

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 683 911**

51 Int. Cl.:

H01L 31/18 (2006.01)

H01L 31/0216 (2014.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **31.05.2010** **PCT/DE2010/075045**

87 Fecha y número de publicación internacional: **23.12.2010** **WO10145648**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **31.05.2010** **E 10747802 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **23.05.2018** **EP 2443669**

54 Título: **Dispositivo semiconductor y procedimiento de fabricación de un dispositivo semiconductor**

30 Prioridad:

16.06.2009 DE 102009025977

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

28.09.2018

73 Titular/es:

HANWHA Q CELLS GMBH (100.0%)

OT Thalheim, Sonnenallee 17-21

06766 Bitterfeld-Wolfen, DE

72 Inventor/es:

ENGELHART, PETER;

SEGUIN, ROBERT;

KESSELS, WILHELMUS, MATHIJS, MARIE y

DINGEMANS, GIJS

74 Agente/Representante:

AZNÁREZ URBIETA, Pablo

ES 2 683 911 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Dispositivo semiconductor y procedimiento de fabricación de un dispositivo semiconductor

- 5 La invención se refiere a una célula solar y a un procedimiento para la fabricación de una célula solar.

Uno de los factores que limitan el rendimiento de las células solares es la recombinación de los portadores de carga en las superficies semiconductoras de las células solares, cuyos estados superficiales favorecen la actividad de recombinación. Como consecuencia, estos portadores de carga recombinantes ya
 10 no están disponibles para generar electricidad. Para reducir las recombinaciones es necesario pasivizar la superficie de las células solares, reduciendo la actividad recombinante de los portadores de carga mediante estados superficiales.

Para pasivizar una superficie existen, en principio, dos fórmulas diferentes, ya que
 15 la actividad recombinante depende, por una parte, de la cantidad o la densidad de los estados superficiales y, por otra parte, de la densidad del portador de carga, más concretamente del producto de la densidad de huecos y electrones. Así, para la pasivación de las superficies, por una parte se puede reducir la cantidad de estados superficiales. Esta llamada pasivación química se consigue por la
 20 saturación química de los compuestos libres de la superficie (los llamados *dangling bonds* – (valencias libres)), en el caso de las células semiconductoras de silicio, por ejemplo, mediante una generación térmica de una capa de óxido de silicio (capa de SiO₂). La superficie límite que se produce entonces entre el semiconductor y la capa de SiO₂ se caracteriza por una densidad altamente reducida de los estados
 25 superficiales mencionados. Para la pasivación de las superficies de células solares de alto rendimiento normalmente se emplea la pasivación química.

La segunda fórmula para la pasivación de superficies consiste en mantener alejado uno de los tipos de portadores de carga (esto es portadores positivos o negativos) de los estados activos recombinantes en la superficie semiconductor, aplicando
 30 aquí un potencial apropiado. Así, el correspondiente otro tipo de portador de carga no dispone de los suficientes participantes de recombinación. Esta llamada pasivación por efecto de campo es un principio básico, por ejemplo, en el denominado *Back-Surface-Field (BSF)* del aluminio y, al aplicar capas dieléctricas,

por ejemplo de nitruro de silicio (SiN_x) u óxido de aluminio (Al_2O_3), se generan cargas superficiales fijas en sus superficies límite con la superficie semiconductor.

Ambas fórmulas arriba mencionadas para la pasivación de superficies tienen la desventaja de que, normalmente, tomadas cada una por separado, no consiguen una pasivación suficiente. Por ejemplo, la capa de SiO_2 generada por oxidación 5 térmica sobre una superficie de silicio debe enriquecerse con hidrógeno, por ejemplo mediante recocido con formiergas o alneal. Por otro lado, después de la pasivación de las superficies, las células solares deben someterse aún a otros pasos de procesamiento durante la fabricación. Así, la pasivación de superficies, 10 por un lado, debe mantenerse estable durante estos pasos de procesamiento. Por otro lado, la capa de pasivación generada para ello normalmente también debe tener funcionalidades adicionales, por ejemplo actuar como barrera de difusión. Con frecuencia, este requisito adicional de la capa de pasivación conduce a una solución de compromiso, con una pasivación no óptima de las superficies.

15 Los documentos Hoex et al., "On the c-Si surface passivation mechanics by the negative-charge-dielectric Al_2O_3 ", Journal of Applied Physics, Tomo 104, Nº 11, 1.12.2008, p. 113703 y siguientes, y Hofmann et al., "Recent developments in rear surface passivation at Fraunhofer ISE", Solar Energy Materials and Solar Cells, tomo 93, nº 6-7, 1.6.2009, pag. 1074-1078 reflejan el estado de la técnica actual.

20 Por tanto, el objetivo de la invención es proporcionar una célula solar y un procedimiento para la fabricación de una célula solar con el fin de pasivizar más efectivamente la superficie de la célula solar y, al mismo tiempo, aumentar la variedad de configuraciones para optimizar otros pasos de procesamiento durante la fabricación de las células solares.

25 Este objetivo se alcanza según la invención mediante una célula solar con las características de la reivindicación 1 y con el procedimiento de fabricación de las características de la reivindicación 12. En las reivindicaciones dependientes se indican desarrollos ventajosos de la invención.

Según se explica a continuación, gracias a la invención se puede mejorar la calidad 30 de pasivación y la estabilidad de la capa de pasivación. Además, se puede conseguir una mayor flexibilidad en relación a los parámetros ajustables del proceso. La invención se basa en el descubrimiento de que la formación de una capa de pasivación por dos capas parciales de pasivación mediante diferentes

mecanismos de pasivación puede conducir a una mayor calidad de la pasivación que va más allá de la simple acumulación de los efectos individuales conocidos.

Por capa parcial de pasivación, pasivación química y capa parcial de pasivación, pasivación por efecto de campo se quiere indicar que el respectivo mecanismo de pasivación domina en la correspondiente capa parcial de pasivación. En otras palabras, la capa parcial de pasivación, pasivación por efecto de campo, cuando está dispuesta directamente sobre una superficie de una capa semiconductor, tiene sin duda un efecto químico de pasivación, como es el caso, por ejemplo, del nitruro de silicio (SiN_x) sobre silicio. Sin embargo, el efecto de pasivación por efecto de campo es mucho mayor. Lo mismo es aplicable a la capa parcial de pasivación, de pasivación química, que también puede tener una baja densidad de carga superficial, donde, sin embargo, domina el efecto de pasivación química.

Ventajosamente, la capa parcial de pasivación por efecto de campo al menos una mayor densidad de carga superficial que la capa parcial de pasivación química. La densidad de carga superficial de la capa parcial de pasivación por efecto de campo preferentemente es mayor en como mínimo una magnitud que la densidad de la carga superficial de la capa parcial de pasivación química.

En particular, la capa parcial de pasivación química y/o la capa parcial por efecto de campo se forman en cada caso con un material dieléctrico.

Aquí es de señalar que el efecto de una pasivación por efecto de campo no depende sólo de la densidad de carga superficial de una capa parcial de pasivación por efecto de campo, sino también de la densidad del portador de carga y, por tanto, de la densidad de impurezas y del tipo de impurezas de la capa semiconductor cuya superficie se debe pasivizar. De modo similar, tampoco el efecto de una pasivación química depende solamente del material de la capa parcial de pasivación química, sino, en parte, también en gran medida de las características superficiales de la superficie semiconductor a pasivizar, en particular de su densidad de defectos. Esto puede depender, además, del tipo de aplicación de las capas parciales de pasivación. Por ejemplo, la capa parcial de pasivación química puede haberse depositado, por ejemplo según un procedimiento químico en húmedo o por deposición de la fase gaseosa, o por crecimiento térmico.

Por tanto, se utilizan aquí dos efectos de pasivación diferentes para la pasivación de las superficies, los cuales, sin embargo, se distribuyen por diferentes capas parciales de pasivación y se desvinculan por ello entre sí. Además de una

pasivación más efectiva, la capa de pasivación formada por como mínimo una capa parcial de pasivación química y una capa parcial de pasivación por efecto de campo tiene la ventaja de tener una mayor estabilidad que una capa de pasivación por un solo tipo de pasivación. Normalmente, las células solares durante su fabricación, después de aplicarse la pasivación de las superficies, pasan por una serie de pasos adicionales de proceso. Aquí, la pasivación de las superficies puede perder en calidad de la pasivación. Con una combinación de las dos capas parciales de pasivación se puede reducir o evitar por completo la pérdida de calidad de la pasivación. Con la pasivación de dos capas se puede conseguir, por ejemplo, una mayor estabilidad frente al fuego, por ejemplo para el proceso al fuego en el marco de un procedimiento de serigrafiado.

Otra ventaja resulta de la siguiente reflexión: algunas capas parciales de pasivación química pasivan la superficie semiconductor principalmente mediante la saturación de los llamados *dangling-bonds*. Esto es el caso, por ejemplo, de las capas de SiO_2 que crecen térmicamente sobre silicio. En particular en relación a las capas de SiO_2 , es sabida la necesidad de un paso adicional de proceso para proporcionar hidrógeno adicional a la superficie límite entre el semiconductor y la capa parcial de pasivación con el fin de conseguir una pasivación superficial lo suficientemente buena. Un paso típico de proceso para ello es, por ejemplo, el llamado recocido con formiergas o alneal, donde el aluminio reacciona con el SiO_2 a alta temperatura y se libera hidrógeno.

Aquí pueden surgir problemas, por ejemplo debido a la volatilidad del hidrógeno o debido a que no se puede llevar a cabo de ninguna manera un recocido, lo que podría ser el caso, por ejemplo en metalizaciones estándar con pasta serigráfica. Con la célula solar aquí descrita, por el contrario, no sólo se mejora en gran medida la pasivación química de una y la misma capa, sino la calidad de pasivación aumenta con ayuda de una capa parcial de pasivación adicional por efecto de campo. Además, otra ventaja es que, por la aplicación o por precipitación de la capa parcial de pasivación por efecto de campo, se produce una pasivación adicional del hidrógeno de la superficie límite entre la superficie de la capa semiconductor y la capa de pasivación. Esto ocurre, por ejemplo, cuando se aplica una capa de SiN_x sobre una capa de SiO_2 de pasivación química.

Durante la fabricación de la célula solar, ventajosamente primero se aplica directamente sobre la superficie de la capa semiconductor la capa de pasivación química y, a continuación, se deposita la capa parcial de pasivación por efecto de

campo directamente sobre la capa parcial de pasivación química. Alternativamente, se puede relajar o se puede producir el crecimiento en las otras capas en fases diferentes del proceso de fabricación. Otra ventaja es que, después de conseguir la capa de pasivación, ésta se somete a un tratamiento térmico (paso de templado).

- 5 Según una configuración conveniente, se ha previsto que la capa de pasivación química quede dispuesta sobre la superficie de la capa semiconductora entre la capa semiconductora y la capa parcial de pasivación por efecto de campo. En otras palabras, al fabricar la célula solar se aplica la capa parcial de pasivación por efecto de campo después de aplicar la capa parcial de pasivación química, donde
10 entremedias pueden tener lugar otros pasos de proceso. En el uso de la célula solar, la capa parcial de pasivación por efecto de campo puede influir, en este caso, sobre la superficie de la capa semiconductora a través de la capa parcial de pasivación química e introducir aquí portadores de carga en el semiconductor.

- En una realización ventajosa del procedimiento de fabricación, se ha previsto que,
15 antes de aplicar la capa parcial de pasivación por efecto de campo, la capa parcial aplicada de pasivación química se aplica en un proceso de difusión como barrera de difusión, en un proceso de decapado como barrera de decapado y/o en un proceso de texturización como barrera de textura. Debido a que, en lo que se refiere a la capa de pasivación, se trata de una pasivación del lado posterior, la capa parcial
20 de pasivación química puede actuar como barrera de difusión cuando se aplica una capa dieléctrica por el lado posterior.

- Además de las funciones aquí citadas, la capa parcial de pasivación química puede cumplir, en caso dado, otras tareas funcionales durante el proceso de fabricación de las células solares, por ejemplo para ahorrar costes y el trabajo de otras capas
25 intermedias de función específica, por lo demás necesarias, o capas sacrificables. La utilización por separado arriba descrita de los dos mecanismos de pasivación, pasivación por efecto de campo y pasivación química, con ayuda de dos capas parciales de pasivación permite una mayor selección de parámetros, ya que la capa parcial de pasivación química aporta características que apoyan las
30 funcionalidades adicionales mencionadas en el proceso de fabricación de las células solares, mientras que la capa parcial de pasivación por efecto de campo aumenta la pasivación de la superficie generando un efecto de campo.

- En una forma de realización preferente, se ha previsto que la capa parcial de pasivación química limite directamente con la capa parcial de pasivación por efecto
35 de campo. Por tanto, aquí se aplica la capa parcial de pasivación por efecto de

campo después de aplicar de la capa parcial de pasivación química sin intercalar una capa intermedia. Sin embargo, es posible imaginarse que, antes de aplicar la capa parcial de pasivación por efecto de campo, se lleven a cabo otros pasos de proceso en la célula solar o en la capa parcial de pasivación química, por ejemplo
5 un paso de limpieza.

En un desarrollo ventajoso se ha previsto que, entre la capa parcial de pasivación química y la capa parcial de pasivación por efecto de campo, se disponga una capa intermedia. La capa intermedia puede servir para influir sobre u optimizar las características eléctricas, ópticas y/o mecánicas de la capa de pasivación o de la
10 combinación entre las dos capas parciales de pasivación. Por ejemplo, entre una capa parcial de pasivación química de SiO_2 y una capa parcial de pasivación por efecto de campo de Al_2O_3 se puede crear una capa intermedia de SiO_x , más económica en comparación con las dos anteriores, con el fin de influir sobre las propiedades de reflexión de la capa de pasivación.

15 Además o alternativamente también se puede prever otra capa sobre la capa parcial de pasivación por efecto de campo para adaptar o modificar la capa de pasivación.

Preferentemente se ha previsto que al menos una de las capas parciales de pasivación se forme sin microagujeros. Esto es una ventaja, particularmente en el
20 caso de las metalizaciones que se solapan en varios planos de metalización en el caso de células solares de contacto por el lado posterior, para evitar el riesgo de cortocircuito. Aunque puede ser suficiente que solamente una de las capas parciales de pasivación esté libre de microagujeros, esto es ventajosamente aplicable tanto a la capa parcial de pasivación química como a la capa parcial de
25 pasivación por efecto de campo.

En una forma de realización conveniente, se ha previsto que la capa parcial de pasivación por efecto de campo se forme mediante precipitación de capas de átomos (abreviado ALD, "atomic layer deposition"), preferentemente ALD térmico, mediante la deposición de fases gaseosas físicas o químicas (PVD o CVD), en caso
30 dado apoyado por plasma (FECVD), o por medio del procedimiento sol-gel. Con la ALD se pueden formar capas particularmente uniformes y completas de óxido de aluminio. Además, es posible ajustar con precisión el espesor de capa, idealmente a una precisión de hasta una capa atómica. Tanto para la aplicación de la capa parcial de pasivación química como también de la capa parcial de pasivación por
35 efecto de campo pueden utilizarse independientemente entre sí otros

procedimientos conocidos, por ejemplo procedimientos de deposición química o física. Sin embargo, la calidad de la capa parcial de pasivación química no es tan crítica como la de la capa parcial de pasivación por efecto de campo, de manera que la primera puede generarse por procedimientos más económicos como CVD, oxidación química en húmedo, PVD (por ejemplo atomización o aplicación por vapor).

En una configuración ventajosa, se ha previsto que la capa parcial de pasivación por efecto de campo tenga un espesor en el rango entre 0,1 y 10 nm, preferentemente entre 2 y 5 nm. También son posibles capas más gruesas, de hasta 100 nm y más. A menudo esto depende del coste del procedimiento de precipitación, el cual, por ejemplo en el caso de ALD, es claramente superior que en otros procedimientos, como en la deposición de fases gaseosas apoyada por plasma (PECVD). En una forma de realización preferente, el espesor de la capa parcial de pasivación por efecto de campo oscila entre aproximadamente 10 y aproximadamente 15 nm.

Según la invención se ha previsto que la capa de pasivación se configure como capa de reflexión. Mientras que una función según la invención de la capa de pasivación como capa de reflexión para luz infrarroja por el lado posterior de la célula solar opuesta al impacto de la luz constituye una ventaja, sería deseable una capa de pasivación configurada como capa antirreflexión por el lado frontal de la célula solar. Para realizar la capa de pasivación como capa de reflexión o antirreflexión se pueden seleccionar, independientemente entre sí, los espesores de capa y/o las características ópticas de ambas capas parciales de pasivación.

Se ha previsto ventajosamente que el material pasivante por efecto de campo o la capa parcial de pasivación por efecto de campo tenga o se utilice para formar un material con una densidad de carga superficial mínima de 10^{12} cm^{-2} , preferentemente de $5 \times 10^{12} \text{ cm}^{-2}$, en especial como mínimo de 10^{13} cm^{-2} . Se puede tratar, en este caso, de una densidad de carga superficial positiva o negativa.

En una realización ventajosa, se ha previsto que la capa parcial de pasivación por efecto de campo se forme esencialmente con un material de densidad de carga superficial negativa. Diversos materiales adecuados, en primer lugar para la realización de capas de pasivación química, tienen densidades positivas bajas para las cargas superficiales. Esto es aplicable, por ejemplo, cuando se utiliza sobre semiconductores de silicio para capas de silicio amorfas (capas a-Si), así como capas de SiO_2 . Así, por ejemplo, una capa de SiO_2 acumulada térmicamente tiene

una densidad típica de cargas superficiales de 10^{11} cm^{-2} . Esta densidad positiva de cargas superficiales puede tener un efecto negativo para las capas de semiconductores con impurezas p (hueco - aceptor). Por ejemplo, la calidad de una pasivación mediante una capa de SiO_2 puede depender de la densidad de inyección de portadores fotogénicos de cargas en exceso, lo que, de nuevo, puede tener una influencia negativa sobre el rendimiento de la célula solar.

Mediante la capa parcial adicional de pasivación por efecto de campo con una densidad negativa de cargas superficiales se puede reducir el efecto de una densidad mucho menor de cargas superficiales positivas para la capa parcial de pasivación situada por debajo o incluso se puede revertir modificando cuantitativamente la densidad efectiva de cargas superficiales de toda la capa de pasivación y/o puede incluso revertirse su polaridad. Un efecto de este tipo puede utilizarse, formulado de modo más general, cuando la densidad mucho mayor de cargas superficiales de la capa parcial de pasivación por efecto de campo tiene otro signo de polaridad que una densidad de cargas superficiales eventualmente existente de la capa parcial de pasivación química.

Del efecto de la densidad de cargas superficiales de la capa parcial de pasivación por efecto de campo resulta otra ventaja importante, dependiendo de la polaridad de la capa semiconductor que actúa como base y de la densidad de cargas superficiales de las capas parciales de pasivación: en el caso de capas de pasivación química con una densidad reducida de cargas superficiales positivas aplicadas sobre una capa de semiconductores dopados con un aceptor (p) o de tipo p, se puede formar una capa de inversión sobre la superficie semiconductor según la relación entre las impurezas de los semiconductores y la densidad de cargas superficiales. Este es el caso con una capa de semiconductores dopada con n o del tipo n (donadores de electrones) sobre la que se ha dispuesto una capa de pasivación química con una densidad negativa de carga superficiales. En las células solares de contacto por puntos, entre los contactos por puntos se forma un canal de inversión que representa una causa conocida de pérdidas de portadores de carga y, por tanto, de rendimiento. Este problema se puede evitar mediante la aplicación de una capa parcial de pasivación por efecto de campo sobre la capa de pasivación química tal como se propone aquí. Para ello, por ejemplo cuando se utiliza una capa semiconductor de tipo p, se puede utilizar una capa parcial de pasivación por efecto de campo con una gran densidad de cargas superficiales, por ejemplo una capa de Al_2O_3 .

Según una configuración preferente, se ha previsto que la capa parcial de pasivación por efecto de campo comprenda óxido de aluminio, fluoruro de aluminio, nitruro de silicio, oxinitruro de aluminio y/u otro compuesto de óxido de aluminio u oxinitruro de aluminio ($\text{Al}_x\text{O}_y\text{N}_z$) y uno o varios otros elementos. En cuanto al óxido de aluminio (AlO_x ó Al_2O_3) y al fluoruro de aluminio (AlF_3), se trata de materiales que forman una capa parcial de pasivación por efecto de campo con una densidad de cargas superficiales negativa, mientras que una capa parcial de pasivación de nitruro de silicio tiene una densidad de cargas superficiales positiva. En lo que se refiere a los otros elementos, éstos pueden ser por ejemplo metales, especialmente tierras raras, o de carbono.

Se ha previsto, preferentemente, que la capa parcial de pasivación química comprenda un material semiconductor amorfo o un óxido semiconductor. Se puede tratar aquí, por ejemplo, de una capa de silicio amorfo o de SiO_2 apropiada para una pasivación química de las capas semiconductoras de silicio. Un óxido semiconductor se puede generar sobre la capa semiconductora bien mediante un procedimiento de precipitación o bien por oxidación de la superficie de la capa semiconductora.

Ventajosamente, la capa parcial de pasivación química está formada por un compuesto de silicio con oxígeno, nitrógeno y/o carbono. Especialmente adecuados como materiales para la capa parcial de pasivación química son oxinitruro de silicio (SiO_xN_y) o carburo de oxinitruro de silicio ($\text{SiO}_x\text{N}_y\text{C}_z$). Con la correcta selección de los materiales para las capas parciales de pasivación se pueden obtener capas de pasivación con propiedades funcionales durante la fabricación de las células solares, que sirven por ejemplo como barrera al decapado, texturización y/o difusión. Alternativa o adicionalmente, la capa parcial de pasivación química también puede encargarse por sí sola de una función de este tipo durante el desarrollo del proceso. En un desarrollo funcional se ha previsto que la capa de pasivación se extienda esencialmente por encima de la superficie completa de la capa semiconductora. Aquí, sin embargo, se pueden formar aberturas o pasos en la capa de pasivación para la conexión de la célula solar. Además, algunas zonas del margen de la célula solar pueden quedar libres por necesidades técnicas.

Convenientemente se ha previsto una pasivación mutua por medio de la capa de pasivación. Las capas de pasivación sobre el lado anterior de la célula solar y sobre el lado posterior de la célula solar pueden tener las mismas características y

propiedades. Alternativamente, se pueden diseñar de modo diferente adaptadas a las correspondientes necesidades. En particular, al configurar la capa de pasivación con características ópticas adicionales es conveniente configurar la capa anterior de pasivación como capa antirreflexión para el espectro luminoso relevante.

- 5 Según una forma de realización preferente, la capa de pasivación tiene en total, en la superficie de la capa semiconductor, una densidad de carga máxima en las superficies límite de 10^{13} cm^{-2} , de como máximo 10^{12} cm^{-2} o de como máximo de 10^{11} cm^{-2} . Son particularmente ventajosas para la pasivación densidades de cargas de las superficies límite de aproximadamente $5 \times 10^{11} \text{ cm}^{-2}$ para las capas
10 semiconductoras tanto de tipo n como de tipo p.

Por tanto, es de señalar que la alta densidad de cargas superficiales no se refleja a toda costa directamente en los valores de la densidad de cargas superficiales de la capa de pasivación. Así, debido a la combinación de la capa parcial de pasivación por efecto de campo con la capa parcial de pasivación química se puede obtener
15 una capa de pasivación con una muy alta calidad de pasivación con una densidad de cargas superficiales total más bien baja. Una capa de pasivación de este tipo es adecuada tanto para capas semiconductoras tipo n como tipo p, sin necesidad de configurar un canal de inversión.

La máxima densidad de carga de las superficies límite de toda la capa de pasivación
20 puede encontrarse cerca de la superficie de la capa semiconductor, dependiendo del material y de las impurezas de la capa semiconductor. Los valores máximos preferidos arriba indicados se refieren a capas semiconductoras con una superficie dopada con Si (concentración superficial de aproximadamente 1×10^{19} a $6 \times 10^{20} \text{ cm}^{-2}$).

25 Según una forma de realización ventajosa, la capa parcial de pasivación química tiene un espesor de capa mínimo de 1 nm, 5 nm, 10 nm, 50 nm ó 100 nm. Cuanto más espesor tiene la capa parcial de pasivación química, tanto más lejos se encuentra la capa parcial de pasivación por efecto de campo de la superficie semiconductor, de manera que la densidad de carga de las superficies límite
30 resulta menor. Al menos en el caso de una precipitación química en húmedo de la capa parcial de pasivación química, también puede ser ventajoso un espesor de capa de aproximadamente 1 a 5 nm.

En las formas de realización ventajosas, la capa parcial de pasivación química y/o la capa parcial de pasivación por efecto de campo se aplican como capa a baja

temperatura. En especial, ambas capas se aplican a una temperatura inferior a 400°C.

A continuación se explica la invención con ayuda de ejemplos de realización en referencia a las figuras adjuntas, que muestran:

- 5 Fi. 1a a 1e: vistas esquemáticas en sección transversal de una célula solar en diferentes fases de un proceso de fabricación según una forma de realización preferente, y

Fig. 2: vista esquemática en sección transversal de una célula solar fabricada mediante el procedimiento mostrado en las Fig. 1a - 1e.

- 10 Con ayuda de las figuras 1a a 1e se describe a continuación la fabricación de una célula solar 1 con pasivación de la superficie por ambos lados según una forma de realización posible. La figura 1a muestra una sección transversal de una capa semiconductor 2, con una superficie semiconductor 20 que forma aquí un lado posterior 20 de la célula solar alejado de la luz y otra superficie de la capa semiconductor 22 que constituye aquí un lado anterior 22 de la célula solar dirigido hacia la luz. La superficie de la capa semiconductor 20 preferentemente está provista de textura para aumentar la eficiencia, lo que se muestra en las figuras como un perfil en dientes de sierra.

- 20 Según la figura 1b, se aplica sobre la superficie de la capa semiconductor 20 una capa parcial de pasivación química 31, la cual además, en un siguiente paso de dopado para dopar la otra superficie semiconductor 22 puede servir como barrera de difusión. Después del paso de dopado se obtiene la disposición según la figura 1c, en la que la otra superficie de la capa semiconductor 22 está provista de una capa de dopado 4 que forma una unión pn con la otra parte de la capa semiconductor 2. La otra superficie de la capa semiconductor 22 se pasiviza a continuación mediante otra capa de pasivación 5 aplicada sobre la capa de dopado 4 según la figura 1d.

- 30 A continuación se aplica sobre la capa parcial de pasivación química 31 una capa parcial de pasivación por efecto de campo 33. Con ello se obtiene la capa de pasivación 3 mostrada en la figura 1e sobre la superficie de la capa semiconductor 20 que constituye la superficie posterior de la célula solar. Por esta razón es ventajoso generar una capa de pasivación 3 seleccionando de forma apropiada las características físicas y los parámetros de precipitación de las capas parciales de pasivación 31, 33, capa de pasivación 3 que sirve al mismo tiempo como capa de

reflexión para el espectro de luz relevante en cada célula solar correspondiente. A diferencia de lo mostrado en la figura 1e, adicionalmente se puede disponer una capa intermedia entre las capas parciales de pasivación 31, 33.

En cuanto a la otra capa de pasivación 5, puede tratarse de una capa de pasivación convencional formada mediante una sola capa de pasivación química o por efecto de campo. Alternativamente, la otra capa de pasivación 5 puede estar compuesta también por una combinación de dos capas de pasivación parciales según la capa de pasivación 3.

Para permitir el cableado de la célula solar 1 deben proporcionarse en cada caso accesos a la capa semiconductor 2 y a la capa de dopado, y la célula solar 1 debe metalizarse por su lado posterior y anterior, por ejemplo según un procedimiento de serigrafía con posterior procesamiento térmico. Para ello, se practican aberturas en la capa de pasivación 3 y en la otra capa de pasivación 5. Como resultado se obtiene, después de los pasos de metalización, la célula solar 1 según la figura 2. Sobre el lado posterior 20 de la célula solar se puede metalizar la superficie completa para generar un contacto 7 del lado posterior, mientras que en el lado anterior 22 de la célula solar, los contactos anteriores preferentemente tienen forma de dedo.

En cuanto a la capa semiconductor 2 se puede tratar, por ejemplo, de una capa de silicio cristalino en forma de plaquitas de silicio, donde en este caso la capa parcial de pasivación química 31 puede estar formada por crecimiento térmico de SiO_2 generado por PECVD o por silicio amorfo (a-Si). La capa parcial de pasivación por efecto de campo 33 está formada, por ejemplo, por Al_2O_3 .

La precipitación o el crecimiento de ambas capas parciales de pasivación 31, 33 pueden tener lugar en momentos diferentes del proceso de fabricación. Con ello se pueden aprovechar las funcionalidades de la capa parcial de pasivación química 31 durante el proceso de fabricación. Lo decisivo pero no evidente es aquí que las cargas superficiales de la capa parcial de pasivación por efecto de campo 33 se formen también durante la precipitación sobre la capa parcial de pasivación química 31, constituyendo un dieléctrico. Este es el caso en particular para la capa de Al_2O_3 sobre la capa de SiO_2 . Debido a que actualmente se obtienen los mejores resultados para las capas de pasivación de Al_2O_3 por medio de ALD, ALD es el procedimiento de precipitación preferente.

Sin embargo, también se pueden utilizar otros procedimientos de deposición, por ejemplo PECVD, en particular si los resultados obtenidos tienen una alta calidad,

similar a los de ALD en el procesamiento de fabricación con las dos capas parciales de pasivación. En este caso, la deposición por medio de PECVD es preferente por razones de coste.

Esta combinación de dos capas parciales de pasivación 31, 33 ofrece, además, 5 claras ventajas para su aplicación industrial. La mayoría de los procedimientos de fabricación, actualmente en fase de desarrollo en laboratorio, de células solares de alto rendimiento utilizan una capa de SiO_2 generada térmicamente, sin embargo la aplicación de este procedimiento de fabricación a células solares fabricadas industrialmente por serigrafía resulta difícil. Esto es debido, por un lado, a la poca 10 estabilidad de la capa de SiO_2 frente a los procesos térmicos necesarios; por otro lado, debido a la necesidad de hidrógeno para una muy buena pasivación en la capa de SiO_2 . En las células solares producidas en laboratorio, una capa de aluminio aplicada por deposición física de fases gaseosas (PVD) actúa como donador de hidrógeno. En la fabricación industrial, sin embargo, la serigrafía tiene 15 grandes ventajas en lo que se refiere al trabajo y coste frente al procedimiento de PVD.

Debido a la combinación de dos efectos de pasivación, ya no sólo la densidad de los estados superficiales es decisiva para la calidad de pasivación. Es decir, la capa sigue pasivando de modo suficiente después del proceso de calentamiento a pesar 20 a un mayor número de estados superficiales. Puesto que además se incrementa todavía más la buena calidad de pasivación de la capa crecida térmicamente de SiO_2 por la aplicación de la capa de Al_2O_3 , esta disposición es interesante también para aquellas células solares de alto rendimiento que no se someten a un proceso de calentamiento durante la fabricación.

Otra ventaja importante de cada tipo de combinación de una capa parcial de pasivación química 31 y una capa parcial de pasivación 33 por efecto de campo 25 para formar una capa de pasivación 3 es el menor requisito en cuanto a la calidad de la pasivación química, en particular en el caso de óxidos semiconductores formados térmicamente. Esto es debido a que para la calidad de pasivación ya no es decisivo sólo el número de estados superficiales. Por tanto, ya no se necesitan 30 óxidos de crecimiento en seco para una muy buena pasivación e incluso las capas de óxido generadas por PECVD ganan en importancia. La ventaja es aquí que se sustituye un paso a altas temperaturas de oxidación térmica por un paso a bajas temperaturas de deposición PECVD, lo que, entre otras cosas, conlleva menos 35 requisitos en cuanto al material de la célula solar.

Finalmente, debido a las capas parciales de pasivación de diferente efecto 31, 33, se gana en flexibilidad durante el proceso de fabricación. Por ejemplo es posible formar las capas parciales de pasivación 31, 33 en diferentes momentos del proceso de fabricación y, en caso dado, éstas pueden asumir funciones adicionales, por ejemplo la capa de SiO_2 puede actuar como barrera de difusión, por ejemplo frente a la difusión de fósforo.

Las células solares 1 según las formas de realización aquí mostradas sólo tienen en cada caso por un lado una capa de pasivación 3 de dos estratos. Alternativamente, la capa de pasivación 3 consistente en la capa parcial de pasivación química 31, por ejemplo de óxido de silicio crecido por procedimiento químico en húmedo o térmico, y en la capa parcial de pasivación por efecto de campo 33, por ejemplo de óxido de aluminio, puede aplicarse sobre ambas superficies de las capas semiconductoras 20, 22. Dicho en otras palabras, en cuanto a la otra capa de pasivación 5, se puede tratar también de una capa de pasivación 3 de doble estrato. También se puede colocar por ambos lados de la célula solar una capa de recubrimiento de nitruro de silicio (SiN_x) aplicada sobre la capa de pasivación 3.

Lista de referencias

- 1 Sistema semiconductor (célula solar)
- 20 2 Capa semiconductor
- 20 Superficie de la capa semiconductor, lado posterior de la célula solar.
- 22 Otra superficie de la capa semiconductor, lado anterior de la célula solar.
- 3 Capa de pasivación.
- 25 31 Capa parcial de pasivación química.
- 33 Capa parcial de pasivación por efecto de campo.
- 4 Capa de dopado.
- 5 Otra capa de pasivación.
- 30 6 Contacto del lado anterior
- 7 Contacto del lado posterior

Reivindicaciones

1. Célula solar (1) con una capa semiconductor (2) y una capa de pasivación (3) dispuesta sobre una superficie de la capa semiconductor (2) para la pasivación de la superficie de la capa semiconductor (20), donde la capa de pasivación (3) es una pasivación del lado posterior dispuesto en un lado posterior de la célula solar (1) alejado de la luz configurada como capa de reflexión para la luz infrarroja y que comprende una capa parcial de pasivación química (31) y una capa parcial de pasivación por efecto de campo (33) dispuestas la una sobre la otra en la superficie de la capa semiconductor (20), donde la capa parcial de pasivación química (31) está dispuesta entre la capa semiconductor (2) y la capa parcial de pasivación por efecto de campo (33) sobre la superficie de la capa semiconductor (20) y donde se aplica una capa de recubrimiento de nitruro de silicio sobre la capa de pasivación (3).
2. Célula solar (1) según la reivindicación 1, caracterizada porque entre la capa parcial de pasivación química (31) y la capa parcial de pasivación por efecto de campo (33) se dispone una capa intermedia.
3. Célula solar (1) según una de las reivindicaciones 1 a 2, caracterizada porque la capa parcial de pasivación por efecto de campo (33) es una capa formada por deposición de capas atómicas, una capa depositada por CVD, una capa depositada por PECVD, una capa depositada por PVD o una capa depositada por el método sol-gel.
4. Célula solar (1) según una de las reivindicaciones 1 a 3, caracterizada porque la capa parcial de pasivación (33) por efecto de campo tiene un espesor en el rango de 0,1 a 10 nm, entre 2 y 5 nm, o entre 10 y 15 nm.
5. Célula solar (1) según una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizada porque** el material pasivante por efecto de campo o la capa parcial de pasivación por efecto de campo (33) se forma esencialmente con un material cuya densidad de carga superficial mínima es de 10^{12} cm^{-2} , de preferencia como mínimo $5 \times 10^{12} \text{ cm}^{-2}$, preferiblemente como mínimo de 10^{13} cm^{-2} .
6. Célula solar (1) según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizada porque la capa parcial de pasivación por efecto de campo (33) comprende óxido de aluminio, fluoruro de aluminio, nitruro de silicio, nitruro de óxido de aluminio y/u otro compuesto de óxido de aluminio y uno o varios otros elementos.

7. Célula solar (1) según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizada porque la capa parcial de pasivación química (31) comprende un material semiconductor amorfo o un óxido semiconductor.
8. Célula solar (1) según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizada porque la capa parcial de pasivación química (31) se forma con un compuesto de silicio con oxígeno, nitrógeno y/o carbono.
9. Célula solar (1) según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizada porque tiene una pasivación por ambos lados mediante la capa de pasivación (3).
10. Célula solar (1) según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizada porque la capa de pasivación (3) tiene en la superficie de la capa semiconductora (20) una densidad de carga superficial máxima de 10^{13} cm^{-2} , máxima de 10^{12} cm^{-2} o máxima de 10^{11} cm^{-2} .
11. Célula solar (1) según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizada porque la capa parcial de pasivación química (31) tiene un espesor de capa mínimo de 1 nm, 5nm, 10 nm, 50 nm ó 100 nm.
12. Procedimiento de fabricación de una célula solar (1) caracterizado porque se aplican consecutivamente una capa parcial de pasivación química (31) y una capa parcial de pasivación por efecto de campo (33) sobre una superficie de la capa semiconductora (20) de la célula solar (1), de manera que la capa parcial de pasivación química (31) queda dispuesta entre la capa semiconductora (2) y la capa parcial de pasivación por efecto de campo (33) sobre la superficie de la capa semiconductora (20), con el fin de formar juntas una capa de pasivación (3) conformada como capa de reflexión para la luz infrarroja, capa de pasivación (3) que constituye una pasivación del lado posterior dispuesto en un lado posterior de la célula solar (1) alejado de la luz, donde se aplica una capa de recubrimiento de nitruro de silicio sobre la capa de pasivación (3).
13. Procedimiento de fabricación según la reivindicación 12, caracterizado porque, antes de aplicar la capa parcial de pasivación por efecto de campo (33), la capa parcial de pasivación química (31) aplicada se utiliza en un proceso de difusión como barrera de difusión, en un proceso de decapado como barrera de decapado y/o un proceso de textura como barrera de textura.

Fig. 1

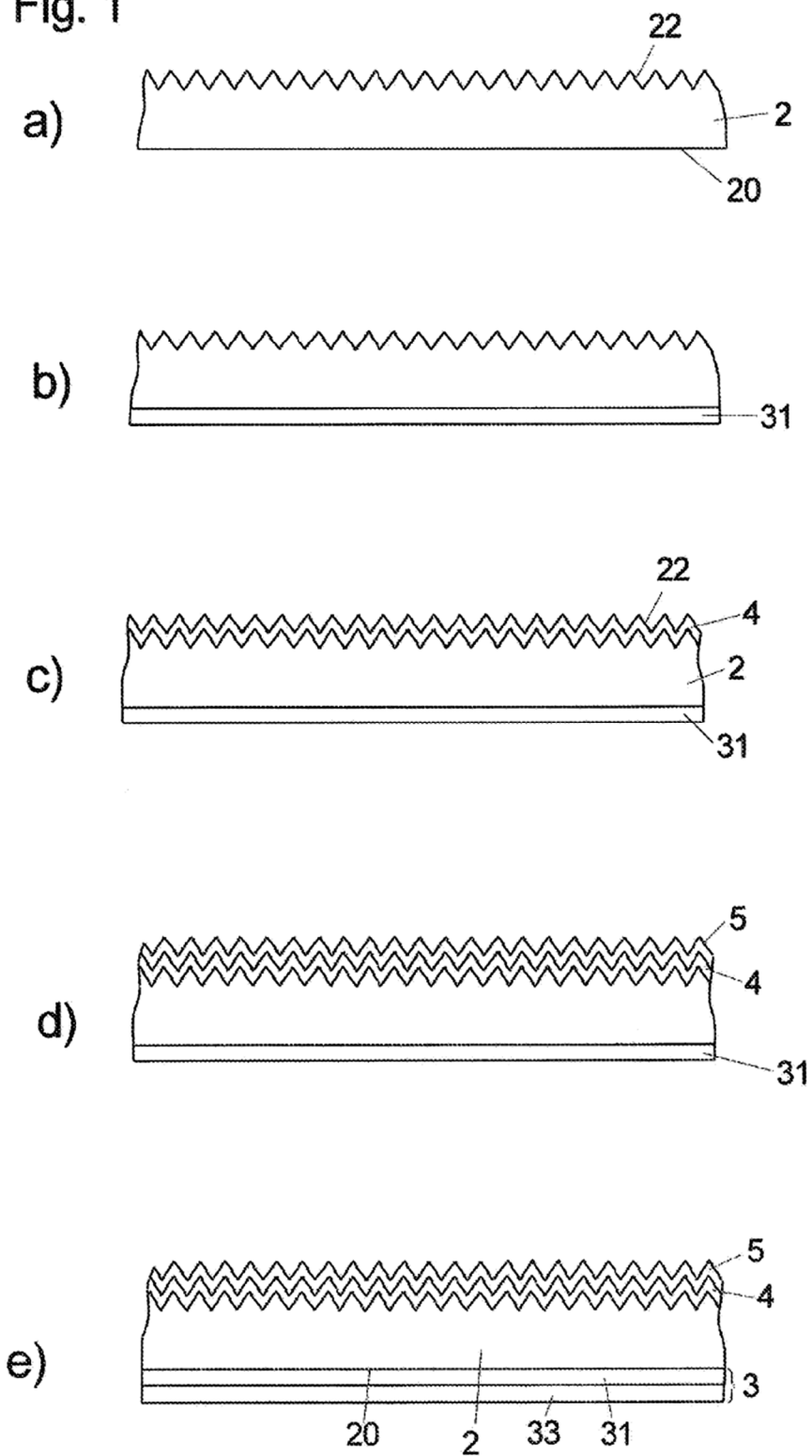


Fig. 2

