

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 819 173**

51 Int. Cl.:

H01L 31/18 (2006.01)
H01L 31/068 (2012.01)
H01L 31/0216 (2014.01)
H01L 21/225 (2006.01)
H01L 21/56 (2006.01)
H01L 31/0236 (2006.01)
H01L 21/268 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **04.08.2011 E 11176530 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **15.07.2020 EP 2416386**

54 Título: **Procedimiento de fabricación de un dispositivo semiconductor con una capa de pasivación y dispositivo semiconductor correspondiente**

30 Prioridad:

06.08.2010 DE 102010036893

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
15.04.2021

73 Titular/es:

**HANWHA Q CELLS GMBH (100.0%)
Sonnenallee 17-21
06766 Bitterfeld-Wolfen/OT Thalheim, DE**

72 Inventor/es:

**ENGELHART, PETER;
SCHERFF, MAXIMILIAN;
BORDIHN, STEFAN y
KLÖTER, BERNHARD**

74 Agente/Representante:

BUENO FERRÁN , Ana María

ES 2 819 173 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

Procedimiento de fabricación de un dispositivo semiconductor con una capa de pasivación y dispositivo semiconductor correspondiente

5 La invención se refiere a un procedimiento de fabricación de un dispositivo semiconductor. En particular, la invención se refiere a un procedimiento de fabricación de una célula solar.

10 En la fabricación de dispositivos semiconductores y, en particular, en la fabricación de células solares, se generan mediante dopaje o deposición zonas dopadas en un sustrato semiconductor, que con el material del sustrato forman según el fin previsto una transición pn, una transición pp⁺ o una transición nn⁺. En elementos fotovoltaicos, como por ejemplo células solares, una transición pn puede servir para la separación de portadores de carga libres generados con exposición a la luz. Por el contrario, las transiciones pp⁺ o las transiciones nn⁺ son llamadas high-low junctions, que permiten un mejor establecimiento de contacto del dispositivo semiconductor cuando están dispuestas por debajo

15 por lo tanto a una mayor eficiencia del dispositivo semiconductor. Las transiciones de este tipo pueden generarse en el lado anterior y/o posterior del dispositivo semiconductor. Por ejemplo, pueden estar formadas por zonas localmente dopadas, en particular, mediante zonas localmente altamente dopadas, como es el caso, por ejemplo, en los llamados emisores selectivos. Los dopajes locales de este tipo se inician habitualmente mediante procesos de difusión inducidos por láser. Un ejemplo para ello es, entre otros, la incorporación por aleación de aluminio de una capa metálica en un sustrato semiconductor dispuesto por debajo mediante radiación puntual por láser. Este proceso de incorporación por aleación también tiene lugar en el establecimiento de contacto inducido por láser de una lámina de aluminio con un sustrato semiconductor, cuyo resultado se denomina Laser-Fired Contact (LFC) o contacto ejecutado con láser.

20 Otros procedimientos conocidos para la generación de dopajes locales son la difusión local de una fuente de difusión aplicada localmente en el sustrato semiconductor o la difusión local a través de una máscara de difusión. No obstante, los procedimientos de este tipo son por regla general complejos y costosos, puesto que o bien requieren fuentes de difusión caras o porque el enmascaramiento es complejo. Además, las ventanas de proceso para los procedimientos de este caso son en muchos casos pequeñas. Asimismo, frecuentemente se presenta el problema de que después de la etapa de dopaje deba aplicarse otra capa funcional en el sustrato semiconductor dopado, por ejemplo una capa de pasivación o una capa de reflexión o antirreflexión. Para poder establecer a continuación contacto con las zonas dopadas, deben generarse aberturas de contacto en la capa funcional que están alineadas exactamente con las zonas dopadas.

35 De acuerdo con un procedimiento conocido por el documento WO0001019 se recubre un sustrato con una capa dieléctrica que sirve de fuente de dopaje. En este sentido, el material de la fuente de dopaje ha de elegirse de tal modo que sirva a continuación para la pasivación de la superficie. Después de haberse formado una capa de dopado en la superficie semiconductor mediante la introducción de sustancias dopantes de la capa dieléctrica, se crea mediante radiación láser una región local más fuertemente dopada, que sirve para el establecimiento de contacto.

40 En el documento US7,517,709B1 se describe un procedimiento en el que se pone a disposición un sustrato semiconductor con una capa de pasivación y una capa de absorción. A este respecto, la capa de pasivación está formada por dióxido de silicio y contiene arsénico y boro como sustancias dopantes. Mediante tratamiento con láser se generan zonas dopadas.

50 En el documento Saint-Cast *et al.*, "High Efficiency c-Si Solar Cell Passivated With ALD and PECVD Aluminium Oxide", IEEE Electron Device Letters, Vol. 31, N° 7 (julio de 2010), páginas 695-697, se comparan diferentes capas de pasivación entre sí. Se trata en este caso, por un lado, de capas de óxido de aluminio, que se han generado mediante diferentes procedimientos de deposición, y, por otro lado, de una capa de dióxido de silicio térmicamente generada. En el documento Gluns *et al.*: "n-Type Silicon-enabling Efficiencies > 20 % In Industrial Production", 35th IEEE Photovoltaic Specialists Conference, 20-25 de julio de 2010, páginas 50-56, se dan a conocer células solares de obleas dopadas con óxido de aluminio.

55 El objetivo de la invención es poner a disposición un procedimiento de fabricación de un dispositivo semiconductor y un dispositivo semiconductor, en los que se generan de forma eficiente y económica zonas semiconductoras dopadas, en particular respecto a una alineación lo más exacta posible o a un ajuste de aberturas en la capa funcional con estas zonas semiconductoras dopadas.

60 El objetivo de la invención se consigue de acuerdo con la invención mediante un procedimiento de fabricación de un dispositivo semiconductor con las características de la reivindicación 1. Variantes ventajosas de la invención se indican en las reivindicaciones dependientes 2-10.

65 La invención se basa en el conocimiento de que una capa funcional aplicada en una superficie semiconductor del sustrato semiconductor durante la fabricación del dispositivo semiconductor actúa al mismo tiempo como proveedor de la sustancia dopante, que sirve para el dopaje del sustrato semiconductor por debajo de la capa funcional, para generar así una zona dopada. La capa funcional así aplicada pasiva al final del procedimiento de fabricación y además como capa de pasivación la superficie semiconductor del sustrato semiconductor. Para el dopaje del sustrato semiconductor, la sustancia dopante se introduce de la capa funcional en zonas previstas de la superficie

semiconductora en el interior del sustrato semiconductor.

El efecto de pasivación mantiene la capa funcional que actúa como capa de pasivación sustancialmente solo en las zonas adyacentes a la superficie semiconductora, que no son las zonas dopadas. En otras palabras, en una parte de la superficie semiconductora se introducen sustancias dopantes de la capa funcional dispuesta por encima en el sustrato semiconductor, mientras que en la parte restante de la superficie semiconductora la capa funcional actúa posteriormente como capa de pasivación. Por lo tanto, el efecto de pasivación puede reducirse o incluso destruirse en las zonas dopadas por el proceso de la introducción de la sustancia dopante. Incluso es posible que la capa funcional quede parcial o completamente destruida en los lugares correspondientes por el proceso de introducción.

La capa de pasivación formada por la capa funcional pasiva la superficie semiconductora mediante una pasivación química o mediante una pasivación por efecto de campo. Mientras que en el mecanismo indicado en primer lugar se eliminan centros de recombinación, como por ejemplo puntos de unión libres (llamados dangling bonds), por la capa de pasivación, la actividad de recombinación se reduce en la pasivación por efecto de campo por que los portadores de carga libres son desplazados de la superficie semiconductora.

En una forma de realización preferible está previsto que la introducción de la sustancia dopante de la capa funcional en el interior del sustrato semiconductor se realiza mediante una aportación de energía. La aportación de energía se produce preferentemente solo de forma localizada, concretamente solo en los lugares en la capa funcional por debajo de los cuales deben generarse zonas dopadas. En caso de una aportación de energía adecuada, el sustrato semiconductor puede fundirse localmente en la superficie semiconductora, por lo que se produce la difusión de la sustancia dopante en el sustrato semiconductor fundido.

Recomendablemente, la introducción de la sustancia dopante de la capa funcional en el interior del sustrato semiconductor se realiza mediante una fuente de láser. En este sentido, pueden usarse fuentes de láser con tamaños de punto o diámetros aproximadamente entre 10 nm a 100 nm, con preferencia aproximadamente entre 10 nm y 50 nm. Los rayos láser usados pueden presentar además una densidad de fluencia o de energía de hasta 0,1 a 10 J/cm², preferentemente de hasta 0,2 a 2 J/cm², siendo aún más preferible un valor de aproximadamente 0,5 a 1,5 J/cm². Las longitudes de ondas de los láseres usados para ello están situadas preferentemente entre aproximadamente 300 nm y 1200 nm, de manera aún más preferible aproximadamente entre 300 nm y 600 nm. De forma ventajosa, en particular por razones económicas, pueden usarse intervalos de longitudes de ondas en la región visible o entre aproximadamente 400 nm y 600 nm. Los tres parámetros de láser indicados en este párrafo pueden elegirse uno independientemente del otro.

Preferentemente está previsto que mediante la aportación de energía se forma una abertura en la capa funcional, que al acabar el dispositivo semiconductor se presenta como abertura de capa de pasivación en la capa de pasivación. A este respecto, una ventaja está en que las aberturas de la capa de pasivación así formadas están alineadas o ajustadas con las zonas dopadas generadas mediante la aportación de energía. Por lo tanto, se trata en este sentido de un autoajuste.

En una forma de realización recomendable está previsto que en la capa funcional se aplique una capa de contacto, que establece contacto eléctrico con el sustrato semiconductor en la zona dopada a través de la abertura. La capa de contacto puede ser en este sentido una capa metálica, que se aplica mediante un procedimiento de deposición u otro procedimiento adecuado en la capa funcional, penetrando en este sentido en la abertura. Al mismo tiempo, con la generación de la zona dopada se forma, por lo tanto, una abertura de contacto.

En una configuración ventajosa está previsto que la sustancia dopante se presente antes de la etapa de la introducción en un compuesto de un material de la capa funcional, del que esté formada la capa funcional. Preferentemente, este compuesto se disocia mediante la aportación de energía, que induce a continuación la introducción de la sustancia dopante disociada.

De acuerdo con una forma de realización, la capa funcional está formada por óxido de aluminio (AlO_x), en el que la sustancia dopante aluminio se presenta en un compuesto. En un sustrato semiconductor formado por silicio, una incorporación por difusión de aluminio genera un dopaje del tipo p.

Otros materiales ventajosos para las capas funcionales son óxido de titanio (TiO_x), óxido de magnesio (MgO_x) u óxido de estaño (ZnO_x), actuando correspondientemente titanio, magnesio o estaño como sustancia dopante e incorporándose por difusión o introduciéndose para la fabricación de la zona dopada en el interior del sustrato semiconductor.

De acuerdo con una configuración preferible está previsto que el sustrato semiconductor presente en la superficie semiconductora inmediatamente antes de la formación de la capa funcional sustancialmente el mismo dopaje que en el volumen del sustrato semiconductor. Esto significa que la superficie semiconductora está sin dopaje antes de la aplicación de la capa funcional o que presenta el dopaje bulk del sustrato semiconductor.

Como alternativa a ello, antes de la formación de la capa funcional en la superficie semiconductora pueden generarse una o varias zonas dopadas, cuyo dopaje se refuerza localmente y/o se invierte mediante la introducción de la sustancia dopante de la capa funcional en el interior del sustrato semiconductor. En otras palabras, antes de la

aplicación de la capa funcional en o sobre el sustrato semiconductor se generan zonas dopadas, por ejemplo mediante dopaje del sustrato semiconductor en la superficie semiconductor y/o mediante deposición de las zonas dopadas en la superficie semiconductor. La zona dopada generada mediante dopaje o mediante deposición puede ser una capa de dopado, que cubre preferentemente toda la superficie semiconductor. Mediante la introducción se realiza a continuación una incorporación por difusión de la sustancia dopante en esta zona dopada o en estas zonas dopadas, por lo que se consigue un refuerzo local y/o una inversión de las zonas dopadas.

En una variante recomendable está previsto que el sustrato semiconductor es por el volumen un semiconductor tipo p o tipo n. El sustrato semiconductor puede ser, por ejemplo, una oblea semiconductor previamente dopada. El que el sustrato semiconductor sea por el volumen un semiconductor tipo p o tipo n significa que una capa fina a lo largo de la superficie semiconductor puede presentar un dopaje reforzado respecto al volumen o un dopaje invertido. En este caso, puede estar formada por ejemplo una transición pn o una transición pp⁺ o una transición nn⁺, antes de aplicarse la capa funcional.

El procedimiento de fabricación descrito en este documento se refiere preferentemente a la fabricación de una célula solar semiconductor del sustrato semiconductor. En particular, para la fabricación de llamadas células solares PERC (PERC - "Passivated Emitter and Rear Cell") puede aplicarse bien este procedimiento. En este sentido, al igual que en todas las demás formas de realización, la aplicación de la capa funcional y la introducción de la sustancia dopante de la capa funcional en el interior del sustrato semiconductor dispuesto por debajo puede realizarse en un lado o en los dos lados del sustrato semiconductor, es decir, en una célula solar semiconductor en el lado de la luz incidente y/o en el lado posterior no orientado hacia la luz incidente.

La invención se explicará a continuación con ayuda de ejemplos de realización haciéndose referencia a las figuras, que representan una secuencia de etapas de procedimiento con ayuda de productos intermedios. Aquí muestran esquemáticamente:

| | |
|-------------|---|
| la figura 1 | un sustrato semiconductor con una superficie texturizada; |
| la figura 2 | el sustrato semiconductor de la figura 1 con una capa funcional aplicada en el lado posterior; |
| la figura 3 | el sustrato semiconductor de la figura 2 después de una etapa de la introducción local de una sustancia dopante de la capa funcional en el interior del sustrato semiconductor; y |
| la figura 4 | una célula solar acabada hecha del sustrato semiconductor de acuerdo con la figura 3 con establecimiento de contacto en el lado anterior y posterior. |

A continuación, se explicará un procedimiento para la fabricación de células solares. No obstante, las etapas de procedimiento explicadas también pueden aplicarse correspondientemente a otros dispositivos semiconductores que requieren una pasivación de sus superficies para un aumento de la eficiencia.

La figura 1 muestra un sustrato semiconductor 1 con una superficie semiconductor 11, en la que debe aplicarse una capa funcional. La superficie semiconductor 11 se encuentra en un lado del sustrato semiconductor 1, que en el posterior uso de la célula solar acabada no está orientada hacia la luz incidente. En otra superficie semiconductor 12 del sustrato semiconductor 1 dispuesta en el lado de la luz incidente está formada una texturización, lo que se muestra mediante la representación en zigzag. La texturización se consigue por regla general mediante un grabado al ácido de una textura y sirve para captar más eficientemente la luz incidente.

En la superficie semiconductor 11 se aplica en una etapa posterior una capa funcional 2, por ejemplo mediante un procedimiento de deposición química o física como CVD o PVD (deposición química o física en fase de vapor), dado el caso, asistida por plasma (PECVD, "plasma enhanced Chemical vapor deposition"), o mediante deposición de capas atómicas (ALD). El resultado del sustrato semiconductor 1 con capa funcional 2 aplicada en el lado posterior está representado en la figura 2. En ella puede verse también que en la otra superficie semiconductor 12 del lado de la luz incidente está aplicada otra capa de pasivación 4. De forma alternativa o adicional, la capa aplicada en el lado de la luz incidente también puede comprender una capa de antirreflexión, para reducir la reflexión de la luz incidente.

En otra etapa, la superficie semiconductor 1 se trata localmente con radiación láser, para introducir en las zonas irradiadas una sustancia dopante de la capa funcional 2 en el interior del sustrato semiconductor 1. Mediante la penetración de la sustancia dopante en el sustrato semiconductor 1, en las zonas irradiadas se produce un dopaje del material semiconductor, de modo que allí se forman zonas dopadas 3 en la superficie semiconductor 11.

Como está representado en la figura 3, como consecuencia de la irradiación se forman además aberturas 21 en la capa funcional, que están alineadas forzosamente con las zonas dopadas 3 generadas. Las zonas dopadas 3 pueden extenderse en función de la intensidad de la radiación láser y, dado el caso, de otros parámetros, en parte también por debajo de la capa funcional que queda. En otras palabras, la extensión de una zona dopada 3 a lo largo de la superficie semiconductor 11 puede ser más grande que la extensión de la abertura 21 correspondiente.

Como está representado en la figura 4, en una etapa de establecimiento de contacto posterior se establece contacto con la célula solar tanto en el lado anterior como en el posterior. Mientras que en la otra capa de pasivación 4 en el lado de la luz incidente se aplica una metalización de lado anterior 5 en forma de tiras metálicas, la capa funcional 2 o la capa de pasivación 2 en el lado posterior de la célula solar es cubierta en toda su superficie con una capa de contacto 6 como metalización de lado posterior. La capa de contacto 6 penetra a este respecto en las aberturas 21 en

la capa de pasivación 2 y establece por lo tanto un contacto eléctrico con las zonas dopadas 3.

5 En la forma de realización aquí representada se forman mediante la introducción inducida por láser de la sustancia dopante en el interior del sustrato semiconductor 1 zonas dopadas 21, que reducen la resistencia de contacto entre el sustrato semiconductor 1 y la metalización de lado posterior 6. Por el contrario, en las figuras 1 a 4 no está representada la transición pn responsable de la separación de portadores de carga. No obstante, mediante el procedimiento descrito también pueden realizarse transiciones de este tipo, que son responsables de la separación de los portadores de carga libres generados por la incidencia de luz.

10 Lista de referencias:

- 1 Sustrato semiconductor
- 11 Superficie semiconductor
- 12 Otra superficie semiconductor
- 2 Capa funcional (capa de pasivación)
- 21 Abertura
- 3 Zona dopada
- 4 Otra capa de pasivación
- 5 Metalización de lado anterior
- 6 Capa de contacto (metalización de lado posterior)

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento de fabricación de un dispositivo semiconductor, comprendiendo las siguientes etapas de procedimiento:
- 5
- puesta a disposición de un sustrato semiconductor (1);
 - formación de una capa funcional (2) en una superficie semiconductor (11) del sustrato semiconductor (1); y
 - generación de al menos una zona dopada (3) en la superficie semiconductor (11) mediante introducción de una sustancia dopante de la capa funcional (2) en el interior del sustrato semiconductor (1), formándose la capa funcional (2) de tal modo que, al acabar el dispositivo semiconductor, pasiviza como capa de pasivación la superficie semiconductor (11), **caracterizado por que** la capa funcional (2) está formada por óxido de aluminio (AlO_x), óxido de titanio (TiO_x), óxido de magnesio (MgO_x) u óxido de cinc (ZnO_x), actuando correspondientemente como sustancia dopante el titanio, magnesio o cinc del compuesto.
- 10
2. Procedimiento de fabricación de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizado por que** la introducción de la sustancia dopante de la capa funcional (2) en el interior del sustrato semiconductor (1) se realiza mediante una aportación de energía.
- 15
3. Procedimiento de fabricación de acuerdo con la reivindicación 2, **caracterizado por que** la introducción de la sustancia dopante de la capa funcional (2) en el interior del sustrato semiconductor (1) se realiza mediante una aportación de energía localizada.
- 20
4. Procedimiento de fabricación de acuerdo con la reivindicación 3, **caracterizado por que** la aportación de energía localizada se realiza mediante una fuente de láser.
- 25
5. Procedimiento de fabricación de acuerdo con una de las reivindicaciones 2 bis 4, **caracterizado por que** mediante la aportación de energía se forma una abertura (21) en la capa funcional (2), que al acabar el dispositivo semiconductor se presenta como abertura de capa de pasivación en la capa de pasivación.
- 30
6. Procedimiento de fabricación de acuerdo con la reivindicación 3, **caracterizado por que** en la capa funcional (2) se aplica una capa de contacto (6), que establece contacto eléctrico con el sustrato semiconductor (1) en la zona dopada a través de la abertura (21).
- 35
7. Procedimiento de fabricación de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado por que** el sustrato semiconductor (1) presenta en la superficie semiconductor (11) inmediatamente antes de la formación de la capa funcional (2) sustancialmente el mismo dopaje que en el volumen del sustrato semiconductor d).
- 40
8. Procedimiento de fabricación de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 bis 6, **caracterizado por que** antes de la formación de la capa funcional (2) se forman zonas dopadas en la superficie semiconductor (11), cuyo dopaje se refuerza localmente y/o se invierte mediante la introducción de la sustancia dopante de la capa funcional (2) en el interior del sustrato semiconductor (1).
- 45
9. Procedimiento de fabricación de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado por que** el sustrato semiconductor (1) es por el volumen un semiconductor tipo p o tipo n.
10. Procedimiento de fabricación de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado por** la fabricación de una célula solar semiconductor del sustrato semiconductor (1).

