

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 926 472**

51 Int. Cl.:

H01L 31/0216 (2014.01)

H01L 31/056 (2014.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **15.06.2020** **E 20179977 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **17.08.2022** **EP 3916815**

54 Título: **Módulo fotovoltaico, célula solar y método para fabricar una célula solar**

30 Prioridad:

29.05.2020 CN 202010477787

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
26.10.2022

73 Titular/es:

**JINKO GREEN ENERGY (SHANGHAI)
MANAGEMENT CO., LTD (50.0%)
Room 1516, No. 238 Jiangchang 3rd Road, Jingan
District
Shanghai, CN y
ZHEJIANG JINKO SOLAR CO., LTD. (50.0%)**

72 Inventor/es:

**YANG, JIE;
LI, WENQI;
YUAN, XUETING;
ZHANG, XINYU y
JIN, HAO**

74 Agente/Representante:

VALLEJO LÓPEZ, Juan Pedro

ES 2 926 472 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

Módulo fotovoltaico, célula solar y método para fabricar una célula solar

5 **Campo técnico**

La presente divulgación se refiere al campo de las células solares, y en particular a un módulo fotovoltaico, una célula solar, y un método para fabricar la célula solar.

10 **Antecedentes**

Actualmente, la eficacia de un emisor pasivado y célula trasera (PERC) puede mejorarse de forma eficaz mediante la mejora de las características de pasivación trasera. Las células PERC existentes adoptan un apilamiento de óxido de aluminio/nitrato de silicio (AlOx/SiNx) como capa de pasivación trasera. Una película de óxido de aluminio contiene una alta densidad de carga negativa fija y una gran cantidad de cargas negativas fijas pueden proteger a los electrones en una superficie de silicio, reduciendo así los electrones que pueden usarse para la recombinación y logrando así el propósito de suprimir la recombinación de portadores en la superficie. Debido a la alta densidad de carga negativa fija, se puede generar un fuerte efecto de pasivación de campo y, por lo tanto, la película de óxido de aluminio se considera una película de pasivación de efecto de campo. Dicha película dieléctrica tiene un buen efecto de pasivación en las superficies de sustrato de tipo p y tipo n, pero da como resultado un alto costo de equipo y una baja capacidad de fabricación y rendimiento, que no es propicio para la fabricación industrial en masa moderna.

Asimismo, la degradación inducida por potencial (DIP) tiene un impacto negativo en la vida útil y el rendimiento de las células solares. Una razón principal de la posible degradación inducida radica en que los iones de Na⁺ dentro del vidrio de un material de encapsulación del módulo fotovoltaico (FV) migran hacia el interior de la célula solar a lo largo de la dirección de la célula solar para destruir una unión p-n, lo que conduce a una atenuación de la potencia del módulo FV y la reducción de la fiabilidad. La célula PERC, incluida la película de pasivación del apilamiento de óxido de aluminio/nitrato de silicio, se encapsula con EVA (etileno-acetato de vinilo) en un módulo fotovoltaico bifacial, lo que implica fenómenos de DIP obvios para sus superficies frontal y trasera. El fenómeno de DIP de la superficie frontal del módulo fotovoltaico puede paliarse cambiando el material de encapsulado por una poliolefina (POE) de mayor precio, pero el fenómeno de DIP de la superficie trasera sigue existiendo.

Por lo tanto, es deseable desarrollar una célula solar y un método para fabricar la célula solar, que pueda mejorar las características de pasivación trasera de la célula solar, reducir la DIP y los costes de fabricación relacionados con la célula solar.

Documento de estado de la técnica (CHEN SUNG-YU ET AL: "Células solares industriales PERC con optimización frontal integrada", 2018 IEEE 7ª CONFERENCIA MUNDIAL SOBRE CONVERSIÓN DE ENERGÍA FOTOVOLTAICA (WCPEC) (UNA CONFERENCIA CONJUNTA DE LA 45ª PVSC del IEEE, 28ª PVSEC y 34ª PVSEC de la UE), IEEE, 10 de junio de 2018 (10-06-2018), páginas 980-982, XP033456542, DOI: 10.1109/PVSC.2018.8547926 [recuperado el 26-11-2018]) divulga células solares industriales PERC con optimización frontal integrada (ver resumen). Documento del estado de la técnica (SEIFFE JOHANNES ET AL: "Pasivación superficial de silicio cristalino mediante deposición química de vapor mejorada con plasma de capas dobles de oxinitruro de silicio y nitrato de silicio ricas en silicio", JOURNAL OF APPLIED PHYSICS, AMERICAN INSTITUTE OF PHYSICS, EE.UU., vol. 109, N.º 3, 3 de febrero de 2011 (03-02-2011), páginas 34105-34105, XP012147486, ISSN: 0021-8979, DOI: 10.1063/1.3544421) divulga la pasivación superficial de silicio cristalino mediante deposición química de vapor mejorada con plasma de capas dobles de oxinitruro de silicio rico en silicio y nitrato de silicio (ver resumen).

Sumario

En un aspecto de la presente divulgación, se proporciona una célula solar. La célula solar incluye una capa semiconductor, que es un sustrato de silicio monocristalino o un sustrato de silicio policristalino, y un apilamiento de películas de pasivación dispuesto sobre una superficie trasera de la capa semiconductor. El apilamiento de la película de pasivación incluye una primera capa de pasivación dispuesta en la superficie trasera de la capa semiconductor e incluye una capa rica en silicio con una concentración de átomos de silicio que varía de $5 \times 10^{21}/\text{cm}^3$ a $2,5 \times 10^{22}/\text{cm}^3$; una segunda capa de pasivación dispuesta sobre una superficie de la primera capa de pasivación y que incluye una capa rica en oxígeno y rica en nitrógeno; y una tercera capa de pasivación dispuesta sobre una superficie de la segunda capa de pasivación y que incluye una pluralidad de películas de nitrato de silicio. La pluralidad de películas de nitrato de silicio de la tercera capa de pasivación tiene diferentes índices de refracción, y para la pluralidad de películas de nitrato de silicio, cuanto más lejos de la capa semiconductor, mayor es la concentración de nitrato de la película de nitrato de silicio, y menor es el índice de refracción de la película de nitrato de silicio; el primer índice de refracción de la primera capa de pasivación es mayor que el segundo índice de refracción de la segunda capa de pasivación y menor que el valor mínimo del tercer índice de refracción de la tercera capa de pasivación; y un índice de refracción de la tercera capa de pasivación está dentro de un intervalo de 2,02 a 2,12. La capa rica en silicio comprende al menos una de una capa de película de oxinitruro de silicio rica en silicio, una capa de película de oxycarburo de silicio rica en silicio, o una capa de película de carburo de oxinitruro de silicio rica en silicio. La capa rica

en oxígeno y rica en nitrógeno comprende una capa de película de oxinitruro de silicio rica en oxígeno y rica en nitrógeno o una capa de película de carburo de oxinitruro de silicio rica en oxígeno y rica en nitrógeno. La primera capa de pasivación tiene un espesor que varía de 30 nm a 60 nm; la segunda capa de pasivación tiene un espesor que varía de 60 nm a 90 nm; y la tercera capa de pasivación tiene un espesor que varía de 60 nm a 100 nm.

5

En algunas realizaciones, el primer índice de refracción varía de 1,69 a 1,90.

En algunas realizaciones, el segundo índice de refracción varía de 1,5 a 1,8.

- 10 En otro aspecto de la presente divulgación, se proporciona un módulo fotovoltaico. El módulo fotovoltaico incluye al menos una célula solar configurada para convertir la energía luminosa recibida en energía eléctrica. Cada una de las al menos una célula solar incluye una capa semiconductor, que es un sustrato de silicio monocristalino o un sustrato de silicio policristalino, y un apilamiento de películas de pasivación dispuesto sobre una superficie trasera de la capa semiconductor. El apilamiento de la película de pasivación incluye una primera capa de pasivación dispuesta en la
- 15 superficie trasera de la capa semiconductor e incluye una capa rica en silicio con una concentración de átomos de silicio que varía de $5 \times 10^{21}/\text{cm}^3$ a $2,5 \times 10^{22}/\text{cm}^3$; una segunda capa de pasivación dispuesta sobre una superficie de la primera capa de pasivación y que incluye una capa rica en oxígeno y rica en nitrógeno; y una tercera capa de pasivación dispuesta sobre una superficie de la segunda capa de pasivación y que incluye una pluralidad de películas de nitruro de silicio. La pluralidad de películas de nitruro de silicio de la tercera capa de pasivación tiene diferentes
- 20 índices de refracción, y para la pluralidad de películas de nitruro de silicio, cuanto más lejos de la capa semiconductor, mayor es la concentración de nitruro de la película de nitruro de silicio, y menor es el índice de refracción de la película de nitruro de silicio; el primer índice de refracción de la primera capa de pasivación es mayor que el segundo índice de refracción de la segunda capa de pasivación y menor que el valor mínimo del tercer índice de refracción de la tercera capa de pasivación; y un índice de refracción de la tercera capa de pasivación está dentro de un intervalo de
- 25 2,02 a 2,12. La capa rica en silicio comprende al menos una de una capa de película de oxinitruro de silicio rica en silicio, una capa de película de oxicarburo de silicio rica en silicio, o una capa de película de carburo de oxinitruro de silicio rica en silicio. La capa rica en oxígeno y rica en nitrógeno comprende una capa de película de oxinitruro de silicio rica en oxígeno y rica en nitrógeno o una capa de película de carburo de oxinitruro de silicio rica en oxígeno y rica en nitrógeno. La primera capa de pasivación tiene un espesor que varía de 30 nm a 60 nm; la segunda capa de pasivación
- 30 tiene un espesor que varía de 60 nm a 90 nm; y la tercera capa de pasivación tiene un espesor que varía de 60 nm a 100 nm.

- En otro aspecto de la presente divulgación, se proporciona un método para fabricar una célula solar. El método incluye: depositar secuencialmente una primera capa de pasivación, una segunda capa de pasivación y una tercera capa de
- 35 pasivación sobre una superficie trasera de una capa semiconductor para formar un apilamiento de películas de pasivación. La célula solar incluye una capa semiconductor, que es un sustrato de silicio monocristalino o un sustrato de silicio policristalino, y un apilamiento de películas de pasivación dispuesto sobre una superficie trasera de la capa semiconductor. El apilamiento de la película de pasivación incluye una primera capa de pasivación dispuesta en la superficie trasera de la capa semiconductor e incluye una capa rica en silicio con una concentración de átomos de
- 40 silicio que varía de $5 \times 10^{21}/\text{cm}^3$ a $2,5 \times 10^{22}/\text{cm}^3$; una segunda capa de pasivación dispuesta sobre una superficie de la primera capa de pasivación y que incluye una capa rica en oxígeno y rica en nitrógeno; y una tercera capa de pasivación dispuesta sobre una superficie de la segunda capa de pasivación y que incluye una pluralidad de películas de nitruro de silicio. La pluralidad de películas de nitruro de silicio de la tercera capa de pasivación tiene diferentes
- 45 índices de refracción, y para la pluralidad de películas de nitruro de silicio, cuanto más lejos de la capa semiconductor, mayor es la concentración de nitruro de la película de nitruro de silicio, y menor es el índice de refracción de la película de nitruro de silicio; el primer índice de refracción de la primera capa de pasivación es mayor que el segundo índice de refracción de la segunda capa de pasivación y menor que el valor mínimo del tercer índice de refracción de la tercera capa de pasivación; y un índice de refracción de la tercera capa de pasivación está dentro de un intervalo de
- 50 2,02 a 2,12. La capa rica en silicio comprende al menos una de una capa de película de oxinitruro de silicio rica en silicio, una capa de película de oxicarburo de silicio rica en silicio, o una capa de película de carburo de oxinitruro de silicio rica en silicio. La capa rica en oxígeno y rica en nitrógeno comprende una capa de película de oxinitruro de silicio rica en oxígeno y rica en nitrógeno o una capa de película de carburo de oxinitruro de silicio rica en oxígeno y rica en nitrógeno. La primera capa de pasivación tiene un espesor que varía de 30 nm a 60 nm; la segunda capa de pasivación
- 55 tiene un espesor que varía de 60 nm a 90 nm; y la tercera capa de pasivación tiene un espesor que varía de 60 nm a 100 nm.

- En algunas realizaciones, la primera capa de pasivación se deposita con reactantes que incluyen silano (SiH_4), amoníaco (NH_3), óxido nitroso (N_2O) y nitrógeno (N_2), en donde una relación de flujo de SiH_4 a ($\text{NH}_3 + \text{N}_2\text{O}$) varía de 1:15 a 1:19, y una relación de flujo de NH_3 a N_2O varía de 1:3 a 1:6. La segunda capa de pasivación se deposita con
- 60 reactantes que incluyen silano (SiH_4), amoníaco (NH_3), óxido nitroso (N_2O) y nitrógeno (N_2), en donde una relación de flujo de SiH_4 a ($\text{NH}_3 + \text{N}_2\text{O}$) varía de 1:13 a 1:17, y una relación de flujo de NH_3 a N_2O varía de 1:8 a 1:12. La tercera capa de pasivación se deposita con reactantes que incluyen silano (SiH_4), amoníaco (NH_3) y nitrógeno (N_2), en donde una relación de flujo de SiH_4 a NH_3 varía de 1:5 a 1:10.

- 65 En comparación con la célula solar pasivada con una capa de pasivación convencional que incluye Al_2O_3 , el uso de una película de pasivación sin Al_2O_3 mejora eficazmente las características de pasivación trasera de la célula solar,

reduce la DIP del módulo fotovoltaico y reduce los costes de fabricación.

Breve descripción de los dibujos

- 5 La FIG. 1 es un diagrama esquemático que ilustra una célula solar de ejemplo de acuerdo con algunas realizaciones de la presente divulgación;
La FIG. 2 es un diagrama de flujo que ilustra un proceso de ejemplo para fabricar una célula solar de acuerdo con algunas realizaciones de la presente divulgación;
La FIG. 3 es un diagrama esquemático que ilustra un proceso de ejemplo para fabricar una célula solar de acuerdo
10 con algunas realizaciones de la presente divulgación; y
La FIG. 4 es un diagrama esquemático que ilustra una célula solar de ejemplo de acuerdo con algunas realizaciones de la presente divulgación.

Descripción de realizaciones

- 15 Las realizaciones de la presente divulgación se describirán a continuación junto con los dibujos. Cabe señalar que las realizaciones implicadas en esta descripción no son exhaustivas y no representan las realizaciones exclusivas de la presente divulgación. Los siguientes ejemplos correspondientes son solo para ilustrar claramente el contenido de la presente divulgación y no pretenden limitar las realizaciones de la presente divulgación. Para los expertos en la
20 materia, se pueden realizar varios cambios y modificaciones a partir de la descripción de estas realizaciones, y cualquier cambio o modificación evidente que pertenezca al concepto técnico y al contenido de la invención de la presente divulgación deberá estar dentro del alcance de protección de la presente divulgación.

- La terminología utilizada en el presente documento tiene el propósito de describir realizaciones de ejemplo particulares
25 solamente y no pretende ser limitante. Como se utiliza en el presente documento, las formas en singular "un/uno", "una", y "el/la" pueden pretender incluir las formas en plural también, a menos que el contexto indique claramente lo contrario. Se entenderá además que los términos y expresiones "comprender", "comprende", y/o "que comprende", "incluir", "incluye", y/o "que incluyendo", cuando se usan en esta divulgación, especifican la presencia de características, números enteros, etapas, operaciones, elementos y/o componentes indicados, pero no excluyen la
30 presencia ni la adición de otra u otras características, números enteros, etapas, operaciones, elementos, componentes y/o grupos de los mismos.

- Estos y otros distintivos, y características de la presente divulgación, así como los métodos de operación y funciones de los elementos relacionados de la estructura y la combinación de partes y economías de fabricación, puede ser más
35 evidente al considerar la siguiente descripción con referencia a los dibujos adjuntos, todos los cuales forman parte de la presente divulgación. Debe entenderse expresamente, sin embargo, que los dibujos tienen únicamente fines ilustrativos y descriptivos y no pretenden limitar el alcance de la presente divulgación. Se entiende que los dibujos no están a escala.

- 40 Los diagramas de flujo utilizados en la presente divulgación ilustran operaciones que los sistemas implementan de acuerdo con algunas realizaciones de la presente divulgación. Debe entenderse expresamente, las operaciones del diagrama de flujo pueden implementarse sin orden. En cambio, las operaciones pueden implementarse en orden inverso, o simultáneamente. Además, se pueden agregar una o más operaciones a los diagramas de flujo. Se pueden
eliminar una o más operaciones de los diagramas de flujo.

- 45 La FIG. 1 es un diagrama esquemático que ilustra una célula solar de ejemplo de acuerdo con algunas realizaciones de la presente divulgación. Como se muestra en la FIG. 1, una célula solar incluye al menos una capa semiconductora 1 y un apilamiento de películas de pasivación 2 dispuesto sobre una superficie trasera de la capa semiconductora 1. En algunas realizaciones, la capa semiconductora 1 puede incluir un sustrato de silicio. Los sustratos de silicio de ejemplo pueden incluir, pero sin limitación, un sustrato de silicio monocristalino o un sustrato de silicio policristalino. Por ejemplo, la capa semiconductora 1 puede incluir un sustrato de silicio monocristalino. El apilamiento de películas de pasivación 2 incluye dos o más capas de pasivación. En algunas realizaciones, el apilamiento de películas de pasivación 2 incluye una primera capa de pasivación 21, una segunda capa de pasivación 22 y una tercera capa de pasivación 23. En una dirección que se extiende hacia afuera desde la superficie trasera de la capa semiconductora
50 1, la primera capa de pasivación 21 está ubicada sobre la superficie trasera de la capa semiconductora 1, la segunda capa de pasivación 22 está ubicada sobre una superficie de la primera capa de pasivación 21, y la tercera capa de pasivación 23 está ubicada sobre una superficie de la segunda capa de pasivación 22. En algunas realizaciones, puede haber varias secuencias para las respectivas capas del apilamiento de películas de pasivación 2, que no se limitará a la secuencia mostrada en la FIG. 1.

- 60 Como alternativa o adicionalmente, se puede formar al menos una capa de óxido de silicio (no mostrada en la FIG. 1) entre la primera capa de pasivación 21 y la capa semiconductora 1. En algunas realizaciones, el espesor de la al menos una capa de óxido de silicio puede estar en un intervalo de 1 nm a 10 nm. Por ejemplo, un espesor preferible de la al menos una capa de óxido de silicio puede estar en el intervalo de 1 nm a 3 nm. En algunas realizaciones, la
65 capa de óxido de silicio puede ser parte de la primera capa de pasivación 21. En algunas realizaciones, la capa de óxido de silicio puede ser parte de la capa semiconductora 1.

En algunas realizaciones, las capas respectivas del apilamiento de películas de pasivación 2 pueden depositarse mediante deposición de capa atómica, deposición química de vapor, deposición química de vapor aumentada, o deposición física, etc.

5

La primera capa de pasivación 21 incluye una capa rica en silicio, que tiene una concentración de átomos de silicio que varía de $5 \times 10^{21}/\text{cm}^3$ a $2,5 \times 10^{22}/\text{cm}^3$. La capa rica en silicio incluye al menos una capa de película de oxinitruro de silicio (SiOxNy), una capa de película de oxicarburo de silicio (SiOxCy) o una capa de película de carburo de oxinitruro de silicio (SiOxNyCz). La primera capa de pasivación 21 se puede preparar por varios medios, tales como

10

Las características de coincidencia de alta red entre la capa rica en silicio y la capa semiconductor 1 (por ejemplo, el sustrato de silicio) pueden usarse para pasivar los enlaces colgantes de la capa semiconductor 1 depositando la primera capa de pasivación 21 sobre la capa semiconductor 1. Además, ya que la capa de pasivación preparada por deposición (por ejemplo, deposición química de vapor, deposición de capa atómica, deposición química de vapor mejorada con plasma, etc.) es amorfa, es inevitable que existan algunas dislocaciones de la red y los centros de defectos resultantes. Para resolver este problema, un gas que contiene hidrógeno, como el amoníaco (NH_3), vapor de agua (H_2O), silano (SiH_4) etc., puede utilizarse como materia prima para depositar la primera capa de pasivación 21.

15

20

Dado que la primera capa de pasivación 21 es rica en átomos de silicio, un primer índice de refracción de la primera capa de pasivación 21 es relativamente alto. En algunas realizaciones, el primer índice de refracción puede estar en un intervalo de 1,69 a 1,90. En algunas realizaciones, el primer índice de refracción puede estar en un intervalo de 1,69 a 1,75. En algunas realizaciones, el primer índice de refracción puede estar en un intervalo de 1,75 a 1,90. Meramente como ilustración, la primera capa de pasivación 21 puede prepararse depositando una primera película de oxinitruro de silicio, cuyo índice de refracción varía de 1,71 a 1,75.

25

La primera capa de pasivación 21 no puede tener un espesor relativamente grande, de lo contrario, puede verse afectado un efecto óptico de toda la película de pasivación (por ejemplo, el apilamiento de películas de pasivación 2) de la célula solar. En algunas realizaciones, una capa de película rica en silicio y rica en hidrógeno tiene un espesor en un intervalo de 30 nm a 60 nm.

30

La segunda capa de pasivación 22 incluye una capa de película rica en oxígeno y rica en nitrógeno. La segunda capa de pasivación 22 incluye una capa de película de oxinitruro de silicio rica en oxígeno y rica en nitrógeno o una capa de película de carburo de oxinitruro de silicio. En algunas realizaciones, la capa de pasivación rica en oxígeno y rica en nitrógeno se puede preparar ajustando la relación nitrógeno-oxígeno (N:O) de la capa de película de oxinitruro de silicio rica en hidrógeno y rica en silicio o la capa de película de carburo de oxinitruro de silicio. Las concentraciones de átomos de oxígeno y átomos de nitrógeno son relativamente altas.

35

La capa de película rica en oxígeno y rica en nitrógeno puede evitar que el hidrógeno en la primera capa de pasivación 21 se desborde durante un tratamiento a alta temperatura, para optimizar el efecto de pasivación. Además, la capa de película rica en oxígeno y rica en nitrógeno puede tener una mejor resistencia a la intemperie, un rendimiento de pasivación más estable cuando se aplica un voltaje, como en un entorno de prueba de DIP.

40

La segunda capa de pasivación 22 es rica en oxígeno y nitrógeno, el mayor contenido de oxígeno puede reducir la resistencia a la corrosión de la capa de pasivación. Por lo tanto, para garantizar la densidad y la resistencia a la corrosión de todo el apilamiento de películas de pasivación, la segunda capa de pasivación 22 puede no estar diseñada para tener un gran espesor. En algunas realizaciones, el espesor de la segunda capa de pasivación 22 varía de 60 nm a 90 nm.

45

En algunas realizaciones, la segunda capa de pasivación 22 puede incluir una capa de película rica en oxígeno y rica en hidrógeno, su índice de refracción (es decir, un segundo índice de refracción) es ligeramente inferior al de la primera capa de pasivación 21. En algunas realizaciones, el segundo índice de refracción de la segunda capa de pasivación 22 varía de 1,5 a 1,8. Por ejemplo, el segundo índice de refracción de la segunda capa de pasivación 22 varía de 1,5 a 1,61. Como otro ejemplo, el segundo índice de refracción de la segunda capa de pasivación 22 varía de 1,61 a 1,68. Como ejemplo adicional, el segundo índice de refracción de la segunda capa de pasivación 22 varía de 1,68 a 1,8. Incluso como un ejemplo, el segundo índice de refracción de la segunda capa de pasivación 22 es 1,7.

50

En algunos ejemplos útiles para comprender la divulgación pero parte de la invención, la tercera capa de pasivación 23 incluye al menos una película de nitruro de silicio con un índice de refracción de gradiente variable. Como se utiliza en el presente documento, un índice de refracción de la tercera capa de pasivación 23 puede representarse como un tercer índice de refracción. Por ejemplo, la tercera capa de pasivación 23 puede incluir una pluralidad de películas de nitruro de silicio, y los índices de refracción de las películas de nitruro de silicio pueden ser diferentes y de gradiente variable. La película de nitruro de silicio puede tener una buena compacidad y una fuerte resistencia a la intemperie. Después de sinterizarse a alta temperatura, la película de nitruro de silicio puede tener una mayor compacidad y resistencia a la corrosión, que puede evitar que una pasta metálica dañe las películas de pasivación primera y segunda

60

65

formadas sobre la superficie de la capa semiconductor 1. Asimismo, la DIP de un módulo fotovoltaico que utiliza la célula solar puede reducirse.

En algunas realizaciones, la tercera capa de pasivación 23 puede estar compuesta por una primera película de nitruro de silicio, una segunda película de nitruro de silicio y una tercera película de nitruro de silicio. Estas tres películas de nitruro de silicio pueden tener su respectivo índice de refracción. Por ejemplo, un primer índice de refracción de la primera película de nitruro de silicio es 2,02, un segundo índice de refracción de la segunda película de nitruro de silicio es 2,03 y un tercer índice de refracción de la tercera película de nitruro de silicio es 2,04. Los índices de refracción de la primera, segunda y tercera películas de nitruro de silicio varían en gradiente.

La pluralidad de películas de nitruro de silicio se designa como una capa completa de nitruro de silicio (por ejemplo, un apilamiento de nitruro de silicio). El índice de refracción de toda la capa de nitruro de silicio está en un intervalo de 2,02 a 2,12. Al menos una parte de la pluralidad de películas de nitruro de silicio puede tener diferentes proporciones de silicio a nitrógeno (Si:N). Cuanto más lejos de la capa semiconductor está una película de nitruro de silicio, mayor es la concentración de nitruro de la película de nitruro de silicio, y menor es el índice de refracción de la película de nitruro de silicio. Se puede lograr un mejor efecto óptico del apilamiento de películas de pasivación 2. En algunas realizaciones, el espesor de la tercera capa de pasivación 23 está en un intervalo de 60 nm a 100 nm.

En algunos ejemplos útiles para comprender la descripción pero que forman parte de la invención, la tercera capa de pasivación 23 puede estar compuesta por una película de nitruro de silicio. El índice de refracción de la película de nitruro de silicio está en un intervalo de 2,02 a 2,12. El espesor de la película de nitruro de silicio está en un intervalo de 60 nm a 100 nm.

En algunas realizaciones, una suma de espesores de capas del apilamiento de películas de pasivación 2 está en un intervalo de 160 nm a 260 nm. Puede entenderse que el grosor de cada capa del apilamiento de películas de pasivación 2 puede ajustarse para lograr un mejor efecto de pasivación trasera, y no pretende limitarse en el presente documento. Para lograr un mejor rendimiento de pasivación, en el apilamiento de películas de pasivación, el primer índice de refracción de la primera capa de pasivación es mayor que el segundo índice de refracción de la segunda capa de pasivación y menor que el tercer índice de refracción de la tercera capa de pasivación.

De nuevo con referencia a la FIG. 1, la célula solar incluye además una capa de difusión 3 dispuesta sobre una superficie frontal de la capa semiconductor 1. La capa de difusión 3 puede denominarse emisor. La capa de difusión 3 puede incluir una capa de difusión dopada con fósforo o una capa de difusión dopada con boro. En algunas realizaciones, para una capa semiconductor tipo P, la capa de difusión 3 es una capa de difusión dopada con fósforo. En algunas realizaciones, para una capa semiconductor de tipo N, la capa de difusión 3 es una capa de difusión dopada con boro. Se puede formar una unión P-N entre la capa de difusión 3 y la capa semiconductor 1. En algunas realizaciones, un espesor de la capa semiconductor 1 puede estar en un intervalo de 160 μm a 220 μm .

De nuevo con referencia a la FIG. 1, se proporciona además una capa antirreflectante 4 sobre una superficie de la capa de difusión 3. En algunas realizaciones, la capa antirreflectante 4 puede ser una estructura de película multicapa, incluyendo pero no limitado a una capa de película de óxido de aluminio, una capa de película de nitruro de silicio, una capa de película de oxinitruro de silicio, o similar, o cualquier combinación de los mismos. En algunas realizaciones, la capa antirreflectante 4 puede incluir una capa de película similar o sustancialmente igual al apilamiento de películas de pasivación 2. La capa antirreflectante 4 no solo puede reducir el reflejo de la luz que incide sobre la célula solar, sino también pasivar la superficie de la célula solar. En algunas realizaciones, la capa antirreflectante 4 puede denominarse capa de pasivación frontal.

Cabe señalar que la superficie frontal de la capa semiconductor 1 descrita en el presente documento puede referirse a una superficie dirigida hacia el sol, es decir, una superficie receptora de luz. En un modo de funcionamiento normal, la luz del sol golpea directamente la superficie receptora de luz. La superficie trasera de la capa semiconductor 1 es una superficie opuesta a la superficie receptora de luz.

La capa semiconductor 1 incluye un sustrato de silicio monocristalino o un sustrato de silicio policristalino. Por ejemplo, la capa semiconductor 1 es un sustrato de silicio monocristalino. En algunas realizaciones, una resistividad de la capa semiconductor 1 puede estar en un intervalo de 0,5 $\Omega\cdot\text{cm}$ a 3,5 $\Omega\cdot\text{cm}$. En algunas realizaciones, la resistividad puede estar en un intervalo de 0,5 $\Omega\cdot\text{cm}$ a 2,5 $\Omega\cdot\text{cm}$. En algunas realizaciones, la resistividad puede estar en un intervalo de 2,5 $\Omega\cdot\text{cm}$ a 3,5 $\Omega\cdot\text{cm}$. De manera alternativa, la resistividad de la capa semiconductor 1 es de 2,0 $\Omega\cdot\text{cm}$.

En algunas realizaciones, sobre la superficie trasera de la capa semiconductor 1 puede disponerse al menos un electrodo trasero (no mostrado en la FIG. 1). Al menos una parte del al menos un electrodo trasero puede disponerse sobre la superficie del apilamiento de películas de pasivación 2, por ejemplo, dispuesto sobre la superficie de la tercera capa de pasivación 23. El al menos un electrodo trasero puede penetrar y/o penetrar parcialmente a través del apilamiento de películas de pasivación 2 para formar un contacto óhmico con la capa semiconductor 1. Por ejemplo, se puede imprimir una pasta conductora sobre la superficie trasera de la capa semiconductor 1 mediante una técnica de serigrafía, secarse a continuación para formar electrodos traseros en forma de rejilla. La pasta conductora de los

electrodos traseros puede incluir una pasta conductora de plata con penetrabilidad, que puede penetrar a través de cada capa del apilamiento de películas de pasivación 2 después de ser sinterizada para conectarse eléctricamente a la capa semiconductora 1.

5 En algunas realizaciones, al menos un electrodo frontal puede estar dispuesto sobre la superficie frontal de la capa semiconductora 1 (no mostrada en la FIG. 1). Al menos una parte del al menos un electrodo frontal puede disponerse sobre la superficie de la capa antirreflectante 4. Similar a los electrodos traseros, el al menos un electrodo frontal puede formarse mediante la técnica de serigrafía.

10 Puede entenderse que la estructura del apilamiento de películas de pasivación ilustrada en la FIG. 1 se puede utilizar para preparar diferentes células solares, como una célula solar PERC, una célula solar de contacto trasero interdigitado (IBC), una célula solar de heterounión de silicio (SHJ), una célula solar de contacto trasero interdigitado y heterounión (HBC), una célula solar de contacto de pasivación de óxido de túnel (TOPCon), una célula solar de contacto de pasivación selectiva de óxido de polisilicio (POLO), etc.

15 En algunas realizaciones, al menos una célula solar con el apilamiento de películas de pasivación 2 puede usarse para formar un módulo fotovoltaico. El módulo fotovoltaico puede incluir, pero sin limitación, un módulo fotovoltaico en tejas, un módulo fotovoltaico bifacial, un módulo fotovoltaico de multibarras colectoras (MBB). Por ejemplo, se puede proporcionar al menos una cadena de células, que está compuesta por al menos una célula solar. La al menos una
20 cadena puede estar conectada operativamente a través de un material de conexión conductor, como una soldadura conductora o un adhesivo conductor. La laminación para la cadena conectada se puede operar con una placa trasera y un copolímero de etileno-acetato de vinilo (EVA) de acuerdo con una secuencia determinada, y a continuación se puede instalar un marco para formar el módulo fotovoltaico. La al menos una célula solar puede usarse para convertir la energía luminosa recibida en energía eléctrica. El módulo fotovoltaico puede además enviar la energía eléctrica a
25 una carga.

En comparación con la célula solar pasivada con una capa de pasivación convencional que incluye Al_2O_3 , el uso de película de pasivación sin Al_2O_3 puede mejorar efectivamente las características de pasivación trasera de la célula solar, reduce la DIP del módulo fotovoltaico y reduce los costes de fabricación.

30 La FIG. 2 es un diagrama de flujo que ilustra un proceso de ejemplo para fabricar una célula solar de acuerdo con una realización de la presente divulgación. Por ejemplo, se puede fabricar la célula solar con el apilamiento de películas de pasivación 2 ilustrada en la Fig. 1.

35 En S201, la capa semiconductora (por ejemplo, la capa semiconductora 1 ilustrada en la FIG. 1) puede estar texturizada.

Por ejemplo, la capa semiconductora 1 puede texturizarse mediante un proceso de texturizado en húmedo. En algunas realizaciones, cuando la capa semiconductora incluye un silicio monocristalino, se puede utilizar para texturizar una
40 solución alcalina, tal como una solución de hidróxido de potasio. En algunas realizaciones, cuando la capa semiconductora incluye polisilicio, se puede utilizar para texturizar una solución ácida, tal como una solución de ácido fluorhídrico.

45 Después del texturizado, la superficie (por ejemplo, la superficie frontal) de la capa semiconductora puede tener una estructura texturizada. La estructura texturizada de ejemplo puede ser una estructura piramidal que tiene un efecto de captura de luz, para aumentar la absorción de la luz que incide sobre la célula solar, mejorando así la eficiencia de la célula solar.

50 En algunas realizaciones, la capa semiconductora puede limpiarse (por ejemplo, mediante limpieza ultrasónica) antes del texturizado, para eliminar las impurezas, tales como metales y contaminantes orgánicos en la(s) superficie(s) de la capa semiconductora.

En S202, se puede formar una capa de difusión sobre una superficie frontal de la capa semiconductora (por ejemplo, una superficie receptora de luz de la capa semiconductora 1).

55 Con referencia a la FIG. 3, se forma una capa de difusión 302 sobre la capa semiconductora 301. La capa semiconductora 301 puede ser similar o igual a la capa semiconductora 1 ilustrada en la FIG. 1. En algunas realizaciones, la capa de difusión 302 puede incluir, pero sin limitación, una capa de difusión dopada con fósforo, una capa de difusión dopada con boro. Por ejemplo, cuando la capa de difusión 302 es la capa de difusión dopada con fósforo, una resistencia laminar de la capa de difusión 302 varía de 140 Ω a 150 Ω .
60

Meramente como ilustración, la capa semiconductora 301 puede colocarse en un horno de difusión de tipo tubo, se utiliza oxiclورو de fósforo se utiliza como fuente dopante y la temperatura de difusión se establece en aproximadamente 850 $^{\circ}\text{C}$. En las condiciones de difusión, se puede formar la capa de difusión dopada con fósforo 302
65 y su resistencia laminar varía de 140 Ω a 150 Ω .

En S203, se puede realizar un dopado con láser de emisor selectivo (ES) en la superficie frontal de la capa semiconductora para formar una región ligeramente dopada y una región fuertemente dopada. En algunas realizaciones, la operación 203 puede omitirse.

- 5 En S204, se puede realizar un proceso de decapado. La capa semiconductora se puede decapar con ácido fluorhídrico para eliminar el vidrio de fósforo y silicio (PSG).

- 10 En S205, se puede realizar un proceso de oxidación (por ejemplo, oxidación térmica). La oxidación térmica se puede utilizar para mejorar la pasivación de la célula solar. En algunas realizaciones, se puede depositar al menos una capa de óxido de silicio sobre la(s) superficie(s) de la capa semiconductora mediante un proceso de oxidación térmica. En algunas realizaciones, el espesor de la al menos una capa de óxido de silicio puede estar en un intervalo de 1 nm a 10 nm. Por ejemplo, un espesor preferible de la al menos una capa de óxido de silicio puede estar en el intervalo de 1 nm a 3 nm.

- 15 El proceso de pasivación debe realizarse mediante al menos uno de deposición química de vapor mejorada con plasma (PECVD), deposición de capa atómica (ALD), deposición química de vapor (CVD) y deposición física de vapor (PVD), o similares.

- 20 En algunas realizaciones, el apilamiento de películas de pasivación en la superficie trasera de la capa semiconductora puede formarse de acuerdo con las operaciones S206-S208.

- 25 En S206, se puede formar una primera capa de pasivación en la superficie trasera de la capa semiconductora. En algunas realizaciones, la primera capa de pasivación puede disponerse sobre la superficie de la capa de óxido de silicio. En algunas realizaciones, la capa de óxido de silicio puede ser parte de la primera capa de pasivación.

- 30 Con referencia a la FIG. 3, se prepara una primera capa de pasivación 303 en la superficie trasera de la capa semiconductora 301. En algunas realizaciones, la primera capa de pasivación 303 se prepara mediante PECVD de acuerdo con las primeras condiciones de preparación. Las primeras condiciones de preparación pueden incluir reactantes, al menos una relación de flujo entre los reactantes, una potencia para la preparación, una presión para la preparación y/o una temperatura de deposición para la preparación. Específicamente, los reactantes incluyen silano (SiH_4), amoníaco (NH_3), óxido nitroso (N_2O) y nitrógeno (N_2). La relación de flujo de SiH_4 a ($\text{NH}_3 + \text{N}_2\text{O}$) varía de 1:15 a 1:19, y la relación de flujo de NH_3 a N_2O varía de 1:3 a 1:6. La potencia varía de 8000 W a 10000 W. La presión varía de 1150 Pa a 1450 Pa. La temperatura de deposición varía de 460 °C a 540 °C.

- 35 En algunas realizaciones, en las condiciones de preparación, la primera capa de pasivación preparada 303 puede incluir una capa rica en silicio. Una concentración de átomos de silicio de la primera capa de pasivación 303 puede estar en un intervalo de $5 \times 10^{21}/\text{cm}^3$ a $2,5 \times 10^{22}/\text{cm}^3$. La primera capa de pasivación 302 puede incluir una capa de oxinitruro de silicio.

- 40 Dado que la primera capa de pasivación 21 es rica en átomos de silicio, el índice de refracción de la primera capa de pasivación 21 es relativamente alto. En algunas realizaciones, el índice de refracción puede estar en un intervalo de 1,69 a 1,90. En algunas realizaciones, el índice de refracción puede estar en un intervalo de 1,69 a 1,75. En algunas realizaciones, el índice de refracción puede estar en un intervalo de 1,75 a 1,90. Meramente como ilustración, la primera capa de pasivación 303 (o la primera capa de pasivación 21) puede prepararse depositando una primera película de oxinitruro de silicio, cuyo índice de refracción varía de 1,71 a 1,75.

- 45 En algunas realizaciones, la primera capa de pasivación 303 (o la primera capa de pasivación 21) no puede tener un espesor relativamente grande, de lo contrario, puede verse afectado un efecto óptico de toda la película de pasivación (por ejemplo, el apilamiento de películas de pasivación 2) de la célula solar. En algunas realizaciones, una capa de película rica en silicio y rica en hidrógeno que tenga un espesor que no exceda los 100 nm puede usarse como la primera capa de pasivación 303. En algunas realizaciones, el espesor de la primera capa de pasivación 21 está en un intervalo de 30 nm a 60 nm.

- 55 En S207, se puede formar una segunda capa de pasivación en una superficie inferior de la primera capa de pasivación.

- 60 Con referencia a la FIG. 3, se forma una segunda capa de pasivación 304 sobre la superficie de la primera capa de pasivación 303. En algunas realizaciones, la segunda capa de pasivación 304 (o la segunda capa de pasivación 22) se prepara mediante PECVD de acuerdo con las segundas condiciones de preparación. Las segundas condiciones de preparación pueden incluir segundos reactantes, al menos una segunda relación de flujo entre los segundos reactantes, una segunda potencia para la preparación, una segunda presión para la preparación y/o una segunda temperatura de deposición para la preparación. Específicamente, los reactantes pueden incluir silano (SiH_4), amoníaco (NH_3), óxido nitroso (N_2O) y nitrógeno (N_2). La segunda relación de SiH_4 a ($\text{NH}_3 + \text{N}_2\text{O}$) varía de 1:13 a 1:17, y la segunda relación de flujo de NH_3 a N_2O varía de 1:8 a 1:12. La segunda potencia varía de 8000 W a 10000 W. La segunda presión varía de 1050 Pa a 1350 Pa. La temperatura de la segunda deposición varía de 460 °C a 520 °C.

- 65 En algunas realizaciones, la segunda capa de pasivación preparada 304 puede incluir una capa rica en oxígeno y rica

en nitrógeno. Por ejemplo, la segunda capa de pasivación 304 puede incluir una capa de oxinitruro de silicio, mientras que la segunda capa de pasivación 304 tiene un índice de refracción ligeramente inferior al de la primera capa de pasivación 303. En algunas realizaciones, el índice de refracción de la segunda pasivación 304 puede estar en un intervalo de 1,5 a 1,8. En algunas realizaciones, el índice de refracción de la segunda capa de pasivación 304 puede estar en un intervalo de 1,5 a 1,61. En algunas realizaciones, el índice de refracción de la segunda capa de pasivación 304 puede estar en un intervalo de 1,61 a 1,68. En algunas realizaciones, el índice de refracción de la segunda capa de pasivación 304 puede estar en un intervalo de 1,68 a 1,8. Por ejemplo, el índice de refracción de la segunda capa de pasivación 304 es 1,7.

Para garantizar la densidad y la resistencia a la corrosión de todo el apilamiento de películas de pasivación, la segunda capa de pasivación 304 puede no estar diseñada para tener un gran espesor. En algunas realizaciones, el espesor de la segunda capa de pasivación 304 varía de 60 nm a 90 nm.

En S208, se forma una tercera capa de pasivación sobre una superficie inferior de la segunda capa de pasivación. La tercera capa de pasivación se puede considerar como una capa más externa del apilamiento de películas de pasivación en la superficie trasera de la capa semiconductora.

Con referencia a la FIG. 3, se forma una tercera capa de pasivación 305 sobre una superficie de la segunda capa de pasivación 304. Por ejemplo, la tercera capa de pasivación 305 (o la tercera capa de pasivación 23) puede incluir al menos una película de nitruro de silicio. En algunas realizaciones, la tercera capa de pasivación 305 se prepara mediante PECVD de acuerdo con las terceras condiciones de preparación. Las terceras condiciones de preparación pueden incluir terceros reactantes, al menos un tercio de la relación de flujo entre los terceros reactantes, una tercera potencia para la preparación, una tercera presión para la preparación y/o una tercera temperatura de deposición para la preparación. Específicamente, los terceros reactantes incluyen silano (SiH_4), amoníaco (NH_3) y nitrógeno (N_2). La tercera relación de flujo de SiH_4 a NH_3 varía de 1:5 a 1:10. La tercera potencia varía de 8000 W a 10000 W. La tercera presión va de 1450 Pa a 1850 Pa. La temperatura de la tercera deposición varía de 460 °C a 520 °C.

En algunas realizaciones, en las condiciones de preparación, la tercera capa de pasivación 305 preparada incluye una pluralidad de películas de nitruro de silicio.

La tercera capa de pasivación 305 incluye la pluralidad de películas de nitruro de silicio, y los índices de refracción de las películas de nitruro de silicio pueden ser diferentes y variar en gradiente. La película de nitruro de silicio puede tener una buena compacidad y una fuerte resistencia a la intemperie. Después de sinterizarse a alta temperatura, las películas de nitruro de silicio pueden tener una mayor compacidad y resistencia a la corrosión, que puede evitar que una pasta metálica dañe las películas de pasivación primera y segunda formadas sobre la superficie de la capa semiconductora. Asimismo, la DIP de un módulo fotovoltaico que utiliza la célula solar puede reducirse. En algunas realizaciones, la pluralidad de películas de nitruro de silicio se puede designar como una capa entera de nitruro de silicio (por ejemplo, un apilamiento de nitruro de silicio). El índice de refracción de toda la capa de nitruro de silicio está en un intervalo de 2,02 a 2,12. En algunas realizaciones, al menos una parte de la pluralidad de películas de nitruro de silicio puede tener diferentes proporciones de silicio a nitrógeno (Si:N). Por ejemplo, cuanto más lejos de la capa semiconductora está una película de nitruro de silicio, mayor es la concentración de nitruro de la película de nitruro de silicio, y menor es el índice de refracción de la película de nitruro de silicio. Se puede lograr un mejor efecto óptico del apilamiento de películas de pasivación. En algunas realizaciones, el espesor de la tercera capa de pasivación 305 está en un intervalo de 60 nm a 100 nm.

El índice de refracción de la película de nitruro de silicio está en un intervalo de 2,02 a 2,12. El espesor de la película de nitruro de silicio está en un intervalo de 60 nm a 100 nm.

En S209, la metalización se puede realizar en una oblea de silicio después de ser procesada en las operaciones S208. En el presente documento, la oblea de silicio incluye al menos las capas de pasivación preparadas y la capa semiconductora. Durante el S209, al menos una parte de las capas de pasivación preparadas puede eliminarse para formar una región de metalización, por ejemplo, mediante una técnica de ranurado por láser. Se puede formar al menos un electrodo utilizando la técnica de serigrafía. Por ejemplo, se pueden formar electrodos frontales y traseros de la célula solar.

La FIG. 4 es un diagrama esquemático que ilustra una célula solar de ejemplo de acuerdo con una realización de la presente divulgación.

Como se muestra en la FIG. 4, la célula solar 400 puede ser una célula PERC de tipo P. La célula solar 400 incluye una capa semiconductora 401 de tipo P, una capa de difusión dopada con fósforo 402, una capa antirreflectante/de pasivación (que incluye una capa de óxido de silicio 403 y una capa de nitruro de silicio 404) sobre la superficie frontal de la capa semiconductora 401, una primera capa de pasivación 405, una segunda capa de pasivación 406, una tercera capa de pasivación 407, un electrodo de superficie frontal 408, un electrodo trasero 409 y una barra colectora 410. La primera, segunda y tercera capas de pasivación están dispuestas secuencialmente hacia afuera desde la superficie trasera de la capa semiconductora 401.

- 5 En algunas realizaciones, la primera capa de pasivación 405 incluye una capa rica en silicio con una concentración de átomos de silicio que varía de $5 \times 10^{21}/\text{cm}^3$ a $2,5 \times 10^{22}/\text{cm}^3$. La primera capa de pasivación 405 puede incluir al menos una capa de película de oxinitruro de silicio rica en silicio, una capa de película de oxicarburo de silicio rica en silicio, o una capa de película de carburo de oxinitruro de silicio rica en silicio. El índice de refracción de la primera capa de pasivación 405 puede estar en un intervalo de 1,69 a 1,90, y el espesor de la primera capa de pasivación 405 está en un intervalo de 30 nm a 60 nm.
- 10 En algunas realizaciones, la segunda capa de pasivación 406 incluye una capa de película de oxinitruro de silicio rica en oxígeno y rica en nitrógeno. La segunda capa de pasivación 406 puede incluir una capa de película de oxinitruro de silicio rica en oxígeno y rica en nitrógeno o una capa de película de carburo de oxinitruro de silicio rica en oxígeno y rica en nitrógeno. El índice de refracción de la segunda capa de pasivación 406 puede estar en un intervalo de 1,5 a 1,8, y el espesor de la segunda capa de pasivación 406 está en un intervalo de 60 nm a 90 nm.
- 15 En algunas realizaciones, la tercera capa de pasivación 407 incluye al menos una capa de película de nitruro de silicio con un índice de refracción de gradiente variable. El índice de refracción de la tercera capa de pasivación 407 puede estar en un intervalo de 2,02 a 2,12 y el espesor de la tercera capa de pasivación 407 está en un intervalo de 60 nm a 100 nm.
- 20 En algunas realizaciones, la presente divulgación proporciona un método para fabricar la célula solar 400. El método puede incluir: proporcionar una capa semiconductor de tipo P y tener una resistividad que varía de $0,5 \Omega \cdot \text{cm}$ a $3,5 \Omega \cdot \text{cm}$; procesar la capa semiconductor mediante un método de química húmeda para formar la oblea de silicio con una estructura texturizada; formar una unión PN implantando dopantes (por ejemplo, dopantes de tipo N); formar una estructura de emisor selectivo (ES) procesando la unión PN y/o realizando un aislamiento de borde para la unión PN con el fin de mejorar la unión PN; formar apilamientos de películas de pasivación en las superficies delantera y trasera de la oblea de silicio (por ejemplo, las capas antirreflectantes/de pasivación 402, 403 y 404 sobre la superficie frontal, y las capas de pasivación 405, 406 y 407 sobre la superficie trasera); realizar una etapa de metalización en la oblea de silicio pasivado para formar electrodos para recoger la corriente que se va a emitir; y realizar el procesamiento posterior en la oblea de silicio, por ejemplo, recocido ligero, recocido eléctrico, etc.
- 25
- 30 Cabe señalar que la descripción anterior se proporciona meramente con fines ilustrativos y no pretende limitar el alcance de la presente divulgación. Para los expertos habituales en la materia, se pueden realizar múltiples variaciones y modificaciones según las enseñanzas de la presente divulgación. Sin embargo, esas variaciones y modificaciones no se apartan del alcance de las reivindicaciones.

REIVINDICACIONES

1. Una célula solar, **caracterizada por que** comprende:

5 una capa semiconductor (1), que es un sustrato de silicio monocristalino o un sustrato de silicio policristalino; y un apilamiento de películas de pasivación (2) proporcionado sobre una superficie trasera de la capa semiconductor (1), en donde el apilamiento de películas de pasivación (2) comprende:

10 una primera capa de pasivación (21) dispuesta sobre la superficie trasera de la capa semiconductor (1) y que incluye una capa rica en silicio con una concentración de átomos de silicio que varía de $5 \times 10^{21}/\text{cm}^3$ a $2,5 \times 10^{22}/\text{cm}^3$;
una segunda capa de pasivación (22) dispuesta sobre una superficie de la primera capa de pasivación (21) y que incluye una capa rica en oxígeno y rica en nitrógeno; y
15 una tercera capa de pasivación (23) dispuesta sobre una superficie de la segunda capa de pasivación (22) y que comprende una pluralidad de películas de nitruro de silicio, en donde la primera capa de pasivación (21) tiene un primer índice de refracción, la segunda capa de pasivación (22) tiene un segundo índice de refracción; la pluralidad de películas de nitruro de silicio de la tercera capa de pasivación (23) tienen diferentes índices de refracción, y para la pluralidad de películas de nitruro de silicio, cuanto más lejos de la capa semiconductor (1), mayor es la concentración de nitruro de la película de nitruro de silicio, y menor es el índice de refracción de la película de nitruro de silicio; el primer índice de refracción de la primera capa de pasivación (21) es mayor que el segundo índice de refracción de la segunda capa de pasivación (22) y menor que un tercer índice de refracción de la tercera capa de pasivación (23); y el índice de refracción de la tercera capa de pasivación (23) está dentro de un intervalo de 2,02 a 2,12;
20 en donde la capa rica en silicio comprende al menos una capa de película de oxinitruro de silicio rica en silicio, una capa de película de oxicarburo de silicio rica en silicio o una capa de película de carburo de oxinitruro de silicio rica en silicio;
en donde la capa rica en oxígeno y rica en nitrógeno comprende una capa de película de oxinitruro de silicio rica en oxígeno y rica en nitrógeno o una capa de película de carburo de oxinitruro de silicio rica en oxígeno y
25 rica en nitrógeno; y
en donde la primera capa de pasivación (21) tiene un espesor que varía de 30 nm a 60 nm; la segunda capa de pasivación (22) tiene un espesor que varía de 60 nm a 90 nm; y la tercera capa de pasivación (23) tiene un espesor que varía de 60 nm a 100 nm.

35 2. La célula solar de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizada por que** el primer índice de refracción varía de 1,69 a 1,90.

3. La célula solar de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizada por que** el segundo índice de refracción varía de 1,5 a 1,8.

40 4. Un módulo fotovoltaico, **caracterizado por que** comprende al menos una célula solar, siendo cada una de las al menos una célula solar la célula solar (1) de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1-3, en donde la al menos una célula solar está configurada para convertir la energía luminosa recibida en energía eléctrica.

45 5. Un método para la fabricación de la célula solar de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1-3, **caracterizado por que** comprende: depositar secuencialmente una primera capa de pasivación (S206), una segunda capa de pasivación (S207) y una tercera capa de pasivación (S208) sobre una superficie trasera de una capa semiconductor para formar un apilamiento de películas de pasivación, en donde:

50 la primera capa de pasivación incluye una capa rica en silicio con una concentración de átomos de silicio que varía de $5 \times 10^{21}/\text{cm}^3$ a $2,5 \times 10^{22}/\text{cm}^3$;
la segunda capa de pasivación incluye una capa rica en oxígeno y rica en nitrógeno; y
la tercera capa de pasivación incluye una pluralidad de películas de nitruro de silicio en donde cuanto más lejos de la capa semiconductor se encuentra una película de nitruro de silicio, mayor es la concentración de nitruro de la película de nitruro de silicio y menor es el índice de refracción de la película de nitruro de silicio,
55 en donde un primer índice de refracción de la primera capa de pasivación es mayor que un segundo índice de refracción de la segunda capa de pasivación y menor que un tercer índice de refracción de la tercera capa de pasivación.

60 6. El método de acuerdo con la reivindicación 5, **caracterizado por que:**

la primera capa de pasivación se deposita con reactantes que incluyen silano (SiH_4), amoníaco (NH_3), óxido nitroso (N_2O) y nitrógeno (N_2), en donde una relación de flujo de SiH_4 a ($\text{NH}_3 + \text{N}_2\text{O}$) varía de 1:15 a 1:19, y una relación de flujo de NH_3 a N_2O varía de 1:3 a 1:6;

65 la segunda capa de pasivación se deposita con reactantes que incluyen silano (SiH_4), amoníaco (NH_3), óxido nitroso (N_2O) y nitrógeno (N_2), en donde una relación de flujo de SiH_4 a ($\text{NH}_3 + \text{N}_2\text{O}$) varía de 1:13 a 1:17, y una

relación de flujo de NH_3 a N_2O varía de 1:8 a 1:12; y
la tercera capa de pasivación se deposita con reactantes que incluyen silano (SiH_4), amoníaco (NH_3), y nitrógeno (N_2), en donde una relación de flujo de SiH_4 a NH_3 varía de 1:5 a 1:10.

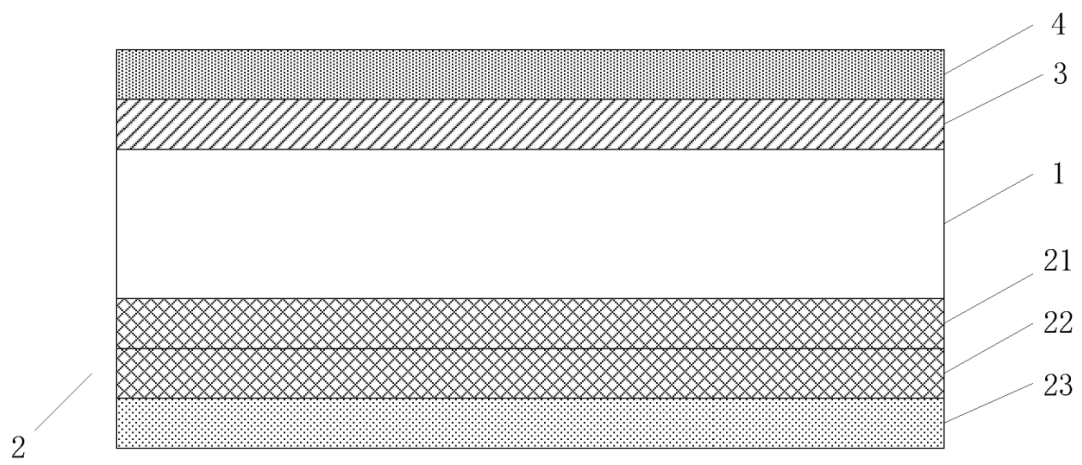


FIG. 1

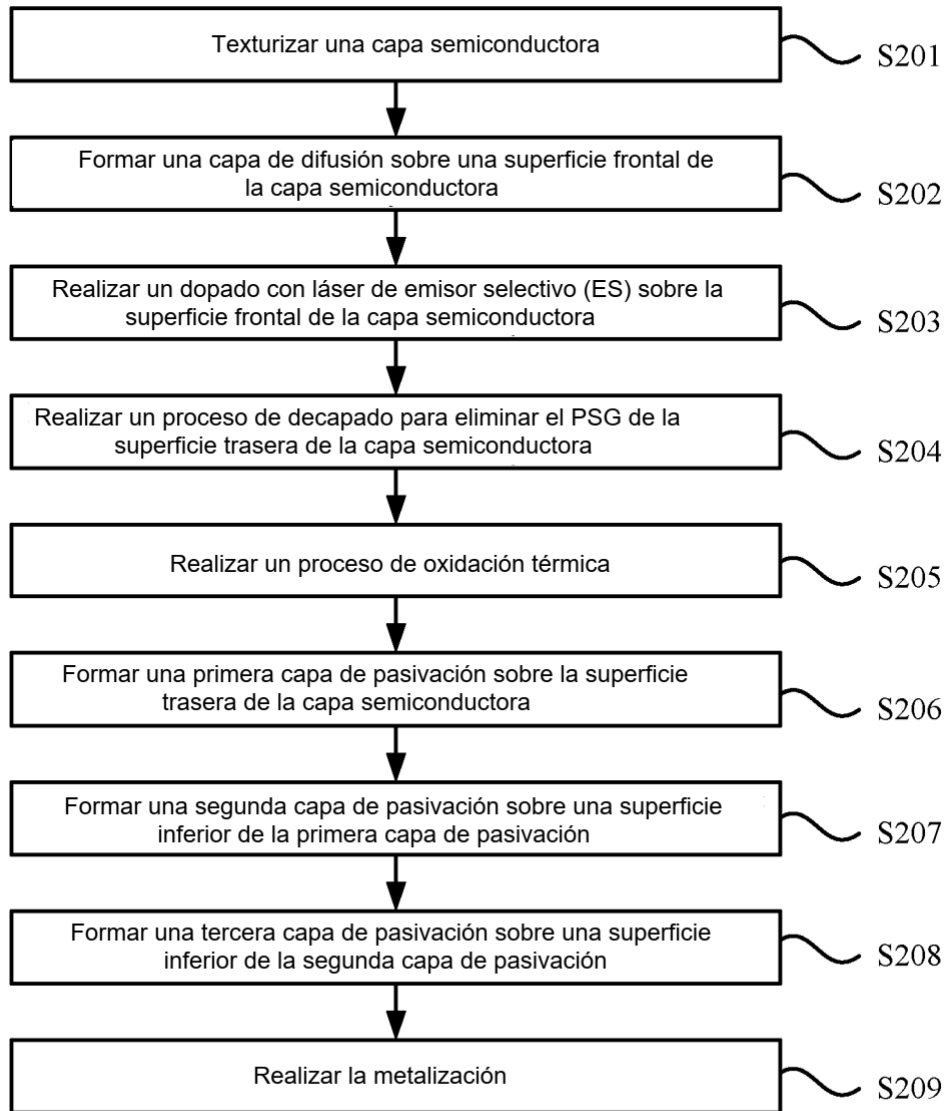


FIG. 2

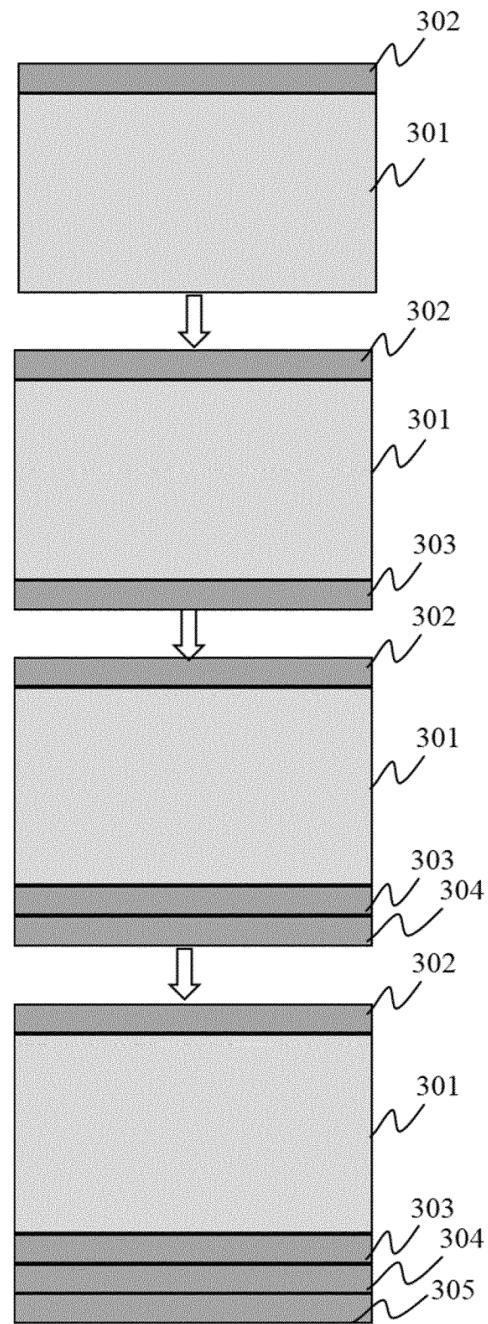


FIG. 3

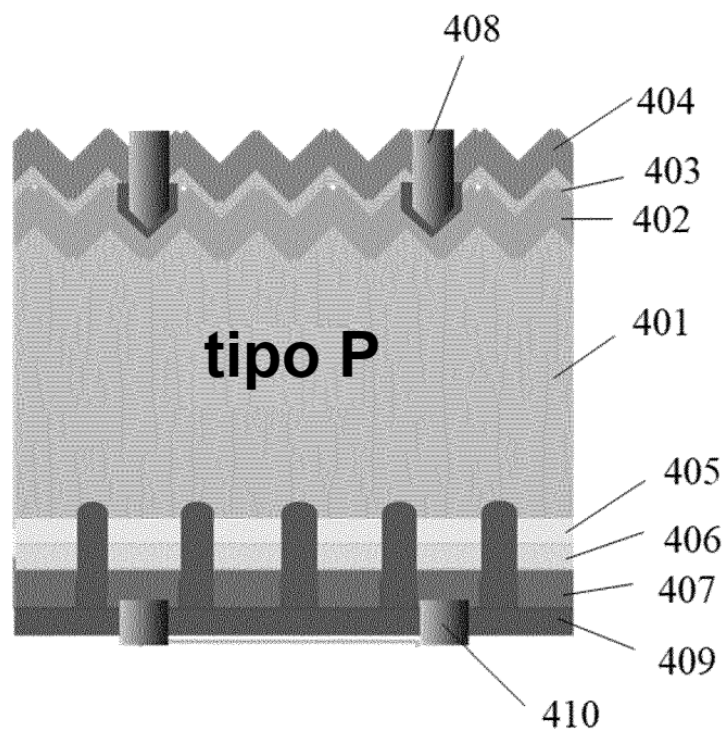


FIG. 4