

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **3 023 336**

51 Int. Cl.:

H01L 31/0224 (2006.01)

H01L 31/0747 (2012.01)

H01L 31/18 (2006.01)

H01L 31/0368 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **22.03.2022 PCT/EP2022/057488**

87 Fecha y número de publicación internacional: **06.10.2022 WO22207408**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **22.03.2022 E 22718092 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **26.02.2025 EP 4315429**

54 Título: **Dispositivo fotovoltaico con contacto pasivado y correspondiente método de fabricación**

30 Prioridad:

31.03.2021 EP 21166148

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
30.05.2025

73 Titular/es:

**CSEM CENTRE SUISSE D'ELECTRONIQUE ET DE
MICROTECHNIQUE SA - RECHERCHE ET
DÉVELOPPEMENT (100.00%)
Rue Jaquet-Droz 1
2002 Neuchâtel, CH**

72 Inventor/es:

**INGENITO, ANDREA y
NICOLAY, SYLVAIN**

74 Agente/Representante:

DEL VALLE VALIENTE, Sonia

ES 3 023 336 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 fotovoltaico con contacto pasivado y correspondiente método de fabricación

5 Campo técnico

La presente invención se refiere al campo de los dispositivos fotovoltaicos. Más particularmente, se refiere a un dispositivo fotovoltaico con contactos pasivados y a un correspondiente método para su fabricación.

10 Estado de la técnica

En las celdas solares de silicio cristalino, la pasivación de los contactos es muy importante para reducir las pérdidas por recombinación en los contactos y, por lo tanto, para obtener una alta eficiencia de conversión a corriente eléctrica de la luz que incide sobre la celda.

15 Típicamente, se deposita una capa de efecto túnel dieléctrica ultrafina (<5 nm) sobre el sustrato de silicio cristalino, p. ej. de óxido de silicio, donde se forma una capa de recubrimiento de silicio policristalino (polisilicio) dopado. Se aplican entonces contactos eléctricos de forma selectiva sobre esta capa de recubrimiento, por ejemplo, mediante serigrafía y el posterior curado de pasta de plata. Durante el curado, que se lleva a cabo a temperaturas elevadas para "endurecer" la pasta, el polisilicio subyacente a menudo sufre daños y la pasivación se ve reducida a medida que el material de plata fluye hacia la textura superficial y se deteriora.

20 El nivel de pasivación alcanzado termina suponiendo un compromiso, ya que una capa de recubrimiento de polisilicio relativamente gruesa proporciona una pasivación excelente, pero absorbe la luz que de otro modo se convertiría en la parte activa de la celda solar. Esta absorción parasitaria de la luz reduce la eficiencia de conversión de la celda.

25 Por esta razón, los contactos pasivantes a base de polisilicio metalizados mediante serigrafía y cocción por difusión se emplean principalmente en la parte posterior de una celda solar con una unión homológica convencional en la parte frontal. En la búsqueda de celdas solares con una alta eficiencia, los contactos pasivantes de polisilicio se aplican idealmente en ambos lados de una celda solar. Por lo tanto, para maximizar la fotogeneración en la capa absorbente, los contactos pasivantes a base de polisilicio deben disponerse de tal manera que se reduzca la recombinación de los contactos y se mantengan altos niveles de pasivación en toda la superficie de la oblea, sin crear pérdidas ópticas parásitas excesivas. Cabe señalar que tales pérdidas se producen en la respuesta infrarroja de la respuesta espectral de la celda solar debido a la absorción por portadores libres (APL) si el polisilicio dopado está solo en la parte posterior. Si el contacto pasivante de polisilicio se aplica también en la parte frontal o en ambos lados de la celda solar, se producen pérdidas ópticas en las regiones UV, visible e infrarroja de la respuesta espectral de la celda solar.

40 El documento WO 2020/204823 describe un dispositivo fotovoltaico con una pila de capas laterales posteriores que comprende, dispuesta sobre un sustrato de silicio, la secuencia de una primera capa de efecto túnel de superficie completa, una primera capa de recubrimiento a base de silicio policristalino de superficie completa, una segunda capa de efecto túnel de superficie completa, una segunda capa de recubrimiento a base de silicio policristalino de superficie completa, y contactos metálicos. Dado que todas las capas en cuestión, excepto los contactos metálicos, son de superficie completa, el rendimiento de la celda dista bastante de ser óptimo.

45 Por lo tanto, un objetivo de la presente invención es superar al menos parcialmente los inconvenientes mencionados anteriormente del estado de la técnica.

Descripción de la invención

50 Más precisamente, la invención se refiere a un dispositivo fotovoltaico que comprende:

- un sustrato de silicio, normalmente una oblea de silicio monocristalino, que puede estar dopada, no dopada o dopada solo en ciertas zonas, particularmente en su superficie;

55 - una primera capa de efecto túnel situada sobre al menos un primer lado de dicho sustrato de silicio;

- una primera capa de recubrimiento a base de silicio policristalino situada sobre dicha primera capa de efecto túnel. Dependiendo de la configuración de la celda, la primera capa de recubrimiento a base de silicio policristalino puede ser de área completa o puede estar modelada. También debe tenerse en cuenta que la primera capa de recubrimiento a base de silicio policristalino puede ser el propio silicio policristalino, o carburo de silicio policristalino, óxido de silicio policristalino o similares, siendo estas sustancias a base de silicio;

60 - una segunda capa de efecto túnel situada sustancialmente sobre la totalidad de dicha primera capa de recubrimiento a base de silicio policristalino;

65 Según la invención, dicho dispositivo fotovoltaico comprende además:

- una segunda capa de recubrimiento a base de silicio policristalino situada sobre zonas predeterminadas de dicha segunda capa de efecto túnel, estando las áreas de dicha segunda capa de efecto túnel situadas fuera de dichas zonas predeterminadas libres de dicha segunda capa de recubrimiento a base de silicio policristalino (es decir, la segunda capa a base de silicio policristalino no está situada sobre las mismas); y
 - un contacto metálico situado directa o indirectamente sobre al menos parte de dicha segunda capa de recubrimiento a base de silicio policristalino, siendo este contacto metálico una capa configurada como almohadillas, uñas o similares para constituir los contactos eléctricos del dispositivo.
- El dopaje (o la falta del mismo) en el sustrato de silicio y las diversas capas mencionadas anteriormente se puede organizar según sea necesario, y la invención no se limita a una configuración particular del dopante. Además, las capas mencionadas anteriormente pueden proporcionarse en uno o ambos lados del sustrato.
- Como resultado, el metal se mantiene alejado de la interfaz entre el sustrato de silicio y la primera capa de efecto túnel (que forma la interfaz de contacto pasivante), lo que elimina los daños a la misma, por ejemplo, durante el curado térmico de la pasta de plata utilizada para el contacto metálico, o durante la deposición de la misma si se realiza mediante PVD. Las áreas no contactadas fuera de dichas zonas no están provistas de la segunda capa de recubrimiento a base de silicio policristalino, lo que significa que el espesor del material a base de silicio policristalino en estas áreas puede ser lo más delgado posible para minimizar la absorción parasitaria de la luz. De este modo, se maximiza la pasivación de los contactos y se minimiza la absorción parasitaria de la luz, lo que mejora la eficiencia de la celda, el factor de llenado, el voltaje de fuente abierta y la corriente de cortocircuito.
- De forma ventajosa, la primera capa de efecto túnel está hecha de un material dieléctrico, y dicha segunda capa de efecto túnel está hecha de un material dieléctrico o una aleación semiconductor, no impidiendo esta última el transporte vertical de cargas (es decir, el transporte de cargas en una dirección perpendicular al plano del sustrato).
- De forma ventajosa, al menos una de dicha primera capa de recubrimiento a base de silicio policristalino y dicha segunda capa de recubrimiento a base de silicio policristalino está hecha de silicio policristalino, con o sin hidrogenación.
- De forma ventajosa, dicha segunda capa de recubrimiento a base de silicio policristalino tiene el mismo tipo de dopante que dicha primera capa de recubrimiento a base de silicio policristalino en la correspondiente zona predeterminada, es decir, en la primera capa de recubrimiento a base de silicio policristalino subyacente. De este modo, se optimiza la recolección de cargas.
- De forma ventajosa, dicha segunda capa de recubrimiento a base de silicio policristalino tiene una concentración de dopante que es mayor que la de dicha primera capa de recubrimiento a base de silicio policristalino en la correspondiente zona predeterminada.
- De forma ventajosa, dicho contacto metálico es de pasta de plata, plata/aluminio, aluminio o cobre.
- De forma ventajosa, se cumple una o más de las siguientes condiciones:
- dicha primera capa de efecto túnel tiene un espesor de entre 0,5 nm y 5 nm, preferiblemente de entre 0,5 nm y 1,5 nm, aún más preferiblemente de entre 0,5 nm y 1 nm; y/o
 - dicha primera capa de recubrimiento a base de silicio policristalino tiene un espesor de entre 5 nm y 100 nm, preferiblemente de entre 10 nm y 50 nm; y/o
 - dicha segunda capa de efecto túnel tiene un espesor de entre 0,5 nm y 5 nm, preferiblemente de entre 0,5 nm y 1,5 nm, aún más preferiblemente de entre 0,5 nm y 1 nm; y/o
 - dicha segunda capa de recubrimiento a base de silicio policristalino tiene un espesor superior a 5 nm, preferiblemente de entre 5 nm y 200 nm.
- La invención también se refiere a un método de fabricación de un dispositivo fotovoltaico tal como se ha descrito anteriormente, comprendiendo el método las etapas de:
- a) proporcionar un sustrato de silicio, normalmente una oblea de silicio monocristalino, que puede estar dopada, no dopada o dopada solo en ciertas zonas, particularmente en su superficie; posteriormente
 - b) formar una primera capa de efecto túnel situada sobre al menos un primer lado de dicho sustrato de silicio; posteriormente
 - c) formar una primera capa de recubrimiento a base de silicio policristalino sobre dicha primera capa, ya sea de área sustancialmente completa o de manera modelada dependiendo de la configuración de la celda;

d) formar una segunda capa de efecto túnel sobre sustancialmente la totalidad de dicha primera capa de recubrimiento a base de silicio policristalino;

5 Según la invención, el método comprende además:

e) formar una segunda capa de pasivación a base de silicio policristalino sobre dicha segunda capa de efecto túnel en zonas predeterminadas, estando las áreas de dicha segunda capa de efecto túnel situadas fuera de dichas zonas predeterminadas libres de dicha segunda capa de recubrimiento a base de silicio policristalino; y

10 f) formar un contacto metálico sobre al menos parte de dicha segunda capa de recubrimiento a base de silicio policristalino, sirviendo este metal a modo de contactos para el dispositivo.

15 El dopaje (o la falta del mismo) en el sustrato de silicio y las diversas capas mencionadas anteriormente se puede organizar según sea necesario, y la invención no se limita a una configuración particular del dopante. Además, las capas mencionadas anteriormente pueden proporcionarse en uno o ambos lados del sustrato.

20 Como resultado, el metal se mantiene alejado de la interfaz entre el sustrato de silicio y la primera capa de efecto túnel (que forma la interfaz de contacto pasivante), lo que elimina los daños a la misma, por ejemplo, en el caso de curado térmico de la pasta de plata utilizada para el contacto metálico. Las áreas no contactadas fuera de dichas zonas no están provistas de la segunda capa de recubrimiento a base de silicio policristalino, lo que significa que el espesor del material a base de silicio policristalino en estas áreas puede ser lo más delgado posible para minimizar la absorción parasitaria de la luz. De este modo, se maximiza la pasivación de los contactos y se minimiza la absorción parasitaria de la luz, lo que mejora la eficiencia de la celda, el factor de llenado, el voltaje de fuente abierta y la corriente de cortocircuito.

25 De forma ventajosa, e) comprende además subetapas de:

e1) formar dicha segunda capa de recubrimiento a base de silicio policristalino sobre sustancialmente la totalidad de dicha segunda capa de efecto túnel; posteriormente

30 e2) retirar selectivamente dicha segunda capa de recubrimiento a base de silicio policristalino fuera de dichas zonas predeterminadas para dejar expuesta dicha segunda capa de efecto túnel en las áreas fuera de dichas zonas predeterminadas.

35 Este es un método particularmente eficiente y simple para modelar la segunda capa de recubrimiento a base de silicio policristalino. Sin embargo, en un método alternativo, la segunda capa de recubrimiento a base de silicio policristalino se puede depositar de manera modelada, por ejemplo, mediante enmascaramiento seguido de deposición.

40 De forma ventajosa, dicha primera capa de efecto túnel está hecha de un material dieléctrico, y dicha segunda capa de efecto túnel está hecha de un material dieléctrico o una aleación semiconductora.

De forma ventajosa, al menos una de dicha primera capa de recubrimiento a base de silicio policristalino y dicha segunda capa de recubrimiento a base de silicio policristalino está hecha de silicio policristalino.

45 De forma ventajosa, dicha segunda capa de recubrimiento a base de silicio policristalino tiene el mismo tipo de dopante que dicha primera capa de recubrimiento a base de silicio policristalino en la correspondiente zona predeterminada, es decir, en la primera capa de recubrimiento a base de silicio policristalino subyacente. De este modo, se optimiza la recolección de cargas.

50 De forma ventajosa, dicha segunda capa de recubrimiento a base de silicio policristalino tiene una concentración de dopante que es mayor que la de dicha primera capa de recubrimiento a base de silicio policristalino en la correspondiente zona predeterminada.

De forma ventajosa, dicho contacto metálico es de plata o aluminio o pasta de plata/aluminio o Cu.

55 De forma ventajosa, se cumple una de las siguientes condiciones:

- dicha primera capa de efecto túnel tiene un espesor de entre 0,5 nm y 5 nm, preferiblemente de entre 0,5 nm y 1,5 nm, aún más preferiblemente de entre 0,5 nm y 1 nm; y/o

60 - dicha primera capa de recubrimiento a base de silicio policristalino tiene un espesor de entre 5 nm y 100 nm, preferiblemente de entre 10 nm y 50 nm; y/o

65 - dicha segunda capa de efecto túnel tiene un espesor de entre 0,5 nm y 5 nm, preferiblemente de entre 0,5 nm y 1,5 nm, aún más preferiblemente de entre 0,5 nm y 1 nm; y/o

- dicha segunda capa de recubrimiento a base de silicio policristalino tiene un espesor superior a 5 nm, preferiblemente de entre 10 nm y 200 nm.

Breve descripción de los dibujos

Los detalles adicionales de la invención se harán evidentes al leer la descripción detallada que sigue, en referencia a las figuras adjuntas, en las que:

- La figura 1 es una vista en sección transversal esquemática de parte de un dispositivo fotovoltaico según la invención;

- las Figuras 2 a 4 son vistas en sección transversal esquemáticas de varias etapas de un método según la invención;

- la Figura 5 es una vista en sección transversal esquemática de una celda fotovoltaica de prueba;

- las Figuras 6-9 son vistas en sección transversal esquemáticas de partes de diversas configuraciones de dispositivos fotovoltaicos según la invención.

Realizaciones de la invención

La Figura 1 ilustra esquemáticamente parte de un dispositivo fotovoltaico 1 según la invención, habiéndose representado únicamente las características necesarias para la comprensión de la invención, es decir, la configuración de los contactos pasivados que forman el núcleo de la invención, y habiéndose omitido todas las demás capas. Las diversas capas se representan esquemáticamente, y los espesores relativos no deben imputarse a partir de los dibujos.

El dispositivo fotovoltaico 1 comprende un sustrato 3 de silicio, normalmente silicio monocristalino en forma de oblea o sustrato multicristalino, como se conoce generalmente. Dependiendo del tipo de dispositivo fotovoltaico, este sustrato 3 puede no estar dopado, estar dopado uniformemente, dopado en varias zonas, ya sea en un lado o en ambos lados de la oblea, o similares. Dado que el principio de la invención se aplica a muchos tipos de celdas solares a base de una oblea de silicio monocristalina, ya sea en contacto con la cara posterior, con la cara frontal o en contacto bifacial, no es necesario análisis adicional alguno sobre este aspecto.

En una primera cara 3a de dicha oblea se proporciona una primera capa 5 de efecto túnel, hecha, por ejemplo, de un material dieléctrico tal como SiO_x , SiN_x , SiON_x , AlN_x , or AlON_x de cualquier estequiometría conveniente. Esta capa tiene normalmente un espesor inferior a 5 nm, preferiblemente inferior a 1,5 nm o incluso inferior a 1 nm, pero normalmente superior a 0,5 nm, y se deposita sobre prácticamente toda la superficie del sustrato 3. Este espesor es lo suficientemente pequeño como para permitir que los portadores de carga (electrones o huecos, según el caso) pasen a través del mismo en virtud al efecto túnel.

Sobre una cara de la primera capa 5 de efecto túnel orientada en dirección opuesta al sustrato 3 se proporciona una primera capa 7 de recubrimiento a base de silicio policristalino, que puede estar dopada o no dopada. En la presente realización, la primera capa 7 de recubrimiento a base de silicio policristalino se proporciona sustancialmente sobre la totalidad de dicha cara de la primera capa de efecto túnel, pero como puede observarse en la Figura 9 (véase más adelante), en determinadas circunstancias, en función de la configuración de celda, la primera capa 7 de recubrimiento a base de silicio policristalino puede modelarse. La expresión "capa a base de silicio policristalino" debe entenderse como la designación de una capa policristalina formada por un material a base de silicio tal como el propio Si, SiO_x , SiC_x o SiN_x , siendo este material opcionalmente hidrogenado. En términos del nivel de cristalinidad, típicamente resulta adecuada una cristalinidad Raman de al menos el 5 %, preferiblemente de al menos el 20 %. El grosor está normalmente entre 5 nm y 100 nm, preferiblemente entre 10 nm y 50 nm.

Sobre prácticamente la totalidad de una cara de la primera capa 7 de recubrimiento a base de silicio policristalino orientada en sentido opuesto al sustrato 3, se proporciona una segunda capa 9 de efecto túnel, que es una capa de efecto túnel dieléctrico sujeta a las mismas restricciones en términos de materiales y espesor que la primera capa 5 de efecto túnel, o una capa de efecto túnel de aleación semiconductor. En el caso de que ambas capas 5, 9 de efecto túnel sean dieléctricas, no es necesario que sean idénticas. En términos de aleaciones semiconductoras, se pueden usar capas de aleación de Si-O, Si-N, Si-C y AlON_x , con un espesor inferior a 10 nm, preferiblemente inferior a 5 nm, aún más preferiblemente inferior a 1,5 nm, y superior a 0,5 nm.

En unas zonas predeterminadas 11 de la superficie de la segunda capa 9 de efecto túnel dieléctrica orientada en sentido contrario al sustrato 3, se proporciona una segunda capa 13 de recubrimiento a base de silicio policristalino, que puede estar dopada o no dopada, puede estar hidrogenada y preferiblemente tiene el mismo tipo de dopante (o falta del mismo) que la primera capa 7 de recubrimiento a base de silicio policristalino, aunque este no tiene por qué ser el caso. De forma ventajosa, ambas capas 7, 13 de recubrimiento a base de silicio policristalino están dopadas con el mismo tipo de dopante (tipo P o tipo N), y la segunda capa 13 de recubrimiento a base de silicio policristalino tiene una concentración de dopante más alta que la primera capa 7 de recubrimiento a base de silicio policristalino, lo

que ayuda a maximizar la extracción de los portadores de carga. Esta capa es más gruesa que 5 nm, normalmente entre 10 nm y 200 nm, preferiblemente de 50 a 150 nm.

5 Finalmente, los contactos metálicos 15 están situados directa o indirectamente sobre la segunda capa 13 de recubrimiento a base de silicio policristalino, nuevamente en una superficie de la misma orientada en sentido contrario al sustrato 3. Por ejemplo, no debe excluirse la posibilidad de proporcionar una capa de efecto túnel adicional y/o una capa de recubrimiento adicional (o varias) entre la segunda capa 13 de recubrimiento a base de silicio policristalino y los contactos metálicos 15.

10 En unas áreas 17 situadas fuera de dichas zonas predeterminadas 11, la segunda capa 9 de efecto túnel dieléctrica queda expuesta, lo que garantiza una absorción parasitaria de la luz mínima.

15 Las capas 5, 7, 9, 13 y 15 se pueden aplicar en el lado frontal (es decir, el lado en el que incide la luz) del dispositivo fotovoltaico 1, en el lado posterior (es decir, en el lado sombreado) o en ambos lados, dependiendo del tipo de celda solar que se esté implementando. Además, cada una de dichas capas 5, 7, 9, 13 y 15 se proporciona preferiblemente directamente sobre la capa subyacente (o sustrato en el caso de la primera capa 5 de efecto túnel), aunque no debe excluirse la presencia de capas intermedias.

20 Habiéndose descrito la estructura del dispositivo fotovoltaico 1 según la invención con referencia a la Figura 1, ahora se describirá un método de fabricación particularmente ventajoso pero no limitativo con referencia a las Figuras 2-4.

25 La Figura 2 representa la secuencia de etapas para formar la porción de la pila de capas que comprende el sustrato 3 de silicio, la primera capa 5 de efecto túnel, la primera capa 7 de recubrimiento a base de silicio policristalino y la segunda capa 9 de efecto túnel dieléctrica.

En primer lugar, se proporciona el sustrato 3 de silicio, como se ha descrito anteriormente.

30 Posteriormente, se forma la primera capa 5 de efecto túnel sobre una superficie del sustrato de silicio, por ejemplo, mediante crecimiento por oxidación, nitruración o similares en la superficie, o mediante deposición tal como un proceso de deposición química en fase de vapor (por ejemplo, APCVD, LPCVD, etc., con o sin mejora de plasma), deposición física de vapor (metalizado al vacío) o similares. Esta capa 5 normalmente no está dopada, pero se puede incluir un dopante durante la deposición, como es conocido generalmente.

35 Posteriormente, se forma la primera capa 7 de recubrimiento a base de silicio policristalino sobre la primera capa 5 de efecto túnel, preferiblemente directamente sobre ella sin deposición o formación de una capa intermedia. Esto se lleva a cabo típicamente mediante deposición física de vapor (PVD, con o sin mejora de plasma) o un proceso de deposición química de vapor (PECVD, LPCVD), según el material elegido, como es conocido generalmente.

40 Posteriormente, se forma la segunda capa 9 de efecto túnel sobre sustancialmente la totalidad de la primera capa 7 de recubrimiento a base de silicio policristalino, preferiblemente directamente sobre ella sin deposición o formación de una capa intermedia, ya sea cultivándola sobre la misma (por ejemplo, mediante un proceso de ácido nítrico caliente, agua desionizada con ozonización, ozono UV u otro proceso de oxidación), o se deposita sobre la misma mediante PVD, CVD, deposición de capa atómica (ALD) o similares, según material elegido. Esto se lleva a cabo idealmente en la misma herramienta de deposición usada para la primera capa 7 de recubrimiento a base de silicio policristalino.

45 Pasando ahora a la Figura 3, se forma después la segunda capa 13 de recubrimiento a base de silicio policristalino sobre la superficie de la segunda capa 9 de efecto túnel, preferiblemente directamente sobre la misma sin deposición o formación de una capa intermedia, normalmente por medio de PVD, LPCVD o PECVD, incorporándose un dopante opcional durante la deposición.

50 Aunque esta deposición se puede llevar a cabo de forma selectiva, por ejemplo, enmascarando las áreas 17 que finalmente no estarán provistas de la segunda capa 13 de recubrimiento a base de silicio policristalino, en la realización ilustrada esta capa se proporciona sobre sustancialmente la totalidad de la segunda capa 9 de efecto túnel y, a continuación, como se muestra en la Figura 13, se retira selectivamente de las áreas 17.

55 Esto se puede llevar a cabo mediante cualquier medio conocido, tal como aplicación de una máscara de grabado en las zonas 11 (no ilustradas) seguida de grabado en seco o húmedo, ablación con láser, cristalización con láser de la capa 13 de polisilicio en las áreas 17, seguida de grabado en la región cristalizada.

60 De forma ventajosa, la aplicación de una máscara en la capa 13 de polisilicio y el grabado se llevan a cabo mediante un proceso húmedo, en una solución de grabado de agua desionizada y amoníaco, hidróxido de potasio, hidróxido de sodio, hidróxido de tetrametilamonio o hidróxido de tetraetilamonio.

65 Más preferiblemente, la solución de grabado es hidróxido de potasio a una concentración de 1 M a 6 M, preferiblemente de 1 M a 3 M.

La etapa de grabado se realiza de forma ventajosa a una temperatura de entre 20 °C y 100 °C, por ejemplo a temperatura ambiente (20-25 °C).

5 En algunas condiciones, el proceso de grabado húmedo puede dar como resultado la formación de una capa de silicio poroso, que puede grabarse posteriormente en soluciones húmedas tales como ácido fluorhídrico.

10 Ninguno de los grabadores mencionados anteriormente es capaz de grabar el material de la segunda capa 9 del túnel, que por lo tanto actúa como tope para el grabado dejando una superficie limpia y transparente, sin requerir un control preciso del proceso.

15 Se puede llevar a cabo un proceso de recocido antes o después del modelado de la segunda capa 13 de recubrimiento a base de silicio policristalino, a una temperatura superior a 700 °C, normalmente entre 80 °C y 1050 °C. De hecho, es posible llevar a cabo dos etapas de recocido, una después de la deposición de la primera capa 7 de recubrimiento a base de silicio policristalino y otra después de la deposición de la segunda capa 13 de recubrimiento a base de silicio policristalino.

Finalmente, después de la formación y/o el modelado de la segunda capa 13 de recubrimiento a base de silicio policristalino, se aplican los contactos metálicos 15 en la misma, ya sea mediante pasta de plata que se cura posteriormente, PVD de cualquier forma conveniente, chapado en metal o similares.

20 Como resultado, el electrodo metálico solo está en contacto con la segunda capa de polisilicio 7, lo que elimina el daño inducido por el proceso de metalización. Dado que dicho daño reduce la pasivación, mantener el metal alejado de la interfaz de contacto entre el sustrato y el pasivante (es decir, la interfaz entre el sustrato 3 y la primera capa 5 de efecto túnel) anula esta posibilidad y, por lo tanto, mejora la eficiencia global de la celda, al tiempo que mantiene la primera capa 7 de recubrimiento a base de silicio policristalino lo más delgada posible en las áreas 17 no utilizadas para el contacto (es decir, las áreas fuera de las zonas 11).

30 Tras modelar la segunda capa 15 de recubrimiento a base de silicio policristalino y aplicar los contactos metálicos 15, se obtiene la estructura de la Figura 1, que después puede someterse a otras etapas de fabricación, interconexión, encapsulación, etc., como es conocido generalmente en la técnica. Por ejemplo, se puede proporcionar una capa dieléctrica tal como una capa de SiN en las áreas 17 no utilizadas para el contacto. Se pueden formar otras capas necesarias para formar el dispositivo fotovoltaico 1 completo, como es conocido generalmente, en cualquier punto conveniente del proceso.

35 En el caso de un dispositivo fotovoltaico 1 con contactos bifaciales, las etapas se pueden llevar a cabo secuencialmente en cada lado del sustrato 3 o, si es apropiado, se pueden llevar a cabo simultáneamente al menos ciertas etapas.

40 También son posibles otras modificaciones del método descrito anteriormente. Por ejemplo, en un caso en el que cualquiera de las capas 5, 7, 9, 13 esté dopada, en lugar de proporcionar un precursor dopante en el proceso de deposición, los dopantes se pueden aplicar en una etapa de procesamiento complementaria. Una etapa de procesamiento complementaria de este tipo puede ser la implantación iónica o la deposición de una capa suplementaria que contiene un dopante que a continuación se difundirá en la capa subyacente, seguida de la retirada de dicha capa suplementaria.

45 Además, no se excluye la posibilidad de que otras capas intermedias estén presentes en la pila de capas, particularmente (pero no exclusivamente) entre el sustrato 3 y la primera capa 5 de efecto túnel; sin embargo, es preferible que las capas se proporcionen en la secuencia descrita, sin que haya capas adicionales entre ellas.

50 Se llevaron a cabo experimentos formando varias celdas 1 idénticas a las ilustradas en la Figura 5 en la misma oblea, con diferentes espesores de la segunda capa 9 de efecto túnel y, a modo de comparación, con celdas en las que se omitió la segunda capa 9 de efecto túnel. En cada caso, la segunda capa 13 de recubrimiento a base de silicio policristalino cubre toda el área de la celda 1 y, como resultado, esta celda 1 no corresponde a la invención, sino que constituye una prueba conceptual para demostrar que la segunda capa 13 de efecto túnel no impide la extracción de las cargas y, de hecho, mejora el rendimiento de la celda. En su caso, se han indicado los tipos de dopaje de las distintas capas.

55 El sustrato 3 consistía en una oblea de silicio cristalino de zona flotante con un espesor de 180 µm, dopada con fósforo con una resistividad de 2 Ω·cm. La primera capa 5 de efecto túnel es de SiO_x con un espesor de aproximadamente 1,2 nm. La primera capa 7 de recubrimiento a base de silicio policristalino es de polisilicio, con un espesor de aproximadamente 10 nm, y está dopada con fósforo. La segunda capa 9 de efecto túnel es igual que la primera capa 5 de efecto túnel, excepto que el espesor se ha variado entre 0 nm y 1,9-2,5 nm (tiempo de deposición de 30 segundos). La segunda capa 7 de recubrimiento a base de silicio policristalino tiene el mismo material, tipo de dopaje y concentración de dopante que la primera capa 7 de recubrimiento a base de silicio policristalino, con un espesor de aproximadamente 100 nm. En cada caso, las celdas se recoció a 850 °C durante 30 minutos. Los contactos metálicos 15 son de pasta de plata serigrafada, y las áreas de la superficie de la segunda capa 13 de recubrimiento fuera de los contactos metálicos 15 están cubiertas con una capa dieléctrica 19 de nitruro de silicio. El SiN_x 19 mejora las propiedades ópticas y eléctricas (ya que proporciona átomos pasivantes) de la celda solar. También es posible

aplicar la capa dieléctrica 19 sobre toda la superficie, y, cuando se cuecen los contactos metálicos 15, unas puntas metálicas se ven impulsadas a atravesar la capa dieléctrica 19, haciendo contacto eléctrico directo con la capa subyacente 13, haciendo que la capa dieléctrica 19 no funcione debajo de los contactos metálicos 15. Esto simplifica la producción en comparación con la deposición de la capa dieléctrica 19 de manera modelada, o en comparación con la deposición de área completa y la posterior retirada local allí donde se pretende situar los contactos 15. Esto se aplica a todos los casos de la capa dieléctrica 19 y también a la capa dieléctrica 29 (véase más adelante).

En el lado opuesto del sustrato 3 se proporciona una pila de capas de área sustancialmente completa que comprende, en una dirección que se aleja del sustrato 3, una capa 21 de efecto túnel de parte posterior de SiO_x, una capa 23 de recubrimiento con dopante tipo P de polisilicio, una capa 25 de óxido conductora transparente de óxido de indio y estaño, y un contacto posterior 27 de plata.

Los resultados se presentan en las siguientes Tablas, en las que V_{oc} es el voltaje de circuito abierto, FF es el factor de llenado, y J_{sc} es la corriente de cortocircuito.

Tabla 1, segunda capa 9 de efecto túnel omitida:

Número de celda	Eficiencia (%)	V _{oc} (mV)	FF (%)	J _{sc} (mA/cm ²)
1	17,11	672,0	74,34	34,26
2	15,90	679,4	69,27	33,79
3	14,70	688,6	64,14	33,29
4	15,76	684,9	68,85	33,43
5	17,70	692,3	66,00	64,33
Promedio	15,83	683,4	68,52	33,82

Tabla 2, tiempo de deposición de segunda capa 9 de efecto túnel, 9 segundos:

Número de celda	Eficiencia (%)	V _{oc} (mV)	FF (%)	J _{sc} (mA/cm ²)
1	17,42	692,2	73,33	34,32
2	17,16	684,7	74,32	33,71
3	18,00	691,6	75,6	34,42
4	18,51	696,0	76,56	34,73
5	18,35	691,8	76,98	34,46
Promedio	17,89	691,3	75,36	34,33

Tabla 3, tiempo de deposición de segunda capa 9 de efecto túnel, 30 segundos (espesor de aproximadamente 1,9-2,5 nm):

Número de celda	Eficiencia (%)	V _{oc} (mV)	FF (%)	J _{sc} (mA/cm ²)
1	13,94	710,1	56,87	34,52
2	14,96	710,1	61,19	34,43
3	10,61	692,9	47,83	32,02
4	14,89	706,0	62,54	33,72
5	14,76	703,6	61,90	33,89
Promedio	13,83	704,5	58,07	33,72

Como puede deducirse a partir de lo anterior, una segunda capa 9 de efecto túnel depositada durante 9 segundos proporciona el mejor rendimiento de celda en todos los parámetros, mientras que una capa más gruesa, cuando se deposita durante 30 segundos, proporciona una gama más amplia de resultados, que son peores, posiblemente debido a que impide la extracción de los portadores de carga.

Con respecto a por qué el espesor de la segunda capa 9 de efecto túnel correspondiente a un tiempo de deposición de 9 segundos proporciona los mejores resultados, las posibles explicaciones son las siguientes:

- las propiedades de capa microestructural de la segunda capa 13 de recubrimiento a base de silicio policristalino cambian por la presencia de la segunda capa 9 de efecto túnel;

- la segunda capa 9 de efecto túnel influye en la recristalización del polisilicio de la capa de recubrimiento. La presencia de la segunda capa túnel 9 hace que las dos capas de polisilicio 7, 13 se recristalicen de forma independiente, en lugar de como una capa unitaria con cristales que se extienden por todo el polisilicio;

5 - la segunda capa 9 de efecto túnel influye en la difusión del dopante, retrasando su paso al sustrato 3;

- la segunda capa 9 de efecto túnel proporciona una barrera contra la penetración de la pasta de plata hacia la pila de capas.

10 Las Figuras 6-9 ilustran diversas estructuras no limitantes de partes de celdas fotovoltaicas 1 según la invención, que incorporan los contactos pasivantes que forman el núcleo de la invención. Cuando es apropiado, se han indicado los tipos de dopaje de las diversas capas y, como es conocido generalmente, se pueden invertir los tipos de dopantes. Además, la dirección de la luz incidente se ha indicado mediante un símbolo solar y una flecha grande.

15 La Figura 6 ilustra una parte de una celda fotovoltaica 1 que, en el lado frontal de su sustrato 3, es decir, el lado destinado a quedar orientado en la dirección de incidencia de la luz, comprende las capas 5, 7, 9, 13 y 15 tal como se describe en el contexto de la Figura 1, junto con una capa dieléctrica 19 (tal como una capa de SiN u otros) proporcionada en áreas de la superficie de la segunda capa 9 de efecto túnel que no están cubiertas por la segunda capa 13 de recubrimiento. En el lado opuesto sombreado del sustrato 3 (lado posterior) se proporciona la secuencia de capas 21, 23, 25, 27 tal como se describe en el contexto de la Figura 5.

20 La Figura 7 ilustra otra parte de una celda fotovoltaica 1 que difiere de la de la Figura 6 en que, en el lado posterior, se ha omitido la capa 25 conductora transparente de óxido, y los contactos posteriores 27 son una capa metálica modelada, por ejemplo, de pasta de plata. Se proporciona una capa dieléctrica 29, similar a la capa dieléctrica 19, en las áreas de la capa 23 que no están cubiertas por los contactos posteriores 27. Alternativamente, la capa dieléctrica 29 se puede proporcionar sobre toda la superficie, y cuando se cuece la capa metálica 27 modelada, por ejemplo, de pasta de plata, unas puntas metálicas se ven impulsadas a atravesar la capa dieléctrica, creando una conexión eléctrica a través de la misma y haciendo que sea redundante debajo de la capa metálica 27. Sin embargo, esto simplifica la producción como se ha indicado anteriormente en el contexto de la capa dieléctrica 19.

25 La Figura 8 ilustra otra parte de una celda fotovoltaica 1 que difiere de la de la Figura 7 en que, en el lado posterior, se proporciona una configuración de contacto pasivante similar a la del lado frontal. Por lo tanto, se recubre la capa 23 de recubrimiento con una capa 31 de efecto túnel similar a las capas 5, 9 de efecto túnel de lado frontal, y después, en ciertas zonas, se proporciona una capa 33 de recubrimiento adicional que es análoga a la segunda capa 13 de recubrimiento pero con dopaje opuesto, *mutatis mutandis*.

30 Finalmente, la Figura 9 ilustra una parte de un dispositivo fotovoltaico 1 con contactos posteriores que incorpora contactos pasivantes según la invención. En el lado de incidencia de la luz del sustrato 3 simplemente se proporciona una capa dieléctrica 29 similar a la anterior. En la parte posterior, se proporciona una primera capa 5 de efecto túnel de área sustancialmente completa y, a continuación, en las zonas 11, se proporciona la primera capa 7 de recubrimiento a base de silicio policristalino de manera modelada, y después se coloca sobre ella el resto de la pila de capas 7, 9, 13 y se remata con contactos metálicos 15 como anteriormente, teniendo las capas dopadas 7 y 13 un dopaje de tipo p de un primer tipo. Los expertos en la técnica conocen las modificaciones del proceso descrito anteriormente para modelar la primera capa 7 de recubrimiento (por ejemplo, deposición seguida de enmascaramiento y grabado, ablación con láser o similar, o enmascaramiento seguido de deposición y retirada de la máscara), y no es necesario explicarlas en detalle aquí.

35 Entre cada zona 11, y fuera de contacto con las pilas de capas de las zonas 11, se proporciona una capa 33 de silicio policristalino modelada con dopaje de tipo n. Esta capa 33 de silicio policristalino está rematada con una capa metálica 33 de contacto adicional. Las áreas de la primera capa 5 de efecto túnel que no están cubiertas por la capa 7 o 33 están recubiertas con una capa dieléctrica 19, como anteriormente, y también es posible depositar la capa dieléctrica 19 sobre la totalidad de la superficie tras la deposición de la segunda capa 13 de recubrimiento a base de silicio policristalino, incluyendo las superficies verticales de las pilas de capas en la zona 11, seguida de la retirada local en las zonas 11 o simplemente permitiendo que el metal de los contactos 15 penetre a través de las mismas durante la cocción. Además, es posible que los contactos 15 cubran menos de la totalidad de las zonas 11. Esta configuración de celda global es bien conocida en la técnica y no es necesaria una descripción adicional de su funcionamiento; sin embargo, está claro cómo se aplica la pila de capas que comprende las capas 5, 7, 9, 13 con esta configuración para obtener un dispositivo fotovoltaico según la invención.

40 Aunque la invención se ha descrito en términos de realizaciones específicas, son posibles variaciones en las mismas sin abandonar el ámbito de la invención tal como se define en las reivindicaciones adjuntas.

65

REIVINDICACIONES

1. Dispositivo fotovoltaico (1) que comprende:

- 5 - un sustrato (3) de silicio;
- una primera capa (5) de efecto túnel situada sobre al menos un primer lado (3a) de dicho sustrato (3) de silicio;
- una primera capa (7) de recubrimiento a base de silicio policristalino situada sobre dicha primera capa (5) de efecto túnel;
- 10 - una segunda capa (9) de efecto túnel situada sustancialmente sobre la totalidad de dicha primera capa (7) de recubrimiento a base de silicio policristalino;

caracterizado por que dicho dispositivo fotovoltaico (1) comprende además:

- 15 - una segunda capa (13) de recubrimiento a base de silicio policristalino situada sobre unas zonas predeterminadas (11) de dicha segunda capa (9) de efecto túnel, estando libres de dicha segunda capa de recubrimiento a base de silicio policristalino las áreas de dicha segunda capa (9) de efecto túnel situadas fuera de dichas zonas predeterminadas; y
- 20 - un contacto metálico (15) situado sobre al menos parte de dicha segunda capa (13) de recubrimiento a base de silicio policristalino.

2. Dispositivo fotovoltaico (1) según la reivindicación 1, en donde dicha primera capa (5) de efecto túnel está hecha de un material dieléctrico y dicha segunda capa (9) de efecto túnel está hecha de un material dieléctrico o una aleación semiconductor.

25 3. Dispositivo fotovoltaico (1) según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde al menos una de dicha primera capa (7) de recubrimiento a base de silicio policristalino y dicha segunda capa (13) de recubrimiento a base de silicio policristalino está hecha de silicio policristalino con o sin hidrogenación.

30 4. Dispositivo fotovoltaico (1) según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde dicha segunda capa (13) de recubrimiento a base de silicio policristalino tiene el mismo tipo de dopante que dicha primera capa (7) de recubrimiento a base de silicio policristalino en la correspondiente zona (11) predeterminada.

35 5. Dispositivo fotovoltaico (1) según la reivindicación 4, en donde dicha segunda capa (13) de recubrimiento a base de silicio policristalino tiene una concentración de dopante que es mayor que la de dicha primera capa (7) de recubrimiento a base de silicio policristalino en la correspondiente zona (11) predeterminada.

40 6. Dispositivo fotovoltaico (1) según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde dicho contacto metálico (15) es de pasta de plata, AgAl, aluminio o cobre.

45 7. Dispositivo fotovoltaico (1) según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde:

- dicha primera capa (5) de efecto túnel tiene un espesor de entre 0,5 nm y 5 nm, preferiblemente de entre 0,5 nm y 1,5 nm, aún más preferiblemente de entre 0,5 nm y 1 nm; y/o
- dicha primera capa (7) de recubrimiento a base de silicio policristalino tiene un espesor de entre 5 nm y 100 nm, preferiblemente de entre 10 nm y 50 nm; y/o
- dicha segunda capa (13) de efecto túnel tiene un espesor de entre 0,5 nm y 5 nm, preferiblemente de entre 0,5 nm y 1,5 nm, aún más preferiblemente de entre 0,5 nm y 1 nm; y/o
- 50 - dicha segunda capa (13) de recubrimiento a base de silicio policristalino tiene un espesor superior a 5 nm, preferiblemente de entre 10 nm y 200 nm.

8. Método de fabricación de un dispositivo fotovoltaico (1), que comprende las etapas de:

- 55 a) proporcionar un sustrato (3) de silicio;
- b) formar una primera capa (5) de efecto túnel situada sobre al menos un primer lado (3a) de dicho sustrato (3) de silicio;
- c) formar una primera capa (7) de recubrimiento a base de silicio policristalino sobre dicha primera capa;
- 60 d) formar una segunda capa (9) de efecto túnel sobre sustancialmente la totalidad de dicha primera capa (7) de recubrimiento a base de silicio policristalino;

caracterizado por que dicho método comprende además:

- 65 e) formar una segunda capa (13) de pasivación a base de silicio policristalino sobre dicha segunda capa de efecto túnel en unas zonas predeterminadas (11), estando libres de dicha segunda capa de

recubrimiento a base de silicio policristalino las áreas de dicha segunda capa de efecto túnel situadas fuera de dichas zonas predeterminadas; y

f) formar un contacto metálico (15) sobre al menos parte de dicha segunda capa (13) de recubrimiento a base de silicio policristalino.

- 5
9. Método según la reivindicación 8, en donde la etapa e) comprende además las subetapas de:
- 10
- e1) formar dicha segunda capa (13) de recubrimiento a base de silicio policristalino sobre sustancialmente la totalidad de dicha segunda capa (9) de efecto túnel, posteriormente
- e2) retirar selectivamente dicha segunda capa (13) de recubrimiento a base de silicio policristalino fuera de dichas zonas predeterminadas (11) para exponer dicha segunda capa (9) de efecto túnel en áreas (17) fuera de dichas zonas predeterminadas (11).
- 15
10. Método según las reivindicaciones 8 o 9, en donde dicha primera capa (5) de efecto túnel está hecha de un material dieléctrico, y dicha segunda capa (9) de efecto túnel está hecha de un material dieléctrico o una aleación semiconductor.
- 20
11. Método según una de las reivindicaciones 8-10, en donde al menos una de dicha primera capa (7) de recubrimiento a base de silicio policristalino y dicha segunda capa (13) de recubrimiento a base de silicio policristalino está hecha de silicio policristalino.
- 25
12. Método según una de las reivindicaciones 8-11, en donde dicha segunda capa (13) de recubrimiento a base de silicio policristalino tiene el mismo tipo de dopante que dicha primera capa (7) de recubrimiento a base de silicio policristalino en la correspondiente zona predeterminada (11).
- 30
13. Método según la reivindicación 12, en donde dicha segunda capa (13) de recubrimiento a base de silicio policristalino tiene una concentración de dopante que es mayor que la de dicha primera capa (7) de recubrimiento a base de silicio policristalino en la correspondiente zona predeterminada (11).
- 35
14. Método según una de las reivindicaciones 8-13, en donde dicho contacto metálico (15) es de pasta de plata, AgAl, aluminio o cobre.
- 40
15. Método según una de las reivindicaciones 8-14, en donde:
- dicha primera capa (5) de efecto túnel tiene un espesor de entre 0,5 nm y 5 nm, preferiblemente de entre 0,5 nm y 1,5 nm, aún más preferiblemente de entre 0,5 nm y 1 nm; y/o
 - dicha primera capa (7) de recubrimiento a base de silicio policristalino tiene un espesor de entre 5 nm y 100 nm, preferiblemente de entre 10 nm y 50 nm; y/o
 - dicha segunda capa (9) de efecto túnel tiene un espesor de entre 0,5 nm y 5 nm, preferiblemente de entre 0,5 nm y 1,5 nm, aún más preferiblemente de entre 0,5 nm y 1 nm; y/o
 - dicha segunda capa (13) de recubrimiento a base de silicio policristalino tiene un espesor superior a 5 nm, preferiblemente de entre 10 nm y 200 nm.
- 45
- 50
- 55
- 60
- 65

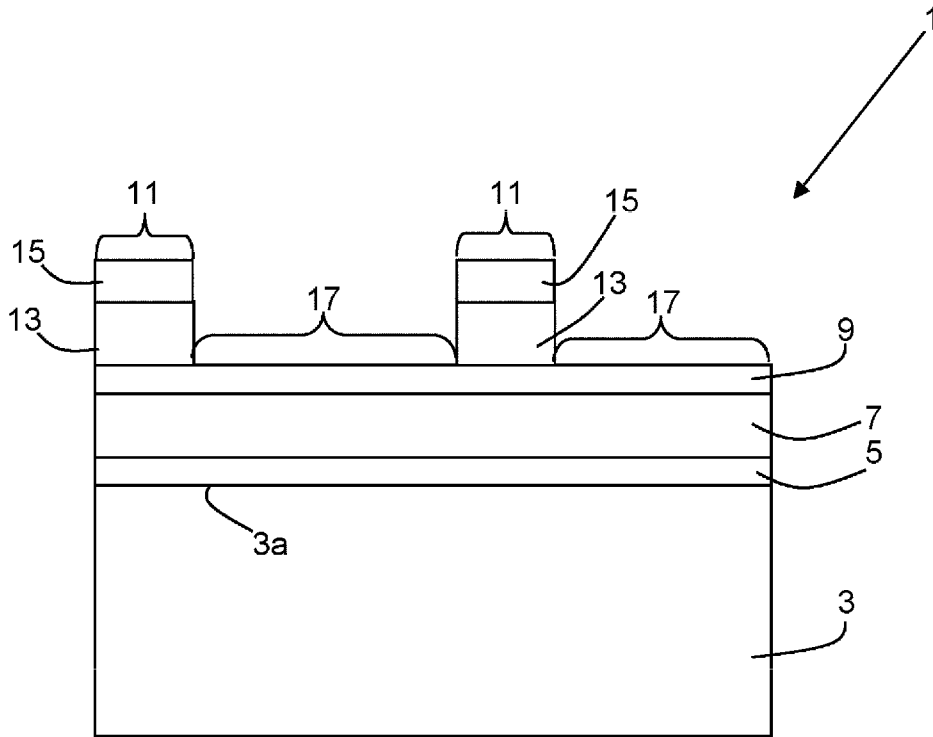


Figura 1

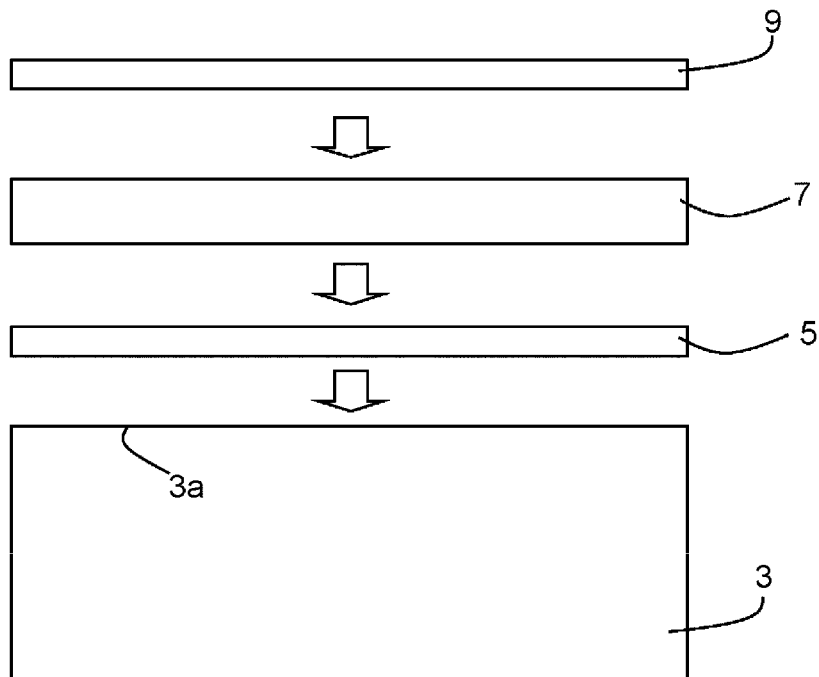


Figura 2

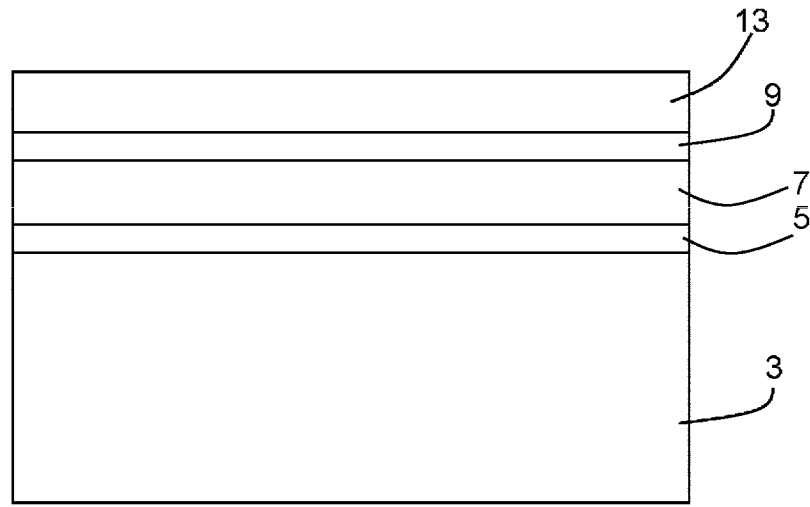


Figura 3

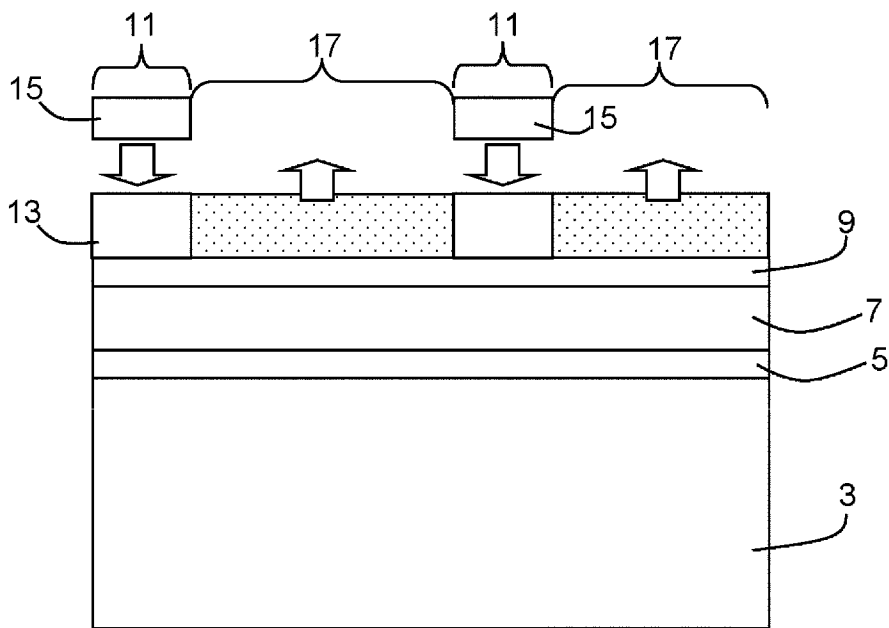


Figura 4

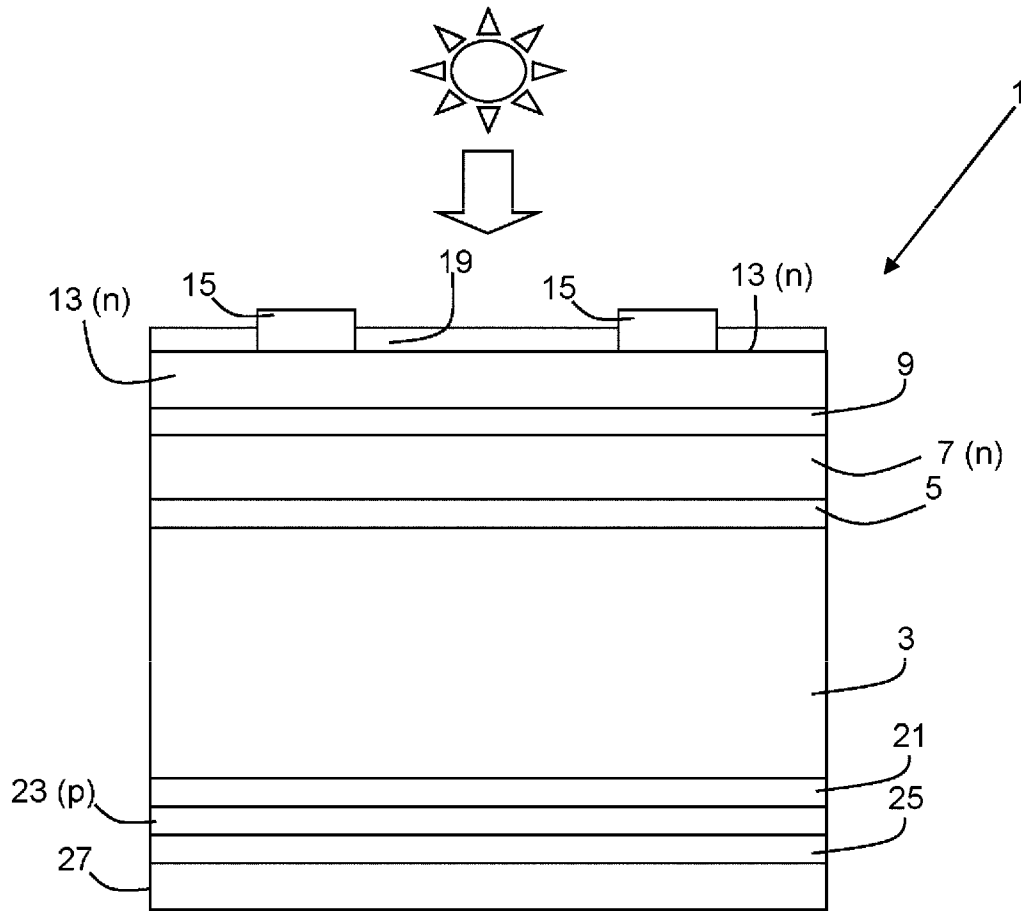


Figura 5

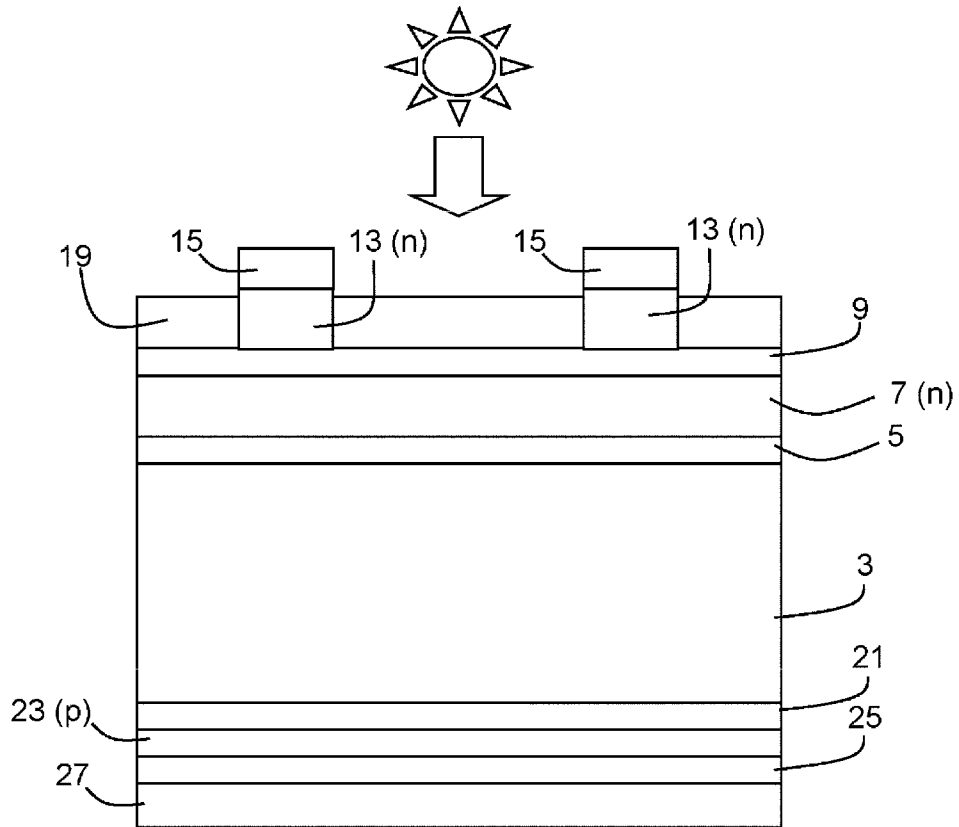


Figura 6

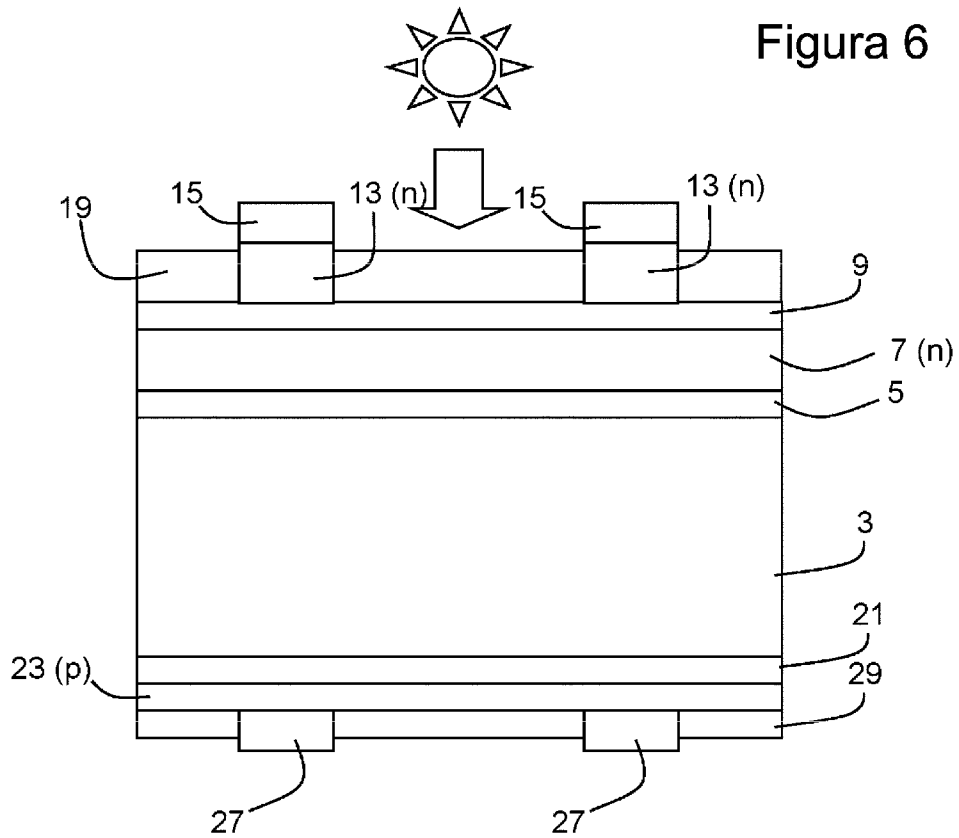


Figura 7

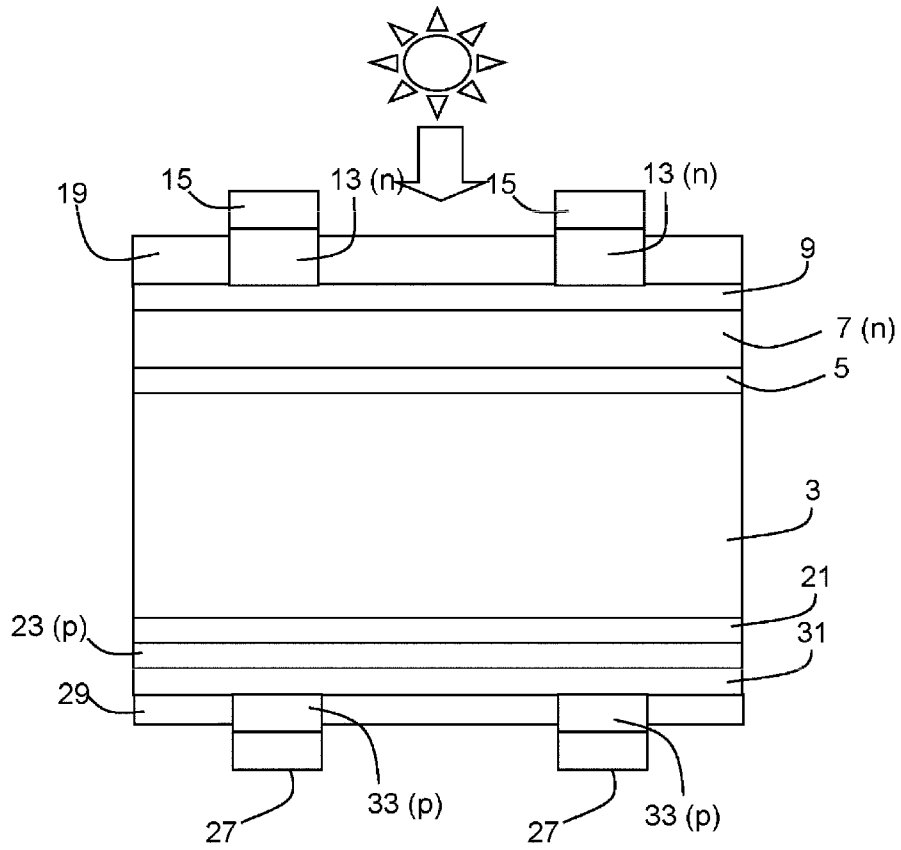


Figura 8

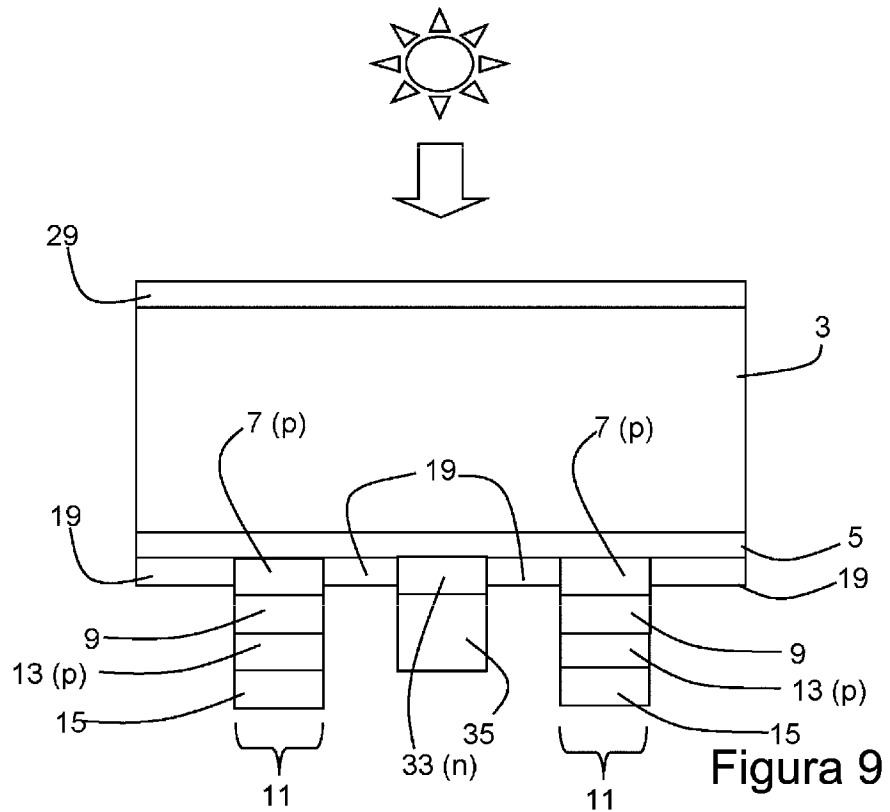


Figura 9