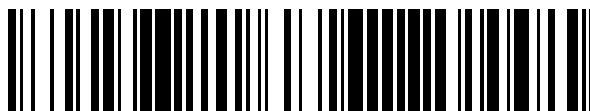


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 864 687**

51 Int. Cl.:

H01L 31/0216 (2014.01)

H01L 31/068 (2012.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **09.11.2016** **E 16197972 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **06.01.2021** **EP 3321973**

54 Título: **Célula solar cristalina con una capa conductora transparente entre los contactos de la cara frontal y un procedimiento para la fabricación de dicha célula solar**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
14.10.2021

73 Titular/es:

MEYER BURGER (GERMANY) GMBH (100.0%)
An der Baumschule 6-8
09337 Hohenstein-Ernstthal, DE

72 Inventor/es:

SPERLICH, HANS-PETER;
ERFURT, GUNTER;
GROSSE, THOMAS y
MARCEL, KÖNIG

74 Agente/Representante:

LINAGE GONZÁLEZ, Rafael

ES 2 864 687 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

Célula solar cristalina con una capa conductora transparente entre los contactos de la cara frontal y un procedimiento para la fabricación de dicha célula solar

5

La presente invención se refiere a una célula solar cristalina hecha de un material semiconductor, que presenta una capa conductora transparente en la cara frontal entre los contactos eléctricos, y a un procedimiento para fabricar dicha célula solar.

- 10 Las células solares de Si convencionales consisten en dos zonas dopadas de manera opuesta de un material semiconductor monocristalino o multicristalino. Se genera una transición pn directa entre las dos zonas al introducir dopantes en el material semiconductor o al aplicar una capa hecha del mismo material semiconductor a una primera capa del material semiconductor, donde la segunda capa presenta un dopaje opuesto al dopaje de la primera capa. Una célula solar de este tipo también se denomina homocélula en contraste con una heterocélula, que consiste en diferentes materiales semiconductores o presenta una capa intrínseca (transición de clavijas) entre la capa n y la capa p. En este contexto, una estructura diferente de un semiconductor, por ejemplo, amorfa en lugar de cristalina, ya se entiende como un material semiconductor diferente. Las zonas de la célula solar dopadas de forma opuesta se ponen en contacto eléctricamente, donde, en muchas células solares, los contactos están dispuestos en superficies enfrentadas del material semiconductor, es decir, en la cara frontal o posterior de la célula solar. Para mejorar el rendimiento de la célula solar, las superficies del material semiconductor a menudo se pasivan con capas dieléctricas, donde estas capas de pasivación en la parte frontal de la célula solar, es decir, en la cara que mira hacia la fuente de luz, son transparentes y a menudo también tienen un efecto antirreflectante o están complementadas con una capa antirreflectante.
- 25 Los contactos eléctricos solo se forman localmente, al menos en la cara frontal de la célula solar, para impedir solo ligeramente la incidencia de luz en el material semiconductor a través del material ópticamente opaco y eléctricamente conductor, generalmente un metal. Para ello, el material eléctricamente conductor se deposita sobre la capa de pasivación y luego se genera el contacto eléctrico difundiendo el material eléctricamente conductor a través de la capa de pasivación al material semiconductor (cocción, firing). Esto crea un contacto directo entre el material conductor de electricidad y el material semiconductor. La cocción se lleva a cabo a temperaturas en el intervalo de más de 560 °C a 600 °C.
- 30

Con algunos tipos de células solares (por ejemplo, célula PERC, Passivated Emitter Rear Contact), la cara posterior de la célula solar solo se contacta localmente, mientras que las secciones laterales restantes de la cara posterior permanecen provistas de una capa pasivante dieléctrica. Con algunas células solares, toda la cara posterior está provista de una capa pasivante y el contacto eléctrico se realiza mediante túneles de portadores de carga a través de esta capa (célula TOPCon, Tunnel Oxide Passivated Contact). Estas medidas sirven para reducir la recombinación del portador de carga en la superficie de contacto entre el material eléctricamente conductor (metal) y el material semiconductor.

40

Para minimizar el número y el efecto de los estados de interfaz en la superficie del material semiconductor, el emisor de la célula solar, es decir, una de las dos zonas de semiconductores, está menos dopado, lo que, sin embargo, reduce la conductividad eléctrica de esta zona. En el caso de un emisor altamente dopado, la resistencia de superficie está en el intervalo de 50 a 100 Ω ($\Omega / \square$), mientras que un emisor ligeramente dopado presenta una resistencia de superficie en el intervalo de 100 a 200 Ω ($\Omega / \square$). Un enfoque para resolver este problema es el dopaje más pesado de solo una pequeña sección lateral del emisor directamente debajo del contacto eléctrico, de modo que esta sección presente una resistencia de superficie de aproximadamente 60 Ω ($\Omega / \square$).

45

Otro enfoque, que se describe en el documento US 2010/0012179 A1, es la deposición de área completa de un material eléctricamente conductor y ópticamente transparente, por ejemplo, un óxido conductor transparente (TCO, transparent conducting oxide), sobre el material semiconductor, seguido de una capa antirreflectante en la que se deposita un metal y luego se cuece a través de la capa antirreflectante. La estructura obtenida está caracterizada porque el material semiconductor en la cara frontal de la célula solar entra en contacto en toda la superficie con el material eléctricamente conductor, ópticamente transparente, que a su vez está conectado eléctricamente con los contactos metálicos.

55

Sin embargo, la cocción conduce a una fuerte carga térmica en la pila de capas, que puede provocar efectos no deseados en el material semiconductor, así como una degradación del material eléctricamente conductor y ópticamente transparente, lo que finalmente vuelve a limitar la mejora del contacto eléctrico con el material semiconductor y el rendimiento de la célula solar. Además, la etapa de cocción está asociada con costes elevados y

60

requiere mucho tiempo. Además, se observaron problemas relacionados con la adhesión del metal al material eléctricamente conductor, ópticamente transparente, que conducen a una degradación de la estabilidad a largo plazo y finalmente al fallo de la célula solar.

- 5 El documento DE 38 31 857 A1 describe una célula solar de capa de inversión en la que se consigue una zona de carga espacial en el material semiconductor generando una zona de agotamiento en la superficie del semiconductor. Esta zona de agotamiento es causada por un dieléctrico con una carga estacionaria positiva elevada aplicada a la superficie del semiconductor. El dieléctrico puede consistir en Si, SiN, formas mixtas u otros dieléctricos, así como pilas de capas de los mismos. Se desea una alta densidad de carga en el dieléctrico para lograr una alta densidad de
- 10 carga de inversión cerca de la superficie del semiconductor. El dieléctrico se extiende entre los contactos de metal en la cara frontal a lo largo de toda la superficie del semiconductor, tocando los contactos de metal y es ópticamente transparente. Entre el dieléctrico y la superficie del semiconductor está dispuesto un óxido de túnel.

- Por tanto, el objetivo de la presente invención es proporcionar una célula solar y un procedimiento para producir dicha
- 15 célula solar que reduzcan las desventajas del estado de la técnica y en particular permitan un rendimiento mejorado de la célula solar y una reducción de los costes de fabricación.

Este objetivo se consigue mediante una célula solar cristalina según la reivindicación 1 y un procedimiento según la reivindicación 11. En las reivindicaciones secundarias se pueden encontrar variantes y realizaciones ventajosas.

- 20 Una célula solar cristalina según la invención presenta una primera zona de un material semiconductor con un primer dopaje, una segunda zona del material semiconductor con un segundo dopaje, al menos un contacto frontal hecho de un primer material ópticamente opaco y eléctricamente conductor, que establece un contacto eléctricamente conductor con la primera zona del material semiconductor directa o indirectamente en las primeras zonas laterales de la cara
- 25 frontal de la célula solar, y al menos un contacto de la cara posterior hecho de un segundo material ópticamente opaco y eléctricamente conductor, que establece un contacto eléctricamente conductor con la segunda zona del material semiconductor directa o indirectamente en las primeras zonas laterales de la cara posterior de la célula solar. Al menos a través de la cara frontal de la célula solar, la luz o la radiación electromagnética llega al material semiconductor de la célula solar. La cara frontal y posterior de la célula solar son caras o superficies enfrentadas de la célula solar. El
- 30 primer dopaje y el segundo dopaje se seleccionan de modo que exista una unión pn entre la primera y la segunda zona.

- Según la invención, una capa de un primer material ópticamente transparente y eléctricamente conductor está dispuesta sobre la primera zona del material semiconductor exclusivamente en las segundas zonas laterales en la
- 35 cara frontal de la célula solar y está conectada con conductividad eléctrica con al menos un contacto de la cara frontal. En este caso, una primera capa de pasivación superficial, a través de la cual pueden pasar los portadores de carga, está dispuesta entre la capa hecha del primer material ópticamente transparente y eléctricamente conductor y la primera zona del material semiconductor. La capa hecha del primer material ópticamente transparente y eléctricamente conductor está, por tanto, en contacto indirecto con conductividad eléctrica con la primera zona del material
- 40 semiconductor. Las segundas zonas laterales de la cara frontal de la célula solar son diferentes de las primeras zonas laterales de la cara frontal de la célula solar. La capa de pasivación superficial, que preferentemente es muy fina, mejora la pasivación química de la superficie del material semiconductor y/o reduce el número y/o el efecto de los estados de interfaz sobre la superficie del material semiconductor.

- 45 A los efectos de la solicitud, se entiende por contacto directo eléctricamente conductor un contacto físico directo óhmico entre dos materiales o zonas eléctricamente conductoras. Por el contrario, por contacto indirecto eléctricamente conductor se entiende un contacto en el que hay un material adicional o una zona adicional entre los dos materiales o zonas eléctricamente conductores mencionados, que también es eléctricamente conductor o que es dieléctrico, sin embargo, es diseñado de tal manera que los portadores de carga puedan pasar a través de este material o zona
- 50 dieléctrica. En particular, el material dieléctrico o la zona dieléctrica pueden hacerse tan finos que los portadores de carga puedan hacer un túnel a través de los mismos.

- Se entiende por zonas laterales de una cara frontal o posterior de la célula solar las zonas de la célula solar que tienen una extensión definida en un plano de la cara frontal o posterior de la célula solar. En la dirección del grosor de la
- 55 célula solar, es decir, en una dirección que conecta perpendicularmente las caras frontal y posterior de la célula solar, estas zonas se extienden desde las caras frontal y posterior de la célula solar hasta la superficie respectiva del material semiconductor. Las zonas laterales pueden tener cualquier forma en la vista en planta de la parte delantera o trasera, por ejemplo, redonda, angular, lineal, etc.

- 60 Se entiende por material ópticamente transparente, un material que permite el paso de luz o radiación

electromagnética con una longitud de onda que es absorbida por el material semiconductor de la célula solar y que apenas la absorbe o refleja. Por el contrario, se entiende por material ópticamente opaco un material que absorbe o refleja la luz o radiación electromagnética con una longitud de onda que es absorbida por el material semiconductor de la célula solar y apenas la deja pasar.

5

La capa del primer material ópticamente transparente y eléctricamente conductor mejora el rendimiento de la célula solar, ya que recoge los portadores de carga de la primera zona del material semiconductor en las segundas zonas laterales de la cara frontal de la célula solar y debido a la conductividad eléctrica más alta en la dirección lateral en comparación con la primera zona del material semiconductor se disipa mejor en el al menos un contacto de la cara frontal de lo que es posible en el estado de la técnica.

10

Preferentemente se usa silicio, en particular silicio monocristalino, como material semiconductor.

La primera capa de pasivación superficial también está dispuesta preferentemente entre el al menos un contacto de la cara frontal y la primera zona del material semiconductor.

15

En una realización preferida de la invención, una capa de un material eléctricamente aislante está dispuesta sobre la segunda zona del material semiconductor en las segundas zonas laterales de la cara posterior de la célula solar, de modo que la segunda zona del material semiconductor está eléctricamente aislada en el segundas zonas laterales, en particular desde una línea de conexión eléctrica, que conecta el al menos un contacto posterior a una conexión eléctrica fuera de la célula solar. Las segundas zonas laterales de la cara posterior de la célula solar son diferentes de las primeras zonas laterales de la cara posterior de la célula solar.

20

En otra realización preferida de la invención, una capa de un segundo material ópticamente transparente y eléctricamente conductor está dispuesta sobre la primera zona del material semiconductor en las segundas zonas laterales de la cara posterior de la célula solar y está conectada con conductividad eléctrica al al menos un contacto de la cara posterior. La capa hecha del segundo material ópticamente transparente y eléctricamente conductor está en contacto directo o indirecto con conductividad eléctrica con la segunda zona del material semiconductor. Las segundas zonas laterales de la cara posterior de la célula solar son diferentes de las primeras zonas laterales de la cara posterior de la célula solar.

30

En la última realización descrita, el segundo material ópticamente transparente y eléctricamente conductor está preferentemente dispuesto también entre la segunda zona del material semiconductor y el contacto de la cara posterior, es decir, también en las primeras zonas laterales de la cara posterior de la célula solar.

35

Análogamente a lo descrito con referencia a la cara frontal de la célula solar, entre la capa del segundo material ópticamente transparente y eléctricamente conductor y la segunda zona del material semiconductor y/o entre el contacto de la cara posterior y la segunda zona del material semiconductor se dispone preferentemente una segunda capa de pasivación superficial, a través de la cual pueden pasar los portadores de carga. Una vez más, se obtienen las ventajas descritas anteriormente.

40

Las realizaciones en las que un material ópticamente transparente y eléctricamente conductor está también dispuesto en la cara posterior de la célula solar son particularmente ventajosas para las células solares bifaciales en las que la luz puede entrar en el material semiconductor tanto por la cara frontal como por la posterior.

45

Preferentemente, el primer y opcionalmente el segundo material ópticamente transparente y eléctricamente conductor se seleccionan del grupo que consiste en óxido de indio y estaño, óxido de flúor y estaño, óxido de aluminio y/o óxido de estaño dopado con boro y óxido de antimonio y estaño. A este respecto, el primer material ópticamente transparente y eléctricamente conductor, y opcionalmente el segundo, presentan una conductividad eléctrica en el intervalo de $2 \cdot 10^3$ a $100 \cdot 10^1$ S/m o una resistividad en el intervalo de $1 \cdot 10^{-4}$ a $50 \cdot 10^{-4}$ Qcm (resistencia de superficie $< 10 \Omega/\square$).

50

Preferentemente, la capa del primer material ópticamente transparente y eléctricamente conductor y/o la capa del segundo material ópticamente transparente y eléctricamente conductor tiene un grosor en el intervalo de 10 a 100 nm, más preferentemente en el intervalo de 10 a 50 nm. En el caso de que la capa del segundo material ópticamente transparente y eléctricamente conductor esté también dispuesta entre el al menos un contacto de la cara posterior y el material semiconductor, el grosor de esta capa en las primeras zonas laterales de la cara posterior del conjunto solar puede también reducirse y ser, por ejemplo, solo mayor o igual al 10 % del grosor de la capa en las segundas zonas laterales de la cara posterior del conjunto solar.

55

La capa del primer material ópticamente transparente y eléctricamente conductor y la capa del segundo material

60

ópticamente transparente y eléctricamente conductor pueden ser del mismo o de diferentes materiales y pueden presentar el mismo grosor o uno diferente.

El primer y el segundo material ópticamente opaco y eléctricamente conductor se seleccionan preferentemente del grupo que consiste en aluminio, plata, cobre, níquel, vanadio y combinaciones y aleaciones de los mismos, donde estos pueden ser del mismo material o de materiales diferentes. El primer y el segundo material ópticamente opaco y eléctricamente conductor se caracterizan por su alta conductividad eléctrica, su alta estabilidad a largo plazo y su idoneidad para la conexión con otros conjuntos, por ejemplo, un módulo solar.

Preferentemente, la primera y/o la segunda capa de pasivación superficial presentan un grosor del orden de 1 a 20 nm y comprenden un material seleccionado del grupo que consiste en óxido de silicio, nitruro de silicio, oxinitruro de silicio y óxido de aluminio. El material y/o el grosor de la primera y la segunda capa de pasivación superficial pueden ser iguales o diferentes entre sí.

La primera zona del material semiconductor está preferentemente dopada con conductividad n y es el emisor de la célula solar con una resistencia eléctrica de superficie en el intervalo de 100 a 200 Ω ($\Omega/\square$). En este caso, la segunda zona del material semiconductor está dopada con p y forma la base (bulk) de la célula solar.

En otra realización, la primera zona del material semiconductor está dopada con n y forma la base (bulk) de la célula solar, mientras que la segunda zona del material semiconductor está dopada con p y forma el emisor de la célula solar y presenta una resistencia eléctrica de superficie en el intervalo de 120 a 200 Ω ($\Omega/\square$). En esta realización, la disposición del segundo material ópticamente transparente y eléctricamente conductor en las segundas zonas laterales de la superficie posterior de la célula solar o en las primeras y segundas zonas laterales de la superficie posterior de la célula solar, tal y como se ha descrito anteriormente, es particularmente ventajosa.

El procedimiento según la invención para la fabricación de una célula solar cristalina comprende las etapas de proporcionar un material semiconductor con una primera zona y una segunda zona, generar una primera capa de pasivación superficial a través de la cual los portadores de carga pueden pasar, sobre o en una primera superficie del material semiconductor, para aplicar un primer material ópticamente opaco y eléctricamente conductor en la primera capa de pasivación superficial en primeras zonas laterales de la primera superficie del material semiconductor, y para generar al menos un contacto conductor eléctrico directo o indirecto entre el primer material ópticamente opaco y eléctricamente conductor y la primera zona del material semiconductor en las primeras zonas laterales de la primera superficie del material semiconductor, para aplicar una capa de un primer material ópticamente transparente y eléctricamente conductor sobre la primera capa de pasivación de la superficie en las segundas zonas laterales de la primera superficie del material semiconductor, y para aplicar un segundo material ópticamente opaco y eléctricamente conductor en las primeras zonas laterales de la primera superficie del material semiconductor de una segunda superficie del material semiconductor y para generar al menos un contacto conductor de la electricidad directo o indirecto entre el segundo material ópticamente opaco y eléctricamente conductor y la segunda zona del material semiconductor en las primeras zonas laterales de la segunda superficie del material semiconductor. A este respecto, la primera zona y la segunda zona del material semiconductor están dopadas de manera que esté presente una unión pn entre la primera zona y la segunda zona. La primera superficie se caracteriza porque solo la primera zona del material semiconductor es adyacente a la misma, y representa la cara de la célula solar a fabricar y que, en cualquier caso, está orientada hacia una fuente de luz, es decir, la cara frontal. La segunda superficie está caracterizada porque solo la segunda zona del material semiconductor es adyacente a la misma, y representa la cara de la célula solar a fabricar que está orientada en dirección opuesta a una fuente de luz, es decir, la cara posterior. Por tanto, la segunda superficie del material semiconductor está enfrentada a la primera superficie del material semiconductor.

En el transcurso del procedimiento, preferentemente durante la etapa de aplicación de la capa del primer material ópticamente transparente y eléctricamente conductor, se produce un contacto eléctricamente conductor entre esta capa y el primer material ópticamente opaco y eléctricamente conductor, y se genera un contacto eléctricamente conductor entre la capa del primer material ópticamente transparente y eléctricamente conductor y la primera zona del material semiconductor.

Según la invención, la etapa para aplicar el primer material ópticamente transparente y eléctricamente conductor se realiza después de la etapa de aplicar el primer material ópticamente opaco y eléctricamente conductor, es decir, después de depositar el material del al menos un contacto de la cara frontal. La etapa de aplicar un segundo material ópticamente opaco y eléctricamente conductor en las primeras zonas laterales de una segunda superficie del material semiconductor y de generar el al menos un contacto eléctricamente conductor directo o indirecto entre el segundo material ópticamente opaco y eléctricamente conductor y la segunda zona del material semiconductor, es decir, de producir al menos un contacto de la cara posterior, puede llevarse a cabo antes, después o entre las etapas de depositar y producir el contacto de la cara frontal y de aplicar la capa del primer material ópticamente transparente y

eléctricamente conductor. Preferentemente, la etapa de aplicar un segundo material ópticamente opaco y eléctricamente conductor se realiza antes o entre las etapas de depositar y hacer el contacto de la cara frontal y aplicar la capa del primer material ópticamente transparente y eléctricamente conductor.

- 5 Opcionalmente, tras la aplicación del primer material ópticamente opaco y eléctricamente conductor, se realiza un tratamiento térmico. El tratamiento térmico provoca la difusión del primer material ópticamente opaco y eléctricamente conductor en o a través de la primera capa de pasivación superficial subyacente, estableciendo así un contacto eléctricamente conductor directo con la primera zona del material semiconductor o mejorando el contacto eléctricamente conductor indirecto con la primera zona del material semiconductor. Sin embargo, este tratamiento
- 10 térmico se lleva a cabo a temperaturas más bajas, de entre 200 y 560 °C, a diferencia de la cocción o firing. El tratamiento térmico se realiza preferentemente después de la aplicación de la capa del primer material ópticamente transparente y eléctricamente conductor, y con especial preferencia también después de una etapa de aplicación de una capa antirreflectante sobre la capa del primer material ópticamente transparente y eléctricamente conductor, y puede incluir la iluminación de toda la estructura estratificada con luz normal (blanca) (por ejemplo, una lámpara
- 15 halógena) que tenga una potencia mayor o igual a 1000 W/m² durante unos segundos (≥ 10 s) a unos minutos. Con especial preferencia, el tratamiento térmico se lleva a cabo solo después de la aplicación de todas las capas funcionales de la célula solar, es decir, después de la aplicación del primer y del segundo material ópticamente opaco y eléctricamente conductor, del primer y opcionalmente del segundo material ópticamente transparente y eléctricamente conductor, opcionalmente de un material eléctricamente aislante y de una primera y opcionalmente de
- 20 una segunda capa antirreflectante.

- En una realización del procedimiento, se aplica una capa de un material eléctricamente aislante sobre la segunda superficie del material semiconductor en las segundas zonas laterales de la segunda superficie del material semiconductor antes o después de la etapa de aplicar el segundo material ópticamente opaco y eléctricamente
- 25 conductor en las primeras zonas laterales de la segunda superficie del material semiconductor. Esto aísla eléctricamente la segunda zona del material semiconductor en las segundas zonas laterales, generando así una célula solar con una cara posterior pasivada. Las segundas zonas laterales de la segunda superficie del material semiconductor son diferentes de las primeras zonas laterales de la segunda superficie del material semiconductor. Si el material de aislamiento eléctrico se aplica antes de la etapa de aplicación del segundo material ópticamente opaco
- 30 y eléctricamente conductor, el material de aislamiento eléctrico puede formarse sobre toda la superficie de la segunda superficie del material semiconductor. A continuación, el material eléctricamente aislante se retira de nuevo de las primeras zonas laterales de la segunda superficie del material semiconductor.

- En otra realización del procedimiento, se deposita una capa de un material eléctricamente aislante sobre la segunda
- 35 superficie del material semiconductor en las segundas zonas laterales de la segunda superficie del material semiconductor antes o después de la etapa de aplicar el segundo material ópticamente transparente y eléctricamente conductor en las primeras zonas laterales de la segunda superficie del material semiconductor. De este modo, las segundas zonas laterales de la segunda superficie son diferentes de las primeras zonas laterales de la segunda superficie. Finalmente, se genera un contacto eléctricamente conductor entre la capa del segundo material
- 40 ópticamente transparente y eléctricamente conductor y el segundo material ópticamente opaco y eléctricamente conductor, y entre la capa del segundo material ópticamente transparente y eléctricamente conductor y la segunda zona del material semiconductor. A este respecto, la realización descrita con respecto a la producción del contacto de la cara frontal es posible en la producción del contacto de la cara posterior. Es decir, primero se puede aplicar el segundo material ópticamente opaco y eléctricamente conductor en las primeras zonas laterales de la segunda
- 45 superficie del material semiconductor, y a continuación se puede aplicar la capa del segundo material ópticamente transparente y eléctricamente conductor en las segundas zonas laterales de la segunda superficie del material semiconductor. Sin embargo, también es posible una realización en la que primero la capa del segundo material ópticamente transparente y eléctricamente conductor se aplica sobre toda la superficie de la segunda superficie del material semiconductor y a continuación el segundo material ópticamente opaco y eléctricamente conductor se aplica
- 50 en las primeras zonas laterales de la segunda superficie del material semiconductor. A este respecto, se puede generar el contacto del segundo material ópticamente opaco y eléctricamente conductor con la segunda zona del material semiconductor tal como se describe con referencia a la fabricación de una célula solar con una cara posterior pasivada.

- Preferentemente, antes de la etapa de aplicar el segundo material ópticamente opaco y eléctricamente conductor y
- 55 antes de la etapa de aplicar la capa del segundo material ópticamente transparente y eléctricamente conductor, se genera una segunda capa de pasivación de superficie a través de la cual pueden pasar los portadores de carga, sobre o en la segunda superficie del material semiconductor.

- En una realización preferida de la invención, se aplica una primera capa antirreflectante sobre la capa del primer
- 60 material ópticamente transparente y eléctricamente conductor y/o, opcionalmente, se aplica una segunda capa

antirreflectante sobre la capa del segundo material ópticamente transparente y eléctricamente conductor. De esta manera, se aplica al menos la primera capa antirreflectante después de haber aplicado el primer material ópticamente opaco y eléctricamente conductor.

- 5 Preferentemente, la capa del primer material ópticamente transparente y eléctricamente conductor y la primera capa antirreflectante y/o, opcionalmente, la capa del segundo material ópticamente transparente y eléctricamente conductor y la segunda capa antirreflectante se aplican cada una en un dispositivo y sin interrupción de vacío. De este modo, se puede evitar la absorción de humedad de la capa del primer material ópticamente transparente y eléctricamente conductor y/o de la capa del segundo material ópticamente transparente y eléctricamente conductor durante una
10 interrupción del vacío y, por tanto, se puede proteger la capa respectiva de la corrosión y mejorar la estabilidad de sus parámetros a largo plazo.

La capa del primer material ópticamente transparente y eléctricamente conductor y/o la capa del segundo material ópticamente transparente y eléctricamente conductor se depositan preferentemente mediante un procedimiento de deposición de vapor químico mejorada por plasma (PECVD). Los procedimientos que causan poco daño a la superficie del material semiconductor son de especial preferencia. Dichos procedimientos son, por ejemplo, procedimientos de plasma en los que el plasma es excitado por microondas y/o en los que la zona de plasma se aleja espacialmente de la superficie respectiva del material semiconductor a recubrir. Esto permite una deposición muy suave del material ópticamente transparente y eléctricamente conductor sin alterar la superficie respectiva del material semiconductor
15 mediante el impacto de iones de alta energía. Además, la deposición de estas capas mediante un procedimiento de PECVD ofrece la ventaja de que el respectivo material ópticamente transparente y eléctricamente conductor, así como la respectiva capa antirreflectante, crecen poco sobre el respectivo material ópticamente no transparente y eléctricamente conductor (proceso selectivo). De esta manera, el material ópticamente transparente y eléctricamente conductor, que forma el al menos un contacto de la cara frontal o el al menos un contacto de la cara posterior de la
20 célula solar fabricada, puede ser contactado eléctricamente directamente desde el exterior, de forma sencilla y sin una complicada eliminación de capas superpuestas. Preferentemente, la superficie (101a, 102a) del material semiconductor (10) a recubrir se mueve linealmente más allá de la zona de plasma durante el procedimiento de deposición.

- 30 Preferentemente, el primer y/o el segundo material ópticamente transparente y eléctricamente conductor es un óxido de zinc, que está dopado de forma particularmente preferente con aluminio o boro. El procedimiento de deposición preferido para este material es un procedimiento PECVD asistido por microondas que utiliza dietilzinc (DEtZ o DEZ) o dimetilzinc (DMZ) como fuente de zinc, óxido nitroso (N_2O , gas hilarante) y/u oxígeno (O_2) como fuente de oxígeno, y un gas inerte (argón, neón o helio) y/o nitrógeno. Además, para la deposición de un óxido de zinc dopado con aluminio,
35 se añade preferentemente trimetilaluminio (TMAI o TMA) como fuente de aluminio, y para la deposición de un óxido de zinc dopado con boro, se añade preferentemente diborano (B_2H_6) como fuente de boro.

A continuación, la invención se aclarará mediante ejemplos de realización y figuras, donde los elementos, capas o zonas similares están marcados con los mismos signos de referencia, pero las proporciones de tamaño y grosor no
40 se muestran a escala.

Muestran:

- Fig. 1 una primera realización de la célula solar (1) según la invención con una cara posterior pasivada;
45 Fig. 2 una segunda realización de la célula solar (1) según la invención con una capa (19) de un segundo material ópticamente transparente y eléctricamente conductor en la cara posterior, donde la capa (19) del segundo material ópticamente transparente y eléctricamente conductor solo está dispuesta en segundas zonas laterales (106) de la cara posterior;
50 Fig. 3 una tercera realización de la célula solar (1) según la invención con una capa (19) de un segundo material ópticamente transparente y eléctricamente conductor en la cara posterior, donde la capa (19) del segundo material ópticamente transparente y eléctricamente conductor también está dispuesta en las primeras zonas laterales (105) de la cara posterior; y
55 Las Fig. 4A a 4D ilustran una realización ejemplar del procedimiento según la invención mediante secciones transversales a través de la célula solar en diferentes etapas del procedimiento.

La **Figura 1** muestra una primera realización de la célula solar cristalina (1) según la invención en una sección transversal. La célula solar (1) presenta un material semiconductor monocristalino (10), por ejemplo, de silicio, en el
60

que se forman una primera zona (101) y una segunda zona (102), cada una de las cuales presenta un dopaje tal que esté presente una unión pn entre la primera zona (101) y la segunda zona (102). En el presente caso, la primera zona (101) está dopada con n, presenta una resistencia de superficie en el intervalo de 100 a 200 $\Omega/\square$, y sirve como emisor de la célula solar (1), mientras que la segunda zona (102) está dopada con p. El material semiconductor (10) tiene una primera superficie (101a) a la que solo la primera zona (101) del material semiconductor (10) es adyacente y que es la cara frontal (la cara orientada hacia la luz) de la célula solar (1), y una segunda superficie (102a) a la que solo la segunda región (102) del material semiconductor (102) es adyacente y que es la cara posterior (la cara que está orientada en dirección opuesta a la luz) de la célula solar (1). La primera superficie (101a) está enfrentada a la segunda superficie (102a). La primera superficie (101a) puede presentar una textura, es decir, una estructura superficial, según el estado de la técnica, que mejora la entrada de luz en el material semiconductor (10). Esta textura no se muestra en la Fig. 1. La primera zona (101) del material semiconductor se generó mediante la introducción de dopantes n, por ejemplo, fósforo (P), arsénico (As) o antimonio (Sb), en el material semiconductor, por ejemplo, por difusión o implantación de iones.

Una primera capa de pasivación superficial (11), por ejemplo, de SiO_2 o SiON , está dispuesta sobre o en la primera superficie (101a) del material semiconductor (10). La primera capa de pasivación superficial (11) puede depositarse sobre la primera superficie (101a) o puede generarse mediante una transformación del material semiconductor (10), por ejemplo, por oxidación. A este respecto, la capa de pasivación superficial (11) cubre la primera superficie (101a) del material semiconductor en toda la extensión lateral de la primera superficie (101a) en la realización que se muestra en la Fig. 1. La extensión lateral es la extensión en un plano perpendicular al plano de la sección transversal mostrada.

En la cara frontal de la célula solar (1), al menos un contacto de la cara frontal (12), en el caso representado tres contactos de la cara frontal (12), de un primer material ópticamente opaco y eléctricamente conductor, por ejemplo, Ag, está dispuesto en las primeras zonas laterales (103) de la cara frontal. En este caso, la primera capa de pasivación superficial (11) está presente entre el contacto de la cara frontal (12) y la primera superficie (101a) del material semiconductor (10), de modo que hay un contacto indirecto, eléctricamente conductor, entre el contacto de la cara frontal (12) y la primera zona (101) del material semiconductor (10). Las primeras zonas laterales (103) pueden tener cualquier forma en una vista superior de la cara frontal de la célula solar (1), es decir, en un plano perpendicular al plano de la sección transversal mostrado. En particular, las zonas laterales (103) pueden ser rectangulares, tiras rectilíneas o tiras sinuosas que se extienden en el plano de dibujo, o superficies circulares, elípticas, triangulares, poligonales o de forma libre. A este respecto, las primeras zonas laterales (103) pueden estar distribuidas de forma regular o irregular en toda la superficie frontal de la célula solar (1). El grosor del primer material ópticamente opaco y eléctricamente conductor del contacto de la cara frontal (12) está en el intervalo de 5 a 25 μm .

En las segundas zonas laterales (104) de la cara frontal de la célula solar (1), está dispuesta una capa (13) de un primer material ópticamente transparente y eléctricamente conductor, por ejemplo, AlZnO (óxido de zinc dopado con aluminio), sobre la primera capa de pasivación superficial (11) y la primera superficie (101a) del material semiconductor (10). Por lo tanto, hay un contacto conductor eléctrico indirecto entre la capa (13) del primer material ópticamente transparente y eléctricamente conductor y la primera zona (101) del material semiconductor (10). Las segundas zonas laterales (104) son adyacentes a las primeras zonas laterales (103) de la cara frontal de la célula solar (1), y junto con ellas representan toda la cara frontal de la célula solar (1). De esta manera, las segundas zonas laterales (104) presentan una forma en la vista superior de la cara frontal de la célula solar (1) que es complementaria a la forma de las primeras zonas laterales (103). La proporción de las primeras zonas laterales (103) con respecto al área total de la cara frontal de la célula solar (1) en la vista superior está en el intervalo de 1,5 a 3,0 %.

La capa (13) del primer material ópticamente transparente y eléctricamente conductor presenta un grosor del intervalo de 10 a 50 nm, preferentemente de 30 nm, y está en contacto eléctrico directo con el contacto de la cara frontal (12).

La primera capa de pasivación superficial (11) tiene un grosor en el intervalo de 1 a 2 nm, que es lo suficientemente fino como para permitir el paso de portadores de carga a través de la misma entre la primera zona (101) del material semiconductor (10) y el contacto de la cara frontal (12) o la capa (13) del primer material ópticamente transparente y eléctricamente conductor.

En las segundas zonas laterales (104) de la cara frontal de la célula solar (1), está dispuesta además una primera capa antirreflectante (14), que está hecha de nitruro de silicio (SiN) y presenta un grosor de 50 a 100 nm. Esta primera capa antirreflectante (14) reduce la reflexión de la luz que incide sobre la célula solar (1) y mejora la entrada de la luz en la célula solar (1).

Es característico de la célula solar (1) según la invención en esta y en todas las demás realizaciones que la capa (13) del primer material ópticamente transparente y eléctricamente conductor, y preferentemente también la primera capa

antirreflectante (14), esté formada en la cara frontal exclusivamente en las segundas zonas laterales (104) y no esté presente en las primeras zonas laterales (103). De este modo, el contacto eléctrico del (de los) contacto(s) de la cara frontal (12) con el material semiconductor y la adhesión del (de los) contacto(s) de la cara frontal (12) se mejora sustancialmente en comparación con una estructura en la que una zona de un material eléctricamente poco conductor, como un óxido transparente, eléctricamente conductor, está presente entre el contacto de la cara frontal y el material semiconductor.

En la cara posterior de la célula solar (1), al menos un contacto de la cara posterior (16), en el caso ilustrado tres contactos de la cara posterior (16), hecho de un segundo material ópticamente opaco y eléctricamente conductor, por ejemplo, Al, está dispuesto en las primeras zonas laterales (105) de la cara posterior. Los contactos de la cara posterior (16) son directamente adyacentes a la segunda superficie (102a) del material semiconductor (10), de modo que esté presente un contacto directo y eléctricamente conductor entre el contacto de la cara posterior (16) y la segunda zona (102) del material semiconductor (10). Como ya se ha descrito con referencia a las primeras zonas laterales (103) de la cara frontal, las primeras zonas laterales (105) de la cara posterior pueden tener cualquier forma en una vista superior de la cara posterior de la célula solar (1) y pueden estar distribuidas aleatoriamente por toda la cara posterior.

En las segundas zonas laterales (106) de la cara posterior de la célula solar (1), está dispuesta una capa dieléctrica (15) con un grosor de 5 a 200 nm sobre la segunda superficie (102a) del material semiconductor (10). La capa dieléctrica (15) consiste, por ejemplo, de alúmina, óxido de silicio, nitruro de silicio u oxinitruro de silicio, u otros materiales adecuados para la pasivación y el aislamiento eléctrico de las superficies de Si tipo p, o una secuencia de capas de diferentes materiales de estos. Aísla eléctricamente la segunda superficie (102a) del material semiconductor (10) de una conexión de la cara posterior (17) que conecta los contactos individuales y locales de la cara posterior (16). La conexión de la cara posterior (17) puede consistir en el mismo material que los contactos de la cara posterior (16) y puede aplicarse conjuntamente con ellos. De manera ejemplar, la capa dieléctrica (15) comprende una capa de óxido de aluminio (AlOx) con un grosor de 20 nm y una capa de nitruro de silicio con un grosor de 140 nm. El grosor total del segundo material ópticamente opaco y eléctricamente conductor del contacto de la cara posterior (16) y de la conexión de la cara posterior (17) está en el intervalo de 3 a 30 µm, preferentemente es de 20 µm.

Las segundas zonas laterales (106) son adyacentes a las primeras zonas laterales (105) de la cara posterior de la célula solar (1), y junto con ellas representan toda la cara posterior de la célula solar (1). De esta manera, las segundas zonas laterales (106) presentan una forma en la vista superior de la cara posterior de la célula solar (1) que es complementaria a la forma de las primeras zonas laterales (105). La proporción de las primeras zonas laterales (105) con respecto al área total de la cara posterior de la célula solar (1) en la vista superior está en el intervalo del 1 al 5 %. En este contexto, la forma y/o las dimensiones y/o la distribución lateral y/o la proporción de las primeras regiones laterales (105) de la cara posterior de la célula solar (1) pueden ser idénticas o diferentes a la forma y/o las dimensiones y/o la distribución lateral y/o la proporción de las primeras zonas laterales (103) de la cara frontal de la célula solar (1) y pueden disponerse distribuidas en la extensión lateral de la cara posterior de la célula solar (1) independientemente de estas.

La segunda realización de la célula solar cristalina (1) según la invención que se muestra en la **Figura 2** difiere de la primera realización en que la célula solar (1) es una célula solar bifacial, cuya cara posterior está formada de forma casi idéntica a la cara frontal. En particular, en lugar de la capa dieléctrica, la cara posterior comprende una segunda capa de pasivación superficial (18) y una capa (19) de un segundo material conductor de la electricidad ópticamente transparente en las segundas zonas laterales (106).

La segunda capa de pasivación superficial (18), por ejemplo, de óxido de aluminio u óxido de silicio, está dispuesta sobre o en la segunda superficie (102a) del material semiconductor (10). La segunda capa de pasivación superficial (18) puede depositarse sobre la segunda superficie (102a) o puede generarse mediante una transformación del material semiconductor (10), por ejemplo, por oxidación. La segunda capa de pasivación superficial (18) cubre la segunda superficie (102a) del material semiconductor en toda la extensión lateral de la segunda superficie (102a) en la realización que se muestra en la Fig. 2.

Como ya se ha explicado con referencia a la Fig. 1, en la cara posterior de la célula solar (1), al menos un contacto de la cara posterior (16), en el caso ilustrado dos contactos de la cara posterior (16), hecho de un segundo material ópticamente opaco y eléctricamente conductor, por ejemplo, Al, está dispuesto en las primeras zonas laterales (105) de la cara posterior. En este caso, la segunda capa de pasivación superficial (18) está dispuesta entre el contacto de la cara posterior (16) y la segunda superficie (102a) del material semiconductor (10), de modo que esté presente un contacto indirecto, eléctricamente conductor, entre el contacto de la cara posterior (16) y la segunda zona (102) del material semiconductor (10).

La capa (19) del segundo material ópticamente transparente y eléctricamente conductor, por ejemplo, ZnO (óxido de zinc dopado con nitrógeno) o ITO (óxido de indio y estaño), está dispuesta en las segundas zonas laterales (106) de la cara posterior de la célula solar (1). La capa (19) del segundo material ópticamente transparente y eléctricamente conductor está en contacto eléctricamente conductor con el contacto de la cara posterior (16) y también con la segunda zona (102) del material semiconductor (10) a través de la segunda capa de pasivación superficial (18).

La segunda capa de pasivación superficial (18) presenta un grosor en el intervalo de 1 a 2 nm, que es lo suficientemente fino como para permitir el paso de portadores de carga a través de la misma entre la primera zona (102) del material semiconductor (10) y el contacto de la cara frontal o la capa (19) del segundo material ópticamente transparente y eléctricamente conductor. La capa (19) del segundo material ópticamente transparente y eléctricamente conductor está formada en las segundas zonas laterales (106) con un grosor en el intervalo de 10 a 50 nm. El grosor del segundo material ópticamente opaco y eléctricamente conductor del contacto de la cara frontal (16) está en el intervalo de 3 a 30 μm , preferentemente de 20 μm .

En las segundas zonas laterales (106) de la cara frontal de la célula solar (1), está dispuesta además una segunda capa antirreflectante (20), que está hecha de nitruro de silicio (SiN) y presenta un grosor de 50 a 100 nm. El material y/o el grosor de la segunda capa antirreflectante (20) pueden ser iguales o diferentes al material y/o al grosor de la primera capa antirreflectante (14). Esta segunda capa antirreflectante (20) reduce la reflexión de la luz que incide sobre la célula solar (1) y mejora la entrada de la luz en la célula solar (1).

La **Figura 3** muestra una tercera realización de la célula solar (1) según la invención en sección transversal. Aquí, la primera zona (101) del material semiconductor (10) está dopada con n y presenta, adyacente a la primera superficie (101a), una zona parcial (101b) que presenta un mayor dopaje del mismo tipo de dopaje que el resto de la primera zona (101). En cambio, la segunda zona (102) está dopada con p, presenta una resistencia de superficie en el intervalo de 120 a 200 Ω ($\Omega/\square$), y sirve como emisor de la célula solar (n- PERL BJ). De nuevo, la primera superficie (101a) puede presentar una textura, es decir, una estructura superficial, que mejora la entrada de luz en el material semiconductor (10), donde esta textura no se muestra en la Fig. 3. Por ejemplo, cuando el grosor total del material semiconductor (10) es mayor o igual a 10 μm , la zona parcial (101b) de la primera zona (101) presenta un grosor de 300 nm y la segunda zona (102) presenta un grosor de 600 nm.

En la cara frontal de la célula solar (1), en las primeras zonas laterales (103) de la cara frontal de la célula solar (1), están dispuestos al menos un contacto de la cara frontal (12), una capa (13) de un primer material ópticamente transparente y eléctricamente conductor y una primera capa antirreflectante (14), tal como se describe con referencia a la Fig. 1.

Sobre o en la segunda superficie (102a) del material semiconductor (10), están dispuestos, tal como se describe con referencia a la Fig. 2, una segunda capa de pasivación superficial (18), al menos un contacto de la cara posterior (16), una capa (19) de un segundo material ópticamente transparente y eléctricamente conductor y una segunda capa antirreflectante (20). La única diferencia entre las caras posteriores de la célula solar (1) en la realización mostrada en la Fig. 3 y la realización mostrada en la Fig. 2 es que la capa (19) de un segundo material ópticamente transparente y eléctricamente conductor está presente no solo en las segundas zonas laterales (106) de la cara posterior de la célula solar (1), sino también en las primeras zonas laterales (105) de la cara posterior de la célula solar (1). De esta manera, la segunda capa de pasivación superficial (18) y la capa (19) del segundo material ópticamente transparente y eléctricamente conductor están dispuestas entre el contacto de la cara posterior (16) y la segunda superficie (102a) del material semiconductor (10).

En el ejemplo de realización ilustrado en la Fig. 3, la capa (19) del segundo material ópticamente transparente y eléctricamente conductor está presente en las primeras zonas laterales (105) con un grosor menor que en las segundas zonas laterales (106), pero también puede tener el mismo grosor.

Con referencia a las **Figuras 4A a 4D**, se describirá ahora una realización ejemplar del procedimiento para la fabricación de una célula solar según la invención. En cada caso, las figuras muestran secciones transversales a través de la célula solar después de completar varias etapas del procedimiento.

La **Figura 4A** muestra un material semiconductor (10) en el que están presentes la primera zona (101) y la segunda zona (102). Las texturas superficiales formadas, si las hay, no se muestran en las Fig. 4A a 4F. Se generó una primera capa de pasivación superficial (11) sobre toda la superficie (101a) del material semiconductor (10), y una segunda capa de pasivación superficial (18) sobre toda la superficie (102a) del material semiconductor (10). Estas capas consisten en óxido de silicio y presentan un grosor de 1 a 2 nm. Se generaron mediante una oxidación térmica rápida, una oxidación química húmeda o una oxidación seca asistida por rayos UV y ozono (SQi).

En la siguiente etapa del procedimiento, se generan contactos de la cara frontal (12) hechos de un primer material ópticamente opaco y eléctricamente conductor en la primera superficie (101a) y contactos de la cara posterior (16) hechos de un segundo material ópticamente opaco y eléctricamente conductor en la segunda superficie (102a) del material semiconductor (10). Los contactos de las caras frontal y posterior (12, 16) se aplican mediante serigrafía (screenprint) en las primeras zonas laterales (103, 105) de la superficie respectiva (101a, 102a) y consisten, por ejemplo, en una pasta de plata. El resultado de esta etapa del procedimiento se muestra en la **Fig. 4B**.

Posteriormente, en las zonas expuestas de la primera capa de pasivación superficial (11), es decir, entre los contactos de la cara frontal (12) del primer material ópticamente opaco y eléctricamente conductor, se deposita una capa (13) de un primer material ópticamente transparente y eléctricamente conductor, y en las zonas expuestas de la segunda capa de pasivación superficial (18), es decir, entre los contactos de la cara posterior (16) del segundo material ópticamente opaco y eléctricamente conductor, se deposita una capa (19) de un segundo material ópticamente transparente y eléctricamente conductor, que se muestra en la **Fig. 4C**. El primer material ópticamente transparente y eléctricamente conductor y el segundo material ópticamente transparente y eléctricamente conductor son de aluminio o de óxido de zinc dopado con boro, cada uno de los cuales presenta un grosor de unos 30 nm. El dopaje corresponde al tipo de conducción de la zona semiconductor (101, 102) adyacente a la respectiva capa de pasivación superficial (11, 18).

La **Fig. 4D** muestra la célula solar después de una etapa del procedimiento en el que se generó una primera capa antirreflectante (14) sobre la capa (13) del primer material ópticamente transparente y eléctricamente conductor y una segunda capa antirreflectante (20) sobre la capa (19) del segundo material ópticamente transparente y eléctricamente conductor. La primera capa antirreflectante (14) y la segunda capa antirreflectante (20) consisten en nitruro de silicio y cada una tiene un grosor de unos 60 nm.

La capa (13) del primer material ópticamente transparente y eléctricamente conductor, la capa (19) del segundo material ópticamente transparente y eléctricamente conductor, así como la primera capa antirreflectante (14) y la segunda capa antirreflectante (20) se generaron en un mismo equipo de recubrimiento en el orden mencionado. Sin embargo, también son posibles otros equipos de recubrimiento, así como otras secuencias de deposiciones de capas, siempre que se realice la estructura deseada de la célula solar.

En una última etapa, la estructura de la Fig. 4D se somete a un tratamiento térmico. En este proceso, la célula solar se expone a una temperatura de 200 °C a 300 °C durante aproximadamente 1 minuto. Además, se puede realizar una iluminación con luz blanca que tenga una intensidad de al menos 1000 W/m², lo que puede mejorar los parámetros de la célula solar. Sin embargo, la estructura de la célula solar no se ve modificada estructuralmente por la etapa de la temperatura. Solo el primer y/o el segundo material ópticamente opaco y eléctricamente conductor puede difundirse dentro o a través de la respectiva primera o segunda capa de pasivación superficial (11 o 18). Como resultado, se obtiene una célula solar como la que se muestra en la Fig. 2, donde no es necesaria la cocción de los contactos. En la **Tabla 1**, se dan parámetros de procedimiento ejemplares para una deposición de PECVD de la capa del primer y/o segundo material ópticamente transparente y eléctricamente conductor de aluminio u óxido de zinc dopado con boro. Se refieren a un sistema de PECVD que utiliza un plasma de microondas a distancia, en el que el espacio de plasma está espacialmente desplazado, es decir, espaciado, de la superficie de un sustrato a recubrir. Esto reduce el daño a la superficie a recubrir por el bombardeo de iones del plasma.

Parámetros	Zona	Valor preferido
Presión del proceso (presión de la cámara)	0,1-0,2 mbar (10-20 Pa)	0,15 mbar (15 Pa)
Temperatura del proceso (temperatura del sustrato)	100-400 °C	250°C
Potencia de plasma de microondas	300-1000 W	600 W
Pico de microondas	2000-3000 W	2500 W
Duración del pulso y frecuencia de la potencia del microondas	T = 16-32 ms; f = 31-62 Hz (t _{ON} = 4-6 ms, t _{OFF} = 12-26 ms)	T = 22 ms; f = 45 Hz (t _{ON} = 5 ms, t _{OFF} = 17 ms)
Relación del flujo de gas N ₂ O/ DEZ	10-20	15
Relación del flujo de gas O ₂ / DEZ	7-15	10

Parámetros	Zona	Valor preferido
Flujo de gas DEZ*	100 sccm = 550 mgm	
Flujo de gas N ₂ O*	1500 sccm	
Flujo de gas O ₂ *	1000 sccm	
Flujo de gas Ar*	400 sccm	
Flujo de gas TMAI	10 mgm	Mezclado previamente en DEZ al 2 %
Flujo de gas B ₂ H ₆	200 sccm	1 % en H ₂
Concentración de dopante	1-5 %	2 %
Tabla 1; * por fuente de plasma		

Algunas o todas las realizaciones mencionadas de la célula solar o del procedimiento de fabricación de una célula solar también pueden combinarse entre sí, siempre que no sean mutuamente excluyentes.

5

Referencias

- 1 Célula solar
- 10 10 Material semiconductor
- 101 Primera zona del material semiconductor
- 101a Primera superficie del material semiconductor
- 101b Zona parcial de la primera zona
- 102 Segunda zona del material semiconductor
- 15 102a Segunda superficie del material semiconductor
- 103 Primera zona lateral de la cara frontal
- 104 Segunda zona lateral de la cara frontal
- 105 Primera zona lateral de la cara posterior
- 106 Segunda zona lateral de la cara posterior
- 20 11 Primera capa de pasivación superficial
- 12 Contacto de la cara frontal
- 13 Capa del primer material ópticamente transparente y eléctricamente conductor
- 14 Primera capa antirreflectante
- 15 Capa dieléctrica
- 25 151 Primera capa parcial
- 152 Segunda capa parcial
- 16 Contacto de la cara posterior
- 17 Conexión de la cara posterior
- 18 Segunda capa de pasivación superficial
- 30 19 Segunda capa del material ópticamente transparente y eléctricamente conductor
- 20 Segunda capa antirreflectante

REIVINDICACIONES

1. Célula solar cristalina (1) con una primera zona (101) de un material semiconductor (10) con un primer dopaje, una segunda zona (102) del material semiconductor (10) con un segundo dopaje, de manera que entre la primera y la segunda zona (101, 102) está presente una unión pn, al menos un contacto frontal (12) de un primer material ópticamente opaco y eléctricamente conductor que establece un contacto eléctricamente conductor con la primera zona (101) del material semiconductor (10) directa o indirectamente en las primeras zonas laterales (103) de la cara frontal de la célula solar, y al menos un contacto local de la cara posterior (16) de un segundo material ópticamente opaco y eléctricamente conductor, que establece un contacto eléctricamente conductor con la segunda zona (102) del material semiconductor (10) directa o indirectamente en las primeras zonas laterales (105) de la cara posterior de la célula solar, **caracterizada porque** una capa (13) de un primer material ópticamente transparente y eléctricamente conductor está dispuesta en la cara frontal de la célula solar exclusivamente en segundas zonas laterales (104) sobre la primera zona (101) del material semiconductor (10) y está conectada de forma eléctricamente conductora con el al menos un contacto de la cara frontal (14), donde está dispuesta entre la capa (13) del primer material ópticamente transparente y eléctricamente conductor y la primera zona (101) del material semiconductor (10) una primera capa de pasivación superficial (11), a través de la cual pueden pasar los portadores de carga, de manera que la capa (13) del primer material ópticamente transparente y eléctricamente conductor está en contacto indirecto y eléctricamente conductor con la primera zona (101) del material semiconductor (10), y donde las segundas zonas laterales (104) de la superficie frontal de la célula solar son diferentes de las primeras zonas laterales (103) de la superficie frontal de la célula solar.
2. Célula solar cristalina según la reivindicación 1, **caracterizada porque** la primera capa de pasivación superficial (11) también está dispuesta entre el al menos un contacto de la cara frontal (12) y la primera zona (101) del material semiconductor (10).
3. Célula solar cristalina según la reivindicación 1 o 2, **caracterizada porque** una capa (15) de un material eléctricamente aislante está dispuesta sobre la segunda zona (102) del material semiconductor (10) en segundas zonas laterales (106) de la cara posterior de la célula solar, de modo que la segunda zona (102) del material semiconductor (10) está eléctricamente aislada en las segundas zonas laterales (106), donde las segundas zonas laterales (106) de la parte posterior de la célula solar son diferentes de las primeras zonas laterales (105) de la parte posterior de la célula solar.
4. Célula solar cristalina según la reivindicación 1 o 2, **caracterizada porque** una capa (19) de un segundo material ópticamente transparente y eléctricamente conductor está dispuesta en segundas zonas laterales (106) de la cara posterior de la célula solar sobre la segunda zona (102) del material semiconductor (10) y está conectada de forma eléctricamente conductora con el al menos un contacto de la cara posterior (16), donde la capa (19) del segundo material ópticamente transparente y eléctricamente conductor está en contacto directo o indirecto y eléctricamente conductor con la segunda zona (102) del material semiconductor (10) y donde las segundas zonas laterales (106) de la cara posterior de la célula solar son diferentes de las primeras zonas laterales (105) de la cara posterior de la célula solar.
5. Célula solar cristalina según la reivindicación 4, **caracterizada porque** el segundo material ópticamente transparente y eléctricamente conductor está dispuesto también entre la segunda zona (102) del material semiconductor (10) y el contacto lateral posterior (16).
6. Célula solar cristalina según la reivindicación 4 o 5, **caracterizada porque** una segunda capa de pasivación superficial (18), a través de la cual pueden pasar los portadores de carga, está dispuesta entre la capa (19) del segundo material ópticamente transparente y eléctricamente conductor y la segunda zona (102) del material semiconductor (10) y/o entre el contacto de la cara posterior (16) y la segunda zona (102) del material semiconductor (10).
7. Célula solar cristalina según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizada porque** el primer y/o el segundo material conductor de electricidad ópticamente transparente se selecciona del grupo que consiste en óxido de indio con estaño, óxido de flúor con estaño, óxido de antimonio con estaño, óxido de aluminio con zinc y óxido de boro con zinc.
8. Célula solar cristalina según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizada porque** la capa (13) del primer material ópticamente transparente y eléctricamente conductor y/o la capa (19) del segundo material ópticamente transparente y eléctricamente conductor presentan un grosor en el intervalo de 10 a 100 nm.

9. Célula solar cristalina según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizada porque** el primer y el segundo material ópticamente opaco y eléctricamente conductor se seleccionan del grupo que consiste en aluminio, plata, cobre, níquel, vanadio, y combinaciones y aleaciones de los mismos.

5 10. Célula solar cristalina según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizada porque** la primera y/o la segunda capa de pasivación superficial (11, 18) presentan un grosor en el intervalo de 1 a 20 nm y consisten en un material seleccionado del grupo que consiste en óxido de silicio, nitruro de silicio, oxinitruro de silicio y óxido de aluminio.

10 11. Procedimiento para la fabricación de una célula solar cristalina (1) según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 10, con las siguientes etapas:

15 - proporcionar un material semiconductor (10) con una primera zona (101) y una segunda zona (102), donde la primera zona (101) y la segunda zona (102) están dopadas de manera que está presente una unión pn entre la primera zona (101) y la segunda zona (102),
 - generar una primera capa de pasivación superficial (11), a través de la cual pueden pasar los portadores de carga, sobre o en una primera superficie (101a) del material semiconductor (10), donde solo la primera zona (101) del material semiconductor (10) es adyacente a la primera superficie (101a),
 20 - aplicar un primer material ópticamente opaco y eléctricamente conductor a la primera capa de pasivación superficial (11) en las primeras zonas laterales (103) de la primera superficie (101a) del material semiconductor (10), y generar al menos un contacto eléctricamente conductor directo o indirecto (12) entre el primer material ópticamente opaco y eléctricamente conductor y la primera zona (101) del material semiconductor (10) en las primeras zonas laterales (103) de la primera superficie (101a) del material semiconductor (10),
 25 - aplicar una capa (13) de un primer material ópticamente transparente y eléctricamente conductor a la primera capa de pasivación superficial (11) en segundas zonas laterales (104) de la primera superficie del material semiconductor (10) después de aplicar el primer material ópticamente opaco y eléctricamente conductor, donde se genera un contacto eléctricamente conductor entre la capa (13) del primer material ópticamente transparente y eléctricamente conductor y primer material ópticamente opaco y eléctricamente conductor y un contacto eléctricamente conductor entre la capa (13) del primer material ópticamente transparente y eléctricamente conductor y la primera zona (101) del material semiconductor (10), donde las segundas zonas laterales (104) son diferentes de las primeras zonas laterales (103), y
 30 - aplicar un segundo material ópticamente opaco y eléctricamente conductor en las primeras zonas laterales (105) de una segunda superficie (102a) del material semiconductor (10) y generar al menos un contacto eléctricamente conductor directo o indirecto (16) entre el segundo material ópticamente opaco y eléctricamente conductor y la segunda zona (102a) del material semiconductor (10) en las primeras zonas laterales (105) de la segunda superficie (102a) del material semiconductor (10), donde solo la segunda zona (102) del material semiconductor (10) es adyacente a la segunda superficie (102a) y la segunda superficie (102a) del material semiconductor (10) está enfrentada a la primera superficie (101a) del material semiconductor (10).

40 12. Procedimiento según la reivindicación 11, **caracterizado porque** antes o después de la etapa de aplicar el segundo material ópticamente opaco y eléctricamente conductor en las primeras zonas laterales (105) de la segunda superficie (102a) del material semiconductor (10), se aplica una capa (15) de un material eléctricamente aislante sobre la segunda superficie (102a) del material semiconductor (10) en las segundas zonas laterales (106) de la segunda superficie del material semiconductor (10), de manera que la segunda zona (102) del material semiconductor (10) está
 45 aislada eléctricamente en las segundas zonas laterales (106), donde las segundas zonas laterales (106) de la segunda superficie (102a) del material semiconductor (10) son diferentes de las primeras zonas laterales (105) de la segunda superficie (102a) del material semiconductor (10).

13. Procedimiento según la reivindicación 11, **caracterizado porque** antes o después de la etapa de aplicar
 50 el segundo material ópticamente opaco y eléctricamente conductor en las primeras zonas laterales (105) de la segunda superficie (102a) del material semiconductor (10), se aplica una capa (19) de un segundo material ópticamente transparente y eléctricamente conductor sobre la segunda superficie (102a) del material semiconductor (10) en las segundas zonas laterales (106) de la segunda superficie del material semiconductor (10), donde se genera un contacto eléctricamente conductor entre la capa (19) del segundo material ópticamente transparente y eléctricamente conductor
 55 y el segundo material ópticamente opaco y eléctricamente conductor, y se genera un contacto eléctricamente conductor entre la capa (19) del segundo material ópticamente transparente y eléctricamente conductor y la segunda zona (102) del material semiconductor (10), donde las segundas zonas laterales (106) de la segunda superficie (102a) son diferentes de las primeras zonas laterales (105) de la segunda superficie (102a).

60 14. Procedimiento según la reivindicación 13, **caracterizado porque** antes de la etapa de aplicar el segundo

material conductor de la electricidad ópticamente opaco en las primeras zonas laterales (105) de una segunda superficie (102a) del material semiconductor (10) y antes de la etapa de aplicar la capa (19) del segundo material ópticamente transparente y eléctricamente conductor, se genera una segunda capa de pasivación superficial (18), a través de la cual pueden pasar los portadores de carga sobre o en la segunda superficie (102a) del material semiconductor (10).

15. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 11 a 14, **caracterizado porque** se aplica una primera capa antirreflectante (14) sobre la capa (13) del primer material ópticamente transparente y eléctricamente conductor y/o se aplica una segunda capa antirreflectante (20) sobre la capa (19) del segundo material ópticamente transparente y eléctricamente conductor.

16. Procedimiento según la reivindicación 15, **caracterizado porque** la capa (13) del primer material ópticamente transparente y eléctricamente conductor y la primera capa antirreflectante (14) y/o la capa (19) del segundo material ópticamente transparente y eléctricamente conductor y la segunda capa antirreflectante (20) se aplican en un dispositivo y sin interrupción de vacío.

17. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 11 a 16, **caracterizado porque** la capa (13) del primer material ópticamente transparente y eléctricamente conductor y/o la capa (19) del segundo material ópticamente transparente y eléctricamente conductor se deposita mediante un procedimiento PECVD en el que está presente un plasma en una zona de plasma.

18. Procedimiento según la reivindicación 17, **caracterizado porque** la energía se introduce en el plasma mediante microondas durante el procedimiento PECVD.

19. Procedimiento según la reivindicación 17 o 18, **caracterizado porque** la capa (13) del primer material ópticamente transparente y eléctricamente conductor y/o la capa (19) del segundo material ópticamente transparente y eléctricamente conductor se deposita mediante un procedimiento PECVD en el que la zona de plasma está espacialmente retraída de la superficie respectiva (101a, 102a) del material semiconductor (10) a recubrir.

20. Procedimiento según la reivindicación 17 o 18, **caracterizado porque** la superficie (101a, 102a) a recubrir del material semiconductor (10) se desplaza linealmente más allá de la zona de plasma.

21. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 18 a 20, **caracterizado porque** el primer y/o el segundo material ópticamente transparente y eléctricamente conductor es un óxido de zinc y el procedimiento PECVD se lleva a cabo con los materiales de partida dimetilzinc o dietilzinc como proveedor de zinc, monóxido de dinitrógeno y/u oxígeno como proveedor de oxígeno y un gas inerte y/o nitrógeno.

22. Procedimiento de la reivindicación 21, **caracterizado porque** se usa además trimetilaluminio como fuente de aluminio para aplicar un óxido de zinc dopado con aluminio o diborano como fuente de boro para aplicar un óxido de zinc dopado con boro durante el procedimiento PECVD.

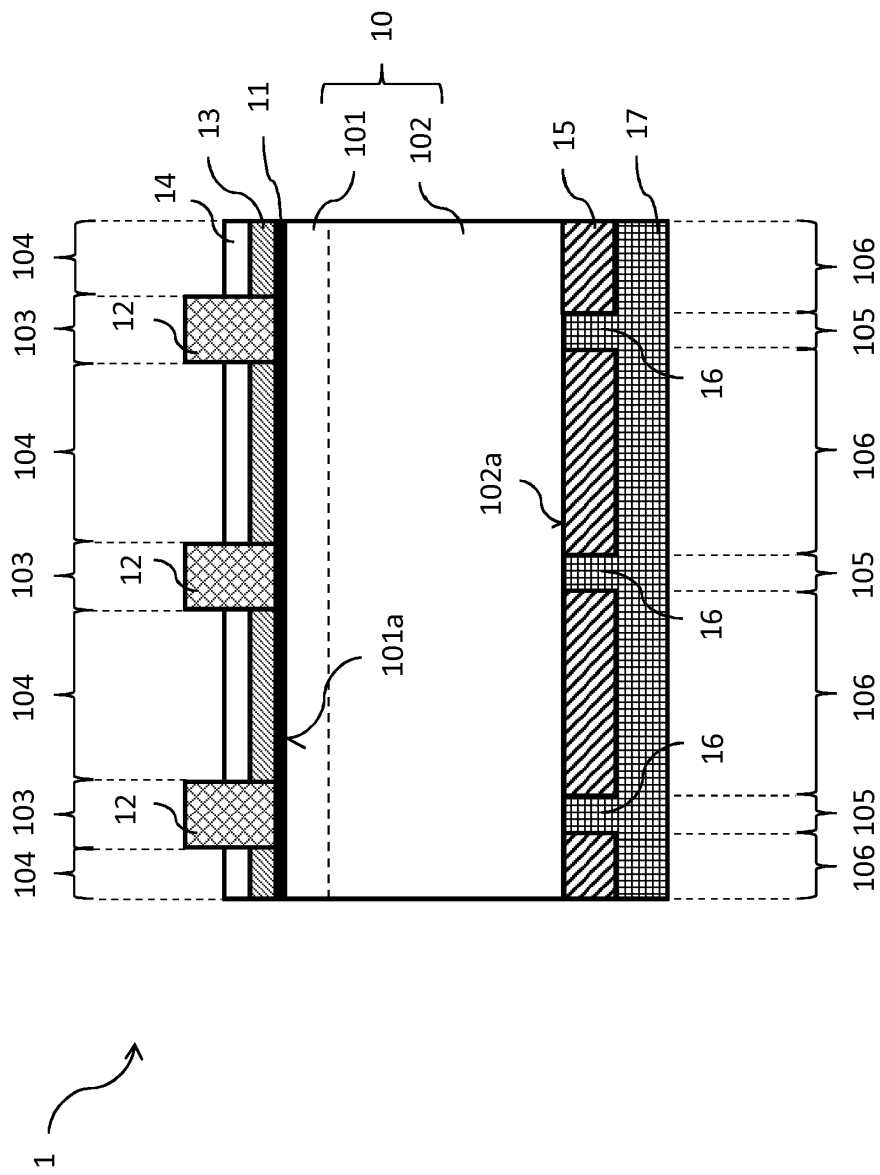


Fig. 1

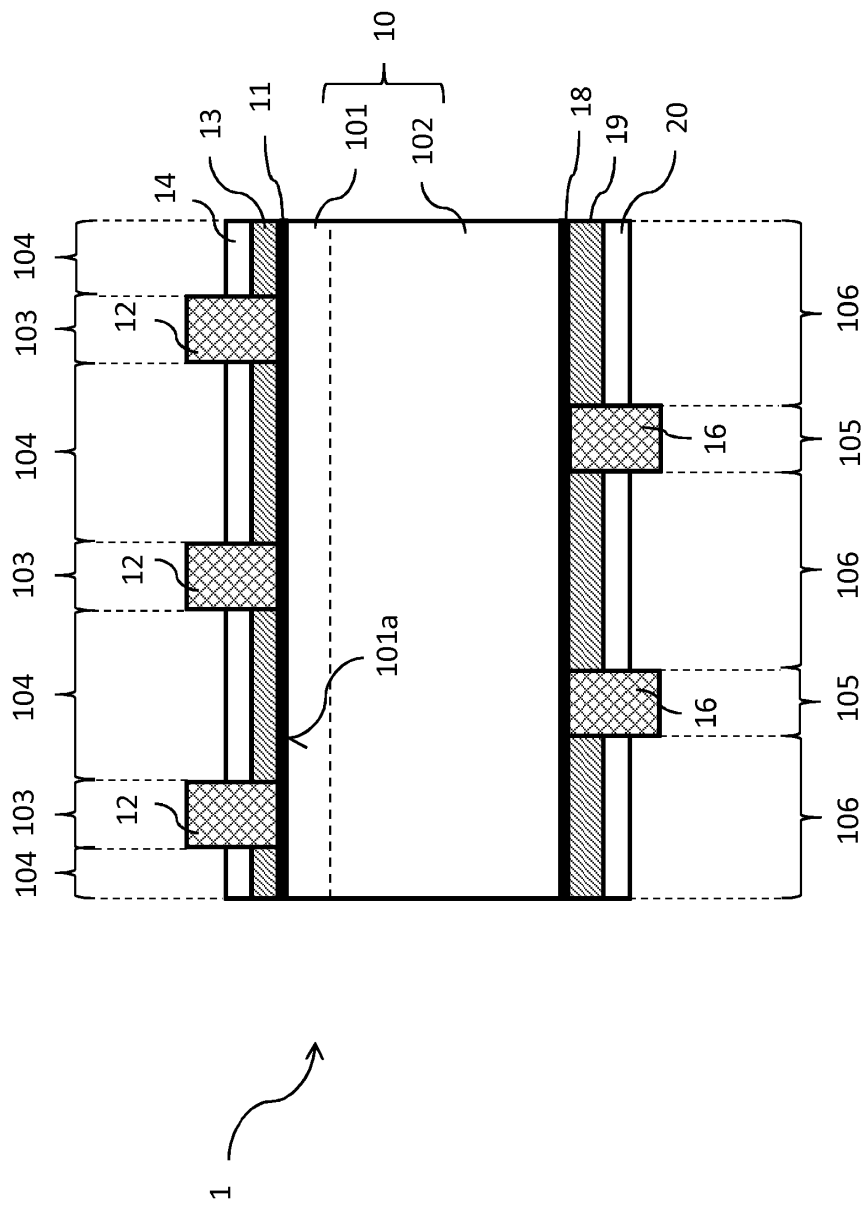


Fig. 2

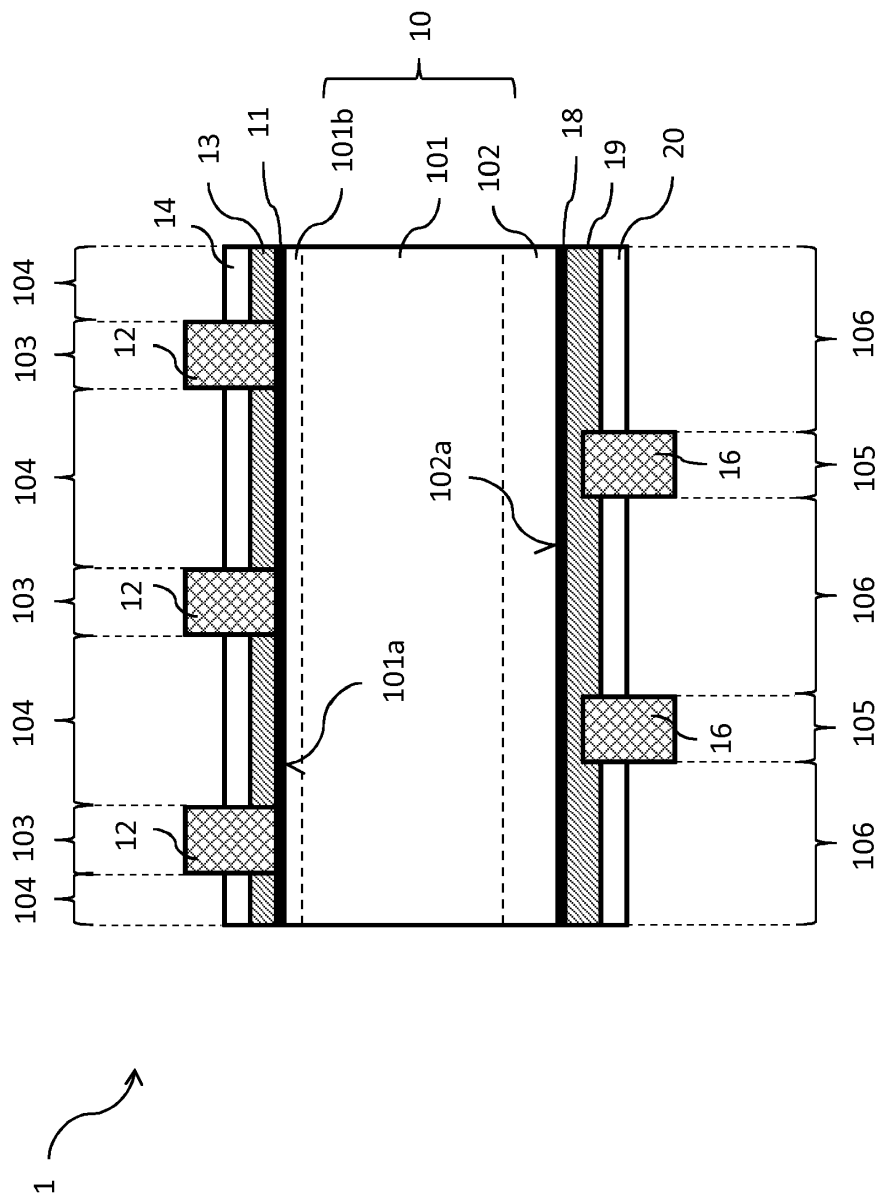


Fig. 3

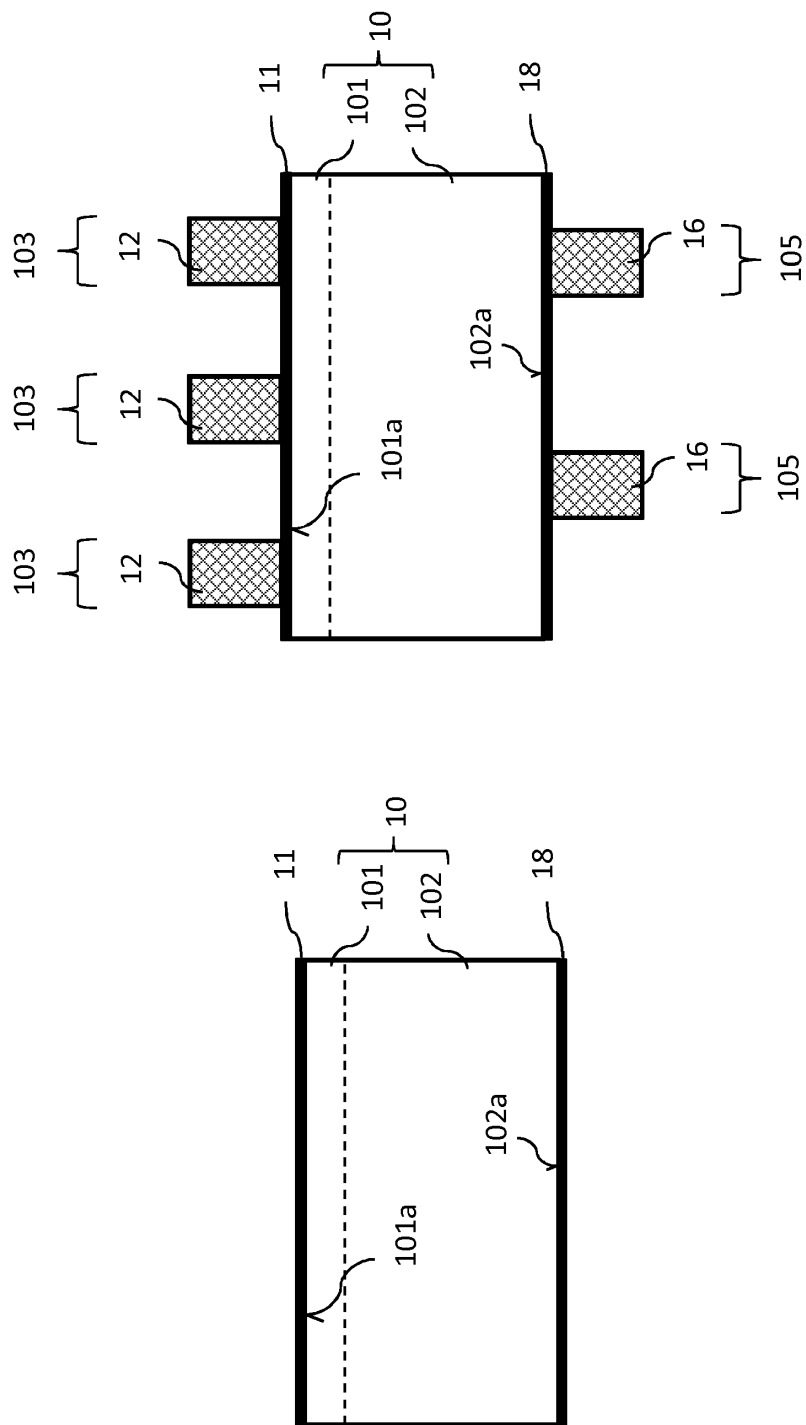


Fig. 4B

Fig. 4A

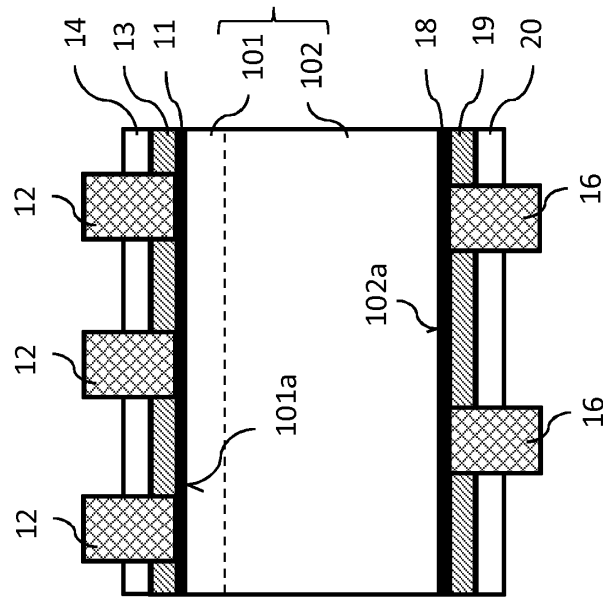


Fig. 4D

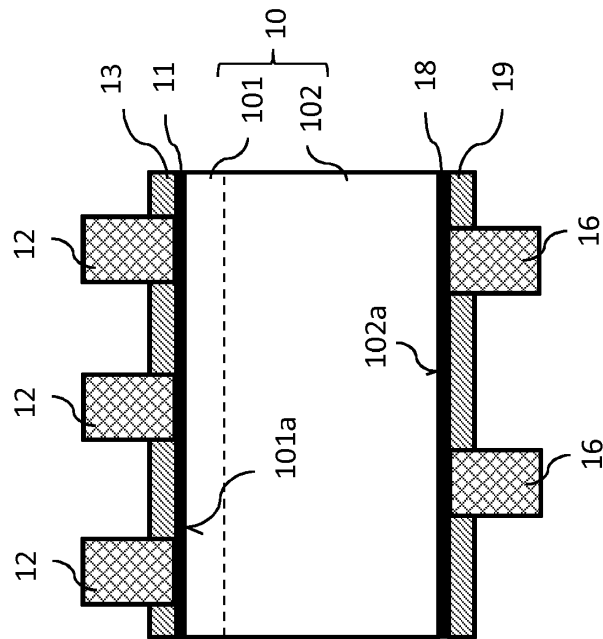


Fig. 4C