

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 717 141**

51 Int. Cl.:

**H01L 31/0352** (2006.01)

**H01L 31/075** (2012.01)

**H01L 31/18** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **26.10.2009 E 09174024 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **23.01.2019 EP 2221877**

54 Título: **Célula solar que incluye nanocable de silicio y método para fabricar la célula solar**

30 Prioridad:

**18.02.2009 KR 20090013459**

**18.02.2009 KR 20090013465**

**23.10.2009 KR 20090101154**

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

**19.06.2019**

73 Titular/es:

**KOREA INSTITUTE OF INDUSTRIAL  
TECHNOLOGY (100.0%)  
35-3 Hongcheon-ri, Ijang-myeon, Seobuk-gu,  
Cheonan-si  
Chungcheongnam-do, KR**

72 Inventor/es:

**JEONG, CHAEHWAN;  
JEON, MINSUNG;  
KIM, JIN HYEOK;  
KO, HANG JU y  
LEE, SUK HO**

74 Agente/Representante:

**IZQUIERDO BLANCO, María Alicia**

**ES 2 717 141 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).

**DESCRIPCION**

Célula solar que incluye nanocable de silicio y método para fabricar la célula solar

**5 REFERENCIA CRUZADA A SOLICITUD RELACIONADA**

Esta solicitud reivindica la prioridad y el beneficio de las Solicitudes de Patente Coreanas Nº 10-2009-0013458, presentada el 18 de febrero de 2009 , 10-2009-0013465, presentada el 18 de febrero de 2009 y 10-2009-0101154, presentada el 23 de octubre de 2009 , cuyo contenido completo se incorpora en la presente por referencia.

10

**ANTECEDENTES DE LA INVENCION****1. Campo de la invención.**

15

La presente invención se refiere a un método para fabricar un nanocable de silicio, una célula solar que incluye el nanocable de silicio y un método para fabricar la célula solar.

**2. Técnica relacionada**

20

Como las obligaciones para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero se están acelerando actualmente en virtud de la Convención sobre el Cambio Climático, el mercado del dióxido de carbono está en auge. Por consiguiente, los nuevos campos de energía renovable están atrayendo mayor atención. Una célula solar, un ejemplo representativo de los nuevos campos de energía reciclables, convierte directamente la luz solar, que es una fuente ilimitada de energía limpia, en electricidad usando el efecto fotoeléctrico.

25

Casi el 90% del mercado de células solares actual está dominado por células solares basadas en placas de silicio (Si) y el mercado de células solares está considerablemente influenciado por el suministro de material de Si usado en la producción de placas de Si. Por tanto, debido a la complejidad de un proceso de alta temperatura así como a la escasez de suministro de material de Si, la tecnología de fabricación de células solares de película delgada miniaturizadas mediante un proceso de baja temperatura es poco probable que se pueda lograr.

30

Los documentos de publicación de patente EP1892769 y US2008/0006319 describen ambas células solares con nanoestructuras de silicio dopadas.

35

**SUMARIO DE LA INVENCION**

En vista de los problemas anteriores, un objeto de la presente invención es proporcionar una célula solar que comprenda nanocables de silicio como se define en el objeto de la reivindicación 1, y un método para fabricar una célula solar que comprende nanocables de silicio como se define por el objeto de la reivindicación 4.

40

En una realización de la presente invención, la célula solar puede incluir además una capa de óxido conductor transparente (TCO) provista en la capa de dopaje del segundo tipo, una capa antirreflectante formada en la capa de TCO para exponer regiones predeterminadas de las capas de TCO, y unos electrodos frontales en patrón en las regiones predeterminadas de la capa de TCO expuesta.

45

En otra realización de la presente invención, la célula solar puede incluir además una capa de óxido conductor transparente (TCO) provista entre el sustrato y la primera capa de poli-Si de tipo ++, y un electrodo posterior formado en la capa de dopaje del segundo tipo.

50

En otra realización de la presente invención, la capa intrínseca puede ser una capa intrínseca de la célula superior, la capa de dopaje del segundo tipo puede ser una capa de dopaje del segundo tipo de la célula superior, y la célula solar puede incluir además una capa amortiguadora formada sobre la capa de dopaje del segundo tipo de la célula superior, una capa de dopaje del primer tipo de la célula inferior formada sobre la capa amortiguadora, una capa intrínseca de la célula inferior formada en la capa de dopaje del primer tipo de la célula inferior, un segundo tipo de capa de dopaje de la célula inferior formada en la capa intrínseca de la célula inferior, y un electrodo posterior formado sobre la capa de dopaje del segundo tipo de la célula inferior.

55

En una realización de la presente invención, antes de la formación de la primera capa de poli-Si de tipo ++, el método puede incluir además formar una capa de TCO sobre el sustrato, y después del crecimiento de los nanocables de Si del primer tipo, y puede incluir además formar una capa intrínseca sobre el sustrato que tiene los nanocables de Si del primer tipo que crecen sobre ella, formar una capa de dopaje del segundo tipo sobre la capa intrínseca y formar un electrodo posterior.

60

En otra realización de la presente invención, antes de la formación de la primera capa de poli-Si de tipo ++, el método puede incluir además la formación de una capa de TCO sobre el sustrato, y después del crecimiento de

65

5 los nanocables de Si del primer tipo, y puede además incluir formar una capa intrínseca de la célula superior sobre el sustrato que tiene los nanocables de Si del primer tipo creciendo sobre ella, formando una capa de dopaje del segundo tipo de la célula superior sobre la capa intrínseca de la célula superior, formar una capa amortiguadora sobre la capa de dopaje del segundo tipo de la célula superior, formar una capa de dopaje de primer tipo de la célula inferior sobre la capa amortiguadora, formar una capa intrínseca de la célula inferior sobre la capa de dopaje del primer tipo de la célula inferior, formar una capa de dopaje del segundo tipo de la célula inferior sobre la capa intrínseca de la célula inferior, y formar un electrodo posterior.

10 En otra realización de la presente invención, la formación de la capa de película metálica puede incluir la formación de la capa de película metálica usando un método de pulverización catódica o un método de evaporación hasta un espesor en un intervalo de aproximadamente 100 a aproximadamente 150 nm.

15 De acuerdo con otra realización de la presente invención, en la formación de la capa de película metálica, se puede usar por lo menos uno seleccionado del grupo que consiste de Au, In, Ga y Sn.

20 De acuerdo con otra realización de la presente invención, en la formación de la capa de película metálica o en el crecimiento de los nanocables del primer tipo, puede usarse deposición química de vapor de plasma acoplada inductivamente o deposición química de vapor de muy alta frecuencia.

25 En otra realización de la presente invención, la formación de la capa de película metálica y el crecimiento de los nanocables de Si del primer tipo pueden realizarse en secuencia usando deposición química de vapor de plasma acoplado inductivamente o deposición química de vapor de muy alta frecuencia.

30 En otra realización de la presente invención, la formación de la capa de película metálica puede incluir formar la capa de película metálica a partir de nanopartículas usando deposición química de vapor de plasma acoplado inductivamente bajo condiciones de procesamiento que incluyen una temperatura del sustrato de aproximadamente 200 a aproximadamente 400° C, una presión de trabajo que varía de aproximadamente 80 a aproximadamente 150 mTorr, un caudal de gas de H<sub>2</sub> que varía de aproximadamente 100 a aproximadamente 300 sccm, potencia del plasma que varía de aproximadamente 500 a aproximadamente 700 W, potencia del susceptor que varía de aproximadamente 30 a aproximadamente 50 W y un tiempo de procesamiento que varía de aproximadamente 30 a aproximadamente 90 minutos.

35 En otra realización de la presente invención, la formación de la capa de película metálica puede incluir formar la capa de película metálica a partir de nanopartículas metálicas usando deposición química de vapor de muy alta frecuencia bajo condiciones de procesamiento que incluyen una temperatura del sustrato de aproximadamente 200 a aproximadamente 400° C, una presión de trabajo que varía de aproximadamente 0,05 a aproximadamente 0,02 Torr, una potencia de plasma que varía de aproximadamente 40 a aproximadamente 60 W, y un tiempo de procesamiento que varía de aproximadamente 30 a aproximadamente 60 minutos.

40 En otra realización de la presente invención, el crecimiento de los nanocables de Si del primer tipo puede incluir permitir que los nanocables de Si del primer tipo crezcan usando deposición química de vapor químico de plasma acoplado inductivamente bajo condiciones de procesamiento que incluyen una temperatura del sustrato de aproximadamente 200 a aproximadamente 400° C, una presión de trabajo que varía de aproximadamente 70 a aproximadamente 80 mTorr, una relación de gas silano (SiH<sub>4</sub>) de 0,1 a 0,2, potencia de plasma que varía de aproximadamente 500 a aproximadamente 700 W, potencia del susceptor que varía de aproximadamente 30 a aproximadamente 50 W, y un tiempo de procesamiento que varía de aproximadamente 1 a aproximadamente 20 minutos, en donde la relación de gas silano corresponde a una relación de gas silano con respecto al gas mixto que contiene silano y gases de hidrógeno.

50 En otra realización de la presente invención, el crecimiento de los nanocables de Si del primer tipo puede incluir permitir que los nanocables de Si del primer tipo crezcan usando deposición química de vapor de muy alta frecuencia bajo condiciones de procesamiento que incluyen una temperatura del sustrato de aproximadamente 200 a aproximadamente 400° C, una presión de trabajo que varía de aproximadamente 0,05 a aproximadamente 0,02 Torr, una relación de gas silano (SiH<sub>4</sub>) de 0,4 a 0,6, potencia del plasma que varía de aproximadamente 40 a aproximadamente 60 W, y un tiempo de procesamiento que varía de aproximadamente 30 a aproximadamente 60 minutos.

60 En otra realización de la presente invención, después del crecimiento de los nanocables de Si del primer tipo, el método puede incluir además eliminar metales residuales del sustrato.

De acuerdo con la presente invención, pueden realizarse los objetos y ventajas anteriores así como otros.

#### BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

65 La presente invención se entenderá más completamente a partir de la descripción detallada proporcionada

en la presente a continuación únicamente a modo de ilustración, que por lo tanto no es limitativa de la presente invención, y en la que:

- 5 La FIG. 1 es una vista en sección que ilustra una célula solar de acuerdo con una realización de la presente invención,  
 La FIG. 2 es una vista en sección que ilustra una célula solar de acuerdo con otra realización de la presente invención,  
 La FIG. 3 es una vista en sección que ilustra una célula solar de acuerdo con otra realización más de la presente invención,  
 10 La FIG. 4 es un diagrama de flujo que ilustra un método para fabricar un nanocable de silicio del primer tipo de acuerdo con una realización de la presente invención,  
 La FIG. 5 es un diagrama de flujo que ilustra un proceso secuencial de un método para fabricar una célula solar de acuerdo con una realización de la presente invención,  
 15 La FIG. 6 FIG. 5 es un diagrama de flujo que ilustra un proceso secuencial de un método para fabricar una célula solar de acuerdo con otra realización de la presente invención, y  
 La FIG. 7 es un diagrama de flujo que ilustra un proceso secuencial de un método para fabricar una célula solar de acuerdo con otra realización más de la presente invención.

#### DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA INVENCION

20 DE aquí en adelante, se describirán en detalle las realizaciones de la presente invención con referencia a los dibujos acompañantes.

25 La FIG. 1 es una vista en sección que ilustra una célula solar de acuerdo con una realización de la presente invención.

30 En referencia a la FIG. 1, la célula solar 100 de acuerdo con una realización de la presente invención incluye un sustrato 110, una primera capa de poli-Si de tipo ++ 120, una capa de nanocable de silicio del primer tipo 130, una capa intrínseca 140, una capa de dopaje del segundo tipo 150, una capa TCO (óxido conductor transparente) 160, una capa antirreflectante 170 y un electrodo frontal 180.

Aquí, el primer tipo es un tipo P, y el segundo tipo es un tipo N. Por otro lado, el primer tipo puede ser un tipo N, y el segundo tipo es un tipo P.

35 Por otra parte, el marcado del primer tipo o el segundo tipo con marcas "++" significa nivel de dopaje de impureza. El primer o segundo tipo con una marca "+" significa un tipo dopado con un nivel de impureza más alto que el que no tiene la marca "+". De manera similar, el primer o segundo tipo con una marca "++" significa un tipo dopado con más impurezas que el que no tiene la marca "+".

40 El sustrato 110 puede ser un sustrato aislante transparente capaz de transmitir luz solar o un sustrato opaco como una lámina metálica.

45 Cuando el sustrato 110 es un sustrato aislante transparente, puede ser un sustrato de vidrio o un sustrato de plástico.

Cuando el sustrato 110 es una lámina metálica, se puede proporcionar una capa aislante entre el sustrato 110 entre la primera capa de poli-Si de tipo ++ 120 para aislar el sustrato 110 de la primera capa de poli-Si de tipo ++ 120.

50 La primera capa de poli-Si de tipo ++ 120 puede proporcionarse sobre una superficie del sustrato 110.

La primera capa de poli-Si de tipo ++ 120 es una capa de poli-Si de primer tipo con un nivel de dopaje relativamente alto, que sirve como electrodo posterior.

55 Además, la primera capa de poli-Si de tipo ++ 120 puede servir como una capa semilla que permite que crezcan nanocables de silicio de primer tipo de la capa de nanocables de silicio de primer tipo 130.

60 La capa de nanocables de silicio del primer tipo 130 puede incluir nanocables de Si del primer tipo que crecen en regiones predeterminadas de la primera capa de poli-Si de tipo ++ 120. Es decir, la capa de nanocables de silicio del primer tipo de tipo 130 puede estar formada por los nanocables de Si del primer tipo que crecen en regiones predeterminadas de la primera capa de poli-Si del tipo ++ 120 usando el método de cristalización inducida por metal o el método de cristalización por láser.

65 En la capa de nano cables de silicio del primer tipo 130, cada uno de los nanocables de silicio del primer tipo puede tener una longitud en un intervalo de aproximadamente 2 a aproximadamente 5  $\mu\text{m}$  y un diámetro en un

- 5 intervalo de aproximadamente 1 a aproximadamente 5 nm. Cuando la luz del sol incide, los nanocables de silicio del primer tipo de la capa de nanocables de silicio del primer 130 funcionan para absorber la luz. Es decir, cuando los nanocables de silicio de primer tipo tienen una longitud en un intervalo de aproximadamente 2 a aproximadamente 5  $\mu\text{m}$  y un diámetro en un intervalo de aproximadamente 1 a aproximadamente 5 nm, la eficiencia de absorción de los nanocables de silicio del primer tipo es la más alta.
- 10 La capa intrínseca 140 se provee sobre la capa de nanocables de silicio del primer tipo 240 y sobre una superficie de la primera capa de poli-Si de tipo ++ +120 sin nanocables de silicio del primer tipo crecidos en la misma, es decir, sobre el sustrato 110 que tiene la capa de nanocables del primer tipo 130.
- 15 La capa intrínseca 140 puede estar hecha de silicio intrínseco sin dopar con impurezas del primer o segundo tipo.
- La capa intrínseca 140 puede estar hecha de una variedad de capas de silicio intrínsecas, preferiblemente, una capa de silicio amorfo hidrogenado, es decir, una capa  $\alpha$ -SiH.
- 20 La capa intrínseca 140 puede servir para pasivar la capa de nanocables de silicio del primer tipo 130.
- La capa intrínseca 140 puede formarse por deposición química de vapor o deposición física de vapor.
- 25 Cuando la capa intrínseca 140 está formada por CVD, se usa gas mixto que contiene hidrógeno ( $\text{H}_2$ ) y gas silano ( $\text{SiH}_4$ ). En este caso, el gas mixto tiene una proporción de hidrógeno a silano ( $\text{H}_2/\text{SiH}_4$ ) de 8 a 10 y unos intervalos de presión de trabajo de aproximadamente 70 a aproximadamente 90 mTorr, e intervalos de potencia de procesamiento de aproximadamente 200 a aproximadamente 300 W, y una temperatura de procesamiento que varía de aproximadamente 250 a aproximadamente 350° C.
- 30 Cuando la capa intrínseca 140 está formada por PVD, se logra una mejora notable en una característica interfacial entre la capa intrínseca 140 y una capa que contacta con la capa intrínseca 140, particularmente la capa de nanocables de silicio del primer tipo 130.
- 35 La capa de dopaje del segundo tipo 150 se proporciona en la capa intrínseca 140.
- La capa de dopaje del segundo tipo 150 puede ser una capa de Si dopada del segundo tipo.
- La capa de dopaje del segundo tipo 150 puede ser una segunda capa de dopaje de tipo + o una capa de dopaje del segundo tipo, que es una capa con un nivel de impureza más bajo.
- 40 La capa de dopaje del segundo tipo 150 puede estar formada por PVD o CVD, como PECVD.
- La capa de TCO 160 se forma sobre la capa de dopaje 150 del segundo tipo.
- 45 La capa de TCO 160 puede ser un TCO (óxido conductor transparente) como ZnO (óxido de zinc), AZO (óxido de zinc y aluminio), ITO (óxido de estaño e indio),  $\text{SnO}_2\cdot\text{F}$ , y demás.
- La capa de TCO 160 puede tener un espesor de 5  $\mu\text{m}$  o más y puede formarse usando PVD, como pulverización catódica o CVD, como MOCVD.
- 50 La capa antirreflectante 170 puede formarse sobre la capa de TCO 160 para exponer regiones predeterminadas de la capa de TCO 160.
- La capa antirreflectante 170 está configurada para evitar que la luz solar incidente se refleje y se emita al exterior, lo que aumenta la eficiencia de conversión.
- 55 La capa antirreflectante 170 puede estar formada de nitruro de silicio (SiN).
- El electrodo frontal 180 está provisto para contactar con la capa de TCO 160 en las regiones predeterminadas de la capa de TCO 160 expuesta por la capa antirreflectante 170.
- 60 El electrodo frontal 180 puede estar hecho de un material conductor como Al o Ag.
- El electrodo frontal 180 puede tener un espesor de aproximadamente 0,2 a aproximadamente 1  $\mu\text{m}$ , preferiblemente de aproximadamente 0,5  $\mu\text{m}$ .
- 65 El electrodo frontal 180 puede proporcionarse en formatos con patrones.

La FIG. 2 es una vista en sección que ilustra una célula solar de acuerdo con otra realización de la presente invención.

En referencia a la FIG. 2, la célula solar 200 de acuerdo con otra realización de la presente invención puede incluir un sustrato 210, una capa de TCO 220, una primera capa de poli-Si de tipo ++ 230, una capa de nanocables de silicio del primer tipo 240, una capa intrínseca 250, una capa de dopaje del segundo tipo 260 y un electrodo posterior 270.

El sustrato 210 puede ser un sustrato aislante transparente capaz de transmitir luz solar.

Alternativamente, el sustrato 210 puede ser un sustrato de vidrio o un sustrato de plástico.

La capa de TCO 220 se forma sobre una superficie del sustrato 210.

La capa de TCO 220 puede ser un TCO (óxido conductor transparente) como ZnO (óxido de zinc), AZO (óxido de zinc y aluminio), ITO (óxido de estaño e indio), SnO<sub>2</sub>F, y demás.

La capa de TCO 220 puede formarse usando PVD, como pulverización catódica o CVD, como MOCVD.

La primera capa de poli-Si de tipo ++ 230 se puede formar sobre la capa de TCO 220.

La primera capa de poli-Si de tipo ++ 230 es una capa de poli-Si del primer tipo con un nivel de dopaje relativamente alto, que sirve como electrodo posterior.

Además, la capa de poli-Si del primer tipo 230 puede servir como una capa semilla que permite que crezcan los nanocables de silicio de primer tipo de la capa de nanocables de silicio del primer tipo 240.

La capa de nanocables de silicio del primer tipo 240 puede incluir nanocables de Si del primer tipo que crecen en regiones predeterminadas de la primera capa de poli-Si de tipo ++ 230. Es decir, la capa de nanocables de silicio del primer tipo 240 puede estar formada de nanocables de Si del primer tipo que crecen en regiones predeterminadas de la primera capa de poli-Si de tipo ++ 230 usando un método de cristalización inducida por metal o un método de cristalización por láser.

En la capa de nanocables de silicio del primer tipo 240, cada uno de los nanocables de silicio del primer tipo puede tener una longitud en un intervalo de aproximadamente 2 a aproximadamente 5  $\mu\text{m}$  y un diámetro en un intervalo de aproximadamente 1 a aproximadamente 5 nm. Cuando incide la luz solar, los nanocables de silicio del primer tipo de la capa de nanocables de silicio del primer tipo 240 funcionan para absorber la luz. Es decir, cuando los nanocables de silicio del primer tipo tienen una longitud en un intervalo de aproximadamente 2 a aproximadamente 5  $\mu\text{m}$  y un diámetro en un intervalo de aproximadamente 1 a aproximadamente 5 nm, la eficiencia de absorción de los nanocables de silicio del primer tipo es la más alta.

La capa intrínseca 250 se proporciona sobre en la capa de nanocables de silicio del primer tipo 240 y sobre una superficie de la capa de Si del primer tipo 230 sin nanocables de silicio del primer tipo que han crecido en la misma.

La capa intrínseca 250 puede estar hecha de silicio intrínseco sin dopar con impurezas del primer o segundo tipo.

La capa intrínseca 250 puede estar hecha de una variedad de capas de silicio intrínsecas, preferiblemente, una capa de silicio amorfo hidrogenado, es decir, una capa  $\alpha\text{-Si:H}$ .

La capa intrínseca 250 puede servir para pasivar la capa de nanocables de silicio del primer tipo 240.

La capa intrínseca 250 puede formarse por deposición química de vapor o deposición física de vapor, preferiblemente plasma acoplado inductivamente (ICP) -CVD.

Cuando la capa intrínseca 250 está formado por ICP-CVD, se usa preferiblemente gas mixto que contiene gas de hidrógeno ( $\text{H}_2$ ) y silano ( $\text{SiH}_4$ ). En este caso, el gas mezclado puede tener una proporción de hidrógeno a silano ( $\text{H}_2/\text{SiH}_4$ ) de 8 a 10 y una presión de trabajo puede variar de aproximadamente 70 a aproximadamente 90 mTorr, y la potencia de procesamiento puede variar de aproximadamente 200 a aproximadamente 300 W, y una temperatura de procesamiento puede variar de aproximadamente 250 a aproximadamente 350° C.

Cuando la capa intrínseca 250 está formada por ICP-CVD, se logra una mejora notable en una característica interfacial entre la capa intrínseca 250 y una capa que contacta con la capa intrínseca 250, particularmente la capa de nanocables de silicio del primer tipo 240.

La capa de dopaje del segundo tipo 260 se proporciona en la capa intrínseca 250.

5

La capa de dopaje del segundo tipo 260 puede ser una capa de Si dopada del segundo tipo.

La capa de dopaje del segundo tipo 260 puede ser una segunda capa de dopaje de tipo + o una capa de dopaje del segundo tipo, que es una capa con un nivel de impureza menor.

10

La capa de dopaje 260 de segundo tipo puede estar formada por PVD o CVD, como PECVD.

La capa de dopaje del segundo tipo 260 puede tener un espesor de aproximadamente 10 a aproximadamente 15 nm, preferiblemente de aproximadamente 12 nm.

15

El electrodo posterior 270 se proporciona sobre la capa de dopaje del segundo tipo 260.

El electrodo posterior 270 puede estar hecho de un material conductor como Al o Ag.

20

El electrodo posterior 270 se puede proporcionar sobre una superficie completa de la capa de dopaje del segundo tipo 260.

El electrodo posterior 270 puede servir como una capa antirreflejante que evita que la luz solar incidente se refleje y se emita al exterior, aumentando de este modo la eficiencia de conversión.

25

Cuando el electrodo posterior 270 está hecho de Al, puede tener un espesor de aproximadamente 200 a aproximadamente 400 nm, preferiblemente de aproximadamente 300 nm.

La FIG. 3 es una vista en sección que ilustra una célula solar de acuerdo con otra realización más de la presente invención.

30

En referencia a la FIG. 3, la célula solar 300 de acuerdo con otra realización de la presente invención puede incluir un sustrato 310, una capa de TCO 320, una célula superior 330, una capa amortiguadora 340, una célula inferior 350 y un electrodo posterior 360.

35

La célula superior 330 incluye una primera capa de poli-Si de tipo ++ 332, una capa de nanocables de silicio del primer tipo 334, una capa intrínseca de la célula superior 336 y una capa de dopaje del segundo tipo de la célula superior 338.

40

La célula inferior 350 incluye una capa de dopaje del primer tipo de la célula inferior 352, una capa intrínseca del primer tipo de la célula inferior 354 y una capa de dopaje del segundo tipo de la célula inferior 356.

El sustrato 310 puede ser un sustrato aislante transparente capaz de transmitir luz solar.

Alternativamente, el sustrato 310 puede ser un sustrato de vidrio o un sustrato de plástico.

45

La capa de TCO 320 se forma sobre una superficie del sustrato 310.

La capa de TCO 320 puede ser un TCO (óxido conductor transparente), como ZnO (óxido de zinc), AZO (óxido de zinc y aluminio), ITO (óxido de estaño e indio), SnO<sub>2</sub>:F, y demás.

50

La primera capa de poli-Si de tipo ++ 332 puede formarse sobre la capa de TCO 320.

La primera capa de poli-Si de tipo ++ 332 es una capa de poli-Si del primer tipo con un nivel de dopaje relativamente alto.

55

Además, la capa de poli-Si del primer tipo 332 puede servir como una capa semilla que permite que crezcan los nanocables de silicio del primer tipo de la capa de nanocables de silicio del primer tipo 334.

60

La capa de nanocables de silicio del primer tipo 334 puede incluir nanocables de Si del primer tipo que han crecido en regiones predeterminadas de la primera capa de poli-Si de tipo ++ 332. Es decir, la capa de nanocables de silicio del primer tipo 334 puede estar formada de nanocables de Si del primer tipo que crecen en regiones predeterminadas de la primera capa de poli-Si de tipo ++ 332 usando un método de cristalización inducida por metal o un método de cristalización por láser.

65

En la capa de nanocables de silicio del primer tipo 334, cada uno de los nanocables de silicio del primer tipo puede tener una longitud en un intervalo de aproximadamente 2 a aproximadamente 5  $\mu\text{m}$  y un diámetro en un

intervalo de aproximadamente 1 a aproximadamente 5 nm. Cuando la luz solar incide, los nanocables de silicio del primer tipo de la capa de nanocables de silicio del primer tipo 334 funcionan para absorber la luz. Es decir, cuando los nanocables de silicio del primer tipo tienen una longitud en un intervalo de aproximadamente 2 a aproximadamente 5  $\mu\text{m}$  y un diámetro en un intervalo de aproximadamente 1 a aproximadamente 5 nm, la eficiencia de absorción de los nanocables de silicio del primer tipo es la más alta.

La capa intrínseca de la célula superior 336 se proporciona sobre la capa de nanocables de silicio del primer tipo 334 y sobre una superficie de la primera capa de Si de tipo ++ 332 sin nanocables de silicio del primer tipo que hayan crecido en ella.

La capa intrínseca de la célula superior 336 puede estar hecha de silicio intrínseco sin dopar con impurezas del primer o segundo tipo.

La capa intrínseca de la célula superior 336 puede estar hecha de una variedad de capas de silicio intrínsecas, preferiblemente, una capa de silicio amorfo hidrogenado, es decir, una capa de  $\alpha\text{-Si:H}$ .

Aquí, la capa intrínseca de la célula superior 336 puede tener la misma configuración que la marcada 250 que se muestra en la FIG. 2.

La capa intrínseca de la célula superior 336 puede servir para pasivar la capa de nanocables del primer tipo 334.

La capa intrínseca de la célula superior 336 puede formarse por deposición química de vapor o deposición física de vapor, preferiblemente plasma acoplado por inducción (ICP)-CVD.

Cuando la capa intrínseca de la célula superior 336 está formada por ICP-CVD, se usa preferiblemente gas mixto que contiene gas de hidrógeno ( $\text{H}_2$ ) y gas silano ( $\text{SiH}_4$ ). En este caso, el gas mezclado puede tener una proporción de hidrógeno a silano ( $\text{H}_2/\text{SiH}_4$ ) de 8 a 10 y una presión de trabajo puede variar de aproximadamente 70 a aproximadamente 90 mTorr, y la potencia de procesamiento puede variar de aproximadamente 200 a aproximadamente 300 W, y una temperatura de procesamiento puede variar de aproximadamente 250 a aproximadamente 350° C.

Cuando la capa intrínseca de la célula superior 336 está formada por ICP-CVD, se logra una mejora notable en una característica interfacial entre la capa intrínseca de la célula superior 336 y una capa que contacta con la capa intrínseca de la célula superior 336, particularmente la capa de nanocables de silicio del primer tipo 334.

La capa intrínseca de la célula superior 336 puede tener un espesor en un intervalo de aproximadamente 400 a aproximadamente 600 nm, preferiblemente de aproximadamente 500 nm.

La capa de dopaje de segundo tipo de la célula superior 338 se proporciona en la capa intrínseca de la célula superior 336.

La capa de dopaje del segundo tipo de la célula superior 338 puede ser una capa de Si dopada del segundo tipo.

Aquí, la capa de dopaje del segundo tipo de la célula superior 338 puede tener la misma configuración que la marcada 260 mostrada en la FIG. 2.

La capa de dopaje de segundo tipo de célula superior 338 puede ser una segunda capa de dopaje del tipo + o una capa de dopaje del segundo tipo, que es una capa con un nivel de impureza más bajo.

La capa de dopaje del segundo tipo de la célula superior 338 puede estar formada por PVD o CVD, como PECVD.

La capa amortiguadora 340 se proporciona sobre la capa de dopaje del segundo tipo de la célula superior 338.

La capa amortiguadora 340 conecta eléctricamente la célula superior 330 con la célula inferior 350.

La capa amortiguadora 340 funciona para conectar eléctricamente la célula superior 330 con la célula inferior 350, particularmente la capa de dopaje del segundo tipo de la célula superior 338 de la célula superior 330 con la capa de dopaje del primer tipo de la célula inferior 352 de la célula inferior 350 para establecer una unión de túnel.

La capa amortiguadora 340 también ajusta la brecha de banda entre la célula superior 330 y la célula

inferior 350.

La capa amortiguadora 340 puede estar hecha de un material de conducción transparente como ZnO.

5 La capa de dopaje del primer tipo de la célula inferior 352 se forma sobre la capa amortiguadora 340.

La capa de dopaje del primer tipo de la célula inferior 352 puede ser una primera capa de dopaje de tipo + o una capa de dopaje del primer tipo, que es una capa con un nivel de impureza menor. Alternativamente, la capa de dopaje del primer tipo de la célula inferior 352 puede ser una capa de dopaje del segundo tipo con un nivel de impureza menor que la primera capa de dopaje del tipo +.

10

La capa de dopaje del primer tipo de la célula inferior 352 puede estar formada por PVD o CVD.

La capa intrínseca de la célula inferior 354 puede formarse sobre la capa de dopaje del primer tipo de la célula inferior 352.

15

La capa intrínseca de la célula inferior 354 puede estar hecha de silicio intrínseco no dopado con impureza del primer o segundo tipo.

20 La capa intrínseca de la célula inferior 354 puede estar hecha de una variedad de capas de silicio intrínsecas, preferiblemente, una capa microcristalizada hidrogenada, es decir, una capa  $\mu\text{-Si:H}$ .

La capa intrínseca de la célula inferior 354 puede formarse por deposición química de vapor o deposición física de vapor.

25

La capa intrínseca de la célula inferior 354 puede tener un espesor de aproximadamente 1 a aproximadamente  $2\ \mu\text{m}$ .

La capa de dopaje del segundo tipo de la célula inferior 356 se proporciona sobre la capa intrínseca de la célula inferior 354.

30

La capa de dopaje del segundo tipo de la célula inferior 356 puede ser una capa de Si dopada del segundo tipo.

35 La capa de dopaje del segundo tipo de la célula inferior 356 puede ser una segunda capa de dopaje de tipo + o una capa de dopaje de segundo tipo, que es una capa con un nivel de impureza menor.

La capa de dopaje del segundo tipo de la célula inferior 356 puede estar formada por PVD o CVD, como PECVD.

40

El electrodo posterior 360 puede proporcionarse sobre la capa de dopaje del segundo tipo de la célula inferior 356.

El electrodo posterior 360 puede estar hecho de un material conductor como Al o Ag.

45

La FIG. 4 es un diagrama de flujo que ilustra un método para fabricar un nanocable de silicio del primer tipo de acuerdo con una realización de la presente invención.

En referencia a la FIG. 4, el método para fabricar un nanocable de silicio del primer tipo de acuerdo con una realización de la presente invención puede incluir formar una primera capa de poli-Si de tipo ++ (S110), formar una capa de película metálica (S120), formar nanopartículas metálicas (S130), cultivar los nanocables de Si del primer tipo (S140) y eliminar los metales residuales (S150).

50

En S110, se forma una primera capa de poli-Si de tipo ++ sobre un sustrato.

55

La primera capa de poli-Si de tipo ++ es una capa de poli-Si altamente dopada del primer tipo.

En S110, la primera capa de poli-Si de tipo ++ puede formarse en varias técnicas.

60 En lo sucesivo, se describe la presente realización que se describirá usando una de las técnicas conocidas para formar la primera capa de poli-Si de tipo ++.

La primera capa de poli-Si de tipo ++ puede formarse de tal manera que una primera capa de a-Si de tipo ++ se forme sobre el sustrato y la primera capa de poli-Si de tipo ++ se forme en la primera capa de poli-Si de tipo ++ usando un método de cristalización inducido por metal o método de cristalización por láser.

65

Aquí, la primera capa  $\alpha$ -Si de tipo ++ puede formarse sobre el sustrato 110 mediante una técnica común, como el uso de un dispositivo de PECVD o ICP-CVD.

5                    Posteriormente, se forma una capa de película metálica sobre la primera capa de poli-Si de tipo ++ en S120.

10                    En S120, la capa de película metálica se forma por deposición, por ejemplo, pulverización catódica o evaporación, de un metal sobre la primera capa de poli-Si de tipo ++.

Aquí, la capa de película metálica se deposita a un espesor de 100 a 150 nm.

15                    En S120, la deposición de la capa de película metálica puede incluir la deposición de la capa de película metálica a una tasa de deposición baja. Esto es para permitir que la capa de película metálica se cambie fácilmente a nanopartículas.

Puede usarse por lo menos uno seleccionado del grupo que consiste de Au, In, Ga y Sn.

20                    Luego, las nanopartículas de metal se forman en S130.

En S130, la capa de película metálica se transforma en nanopartículas. Aquí, las nanopartículas metálicas se forman a partir de la capa de película metálica usando deposición química de vapor de plasma acoplado inductivamente o deposición química de vapor de muy alta frecuencia.

25                    En S130, cuando la capa de película metálica se forma usando deposición química de vapor de plasma acoplado inductivamente, la capa de película metálica se puede formar bajo condiciones de procesamiento que incluyen una temperatura del sustrato de aproximadamente 200 a aproximadamente 400° C, una presión de trabajo que varía de aproximadamente 80 a aproximadamente 150 mTorr, un caudal de gas de hidrógeno ( $H_2$ ) que varía de aproximadamente 100 a aproximadamente 300 sccm, una potencia del plasma que varía de aproximadamente 500 a aproximadamente 700 W, una potencia de susceptor que varía de aproximadamente 30 a aproximadamente 50 W, y un tiempo de procesamiento que varía de aproximadamente 30 a aproximadamente 90 minutos.

35                    Cuando la capa de película metálica se forma usando deposición química de vapor de muy alta frecuencia bajo condiciones de procesamiento que incluyen una temperatura del sustrato de aproximadamente 200 a aproximadamente 400° C, una presión de trabajo que varía de aproximadamente 0,05 a aproximadamente 0,02 Torr, una potencia de plasma que varía de aproximadamente 40 a aproximadamente 60 W, y un tiempo de procesamiento que varía de aproximadamente 30 a aproximadamente 60 minutos.

40                    Después de S130, se permite que crezcan los nanocables de Si del primer tipo en S140.

En S140, se dejan crecer los nanocables de Si del primer tipo usando deposición química de vapor de plasma acoplado inductivamente o deposición química de vapor de muy alta frecuencia.

45                    En detalle, S140 es una operación para permitir que los nanocables de Si del primer tipo crezcan sobre la primera capa de poli-Si de tipo ++ usando nanopartículas metálicas como semillas.

50                    Es decir, las nanopartículas metálicas sirven como semillas para el crecimiento de las nanopartículas metálicas formadas en la primera capa de poli-Si de tipo ++, y los nanocables de Si del primer tipo crecen a partir de la primera capa de poli-Si de tipo ++.

55                    En S140, en el caso de usar deposición química de vapor de plasma acoplada inductivamente, se permite que los nanocables de Si del primer tipo crezcan bajo condiciones de procesamiento que incluyen una temperatura del sustrato de aproximadamente 200 a aproximadamente 400° C, una presión de trabajo que varía de aproximadamente 70 a aproximadamente 80 mTorr, una proporción de gas silano ( $SiH_4$ ) de 0,1 a 0,2, una potencia de plasma que varía de aproximadamente 500 a aproximadamente 700 W, una potencia del susceptor que varía de aproximadamente 30 a aproximadamente 50 W, y un tiempo de procesamiento varía de aproximadamente 1 a aproximadamente 20 minutos. Aquí, la proporción de gas silano puede corresponder a una proporción de gas silano en relación con el gas mezclado que contiene gases de silano y hidrógeno.

60                    Alternativamente, en S140, en el caso de usar deposición química de vapor de muy alta frecuencia, los nanocables de Si del primer tipo se dejan crecer bajo condiciones de procesamiento que incluyen una temperatura del sustrato de aproximadamente 200 a aproximadamente 400° C, una presión de trabajo que varía de aproximadamente 0,05 a aproximadamente 0,02 Torr, una proporción de gas silano ( $SiH_4$ ) de 0,4 a 0,6, una potencia del plasma que varía de aproximadamente 40 a aproximadamente 60 W y un tiempo de procesamiento que varía de aproximadamente 30 a aproximadamente 60 minutos.

65

S130 y S140 pueden realizarse de manera continua usando deposición química de vapor de plasma inductivamente acoplado o deposición química de vapor de muy alta frecuencia. Es decir, cambiar la capa de película metálica formada sobre la primera capa de poli-Si de tipo ++ a nanopartículas metálicas y el crecimiento de los nanocables de Si del primer tipo usando las nanopartículas metálicas puede realizarse de manera continua usando deposición química de vapor en plasma inductivamente acoplado o deposición química de vapor de muy alta frecuencia.

Aquí, el nanocable de silicio puede tener una longitud en un intervalo de aproximadamente 2 a aproximadamente 5  $\mu\text{m}$  y un diámetro en un intervalo de aproximadamente 1 a aproximadamente 5 nm.

Después de S140, los metales residuales se eliminan del sustrato en S150.

En S150, los metales residuales en el sustrato, en particular, en la capa de nanocables de silicio del primer tipo que incluye los nanocables de silicio del primer tipo, se eliminan usando un proceso húmedo, como decapado.

Los metales residuales pueden incluir parte de la capa de película metálica o las nanopartículas metálicas.

La FIG. 5 es un diagrama de flujo que ilustra un proceso secuencial de un método para fabricar una célula solar de acuerdo con una realización de la presente invención.

En referencia a la FIG. 5, el método para fabricar una célula solar de acuerdo con una realización de la presente invención puede incluir formar una primera capa de poli-Si del tipo ++ (S210), formar una capa de nanocables de Si del primer tipo (N220), formar una capa intrínseca (S230), formar una capa de dopaje del segundo tipo (S240), formar una capa de TCO (S250), formar una capa antirreflectante (S260), y formar un electrodo frontal (S270).

Aquí, el método para fabricar una célula solar de acuerdo con esta realización de la presente invención se describirá con respecto a la célula solar ilustrada en la FIG. 1.

En S210, se forma una primera capa de poli-Si del tipo ++ 120 sobre el sustrato 110.

Antes de la formación de la primera capa de poli-Si del tipo ++ 120, se lava primero el sustrato 110. El sustrato 110 se lava para eliminar la materia orgánica, metales, óxido o similares que permanecen en el sustrato 110. La eliminación de la materia orgánica o similar puede realizarse usando una técnica generalmente conocida en el proceso de fabricación de semiconductores.

Luego se forma la primera capa de poli-Si de tipo ++ 120 sobre el sustrato 110.

La formación de la primera capa de poli-Si de tipo ++ 120 puede realizarse de la misma manera que en S110, y no se hará una explicación detallada.

Después de eso, la capa de nanocables de Si del primer tipo 130 se forma en S220.

S220 es una operación para formar la capa de nanocables de Si del primer tipo 130 permitiendo que crezcan los primeros nanocables de Si del primer tipo.

En S220, se deja que los nanocables de Si del primer tipo crezcan realizando secuencialmente S120, S130, S140 y S150, que se han descrito en la FIG. 4, formando de este modo la primera capa de poli-Si de tipo ++ 130 a partir de la primera capa de poli-Si de tipo ++ 120. Por lo tanto, no se hará una explicación detallada.

Luego, la capa intrínseca 140 se forma en S230.

En S230, la capa intrínseca 140 se forma sobre la capa nanocables de silicio del primer tipo 130 y sobre una superficie de la primera capa de poli-Si de tipo ++ 120 sin nanocables de silicio del primer tipo crecidos en ella.

En S230, la capa intrínseca 140 puede estar formada de silicio intrínseco no dopado con impurezas del primer o segundo tipo. Es decir, la capa intrínseca 140 puede estar hecha de una variedad de capas de silicio intrínsecas, preferiblemente, una capa de silicio amorfo hidrogenado, es decir, una capa de  $\alpha\text{-Si:H}$ .

En S230, la capa intrínseca 140 puede formarse por deposición química de vapor o deposición física de vapor.

Cuando la capa intrínseca 140 está formada por ICP-CVD, se puede usar gas mixto que contiene gas de hidrógeno ( $\text{H}_2$ ) y gas silano ( $\text{SiH}_4$ ). En este caso, la capa intrínseca 140 puede formarse bajo las condiciones de

procesamiento que incluyen una proporción de hidrógeno a silano ( $H_2/SiH_4$ ) de 8 a 10 y una presión de trabajo que varía de aproximadamente 70 a aproximadamente 90 mTorr, una potencia de procesamiento que varía de aproximadamente 200 a aproximadamente 300 W, y una temperatura de procesamiento que varía de aproximadamente 250 a aproximadamente 350° C.

5 Después de S230, la capa de dopaje del segundo tipo se forma sobre la capa intrínseca en S240.

10 En S240, la capa de dopaje del segundo tipo 150, es decir, la capa de impureza del segundo tipo o la capa de Si del segundo tipo +, puede formarse por deposición química de vapor o deposición física de vapor.

Luego, se forma la capa de TCO 160 sobre la capa de dopaje 150 del segundo tipo en S250.

En detalle, en S250, la capa de TCO 160 se forma sobre la capa de dopaje del segundo tipo 150.

15 En S250, la capa de TCO 160 se forma usando TCO (óxido conductor transparente) como ZnO (óxido de zinc), AZO (óxido de zinc y aluminio), ITO (óxido de estaño e indio),  $SnO_2$ : F, y demás hasta un espesor de 5  $\mu m$  o mayor.

20 S250 puede ser una operación para formar la capa de TCO 160 utilizando PVD, como pulverización catódica o CVD, como MOCVD.

Después de S250, se forma la capa antirreflectante 170 en S260.

25 En detalle, en S260, la capa antirreflectante 170 se forma sobre la capa de TCO 160 usando nitruro de silicio (SiN).

En SS250, la capa antirreflectante 170 puede formarse por dos métodos.

30 Primero, la capa antirreflectante 170 puede formarse sobre una superficie completa de la capa de TCO 160. En segundo lugar, la capa antirreflectante 170 se forma sobre una superficie completa de la capa de TCO 160 en formatos con patrones para exponer regiones predeterminadas de la capa de TCO 160 .

Luego, se forma el electrodo frontal en S270.

35 En S270, el electrodo frontal 180 se forma para contactar con la capa de TCO 160 en las regiones predeterminadas de la capa de TCO 160 expuestas por la capa antirreflectante 170.

La formación del electrodo frontal 180 puede realizarse de dos maneras.

40 Primero, cuando la capa antirreflectante 170 se forma sobre una superficie completa de la capa de TCO 160, la pasta para formar el electrodo frontal 180 se recubre sobre un área predeterminada de la capa antirreflectante 170 en formatos con patrones y se sinteriza. Luego, la capa antirreflectante resultante 170 se graba para formar el electrodo frontal 180 en contacto con la capa TCO 160.

45 Aquí, el paso para formar el electrodo frontal 180 puede contener Al o Ag formando el electrodo frontal 180 y el decapante capaz de decapar la capa antirreflectante 170.

50 En segundo lugar, cuando la capa antirreflectante 170 se forma sobre la capa de TCO 160 en formatos en patrones, sobre una superficie completa de la capa de TCO 160, el electrodo frontal 180 puede depositarse de una manera en que está en patrón sobre la capa de TCO expuesta 160. Es decir, el electrodo frontal 180 puede hacerse en patrones usando una máscara de patrones.

55 En S270, el electrodo frontal 180 puede formarse hasta un espesor de aproximadamente 0,2 a aproximadamente 1  $\mu m$ , preferiblemente aproximadamente 0,5  $\mu m$ .

La FIG. 6 es un diagrama de flujo que ilustra un proceso secuencial de un método para fabricar una célula solar de acuerdo con otra realización de la presente invención.

60 En referencia a la FIG. 6, el método para fabricar una célula solar de acuerdo con otra realización de la presente invención puede incluir la formación de una capa de TCO (S310), una primera capa de poli-Si del tipo ++ (S320), formar una capa de nanocables de Si del primer tipo (S330) , formar una capa intrínseca (S340), formar una capa de dopaje del segundo tipo (S350), y formar un electrodo posterior (S270).

65 Aquí, el método para fabricar una célula solar de acuerdo con esta realización de la presente invención se describirá con respecto a la célula solar 200 ilustrada en la FIG. 2.

En S310, la capa de TCO 220 se forma sobre el sustrato 210.

5 Antes de la formación de la capa 220 de TCO, se lava primero el sustrato 210. El lavado del sustrato 210 puede realizarse de la misma manera que se describe con referencia a la FIG. 5, y no se dará una explicación detallada del mismo.

10 Además, la formación de la capa de TCO 220 también se realiza de la misma manera que en S250 descrita con referencia a la FIG. 5, y no se dará una explicación detallada de la misma.

Posteriormente, se forma la primera capa de poli-Si de tipo ++ 230 en S320.

15 S320 es una operación para formar la primera capa de poli-Si de tipo ++ 230 sobre la capa de TCO 220, que puede realizarse de la misma manera que se describe con referencia a la FIG. 5, y no se dará una explicación detallada de la misma.

Después de S320, se forma la capa de nanocables de Si del primer tipo en S330.

20 Luego, se forma la capa intrínseca 250 en S340.

25 En S340, la capa intrínseca 250 se forma sobre la superficie que tiene la primera capa de poli-Si de tipo ++ 240 que ha crecido sobre ella hasta un espesor de 400 a 600 nm, preferiblemente, 500 nm. Las operaciones S230 y S340 de formar las capas intrínsecas son sustancialmente iguales entre sí, excepto por el grosor de la capa, y no se dará una explicación detallada de las mismas.

Luego, se forma la capa de dopaje del segundo tipo 260 sobre la capa intrínseca 250 en S350.

30 En S350, la capa de dopaje del segundo tipo 260 se forma a un espesor de 10 a 15  $\mu\text{m}$ , preferiblemente de aproximadamente 15  $\mu\text{m}$ . Las operaciones S240 y S350 de formar las capas de dopaje del segundo tipo son sustancialmente iguales entre sí, excepto por el espesor de la capa, y no se dará una explicación detallada de las mismas.

Luego, se forma el electrodo posterior en S360.

35 En detalle, en S360, el electrodo posterior 270 se forma sobre la capa de dopaje del segundo tipo 260.

En S360, cuando el electrodo posterior 270 está formado de Al, puede tener un grosor de 200 a 400 nm, preferiblemente de 300.

40 S360 es una operación para formar el electrodo posterior 270 hecho de un material conductor, como Al o Ag, sobre la capa de dopaje del segundo tipo 260.

45 La FIG. 7 es un diagrama de flujo que ilustra un proceso secuencial de un método para fabricar una célula solar de acuerdo con otra realización más de la presente invención.

50 En referencia a la FIG. 7, el método para fabricar una célula solar de acuerdo con otra realización más de la presente invención puede incluir formar una capa de TCO (S410), formar una primera capa de poli-Si del tipo ++ (S422), formar una capa de nanocables de Si del primer tipo (S424), formar una capa intrínseca de la célula superior (S426), formar una capa de dopaje del segundo tipo de la célula superior (S428), formar una capa amortiguadora (S430), formar una capa de dopaje del primer tipo de la células inferior (S442), formar una capa intrínseca de la célula inferior (S444), formar una capa de dopaje del segundo tipo de la célula inferior (S446), y formar un electrodo posterior (S450).

55 Aquí, el método para fabricar una célula solar de acuerdo con esta realización de la presente invención se describirá con respecto a la célula solar 300 ilustrada en la FIG. 3.

En S410, se forma la capa de TCO sobre el sustrato 310.

60 Antes de la formación de la primera capa de poli-Si del tipo ++ 120, se lava primero el sustrato 310.

El lavado del sustrato 310 puede realizarse de la misma manera que se describe con referencia a la FIG. 5, y no se dará una explicación detallada del mismo.

65 Después de S410, se realizan secuencialmente S422, S424, S426 y S428. En detalle, en S410, la primera capa de poli-Si del tipo ++ 332 se forma sobre la capa de TCO 320 y se deja que los nanocables de silicio del primer

tipo crezcan desde la capa de nanocables de silicio del primer tipo 334 para formar la capa de nanocables de silicio del primer tipo 334. Luego, la capa intrínseca de la célula superior 336 se forma sobre el sustrato que tiene la capa de nanocables de silicio del primer tipo 334 y la capa de dopaje del segundo tipo de la célula superior 338 se forma sobre la capa intrínseca de la célula superior 336.

5 Después de S428, se forma la capa amortiguadora en S430.

10 S430 es una operación para formar la capa amortiguadora 340 para establecer una unión del túnel entre la célula superior 330 y la célula inferior 350.

En S430, la capa amortiguadora 340 puede formarse sobre la capa de dopaje del segundo tipo de la célula superior 338 por PVD o CVD.

15 Después de S430, se forma la primera capa de poli-Si de tipo ++ de célula inferior en S422.

En S422, la capa de dopaje del primer tipo de la célula inferior 352 se forma sobre la capa amortiguadora 340.

20 En detalle, la capa de dopaje del primer tipo de la célula inferior 352 se forma dopando una capa de Si del primer tipo sobre la capa amortiguadora 340.

25 Aquí, la capa de dopaje del primer tipo de la célula inferior 352 puede ser una primera capa de dopaje de tipo + o una capa de dopaje del primer tipo, que es una capa con un nivel de impureza menor. Alternativamente, la capa de dopaje del primer tipo de la célula inferior 352 puede ser una capa de dopaje del segundo tipo con un nivel de impureza menor que la primera capa de dopaje del tipo +.

En S442, la capa de dopaje del primer tipo de la célula inferior 352 puede formarse por PVD o CVD.

30 Luego, la capa 354 intrínseca de la célula inferior 354 puede formarse sobre la capa de dopaje del primer tipo de la célula inferior 352 en S444.

35 En S444, la capa intrínseca de la célula inferior 354 puede formarse directamente usando una capa microcristalizada hidrogenada, es decir, una capa  $1 \mu\text{-Si:H}$ , hasta un espesor de aproximadamente 1 a aproximadamente  $2 \mu\text{m}$ .

Alternativamente, la capa intrínseca de la célula inferior 354 puede formarse usando una capa microcristalizada hidrogenada, es decir, una capa  $1 \mu\text{-Si:H}$  por el método de cristalización inducida por metal o por el método de cristalización por láser.

40 Luego, se forma la capa de dopaje del segundo tipo de la célula inferior en S446.

45 En S446, la capa de dopaje del segundo tipo de la célula inferior 356 se forma sobre la capa intrínseca de la célula inferior 354. La capa de dopaje del segundo tipo de la célula inferior 356 puede formarse sustancialmente de la misma manera que en S230 descrita con referencia a la FIG. 5, y no se dará una explicación detallada de la misma.

Después de S446, se forma el electrodo posterior en S450.

50 En S450, el electrodo posterior 360 se forma sobre la capa de dopaje del segundo tipo de la célula inferior 356. El electrodo posterior 360 puede formarse sustancialmente de la misma manera que se describe con referencia a la FIG. 6, y no se dará una explicación detallada del mismo.

55

60

65

**REIVINDICACIONES**

1. Una célula solar que comprende:

5 un sustrato,  
 una primera capa de poli-Si del tipo ++ formada sobre el sustrato,  
 una capa de nanocables de silicio del primer tipo que incluye un nanocable de silicio del primer tipo que crece desde la primera capa de poli-Si del tipo ++,  
 una capa intrínseca formada sobre el sustrato que tiene la capa de nanocables de silicio de primer tipo, y  
 10 una capa de dopaje del segundo tipo formada sobre la capa intrínseca, dicha capa de dopaje del segundo tipo teniendo un nivel de impureza menor que la primera capa de poli-Si del tipo ++,  
 en donde el nanocable de silicio del primer tipo tiene una longitud en un intervalo de 2 a 5  $\mu\text{m}$  y un diámetro en un intervalo de 1 a 5 nm.

15 2. La célula solar de la reivindicación 1, que comprende además:

- una capa transparente de óxido conductor (TCO) provista sobre la capa de dopaje del segundo tipo,  
 - una capa antirreflectante formada sobre la capa de TCO para exponer regiones predeterminadas de las capas de TCO, y  
 20 - un electrodo frontal con patrones sobre las regiones predeterminadas de la capa de TCO expuesta;  
 o  
 - una capa de óxido conductor transparente (TCO) provista entre el sustrato y la primera capa de poli-Si del tipo ++, y  
 - un electrodo posterior formado sobre la capa de dopaje del segundo tipo.

25 3. La célula solar de la reivindicación 1, en la que la capa intrínseca es una capa intrínseca de la célula superior, la capa de dopaje del segundo tipo es una capa de dopaje del segundo tipo de la célula superior, y la célula solar comprende además:

30 una capa amortiguadora formada sobre la capa de dopaje del segundo tipo de la célula superior,  
 una capa de dopaje del primer tipo de la célula inferior formada sobre la capa amortiguadora,  
 una capa intrínseca de la célula inferior formada sobre la capa de dopaje del primer tipo de la célula inferior,  
 una capa de dopaje del segundo tipo de la célula inferior formada sobre la capa intrínseca de la célula inferior, y  
 35 un electrodo posterior formado sobre la capa de dopaje del segundo tipo de la célula inferior.

4. Un método para fabricar una célula solar que comprende:

40 formar una primera capa de poli-Si del tipo ++, sobre un sustrato,  
 formar una capa de película metálica sobre la primera capa de poli-Si del tipo ++,  
 formar nanopartículas metálicas a partir de la capa de película metálica, y  
 hacer crecer nanocables de Si del primer tipo sobre la primera capa de poli-Si del tipo ++ usando las nanopartículas metálicas como semillas,  
 en donde los nanocables de silicio del primer tipo tienen una longitud en un intervalo de 2 a 5  $\mu\text{m}$  y un diámetro en un intervalo de 1 a 5 nm,  
 45 formar una capa intrínseca sobre el sustrato que tiene los nanocables de Si del primer tipo que han crecido sobre el mismo,  
 formar una capa de dopaje del segundo tipo sobre la capa intrínseca, dicha capa de dopaje del segundo tipo teniendo un nivel de impureza menor que la primera capa de poli-Si del tipo ++,  
 50 formar una capa de TCO sobre la capa de dopaje del segundo tipo,  
 formar una capa antirreflectante sobre la capa de TCO, y  
 formar un electrodo frontal.

55 5. El método de la reivindicación 4 que, antes de formar la primera capa de poli-Si del tipo ++, comprende además:  
 formar una capa de TCO sobre el sustrato, y después del crecimiento de los nanocables de Si del primer tipo, comprende además:

60 formar una capa intrínseca sobre el sustrato que tiene los nanocables de Si del primer tipo crecidos sobre el mismo,  
 formar una capa de dopaje del segundo tipo sobre la capa intrínseca, y  
 formar un electrodo posterior.

65 6. El método de la reivindicación 4 que, antes de formar la primera capa de poli-Si del tipo ++, comprende además:  
 formar una capa de TCO sobre el sustrato, y después del crecimiento de los nanocables de Si del primer tipo, comprende además:

formar una capa intrínseca de la célula superior sobre el sustrato que tiene los nanocables de Si del primer tipo que han crecido en la misma,  
 formar una capa de dopaje del segundo tipo de la célula superior sobre la capa intrínseca de célula superior,  
 formar una capa amortiguadora sobre la capa de dopaje del segundo tipo de la célula superior,  
 5 formar una capa de dopaje del primer tipo de la célula inferior sobre la capa amortiguadora,  
 formar una capa intrínseca de la célula inferior sobre la capa de dopaje del primer tipo de la célula inferior,  
 formar una capa de dopaje del segundo tipo de la célula inferior sobre la capa intrínseca de la célula inferior,  
 y  
 10 formar un electrodo posterior.

7. El método de la reivindicación 4, en el que formar la capa de película metálica comprende formar la capa de película metálica usando un método de pulverización catódica o un método de evaporación hasta un espesor en un intervalo de aproximadamente 100 a aproximadamente 150 nm, y en el que en la formación de la capa de película metálica, se usa preferiblemente por lo menos uno seleccionado del grupo que consiste de Au, In, Ga y Sn.

8. El método de la reivindicación 4, en el que en la formación de la capa de película metálica o en el crecimiento de los nano-cables de Si del primer tipo, se usa deposición química de vapor de plasma inductivamente acoplado inductivo o deposición química de vapor de muy alta frecuencia, y en donde, preferiblemente:

- la formación de la capa de película metálica y el crecimiento de los nanocables de Si del primer tipo se realizan en secuencia usando deposición química de vapor en plasma inductivamente acoplado o deposición química de vapor de muy alta frecuencia; o

- la formación de la capa de película metálica comprende formar la capa de película metálica a partir de nanopartículas usando deposición química de vapor de plasma inductivamente acoplado bajo condiciones de procesamiento que incluyen una temperatura del sustrato de aproximadamente 200 a aproximadamente 400° C, una presión de trabajo que varía de aproximadamente 10,64 Pa (80 mTorr) a aproximadamente 19,95 Pa (150 mTorr), un caudal de gas de hidrógeno (H<sub>2</sub>) gas que varía de aproximadamente 100 a aproximadamente 300 sccm, una potencia de plasma que varía de aproximadamente 500 a aproximadamente 700 W, una potencia del susceptor que varía de aproximadamente 30 a aproximadamente 50 W, y un tiempo de procesamiento que varía de aproximadamente 30 a aproximadamente 90 minutos; o

- la formación de la capa de película metálica comprende formar la capa de película metálica a partir de nanopartículas usando deposición química de vapor de muy alta frecuencia bajo condiciones de procesamiento que incluyen una temperatura del sustrato de aproximadamente 200 a aproximadamente 400° C, una presión de trabajo que varía de aproximadamente 6,65 Pa (0,05 Torr) a aproximadamente 2,66 Pa (0,02 Torr), una potencia de plasma que varía de aproximadamente 40 a aproximadamente 60 W, y un tiempo de procesamiento varía de aproximadamente 30 a aproximadamente 60 minutos; o

- el crecimiento de los nanocables de Si del primer tipo comprende permitir que los nanocables de Si del primer tipo crezcan usando deposición química de vapor de plasma inductivamente acoplado bajo condiciones de procesamiento que incluyen una temperatura del sustrato de aproximadamente 200 a aproximadamente 400° C, una presión de trabajo que varía de aproximadamente 9,31 Pa (70 mTorr) a aproximadamente 10,64 Pa (80 mTorr), una proporción de gas silano (SiH<sub>4</sub>) de 0,1 a 0,2, una potencia de plasma que varía de aproximadamente 500 a aproximadamente 700 W, una potencia del susceptor que varía de aproximadamente 30 a aproximadamente 50 W y un tiempo de procesamiento que varía de aproximadamente 1 a aproximadamente 20 minutos, en donde la proporción de gas silano corresponde a una proporción de gas silano en relación con el gas mezclado que contiene gases de silano y de hidrógeno; o

- el crecimiento de los nanocables de Si del primer tipo comprende permitir que los nanocables de Si del primer tipo crezcan usando deposición química de vapor de muy alta frecuencia bajo condiciones de procesamiento que incluyen una temperatura del sustrato de aproximadamente 200 a aproximadamente 400° C, un intervalo de presión de trabajo que varía de aproximadamente 6,65 Pa (0,05 Torr) a aproximadamente 2,66 Pa (0,02 Torr), una proporción de gas silano (SiH<sub>4</sub>) de 0,4 a 0,6, una potencia de plasma que varía de aproximadamente 40 a aproximadamente 60 W, y un tiempo de procesamiento que varía de aproximadamente 30 a unos 60 minutos.

9. El método de la reivindicación 4, que comprende además eliminar metales residuales del sustrato después del crecimiento de los nanocables de Si del primer tipo.

FIG. 1

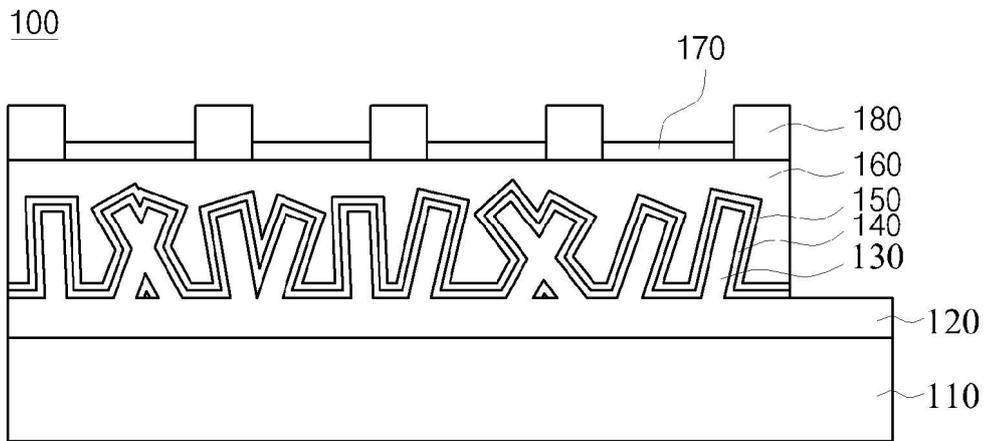


FIG. 2

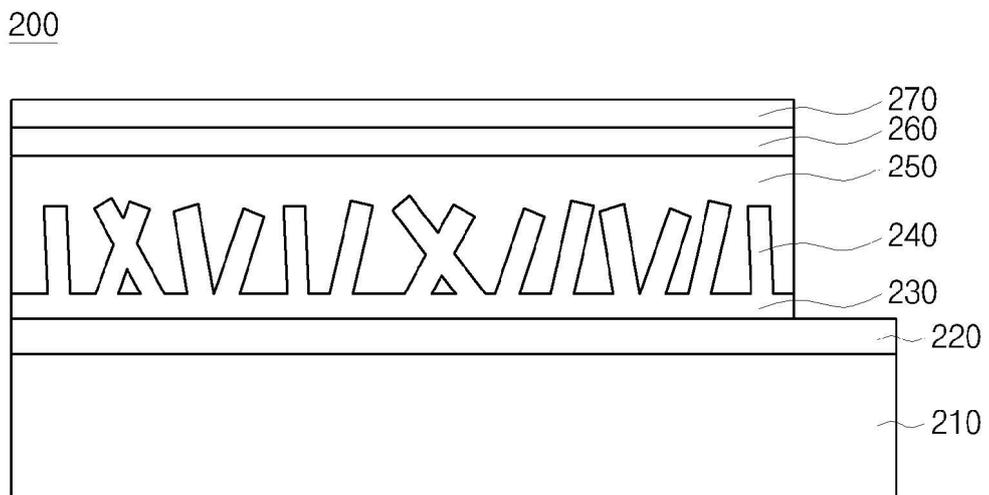


FIG. 3

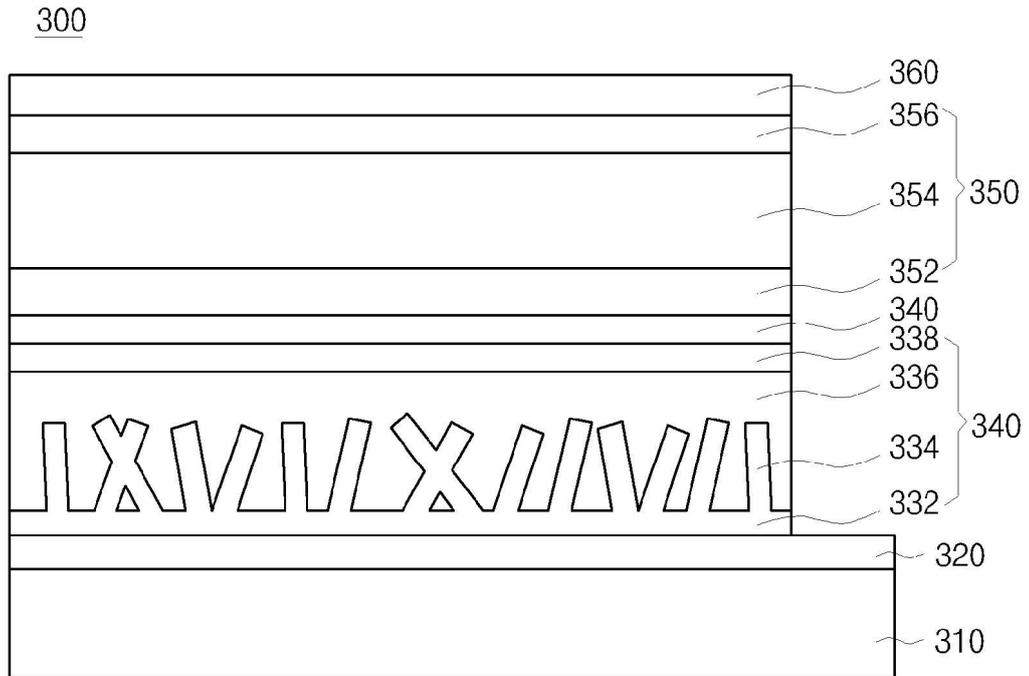


FIG. 4

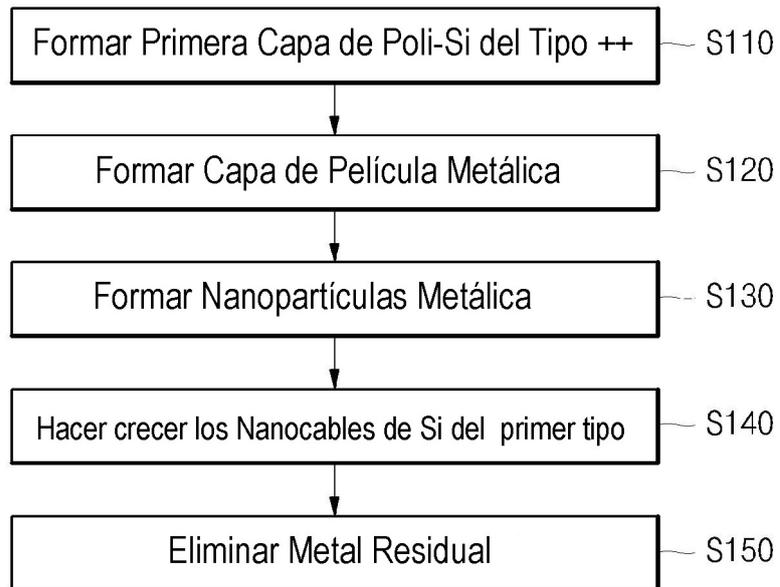


FIG. 5

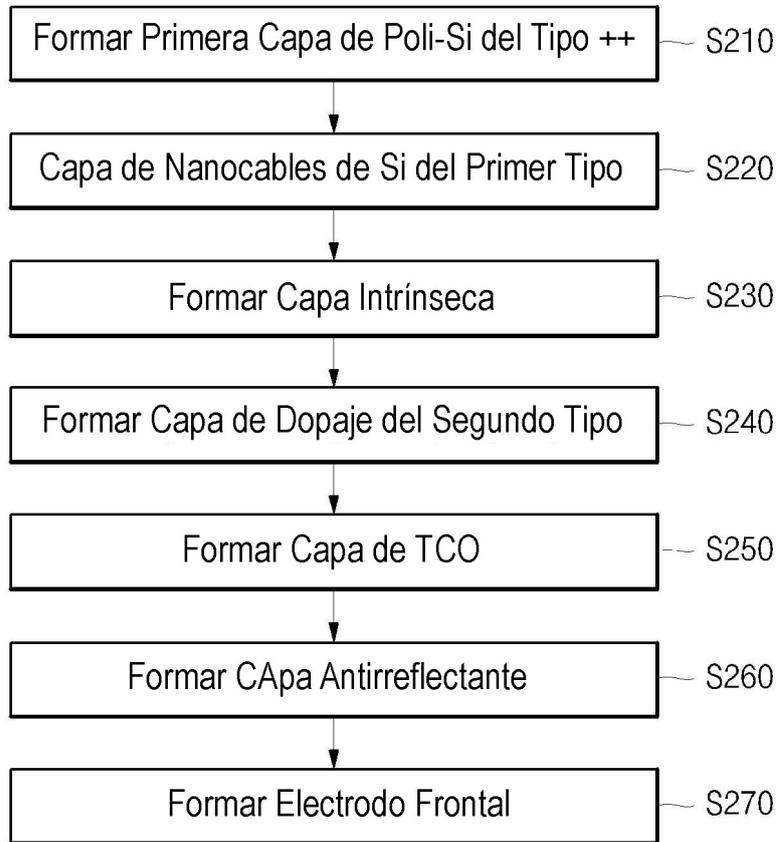


FIG. 6

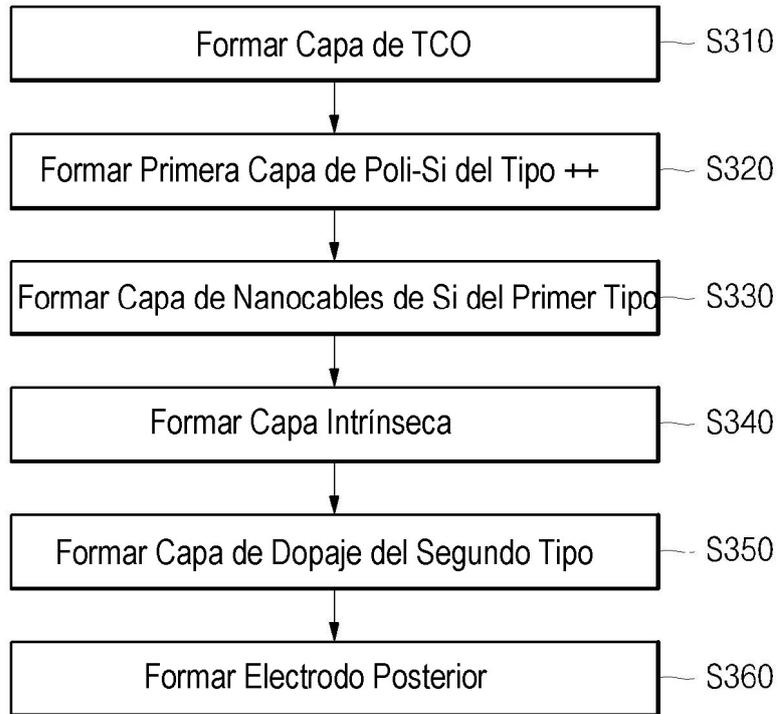


FIG. 7

