20 dependen de la irregularidad de superficie del primer electrodo transparente 20.

La irregularidad de superficie del primer electrodo transparente 20 aumenta efectivamente la distancia de recorrido óptico dentro de la célula solar de silicio amorfo 150 y la célula solar de silicio policristalino 200 al difundir la luz solar incidente. Es preferible para elevar  
25 al máximo el coeficiente de dispersión del primer electrodo transparente 20 que el paso de la irregularidad de superficie sea aproximadamente igual a las longitudes de onda de la luz que se dispersará (es decir, la luz solar), y que la amplitud de la irregularidad de superficie sea aproximadamente igual a la tercera parte del paso de la irregularidad de superficie; esto procede del hecho de que el silicio tiene un índice de refracción relativo de aproximadamente 3.

A continuación se dan los resultados experimentales. Para el caso en que la célula solar de silicio amorfo 150 tenga un grosor de 300 nm, y la célula solar de silicio policristalino 200 tenga un grosor de 2  $\mu\text{m}$ , el rendimiento de conversión estabilizado de la célula solar en  
30 tándem en esta realización es del 11,5% con la luz solar de MA (masa de aire) 1,5; el rendimiento de conversión estabilizado se define como el rendimiento de conversión después de provocar degradación inducida por la luz irradiando luz en condiciones de 1 SUN (es decir,  
35

100 mW/cm<sup>2</sup>) a 50°C durante 1.000 horas, o en condiciones de aceleración equivalentes.

Los rendimientos estabilizados de las muestras comparativas (a) a (c) se someten a prueba en las mismas condiciones. La muestra comparativa (a) se proporciona con un primer electrodo transparente que tiene una irregularidad de superficie de 0,2 μm de paso y 0,1 μm de amplitud. La muestra comparativa (b) se proporciona con un primer electrodo transparente que tiene una irregularidad de superficie de 0,5 μm de paso y 0,8 μm de amplitud. Finalmente, la muestra comparativa (c) se proporciona con un primer electrodo transparente que tiene una irregularidad de superficie de 4,0 μm de paso y 1,0 μm de amplitud. Los grosores de la célula solar de silicio amorfo dentro de las muestras comparativas (a) a (c) son 300 nm, y los grosores de las células solares de silicio policristalino dentro de las muestras comparativas (a) a (c) son de 2,0 μm. Los rendimientos de conversión estabilizados de las muestras comparativas (a) a (c) son del 10,7%, el 10,7% y el 10,2%, respectivamente. Este resultado confirma que la célula solar en tándem en esta realización consigue rendimiento de conversión estabilizado superior en comparación con las muestras comparativas.

El alto rendimiento de conversión estabilizado de la célula solar en tándem en esta realización procede del hecho de que el componente de longitudes de onda de 700-900 nm de la luz solar, que contribuye a la corriente eléctrica dentro de la célula solar de silicio policristalino 200, se dispersa efectivamente, y el rendimiento de conversión de la célula solar de silicio policristalino 200 mejora con ello efectivamente.

En resumen, la célula solar en tándem de película delgada en esta realización consigue un rendimiento de conversión estabilizado igual o superior al 10,5% mediante el suministro de una irregularidad de superficie en el primer electrodo transparente, siendo el paso de la irregularidad de superficie de 0,2 a 2,5 μm, y siendo la amplitud de la misma de una cuarta parte a la mitad del paso. Así se proporciona la célula solar en tándem de película delgada en esta realización con un rendimiento de conversión estabilizado aumentada hasta el 11,5%.

#### Segunda Realización

La estructura de sección de una célula solar en tándem de película delgada en una segunda realización es casi idéntica a la de la primera realización. La diferencia es que los grosores de la célula solar de silicio amorfo 150 y la célula solar de silicio policristalino 200 están optimizados adicionalmente en la segunda realización.

La corriente eléctrica de la célula solar en tándem en esta realización depende de al menos una de las corrientes eléctricas de la célula solar de silicio amorfo 150, que funciona como una célula superior, y la célula solar de silicio policristalino 200, que funciona como una célula inferior. La corriente eléctrica de la célula solar de silicio amorfo 150 aumenta cuando lo hace el grosor de la misma. Por otra parte, la corriente eléctrica de la célula solar de silicio

policristalino 200 depende de la intensidad luminosa de la luz solar que no se absorbe en la célula superior; la intensidad de la luz solar que llega a la célula solar de silicio policristalino 200 aumenta cuando disminuye el grosor de la célula solar de silicio amorfo 150. Para la misma intensidad de la luz solar que llega a la célula solar de silicio policristalino 200, la corriente eléctrica de la célula solar de silicio policristalino 200 aumenta cuando lo hace el grosor de la misma. Por tanto, existe un punto de equilibrio en la relación entre los grosores de la célula solar de silicio amorfo 150 y la célula solar de silicio policristalino 200.

Por otra parte, el aumento del grosor de la célula solar de silicio amorfo 150 provoca de forma no deseable una menor productividad. El aumento en el grosor de la célula solar de silicio amorfo 150 provoca adicionalmente una grave degradación inducida por la luz. Por tanto, debe existir un valor apropiado del grosor de la célula solar de silicio amorfo 150.

Además, al aumentar el grosor de la célula solar de silicio policristalino 200 se provoca de forma no deseable la reducción en la tensión eléctrica debido al aumento en los defectos y a la reducción en el gradiente de potencial en las capas de la célula solar de silicio policristalino 200. Por tanto, debe existir un valor apropiado del grosor de la célula solar de silicio policristalino 200.

En esta realización, el grosor de la célula solar de silicio amorfo 150 se selecciona en un intervalo de 200 a 400 nm, y el grosor de la célula solar de silicio policristalino 200 se selecciona en un intervalo de 1,5 a 3,0  $\mu\text{m}$ . Así se consigue efectivamente un mayor rendimiento de conversión estabilizado y productividad según se describe a continuación.

La Figura 3 es un gráfico que ilustra la asociación de los grosores de la célula solar de silicio amorfo 150 y la célula solar de silicio policristalino 200 con el rendimiento de conversión estabilizado de la célula solar en tándem de película delgada en esta realización. Los símbolos "♦" de la Figura 3 indican valores medidos de rendimientos de conversión estabilizados, y las líneas indican los resultados de la simulación. Las pruebas se implementan en las condiciones de MA 1,5, que están de acuerdo con la norma JIS (Japanese Industry Standard) C8934. Como se conoce en la técnica, la célula solar de silicio amorfo sufre una degradación inducida por la luz en su uso práctico. Como sucede en la primera realización, los rendimientos de conversión estabilizados se definen como rendimientos de conversión después de la degradación inducida por la luz en condiciones de 1 SUN (es decir, 100  $\text{mW}/\text{cm}^2$ ) a 50°C durante 1.000 horas, o en condiciones de aceleración equivalentes a las mismas.

Con el fin de conseguir tanto un mayor rendimiento de conversión estabilizado del 11% como una mayor productividad, según se muestra en la Figura 3, es ventajoso que la célula solar de silicio amorfo 150 tenga un grosor de 200 a 400 nm, y que la célula solar de silicio policristalino 200 tenga un grosor de 1,5 a 3,0  $\mu\text{m}$ ; el intervalo de grosor ventajoso está

indicado como el área sombreada de la Figura 3. Debe observarse que se requiere que las células solares de silicio amorfo 150 se reduzcan en grosor hasta 400 nm o menos y se requiere que las células solares de silicio policristalino 200 se reduzcan en grosor hasta 3,0  $\mu\text{m}$  o menos, para conseguir una mayor productividad. El intervalo de grosores ventajosos mostrado en la Figura 3 consigue efectivamente rendimiento de conversión estabilizado hasta el 12% aproximadamente.

Así, según se describe, los grosores de la célula solar de silicio amorfo 150 y la célula solar de silicio policristalino 200 se optimizan adicionalmente para aumentar el rendimiento de conversión estabilizado en la segunda realización. Esto proporciona una célula solar en tándem de película delgada superior en el rendimiento y la productividad en comparación con la presentada en la primera realización.

#### Tercera Realización

La Figura 4 es una vista en sección transversal que ilustra una estructura en sección de ejemplo de una célula solar en tándem de película delgada en una tercera realización de la presente invención. La estructura en sección de una célula solar en tándem de película delgada en una tercera realización es casi idéntica a la de la primera realización. La diferencia es que en esta realización se dispone una capa intermedia transparente 300 entre una célula solar de silicio amorfo 150 y una célula solar de silicio policristalino 200.

Específicamente, la célula solar en tándem de película delgada en esta realización está compuesta por un sustrato aislante transparente 10, un primer electrodo transparente 20, un segundo electrodo transparente 90 y un electrodo posterior 100. La célula solar de silicio amorfo 150 y la célula solar de silicio policristalino 200 están dispuestas entre los electrodos transparentes primero y segundo 20 y 90. La capa intermedia transparente 300 está dispuesta entre la célula solar de silicio amorfo 150 y una célula solar de silicio policristalino 200. La célula solar de silicio amorfo 150 está compuesta por una capa de silicio amorfo de tipo P 30, una capa de silicio amorfo de tipo I 40 y una capa de silicio amorfo de tipo N 50. Debe observarse que el orden de las capas dentro de la célula solar de silicio amorfo 150 puede invertirse; la célula solar de silicio amorfo 150 puede adoptar una estructura PIN o una estructura NIP. En correspondencia, la célula solar de silicio policristalino 200 está compuesta por una capa de silicio policristalino de tipo P 60, una capa de silicio policristalino de tipo I 70 y una capa de silicio policristalino de tipo N 80. Debe observarse también que el orden de las capas dentro de la célula solar de silicio policristalino 200 puede invertirse; la célula solar de silicio policristalino 200 puede adoptar una estructura PIN o una estructura NIP.

La superficie principal del primer electrodo transparente 20, en la que se forma la célula solar de silicio amorfo 150, es texturizada, y muestra irregularidad de superficie. El paso de la

irregularidad de superficie está en un intervalo de 0,2 a 2,5  $\mu\text{m}$ , y la amplitud de la irregularidad de superficie está en el intervalo de una cuarta parte a la mitad del paso de la irregularidad de superficie. En esta realización, el paso de la irregularidad de superficie del primer electrodo transparente 20 es de 0,6  $\mu\text{m}$ , mientras la amplitud del mismo es de 0,2  $\mu\text{m}$ .

5 En esta realización, la capa intermedia transparente 300 refleja parcialmente la luz solar incidente, y la luz solar reflejada vuelve a entrar en la célula solar de silicio amorfo 150.

Así se aumenta efectivamente la corriente eléctrica de la célula superior (es decir, la célula solar de silicio amorfo 150), y permite la reducción en el grosor de la célula superior para conseguir la misma corriente eléctrica que en el caso sin la capa intermedia transparente 300.  
10 La reducción en el grosor de la célula solar de silicio amorfo 150 reduce la influencia de degradación inducida por la luz, y mejora efectivamente el rendimiento de conversión estabilizado total de la célula solar en tándem de película delgada.

En una realización preferida, la célula solar de silicio amorfo 150 tiene un grosor de 250 nm, y la célula solar de silicio policristalino 200 tiene un grosor de 2,0  $\mu\text{m}$ . Adicionalmente, la  
15 capa intermedia transparente 300 tiene un grosor de 60 nm, y está formada por ZnO dopado con germanio del 1,5% atómico, depositado mediante pulverización catódica en una atmósfera que incluye oxígeno. Esta estructura consigue un rendimiento de conversión estabilizado del 12,4%. Debe observarse que la capa intermedia transparente 300 puede estar formada principalmente por ZnO, y puede estar dopada con germanio o aluminio. La capa intermedia  
20 transparente 300 puede estar formada con ZnO sin dopar.

Tal como se describe, la capa intermedia transparente 300 está dispuesta entre la célula solar de silicio amorfo 150, que funciona como una célula superior, y la célula solar de silicio policristalino 200, que funciona como una célula inferior. Así se aumenta efectivamente la  
25 corriente eléctrica de la célula solar de silicio amorfo 150. Esto permite también la reducción en el grosor de la célula solar de silicio amorfo 150, y mejora con ello el rendimiento de conversión estabilizado de la célula solar en tándem de película delgada, en comparación con las presentadas en las realizaciones primera y segunda.

#### Cuarta Realización

En una cuarta realización, el grosor de la capa intermedia transparente 300 dentro de la  
30 célula solar en tándem de película delgada se optimiza para mejorar el rendimiento de conversión estabilizado.

Al aumentar la capa intermedia transparente 300 efectivamente aumenta la corriente eléctrica de la célula solar de silicio amorfo 150, que funciona como una célula superior. Debe observarse que esto se acompaña de la reducción en la corriente eléctrica de la célula solar de  
35 silicio policristalino 200, que funciona como una célula inferior, a las longitudes de onda de la

luz solar reflejada por la capa intermedia transparente 300. En realidad, la célula solar de silicio policristalino 200 proporciona conversión fotoeléctrica en el intervalo de longitudes de onda más largas que las de la célula solar de silicio amorfo 150.

5 Por tanto, se desea que la optimización del grosor de la capa intermedia transparente 300 para reducir la absorción de la luz solar en el intervalo de longitudes de onda más largas que las de la célula solar de silicio policristalino 200, que funciona como célula superior, se diseñe para absorber la luz solar.

10 La Figura 5 es una tabla que ilustra una asociación del grosor de la capa intermedia transparente 300 con el rendimiento cuántico de la célula solar de silicio policristalino 200 a la longitud de onda de 800 nm. Debe observarse que la longitud de onda de 800 nm corresponde al intervalo de longitudes de onda más largas de la luz solar, y que el rendimiento cuántico se define como el cociente entre el número de portadores de carga reunidos por la célula solar y el número de fotones. El aumento en el grosor de la capa intermedia transparente 300 produce el incremento en el coeficiente de reflexión de la capa intermedia transparente 300 en el intervalo  
15 de longitudes de onda más largas de la luz solar, y con ello se reduce la intensidad de la luz que entra en la célula solar de silicio policristalino 200.

Adicionalmente, el aumento en el grosor de la capa intermedia transparente 300 potencia el efecto de confinamiento óptico entre la capa intermedia transparente 300 y el electrodo posterior 100. En consecuencia, el rendimiento de absorción de la luz solar que entra  
20 en la célula solar de silicio policristalino 200 aumenta. Según se muestra en la Figura 5, el efecto de confinamiento óptico se consigue efectivamente (es decir, el rendimiento cuántico se mantiene en un valor sustancialmente constante) para la luz solar de la longitud de onda de 800 nm cuando el grosor de la capa intermedia transparente 300 se reduce a 100 nm o menos.

Tal como se describe, esta realización aborda la optimización del grosor de la capa  
25 intermedia transparente 300, alcanzando un equilibrio entre las corrientes eléctricas de la célula solar de silicio amorfo 150 y la célula solar policristalina 200. Así se proporciona efectivamente una célula solar en tándem de película delgada con alto rendimiento de conversión estabilizado.

#### Quinta Realización

30 La estructura en sección de una célula solar en tándem de película delgada en una quinta realización es casi idéntica a la de la tercera realización. La diferencia es que los grosores de la célula solar de silicio amorfo 150 y la célula solar de silicio policristalino 200 están optimizados adicionalmente en la quinta realización.

35 La corriente eléctrica de la célula solar en tándem en esta realización depende de al menos una de las corrientes eléctricas de la célula solar de silicio amorfo 150, que funciona

como una célula superior, y la célula solar de silicio policristalino 200, que funciona como una célula inferior para el mismo grosor de la capa intermedia transparente 300. La corriente eléctrica de la célula solar de silicio amorfo 150 aumenta cuando lo hace el grosor de la misma. Por otra parte, la corriente eléctrica de la célula solar de silicio policristalino 200 depende de la intensidad luminosa de la luz solar que no es absorbida en la célula superior; la intensidad de la luz solar que llega a la célula solar de silicio policristalino 200 aumenta cuando disminuye el grosor de la célula solar de silicio amorfo 150. Para la misma intensidad de la luz solar que llega a la célula solar de silicio policristalino 200, la corriente eléctrica de la célula solar de silicio policristalino 200 aumenta cuando lo hace el grosor de la misma. Por tanto, existe un punto de equilibrio en la relación entre los grosores de la célula solar de silicio amorfo 150 y la célula solar de silicio policristalino 200.

Por otra parte, el aumento del grosor de la célula solar de silicio amorfo 150 provoca de forma no deseable una menor productividad. El aumento en el grosor de la célula solar de silicio amorfo 150 provoca adicionalmente una grave degradación inducida por la luz. Por tanto, debe existir un valor apropiado del grosor de la célula solar de silicio amorfo 150.

Además, el aumento del grosor de la célula solar de silicio policristalino 200 provoca de forma no deseable la reducción en la tensión eléctrica debido al aumento en los defectos y a la reducción en el gradiente de potencial a través de las capas de la célula solar de silicio policristalino 200. Por tanto, debe existir un valor apropiado del grosor de la célula solar de silicio policristalino 200.

En esta realización, el grosor de la célula solar de silicio amorfo 150 se selecciona en un intervalo de 100 a 400 nm, y el grosor de la célula solar de silicio policristalino 200 se selecciona en un intervalo de 1,0 a 3,0  $\mu\text{m}$ . Así se consigue efectivamente un mayor superior rendimiento de conversión estabilizado y de productividad según se describe a continuación.

La Figura 6 es un gráfico que ilustra la asociación de los grosores de la célula solar de silicio amorfo 150 y la célula solar de silicio policristalino 200 con el rendimiento de conversión estabilizado de la célula solar en tándem de película delgada en esta realización. Los símbolos "♦" de la Figura 6 indican valores medidos de rendimientos de conversión estabilizados, y las líneas indican los resultados de la simulación. Las pruebas se implementan en las condiciones de MA 1,5, que están de acuerdo con la norma JIS (Japanese Industry Standard) C8934. Como se conoce en la técnica, la célula solar de silicio amorfo sufre degradación inducida por la luz en el uso práctico. Como en el caso de la primera realización, los rendimientos de conversión estabilizados se definen como rendimientos de conversión después de la degradación inducida por la luz en condiciones de 1 SUN (es decir, 100  $\text{mW}/\text{cm}^2$ ) a 50°C durante 1.000 horas, o en condiciones de aceleración equivalentes.

Con el fin de conseguir tanto un mayor rendimiento de conversión estabilizado del 11% como una mayor productividad, según se muestra en la Figura 6, es ventajoso que la célula solar de silicio amorfo 150 tenga un grosor de 100 a 400 nm, y la célula solar de silicio policristalino 200 tenga un grosor de 1,0 a 3,0  $\mu\text{m}$ ; el intervalo de grosores ventajosos está indicado en el área sombreada de la Figura 6. Debe observarse que se requiere que las células solares de silicio amorfo 150 se reduzcan en grosor hasta 400 nm o menos y que se requiere que la célula solar de silicio policristalino 200 se reduzca en grosor hasta 3,0  $\mu\text{m}$  o menos, para conseguir una mayor productividad. El intervalo de grosores ventajosos mostrado en la Figura 6 consigue efectivamente un rendimiento de conversión estabilizado de hasta el 13% aproximadamente.

En resumen, esta realización aborda la optimización de los grosores de la célula solar de silicio amorfo 150 y la célula solar de silicio policristalino 200 dentro de la célula solar en tándem de silicio de película delgada que incluye la capa intermedia transparente 300. Así se proporciona una célula solar en tándem de película delgada con mayor rendimiento de conversión estabilizado y productividad en comparación con la presentada en la tercera realización, es decir, se consigue un rendimiento de conversión estabilizado con grosores reducidos de la célula solar de silicio amorfo 150 y la célula solar de silicio policristalino 200.

Adicionalmente, la reducción en el grosor de la célula solar de silicio amorfo 150 y la célula solar de silicio policristalino 200 reduce efectivamente el esfuerzo mecánico ejercido sobre las capas incluidas en la misma. Así se mejora efectivamente la fiabilidad de la célula solar en tándem de silicio de película delgada.

#### Sexta Realización

Una célula solar en tándem de película delgada en una sexta realización es casi idéntica a la de la tercera realización. La diferencia es que el grosor del segundo electrodo transparente 90, hecho de ZnO entre la célula solar de silicio policristalino 200 y el electrodo posterior 100, está optimizado para mejorar el rendimiento de conversión estabilizado.

La optimización del segundo electrodo transparente 90 permite reflejar efectivamente la luz solar en el intervalo de longitudes de onda más largas (aproximadamente 800 nm) que no es absorbida en la célula solar de silicio policristalino 200, y con ello permite que la luz solar en el intervalo de longitudes de onda más largas vuelva a entrar eficazmente en la célula solar de silicio policristalino 200. Así se aumenta efectivamente la corriente eléctrica de la célula solar de silicio policristalino 200, y con ello se mejora el rendimiento de conversión estabilizado total de la célula solar en tándem de película delgada.

La Figura 7 es una tabla que ilustra una asociación del grosor del segundo electrodo transparente 90 con el rendimiento de conversión estabilizado de la célula solar en tándem de

película delgada en esta realización. El segundo electrodo transparente 90 es sustancialmente transparente con la tasa de absorción reducida por debajo del 1% para longitudes de onda de 600 a 1.200 nm.

5 Según se muestra en la Figura 7, es ventajoso que el grosor del segundo electrodo transparente 90 se seleccione en un intervalo de 20 a 100 nm para mejorar el rendimiento de conversión estabilizado hasta el 12% o más.

10 Tal como se describe, el grosor del segundo electrodo transparente 90 está optimizado para mejorar el coeficiente de reflexión para la luz solar del intervalo de longitudes de onda más largas, que es reflejada por el segundo electrodo transparente 90 y el electrodo posterior 100 y vuelve a entrar en la célula solar de silicio policristalino 200. Así aumenta efectivamente la corriente eléctrica de la célula solar de silicio policristalino 200, y con ello se proporciona una célula solar en tándem de película delgada con superior rendimiento de conversión estabilizado.

15 Es evidente que la presente invención no se limita a las realizaciones descritas anteriormente, que pueden ser modificadas y cambiadas sin salirse del alcance de la invención, sino sólo por las reivindicaciones adjuntas. Especialmente, debe observarse que la presente invención es aplicable a cualquier célula solar que incluya una célula solar de silicio amorfo y una célula solar de silicio policristalino.

**REIVINDICACIONES**

1.- Una célula solar en tándem de película delgada que comprende:

una primera capa conductora (20) formada sobre un sustrato transparente (10) a través de la cual la luz solar entra en la célula solar en tándem de película delgada;

5 una primera capa de célula solar (150) formada sobre dicha primera capa conductora (20); y

una segunda capa de célula solar (200) que cubre dicha primera capa de célula solar (150),

10 en la que dicha primera capa conductora (20) tiene una irregularidad de superficie, estando un paso de dicha irregularidad de superficie en un intervalo de 0,2 a 2,5  $\mu\text{m}$ , y **caracterizada por** una amplitud de dicha irregularidad de superficie que está comprendida en un intervalo de un tercio a la mitad de dicho paso de dicha irregularidad de superficie.

2.- La célula solar en tándem de película delgada según la reivindicación 1, en la que dicha primera capa de célula solar (150) es una célula solar de silicio amorfo formada principalmente por silicio amorfo, incluyendo dicha célula solar de silicio amorfo:

15 una primera capa de silicio (30) de un primer tipo de conductividad seleccionada entre tipo P y tipo N;

una capa de silicio amorfo de tipo I (40); y

20 una segunda capa de silicio (50) de segundo tipo de conductividad diferente a dicho primer tipo de conductividad, y

en la que dicha segunda capa de célula solar (200) es una célula solar de silicio policristalino formada principalmente por silicio policristalino, incluyendo dicha célula solar de silicio policristalino:

25 una tercera capa de silicio (60) de tercer tipo de conductividad seleccionada entre tipo P y tipo N;

una capa de silicio amorfo de tipo I (70); y

una cuarta capa de silicio (80) de cuarto tipo de conductividad diferente de dicho tercer tipo de conductividad.

3.- La célula solar en tándem de película delgada según la reivindicación 2, en la que un grosor de dicha primera capa de célula solar (150) está en un intervalo de 200 a 400 nm, y

30 en la que un grosor de dicha segunda capa de célula solar (200) está en un intervalo de 1,5 a 3,0  $\mu\text{m}$ .

4.- La célula solar en tándem de película delgada según la reivindicación 2, que comprende además:

35 una capa conductora intermedia (300) formada entre dicha primera capa de célula solar

(150) y dicha segunda capa de célula solar (200).

5.- La célula solar en tándem de película delgada según la reivindicación 4, en la que un grosor de dicha primera capa de célula solar (150) está en un intervalo de 100 a 400 nm, y en la que un grosor de dicha segunda capa de célula solar (200) está en un intervalo de 1,0 a 3,0  $\mu\text{m}$ .

6.- La célula solar en tándem de película delgada según la reivindicación 4, en la que dicha capa conductora intermedia (300) está formada principalmente por material seleccionado entre ZnC, SnO<sub>2</sub> y óxido de indio y estaño, y en la que dicha capa conductora intermedia (300) tiene un coeficiente de absorción de luz inferior al 1% a longitudes de onda de 600 a 1.200 nm.

7.- La célula solar en tándem de película delgada según la reivindicación 1, que comprende además:

una segunda capa conductora (100) que cubre dicha segunda capa de célula solar (200), estando dicha segunda capa conductora (100) formada por plata.

8.- La célula solar en tándem de película delgada según la reivindicación 7, que comprende además:

una tercera capa conductora formada entre dicha segunda capa de célula solar (200) y dicha segunda capa conductora (100).

9.- La célula solar en tándem de película delgada según la reivindicación 8, en la que dicha tercera capa conductora (90) está formada principalmente por ZnO, teniendo un grosor de 20 a 100 nm.

Fig. 1

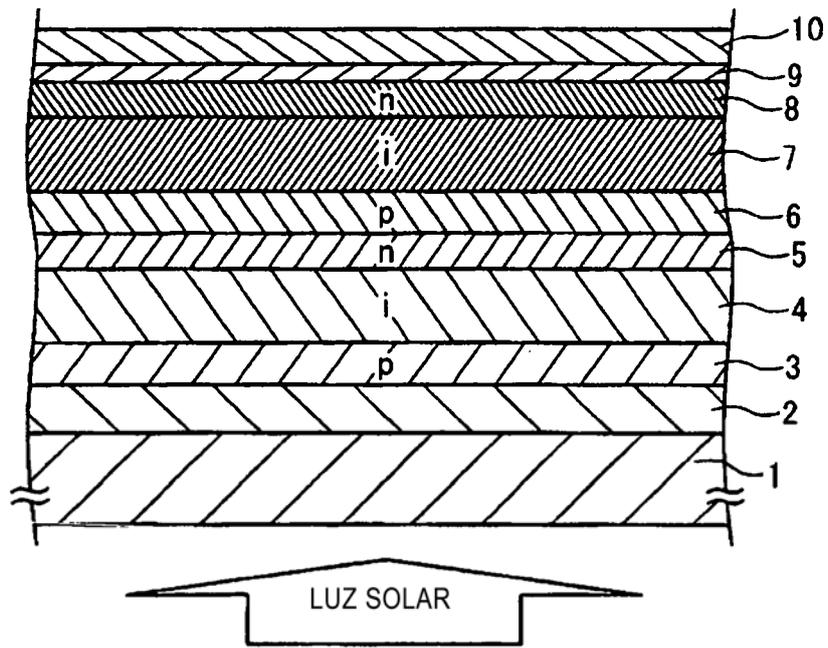


Fig. 2

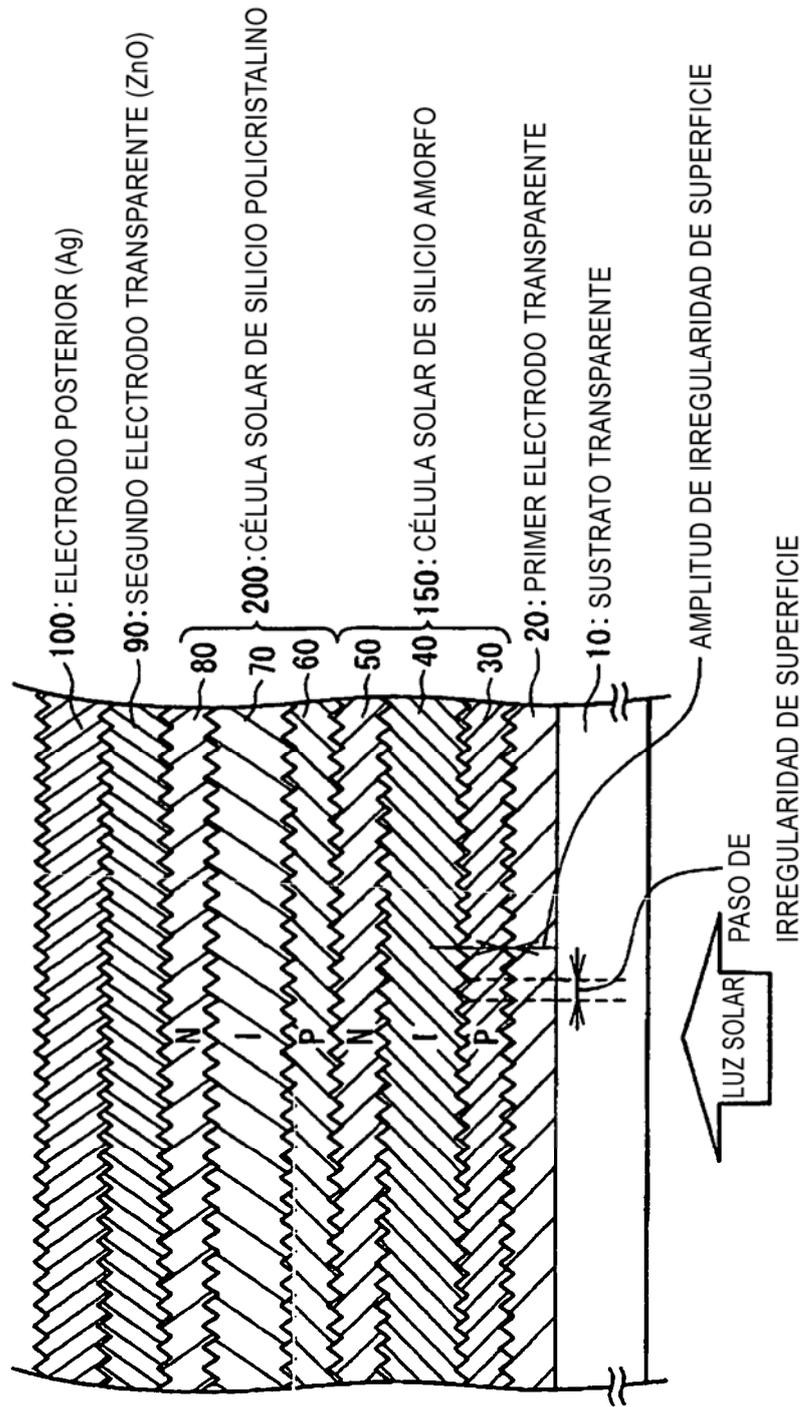


Fig. 3

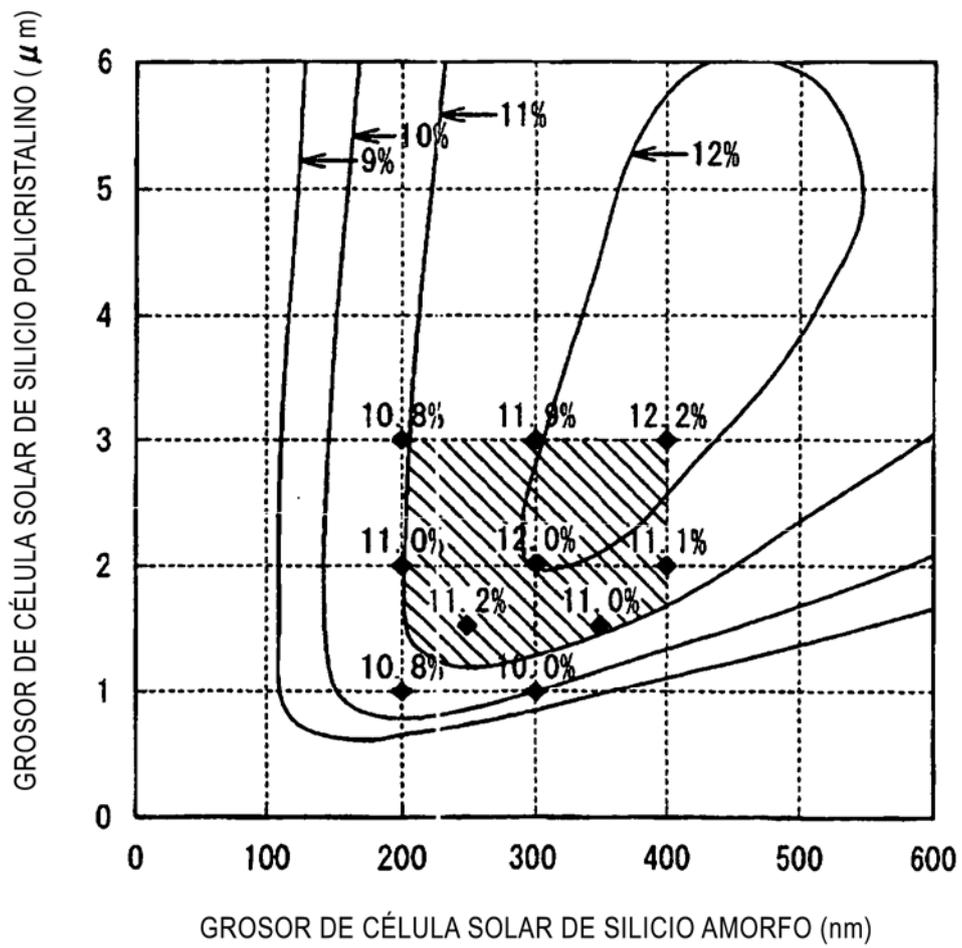


Fig. 4

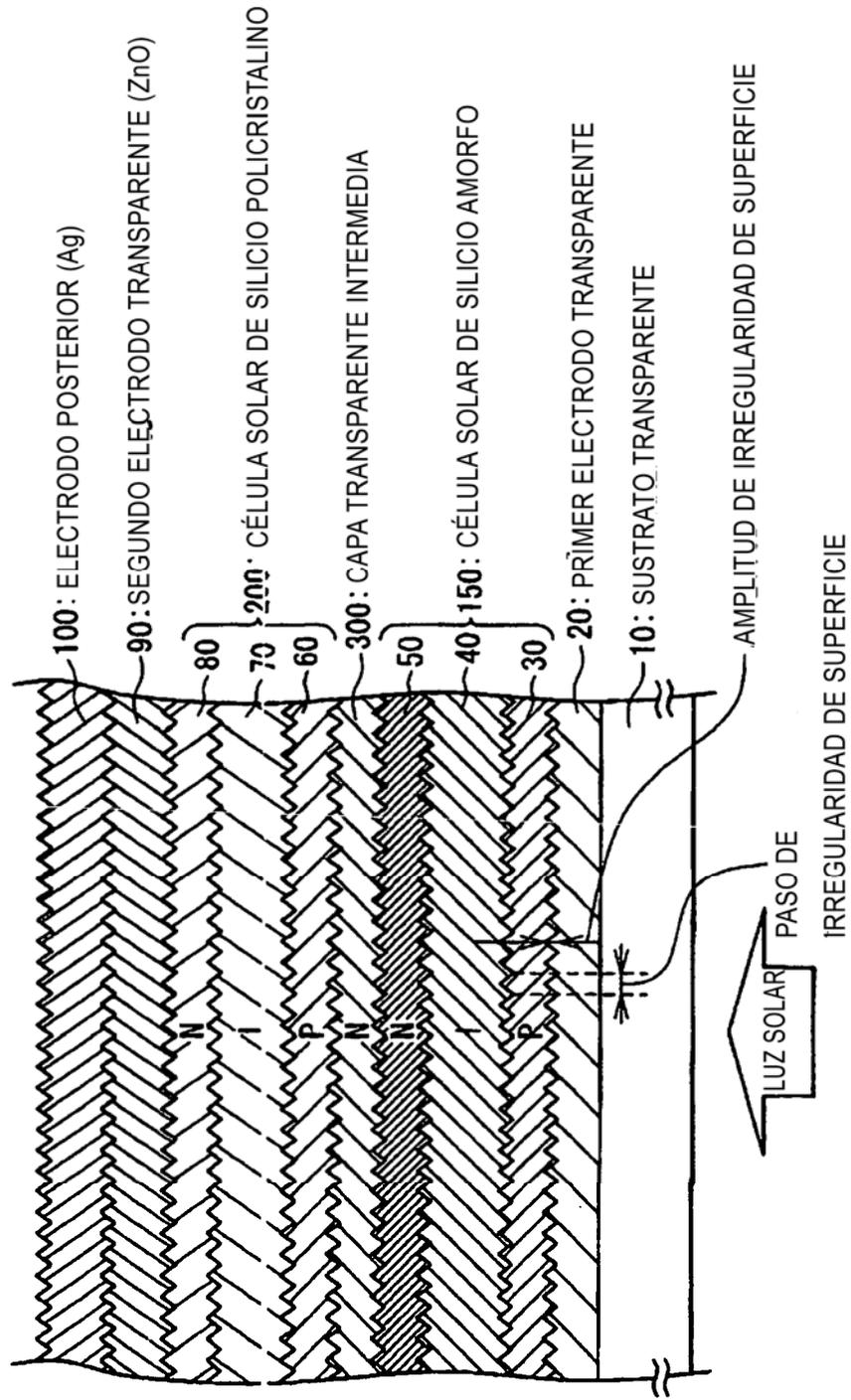
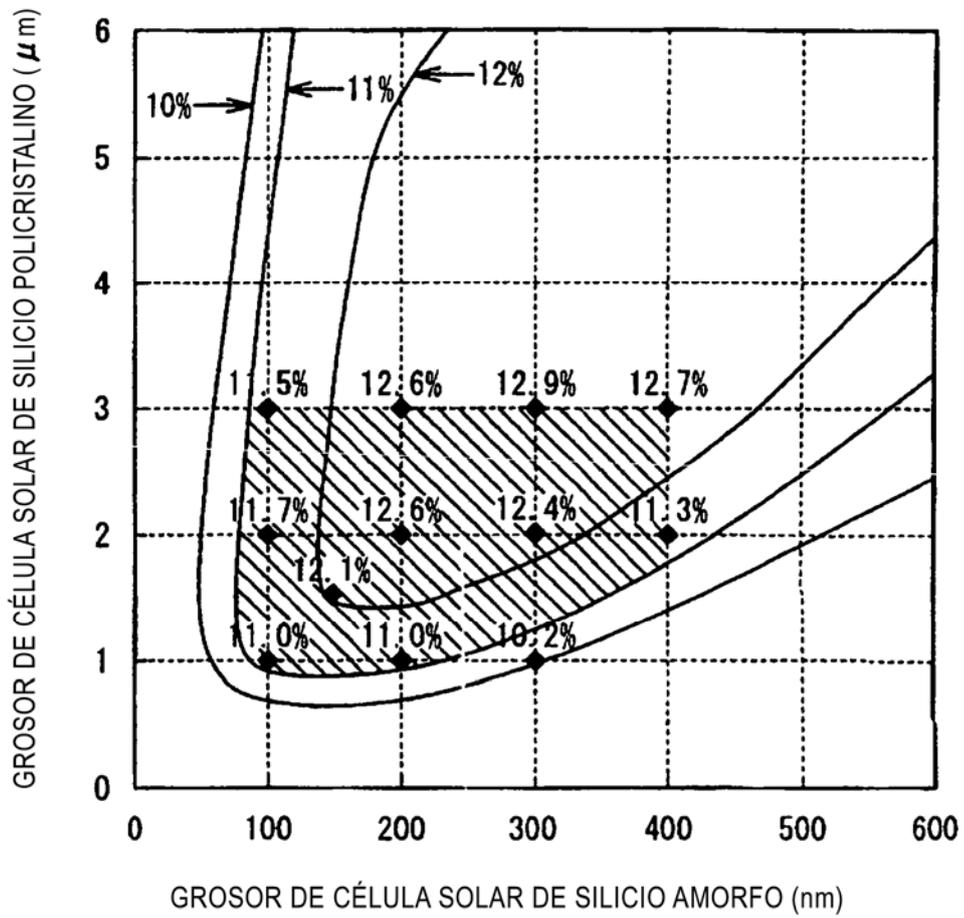


Fig. 5

GROSOR DE CAPA TRANSPARENTE INTERMEDIA	RENDIMIENTO CUÁNTICO DE CÉLULA SOLAR DE SILICIO POLICRISTALINO A LONGITUD DE ONDA DE 800 NM
0nm	58%
60nm	59%
100nm	58%
130nm	53%

Fig. 6



**Fig. 7**

GROSOR DE SEGUNDO ELECTRODO TRANSPARENTE	RENDIMIENTO DE CONVERSIÓN ESTABILIZADO DE CÉLULA SOLAR
0nm	10, 8%
20nm	12, 3%
60nm	12, 4%
100nm	12, 3%