

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 453 073**

51 Int. Cl.:

**H01L 31/0224** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **01.06.2010 E 10737743 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **08.01.2014 EP 2438620**

54 Título: **Célula solar con zonas de pasivación contiguas eléctricamente aislantes dotadas de una alta carga superficial de polaridad opuesta y procedimiento de fabricación**

30 Prioridad:

**02.06.2009 DE 102009024807**

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

**03.04.2014**

73 Titular/es:

**HELMHOLTZ-ZENTRUM BERLIN FÜR  
MATERIALIEN UND ENERGIE GMBH (100.0%)  
Hahn-Meitner-Platz 1  
14109 Berlin, DE**

72 Inventor/es:

**STANGL, ROLF y  
RECH, BERND**

74 Agente/Representante:

**LEHMANN NOVO, María Isabel**

**ES 2 453 073 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 con zonas de pasivación contiguas eléctricamente aislantes dotadas de una alta carga superficial de polaridad opuesta y procedimiento de fabricación.

La invención se refiere a una célula solar que comprende

- 5 - una capa de absorbedor semiconductor fotoactiva que sirve para generar portadores de carga excedentes de polaridad opuesta por efecto de la luz que incide, en la situación de funcionamiento, en el lado delantero de la capa de absorbedor,
- la formación de al menos un campo eléctrico en la capa de absorbedor que sirve para la separación de los portadores de carga excedentes fotogenerados de polaridad opuesta, que pueden recorrer al menos una longitud de difusión efectiva mínima  $L_{ef,min}$ ,
- 10 - unos primeros elementos de contacto que sirven para derivar los portadores de cargas excedentes de una polaridad en el lado trasero de la capa de absorbedor alejado de la luz en la situación de funcionamiento,
- unos segundos elementos de contacto que sirven para derivar los portadores de carga excedentes de polaridad opuesta, y
- 15 - al menos una primera zona de pasivación eléctricamente aislante, no dopada, aplicada sobre el lado trasero de la capa de absorbedor y hecha de un primer material no semiconductor con una carga superficial tan alta de una polaridad que se provoque una torsión de banda de la capa de absorbedor en una dirección hasta o casi la desnaturalización, y
- al menos una segunda zona de pasivación eléctricamente aislante, no dopada y hecha de un segundo material no semiconductor con una carga superficial tan alta de polaridad opuesta que se provoque una torsión de banda de la capa de absorbedor en la dirección contraria hasta o casi la desnaturalización,
- 20 - una disposición también de los segundos elementos de contacto en el lado trasero de la capa de absorbedor,
- al menos una primera abertura de contacto en cada primera zona de pasivación eléctricamente aislante para la conexión de un primer elemento de contacto,
- 25 así como a un procedimiento para fabricar células solares de esta clase.

Las estructuras de componentes fotoactivos que se materializan (por ejemplo, fotodiodos, células solares) con ayuda de semiconductores (por ejemplo, silicio) utilizan en general una transición semiconductor-semiconductor altamente dopada (por ejemplo estructuras pn o pin) o una transición metal-semiconductor (contacto de Schottky) o bien una transición metal muy delgado-aislador (óxido de túnel)-semiconductor (contacto MIS) para la separación selectiva de los portadores de carga excedentes fotogenerados. En este caso, se aprovecha para la separación selectiva de portadores de carga excedentes fotogenerados el campo eléctrico que se forma a consecuencia de las transiciones citadas en la capa de absorbedor semiconductor fotoactiva. En particular, el campo eléctrico se genera aquí siempre primordialmente a través de una capa de contacto conductora (capa de emisor o capa metálica o capa de metal/óxido de túnel) que se encuentra al menos en zonas localizadas sobre el fotoabsorbedor (la capa de óxido de túnel en el caso de un contacto MIS se conceptúa aquí como capa de contacto efectivamente conductora a pesar del carácter en sí aislante de un óxido), ya que el óxido de túnel tiene que procesarse en forma tan delgada que sea posible un flujo de corriente significativo hacia el metal a consecuencia de procesos de transporte de túnel. Por tanto, todas las transiciones citadas (transición pn, contacto de Schottky, contacto MIS) generan concretamente un campo eléctrico o una zona de carga espacial en el fotoabsorbedor que se utiliza después para la separación de los portadores de carga fotogenerados.

Si la consigna objetivo es conseguir una acumulación lo más eficiente posible de los portadores de carga excedentes fotogenerados (por ejemplo, el desarrollo de células solares de alta eficiencia, por ejemplo a base de pastillas de silicio), las capas semiconductoras altamente dopadas (especialmente la capa de emisor en estructuras pn) y la recombinación de contacto (en el contacto metal-semiconductor altamente dopado o en el contacto metal-semiconductor o en el contacto metal-óxido de túnel-semiconductor) representan entonces, a consecuencia de su alta actividad de recombinación, un factor limitativo del rendimiento de la célula solar. Un difundido concepto auxiliar es el aprovechamiento de contactos puntuales para minimizar las inevitables regiones de contacto con una alta actividad de recombinación. En este caso, se pasiva el fotoabsorbedor (por ejemplo, la pastilla de silicio) en toda su superficie por medio de una capa de pasivación eléctricamente aislante (por ejemplo, un óxido térmicamente crecido) y a continuación se le abre localmente en algunas regiones (contactos puntuales o contactos en forma de tiras). En estas regiones tiene lugar entonces la generación anteriormente descrita de una zona de carga espacial para la separación de los portadores de carga excedentes fotogenerados. En particular, la capa de pasivación eléctricamente aislante tiene que presentar aquí una baja velocidad de recombinación superficial (por ejemplo, < 30 cm/s).

55 Las capas de pasivación reducen la velocidad de recombinación superficial del absorbedor de células solares. Pueden estar configuradas como conductoras (por ejemplo, silicio amorfo hidrogenado intrínseco o dopado, a-Si:H) o como no conductoras (por ejemplo, óxidos, nitruros). La mayoría de las capas de pasivación funcionan principalmente por medio de una saturación (reducción) de los defectos superficiales del fotoabsorbedor (por ejemplo, un óxido térmicamente crecido sobre una pastilla de silicio por saturación de los "enlaces colgantes"

abiertos. Sin embargo, es posible también lograr una pequeña velocidad de recombinación superficial por medio de una carga superficial muy alta dentro de la capa de pasivación. La carga superficial de la capa de pasivación conduce entonces también a una formación de una zona de carga espacial en el fotoabsorbedor. Si la carga superficial es muy alta, se puede impulsar entonces la torsión de banda resultante del absorbedor hasta la desnaturalización o casi la desnaturalización (torsión de banda completa, el canto de la banda de valencia o de la banda de conducción toca entonces el nivel de energía de Fermi del semiconductor en la superficie de dicho semiconductor). La densidad de una clase de portadores de carga queda entonces muy incrementada localmente en la superficie del semiconductor. Según el material utilizado, sólo está disponible allí entonces cada vez una clase de portadores de carga excedentes fotogenerados (bien solamente electrones excedentes o bien solamente huecos excedentes, equivalente a "una polaridad" y una "polaridad opuesta"), de modo que, a pesar de una alta densidad de defectos superficiales eventualmente existente, no es posible ninguna recombinación superficial. Ejemplos conocidos de tales capas de pasivación son, por ejemplo, nitruro de silicio (SiN (acrónimo, no fórmula estequiométrica), carga superficial positiva muy alta) depositado sobre silicio, por ejemplo por deposición química de fase gaseosa asistida por plasma (PECVD), u óxido de aluminio (AlO (acrónimo, no fórmula estequiométrica), carga superficial negativa muy alta) depositado sobre silicio por "deposición de capa atómica" (ALD).

### Estado de la técnica

Se conoce por el documento DE 196 02 313 A1 una célula solar con una transición pn y un contactado bilateral. Para suprimir la recombinación de portadores de carga en el contacto del lado trasero alejado de la luz, la célula solar está equipada con un electrodo de campo externamente activable. Éste está situado entre los dedos de contacto de una capa de aislamiento dispuesta sobre la capa de absorbedor y está unido con una fuente de tensión exterior. El electrodo de campo puesto a un potencial negativo genera en la superficie límite semiconductor-aislante un campo eléctrico que hace que los portadores de carga minoritarios que se difunden en esta región sean impulsados hacia atrás en dirección a la transición pn, mientras que los portadores de carga mayoritarios son acelerados hacia el contacto del lado trasero. Para reducir la velocidad de recombinación en el lado delantero de la célula solar puede estar previsto allí también un electrodo de campo externamente activable de polarización opuesta, mediante cuya acción de campo los portadores de carga mayoritarios sean impulsados hacia el contacto trasero y los portadores de carga minoritarios sean impulsados hacia el contacto delantero. Sin embargo, la separación de portadores de carga se efectúa exclusivamente en la transición pn.

Se conoce por el documento WO 2007/022955 A1 una célula solar contactada en el lado trasero en la que los campos eléctricos para la separación de portadores de carga son generados, en el caso de un absorbedor dopado, a través de regiones de emisor alternativamente contiguas (contradopadas con respecto al absorbedor) y regiones BSF (altamente equidopadas con respecto al absorbedor). Sin embargo, las regiones de emisor y las regiones BSF consisten en regiones semiconductoras eléctricamente conductoras con dopado. En la fabricación son necesarias medidas correspondientes de dopado y estructuración.

Se conoce por el documento DE 44 12 297 A1 el recurso de pasivar la velocidad de recombinación en la superficie de un elemento semiconductor, por ejemplo silicio p-conductor, mediante la aplicación de una capa de un aislante eléctrico, por ejemplo óxidos o nitruros, sobre la superficie del elemento semiconductor y la aplicación subsiguiente de cargas eléctricas sobre la superficie de la capa de aislante. En este caso, se pueden aplicar cargas positivas o negativas. Se reduce así la densidad de portadores de carga en los lugares de una alta densidad de estado en centros de trampa o de recombinación. Mediante la aplicación de las cargas se obtiene en el interior del elemento semiconductor un campo eléctrico por el cual los portadores de carga minoritarios libremente móviles situados en la banda de conducción (electrodos en caso de un semiconductor p-dopado, huecos en el caso de un semiconductor n-dopado) son arrastrados desde la zona próxima a la superficie hasta el interior del elemento semiconductor. Las cargas externamente aplicadas (por ejemplo por descarga en corona) pueden inmovilizarse, por ejemplo, por medio de una capa de cubierta térmicamente recocida a continuación. Se pueden aplicar también capas de aislamiento con cargas sobre ambas superficies del elemento semiconductor, si bien se aplican entonces cargas de la misma polaridad para poder realizar mediciones de la longevidad de los portadores de carga.

El empleo de capas de pasivación de óxido de aluminio y nitruro de silicio con sus cargas superficiales diferentes (AlO, negativas y SiN, positivas) para células solares con el fin de reducir la tasa de recombinación superficial es conocido por el documento DE 35 36 299 A1. En éste se describen células solares con contacto MIS de superficie completa, células solares de capa de inversión MIS y células solares con transición pn convencional para la separación de portadores de carga.

El documento US 2004/0187916 revela una célula solar con resaltes traseros sobre los cuales o sobre los flancos de los cuales se encuentran unas regiones de pasivación y unos contactos primeros y segundos para acumular los portadores de carga.

Por la Publicación I de Jan Benick et al.: "Surface passivation of boron diffused emitters for high efficiency solar cells" (Proceedings PVSEC-33, San Diego, Mayo de 2008) se conoce también la aplicación de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> como capa de pasivación para un emisor (p+) difundido. Se procesó un célula solar de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> / cSi (p+, emisor frontal, plano, difundido) / c-Si(n, absorbedor, pastilla) / SiO<sub>2</sub> con c-Si(n+, BSF, contactos puntuales traseros, difundido) con un

rendimiento de 23,2%. Por la Publicación II de Jan Schmidt et al.: "Atomic-layer-deposited aluminium oxide for the surface passivation of high efficiency silicon solar cells" (Proceedings PVSEC-33, San Diego, Mayo de 2008) se conoce la estructura de una célula solar procesada con 20,6% de rendimiento (nitruro de silicio / cSi(n+, emisor frontal, plano, difundido) / c-Si(p, absorbedor, pastilla) / Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> con c-Si(p+, BSF, contactos puntuales traseros, difundido). En ambas publicaciones existen las regiones de emisor o BSF (p+) o (n+) (difundidas) que hacen posible entonces (por la formación de un contacto de emisor p+/n o n+/p "convencional" en la superficie límite emisor-absorbedor o por la formación de un contacto BSF p+/p o un contacto BSF n+/n en la superficie límite BSF-absorbedor) la separación selectiva "convencional" de portadores de carga.

La invención parte de la célula solar según la Publicación II como estado de la técnica más próximo, ya que aquí se revela una célula solar de la clase genérica descrita al principio. Se trata de una célula solar con una capa de absorbedor semiconductor fotoactiva en la que se generan por la luz incidente, en la situación de funcionamiento, en el lado delantero de la capa de absorbedor unos portadores de carga positivos y negativos excedentes. Para separar los portadores de carga positivos y negativos se genera en la capa de absorbedor un campo eléctrico por formación de una transición pn entre el contacto de superficie completa de una capa de emisor delantera y una pastilla de silicio p-dopada (véase la figura 3 de la Publicación II). Los portadores de carga separados (portadores de carga minoritarios) pueden recorrer una longitud de difusión efectiva mínima  $L_{ef,min}$  en la capa de absorbedor antes de que se recombinen. Asimismo, para la derivación de los portadores de carga positivos se han previsto unos contactos puntuales como primeros elementos de contacto en el lado trasero de la capa de absorbedor que queda alejado de la luz en la situación de funcionamiento. Para derivar los portadores de carga negativos se encuentran en el lado delantero de la capa de absorbedor que queda vuelto hacia la luz en la situación de funcionamiento unas tiras de contacto actuantes como segundos elementos de contacto. Por tanto, la célula solar conocida es contactada en ambos lados. Asimismo, en el lado trasero de la capa de absorbedor se encuentra una capa plana de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> como primera región de pasivación eléctricamente aislante con una alta carga superficial negativa para la acumulación de portadores de carga positivos en la capa de absorbedor dentro de la región de contacto. En el lado delantero de la célula solar se encuentra todavía sobre la capa de emisor una capa plana de nitruro de silicio como segunda región de pasivación eléctricamente aislante con una alta carga superficial positiva para la acumulación de portadores de carga negativos en la capa de absorbedor dentro de la región de contacto. Sin embargo, la separación de portadores de carga en la célula solar conocida se efectúa convencionalmente por medio de una transición pn selectiva entre emisor y absorbedor.

### Planteamiento del problema

El problema de la presente invención estriba en indicar una forma alternativa de la separación de portadores de carga para la célula solar genérica según la Publicación II, en la que su rendimiento deberá ser al menos igual o mejor. Gracias a la forma alternativa de la separación de portadores de carga se deberán evitar ampliamente problemas de alineación y de estructuración durante la fabricación de la célula solar. La solución según la invención para este problema puede deducirse de la reivindicación principal; perfeccionamientos ventajosos de la invención se exponen en las reivindicaciones subordinadas y se explican con detalle en lo que sigue en relación con la invención.

En la solución según la invención la célula solar del género expuesto se caracteriza por

- una disposición alternante contigua de varias regiones de pasivación primeras y segundas eléctricamente aislantes en el lado trasero de la capa de absorbedor con un espesor  $L_x$  de  $0 < L_x \leq L_{ef,min}$ ,
- al menos una segunda abertura de contacto en cada segunda región de pasivación eléctricamente aislante para la conexión de un segundo elemento de contacto y
- una distancia  $L_y$  entre cada primero y cada segundo elemento de contacto de  $0 < L_y \leq 2 L_{ef,min}$ .

Con la invención se proporciona una célula solar contactada en el lado trasero en la que la separación selectiva de portadores de carga excedentes fotogenerados se efectúa aprovechando la generación de campo por diferentes capas de pasivación no dopadas eléctricamente aislantes con una fuerte carga superficial opuesta (positiva y negativa). Las regiones de pasivación eléctricamente aislante generan en sus regiones de contacto con la capa de absorbedor unas superficies semiconductoras desnaturalizadas o casi desnaturalizadas de dopado opuesto, lo que se aprovecha para la separación selectiva de portadores de carga excedentes. Entre las regiones de pasivación contiguas de carga superficial opuesta se forman campos eléctricos (zonas de carga espacial). En estos se separan y se derivan selectivamente los portadores de carga excedentes fotogenerados. Para alcanzar también a todos los portadores de carga excedentes generados en la capa de absorbedor, esta capa de absorbedor presenta para ello un espesor  $L_x$  de  $0 < L_x \leq L_{ef,min}$ . Se garantiza así que todos los portadores de carga libres puedan desplazarse también por todo el espesor de la capa de absorbedor sin que previamente se recombinen. En una capa de absorbedor no dopada (intrínseca) se presentan uniformemente portadores de carga excedentes positivos y negativos y, por tanto, ambas clases de portadores presentan aproximadamente la misma longitud de difusión efectiva  $L_{ef}$ . En un semiconductor dopado actuante como capa de absorbedor los átomos de dopado representan los portadores de carga mayoritarios en gran número, de modo que su longitud de difusión efectiva es mayor que la de los portadores de carga minoritarios que se presentan en menor número. Por tanto, para el dimensionamiento de las distancias hay que tener en cuenta siempre la longitud de difusión efectiva mínima  $L_{ef,min}$  para que en las capas de

absorbedor dopadas puedan acumularse también con seguridad los portadores de carga minoritarios.

En la invención no son en principio necesarios otros generadores de campo para la separación directa de portadores de carga que sean distintos de las capas de pasivación eléctricamente aislantes de carga superficial opuesta. En la célula solar según la invención la separación de portadores de carga no se genera primordialmente por medio de heterocapas de contacto realizadas de manera superficial o puntiforme o por medio de regiones difundidas realizadas de manera superficial o puntiforme, sino que es producida primordialmente por las dos capas de pasivación eléctricamente aislantes de carga superficial opuesta. Opcionalmente, se pueden emplear ciertamente también como ayuda (especialmente como elementos de contacto) unas heterocapas dopadas o unas regiones difundidas dopadas, si bien esto no es relevante para el funcionamiento y solamente incrementa el coste de estructuración por la ventaja de una menor recombinación de contacto. La ventaja de una pequeña recombinación de contacto puede lograrse entonces también preferiblemente empleando una capa de pasivación intrínseca semiconductoras sin gasto de estructuración.

En combinación con las células solares convencionales, estructuradas y contactadas en el lado trasero, en las que alternan emisores y regiones BSF dopados en el lado trasero para la generación de campo con miras a la separación selectiva de portadores de carga, ya no es especialmente necesario en la invención el utilizar una capa de pasivación aislante como capa espaciadora entre los emisores y las regiones BSF dopados, lo que aminora considerablemente el coste de estructuración en la invención. Además, en la invención se suprimen todos los problemas de alineación. En principio, el empleo de semiconductores dopados en la invención no es necesario, por lo que se pueden emplear ventajosamente capas de absorbedor (intrínsecas o débilmente dopadas) con menos defectos.

En la célula solar según la invención se encuentran ambos sistemas de contacto en el lado trasero de la célula solar que queda alejado de la luz en la situación de funcionamiento. En cada primera región de pasivación eléctricamente aislante está prevista al menos una abertura de contacto para la conexión de un primer elemento de contacto con la capa de absorbedor. Todos los primeros elementos de contacto forman juntamente con elementos colectores correspondientes un primer sistema de contacto a través del cual se pueden evacuar todos los portadores de carga excedentes seleccionados de una polaridad (en capas de absorbedor dopadas, por ejemplo, los portadores de carga mayoritarios correspondientes al dopado). En cada segunda región de pasivación eléctricamente aislante está prevista al menos una abertura de contacto para la conexión de un segundo elemento de contacto con la capa de absorbedor. Todos los segundos elementos de contacto forman juntamente con elementos colectores correspondientes un segundo sistema de contacto a través del cual se evacúan todos los portadores de carga seleccionados de la polaridad opuesta (en capas de absorbedor dopadas, por ejemplo, los portadores de carga minoritarios correspondientes al dopado). Para que se asegure que todos los portadores de carga excedentes fotogenerados caigan también bajo la influencia del campo de las capas de pasivación y puedan ser derivados allí por separado hacia los elementos de contacto correctos, se ha previsto siempre una distancia  $L_y$  de  $0 < L_y \leq 2 L_{ef,min}$  entre cada primero y cada segundo elemento de contacto. Cuanto menor sea la distancia entre los elementos de contacto, por ejemplo  $0 < L_y < L_{ef,min}$ , tanto mejor serán la captación y la derivación de los portadores de carga excedentes separados a través de los elementos de contacto correspondientes. Se puede garantizar así con seguridad que en todo punto los portadores de carga minoritarios excedentes generados en el absorbedor, cuya acumulación es considerablemente más difícil que la acumulación de los portadores de carga mayoritarios, alcancen las zonas de pasivación o contactos de acumulación de portadores de carga minoritarios antes de que se recombinen en el absorbedor.

Preferiblemente, los elementos de contacto primeros y segundos presentan una configuración puntual o de forma de tira (entre éstas se cuenta también una configuración de forma de rejilla) de modo que se minimicen ampliamente las superficies de contacto con la capa de absorbedor que presentan altas velocidades de recombinación. Sin embargo, son posibles también sin problemas otras formas de realización de los elementos de contacto. Para una acumulación de portadores de carga excedentes lo más uniforme posible y que cubra toda la superficie es ventajoso también que las aberturas de contacto estén dispuestas en la región de los centros de gravedad de las superficies de las regiones de pasivación primeras y segundas. Sin embargo, son posibles también otras disposiciones, por ejemplo asimétricas. Asimismo, puede estar previsto también ventajosamente por cada región de pasivación un gran número de aberturas de contacto especialmente pequeñas. En este caso, las aberturas de contacto pueden presentar dimensiones nanométricas y estar distribuidas estocásticamente. A este fin, se describe en la parte especial de la descripción un procedimiento de fabricación preferido. La previsión de un gran número de aberturas de contacto incrementa significativamente la selectividad de la evacuación de portadores de carga excedentes, ya que entonces la desnaturalización de la superficie del absorbedor generada por las zonas de pasivación puede penetrar completamente hasta las aberturas de contacto.

Los elementos de contacto metálicos consisten preferiblemente en dos metales diferentes con trabajo de salida diferente, fijándose el trabajo de salida necesario de modo que el contacto metal/semiconductor con la capa de pasivación intrínseca (a-Si:H(i)), conduzca a una superficie de acumulación de electrones cuando este contacto se encuentre en una región de pasivación con alta carga superficial negativa, y a una superficie de acumulación de huecos cuando este contacto se encuentre en una región de pasivación con alta carga superficial positiva. El

diferente trabajo de salida de los elementos de contacto metálicos favorece entonces - análogamente a lo que hacen las regiones dopadas - la separación selectiva de portadores de carga excedentes en la región del centro de las aberturas de contacto, en el que - según el tamaño seleccionado de las aberturas de contacto - ya no penetran las zonas de carga espacial del absorbedor generadas por la capa de pasivación o bien éstas disminuyen significativamente su influencia.

Para mejorar aún más el rendimiento de la célula solar puede estar prevista también ventajosamente una capa de pasivación plana en el lado delantero de la capa de absorbedor. Esta capa de pasivación no contribuye necesariamente de manera activa a la separación selectiva de portadores de carga, sino que reduce la tasa de recombinación en la superficie de la capa de substrato, con lo que se efectúa una pasivación superficial pura. Además, la capa de pasivación delantera puede consistir ventajosamente también en dos capas de pasivación aislantes diferentes con alta carga superficial opuesta (por ejemplo, opuestamente idéntica a la de las dos regiones de pasivación en el lado trasero de la célula solar) para favorecer la separación selectiva de portadores de carga excedentes de delante (lugar de la generación principal de portadores de carga excedentes) a atrás (lugar de la evacuación de portadores de carga excedentes) por medio de un campo eléctrico incorporado (generado así nuevamente por las regiones de pasivación aislantes). Esto puede ser relevante especialmente para absorbedores de capa delgada (por ejemplo, silicio amorfo intrínseco, a-Si:H(i)), en los que no es ventajosa una acumulación de portadores de carga excedentes en el lado trasero impulsada puramente por difusión a consecuencia de sus densidades de defectos relativamente altas. La acumulación de portadores de carga excedentes en el lado trasero es fomentada entonces también por el campo.

Asimismo, es ventajoso que, para minimizar la transición se activa en recombinación entre los elementos de contacto metálicos y la capa de absorbedor semiconductor, esté prevista una capa de pasivación intrínseca eléctricamente conductora, plana o estructurada, en las regiones de pasivación primeras y segundas. Asimismo es ventajoso que entre las regiones de pasivación primeras y segundas esté prevista una tercera región de pasivación semiconductor eléctrica aislante, más estrecha y más delgada, sin alta carga superficial, que favorezca la anulación necesaria de la desnaturalización o casi desnaturalización en los cantos de las regiones de pasivación primeras y segundas y evite así un cortocircuito.

En principio, en la invención se pueden utilizar materiales semiconductores dopados o no dopados (intrínsecos) para la fabricación de la capa de absorbedor. Para mejorar aún más el rendimiento puede ser ventajoso, cuando se empleen capas de absorbedor semiconductoras dopadas, que el contactado metálico se efectúe a través de homocontactos o heterocontactos semiconductores dopados. Ventajosamente, en el caso de una capa de absorbedor dopada pueden estar previstas capas de emisor aplicadas o difundidas heterogéneamente, dotadas de dopado opuesto, al menos en las aberturas de contacto de las regiones de pasivación primeras o segundas que presentan una carga superficial idéntica a la del dopado del absorbedor. Una capa de absorbedor p-dopada consiste así en la segunda región de pasivación eléctricamente aislante con una alta carga superficial, en cuya abertura de contacto se encuentran las capas de emisor negativamente dopadas. Por tanto, en el caso de una capa de absorbedor n-dopada las capas de emisor positivamente dopadas se encontrarían en las aberturas de contacto de las primeras regiones de pasivación eléctricamente aislantes con una alta carga superficial negativa. Asimismo, para la capa de absorbedor dopada pueden estar previstas capas BSF heterogéneas o difundidas local o superficialmente, dotadas del mismo dopado, al menos en las aberturas de contacto de las regiones de pasivación primeras o segundas con carga superficial opuesta a la del dopado del absorbedor. Una capa de absorbedor p-dopada consiste así en la primera región de pasivación eléctricamente aislante con una alta carga superficial negativa, en cuyas aberturas de contacto se encuentran capas BSF (campo de superficie trasero) positivamente dopadas. Por el contrario, en el caso de una capa de absorbedor n-dopada se encontrarían capas BSF negativamente dopadas en las aberturas de contacto de las segundas regiones de pasivación eléctricamente aislantes con una alta carga superficial positiva.

Para lograr un contactado mejorado de los heterocontactos dispuestos en las aberturas de contacto por medio de los elementos de contacto primeros y segundos es también ventajoso que las capas de emisor y/o las capas BSF se extiendan desde las aberturas de contacto hasta las regiones de pasivación primeras y/o segundas, sin que, no obstante, se toquen mutuamente. En las áreas extendidas se pueden disponer entonces elementos de contacto de mayor superficie. Análogamente, se pueden aplicar también capas de emisor y/o capas BSF adicionales sobre la capa de pasivación eléctricamente conductora previamente aplicada, la cual penetra entonces en las aberturas de contacto. En caso de que se apliquen tanto capas de emisor adicionales como capas BSF adicionales, éstas no podrán tocarse.

Por tanto, en la célula solar según la invención los contactos pueden materializarse idealmente por medio de heterocontactos de forma de puntos o de tiras, pobres en recombinación, pero los cuales no contribuyen forzosamente a la generación de una zona de carga especial (por ejemplo, a-Si:H(i), silicio hidrogenado amorfo intrínseco). Si se logra especialmente elegir el diámetro de los contactos puntuales o la anchura de los contactos en forma de tira de modo que sea más pequeño que el doble de la anchura media de la zona de carga espacial de los respectivos portadores de carga excedentes, el campo eléctrico de la respectiva región de pasivación actúa entonces también de manera selectivamente separadora en las regiones de los contactos. Si el diámetro o la

anchura es mayor, la separación selectiva de portadores de carga tiene lugar solamente en las zonas del borde de la transición de las zonas de carga espacial. Sin embargo, en el caso de una capa de absorbedor fotoactiva elegida como intrínseca, esto puede compensarse por medio de un revestimiento de los contactos con una heterocapa de pasivación conductiva intrínseca. En la región interior del contacto puntual o del contacto en forma de tira, el contacto con la capa de absorbedor está entonces pasivado, y en la zona del borde tiene lugar una evacuación selectiva de portadores de carga excedentes. En el caso de una capa de absorbedor fotoactiva dopada se tiene que, para la situación en la que los tamaños de las estructuras de los contactos sean mayores que el doble de la anchura media de la zona de carga espacial, las aberturas de contacto de los minoritarios excedentes pueden modificarse por medio de heterocapas de contacto adicionales dopadas externamente aplicadas o por medio de difusión local de modo que la superficie semiconductor de la capa de absorbedor contribuya allí también a la evacuación selectiva de portadores de carga excedentes. Los contactos en forma de puntos o de tiras se materializan entonces idealmente por medio de heterocontactos pobres en recombinación que no tienen que contribuir forzosamente a la generación de una desnaturalización análoga a la desnaturalización de la superficie semiconductor generada por la respectiva capa de pasivación (por ejemplo, una capa de silicio amorfo intrínseco que a su vez es contactada óhmicamente por vía metálica). Naturalmente, se pueden utilizar también contactados convencionales (pero desventajosamente más activos en recombinación) para los contactos, los cuales favorecen entonces la separación selectiva de portadores de carga de las regiones de pasivación.

Si se utiliza especialmente, por ejemplo, silicio amorfo intrínseco hidrogenado (a-Si:H(i)) como capa de pasivación conductiva para el contactado puntual de una pastilla de silicio, por ejemplo idealmente intrínseca, actuante como fotoabsorbedor, es conocido entonces que a-Si:H(i) ultrafino (por ejemplo, 30 nm de espesor) actuante como capa de pasivación conductora se pasiva análogamente a las mejores capas de pasivación aislantes actualmente conocidas (por ejemplo, SiO<sub>2</sub>, Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>). Según la invención, se emplea, por ejemplo, a-Si:H(i) para el contactado de los contactados de forma de puntos o de tiras de la pastilla. Dado que las regiones de pasivación aislantes proporcionan ya la separación selectiva de portadores de carga, ya no es ahora necesario aplicar otras capas semiconductoras altamente dopadas (activas en recombinación) para la separación selectiva de portadores de carga sobre o debajo de la capa de a-Si:H(i) intrínseca. En particular, se necesita entonces solamente una capa de pasivación conductora y no dos capas de naturaleza diferente, como es usual hasta ahora en el estado de la técnica (una capa de pasivación para la evacuación de los electrones excedentes y una capa de pasivación para la evacuación de los huecos excedentes). Según la capa de pasivación aislante sobre la cual se encuentre el a-Si:H(i), se evacuan electrones excedentes o huecos excedentes. Esto reduce considerablemente el gasto de estructuración, especialmente en la forma de realización de una célula solar contactada en el lado trasero.

Asimismo, en las células solares según la invención pueden estar dispuestos unos conductos de paso de las capas de pasivación hasta el lado delantero de la célula solar o de la capa de absorbedor que queda vuelto hacia la incidencia de la luz en la situación de funcionamiento. La capa de pasivación aislante aplicada sobre el lado delantero de la capa de absorbedor contribuye entonces ventajosamente también a la separación selectiva de portadores de carga excedentes, y los portadores de carga excedentes acumulados en el lado delantero son evacuados a través de los conductos de paso hasta un sistema de contacto dispuesto en el lado trasero, el cual está construido de manera análoga al que se acaba de describir. Preferiblemente, la célula solar según la invención puede caracterizarse entonces por una capa de absorbedor dopada, un conducto de paso de las aberturas de contacto en las regiones de pasivación primeras o segundas con carga superficial idéntica a la del dopado del absorbedor hasta el lado delantero de la capa de absorbedor, y un recubrimiento de las aberturas de contacto atravesadas y del lado delantero de la capa de absorbedor entre las aberturas de contacto atravesadas con el material de las regiones de pasivación primeras o segundas. Por consiguiente, en una capa de absorbedor p-dopada las aberturas de contacto de las segundas regiones de pasivación con carga superficial positiva se extienden a través de la capa de absorbedor y están recubiertas con el material de las segundas regiones de pasivación. Por el contrario, en una capa de absorbedor n-dopado las aberturas de contacto de las primeras regiones de pasivación con carga superficial negativa se extienden a través de la capa de absorbedor y están recubiertas con el material de las primeras regiones de pasivación.

Como ya se ha explicado anteriormente en algunos ejemplos, en la célula solar según la invención se puede utilizar preferiblemente silicio intrínseco o dopado como material para la capa de absorbedor, nitruro de silicio como material para las primeras regiones de pasivación eléctricamente aislantes con una alta carga superficial positiva, óxido de aluminio como material para las segundas regiones de pasivación eléctricamente aislantes con una alta carga superficial negativa y aluminio o TCO (óxido conductivo transparente) / aluminio como material para los elementos de contacto primeros y segundos. Para la capa de pasivación intrínseca eléctricamente conductora se puede utilizar preferiblemente como material silicio amorfo terminado por hidrógeno (a-Si:H).

### Ejemplos de realización

Seguidamente, para comprender mejor la invención, se explican con detalle ayudándose de las figuras esquemáticas (sin representación a escala) formas de realización de la célula solar según la invención con capas de pasivación de carga superficial opuesta para la generación de campo a fin de separar los portadores de carga

excedentes. La célula solar según la invención se muestra aquí en secciones en

La figura 1A, como una representación de principio con campos eléctricos esquemáticamente dibujados en la capa de absorbedor semiconductor que son generados por las dos regiones de pasivación aislantes,

La figura 1B, una representación de principio tridimensional de los diagramas de bandas,

- 5 La figura 2A, con absorbedor intrínseco, tercera región de pasivación eléctricamente aislante (descargada) y ambos contactados a través de una heterocapa intrínseca, estructurada,

La figura 2B, con absorbedor intrínseco y ambos contactados a través de una heterocapa intrínseca, no estructurada,

La figura 2C, según la figura 2B en sección transversal con contactados interdigitados,

- 10 La figura 3A, con absorbedor dopado y ambos contactados a través de una heterocapa dopada, estructurada,

La figura 3B, con absorbedor dopado y ambos contactados a través de una heterocapa dopada y una heterocapa intrínseca, estructuradas,

La figura 3C, con absorbedor dopado y ambos contactados a través de una heterocapa dopada y una heterocapa intrínseca, no estructuradas,

- 15 La figura 3D, con absorbedor dopado y contactado de minoritarios a través de una heterocapa dopada y una heterocapa intrínseca, estructuradas, y contactado de mayoritarios a través de una heterocapa intrínseca, estructurada,

La figura 3E, con absorbedor dopado y contactado de minoritarios a través de una heterocapa dopada y una heterocapa intrínseca, no estructuradas, y contactado de mayoritarios a través de una heterocapa intrínseca, no estructurada,

- 20 La figura 4A, con absorbedor dopado y ambos contactados por difusión convencional,  
La figura 4B, con absorbedor dopado y contactado de minoritarios por difusión convencional y una heterocapa intrínseca, no estructurada, y contactado de mayoritarios a través de una heterocapa intrínseca, estructurada,

- 25 La figura 5A, con absorbedor dopado y pseudotranscontactados, contactado de minoritarios a través de una heterocapa intrínseca y difusión local, estructurada, y contactado de mayoritarios a través de una heterocapa intrínseca, estructurada (primera sección transversal),

La figura 5B, con absorbedor dopado y pseudotranscontactado, contactado de minoritarios a través de una heterocapa intrínseca y difusión local, estructurada, y contactado de mayoritario a través de una heterocapa intrínseca, estructurada (segunda sección transversal),

- 30 La figura 5C, según las figuras 5A, 5B y 6A, 6B en sección transversal con contactados interdigitados,

La figura 6A, con absorbedor dopado y pseudotranscontactados, contactado de minoritarios a través de una heterocapa intrínseca y difusión superficial, estructurada, y contactado de mayoritarios a través de una heterocapa intrínseca, estructurada (primera sección transversal),

- 35 La figura 6B, con absorbedor dopado y pseudotranscontactados, contactado de mayoritarios a través de una heterocapa intrínseca y difusión superficial, estructurada, y contactado de mayoritarios a través de una heterocapa intrínseca, estructurada (segunda sección transversal),

La figura 7A, con absorbedor intrínseco o dopado y pseudotranscontactados y muchos contactados puntuales a través de una heterocapa intrínseca, estructurado,

La figura 7B, según la figura 7A en sección transversal con muchos contactados,

- 40 Las figuras 8A..N, un procedimiento de fabricación convencional con estructuración basta de las regiones de pasivación,

Las figura 9A..D un procedimiento de fabricación convencional con estructuración fina de las regiones de pasivación y

- 45 Las figuras 10A..M, un nuevo procedimiento de fabricación de una célula solar según la figura 2A con estructuración fina.

La figura 1A muestra una célula solar 01, según la invención en su construcción básica, en sección transversal. En el

lado trasero 02 de la célula solar 01 alejado de la luz en la situación de funcionamiento (para la incidencia de la luz véanse las flechas) están dispuestas alternándose sobre una capa de absorbedor semiconductor 03, que puede ser intrínseca (03) o estar dopada de manera positiva (20) o negativa, unas primeras regiones de pasivación 04 con una alta carga superficial negativa y una segundas regiones de pasivación 05 con una alta carga superficial positiva. Asimismo, las zonas de carga espacial 06 que se forman están por debajo de las primeras regiones de pasivación positivas 04 con alta carga superficial negativa (se muestra también la acumulación de cargas positivas en la superficie de la capa de absorbedor 03) y las zonas de carga espacial 07 están por debajo de las segundas regiones de pasivación 05 con alta carga superficial positiva (se muestra también la acumulación de cargas negativas en la superficie de la capa de absorbedor 03), y están también dibujados los campos eléctricos 08 que se forman (sin representación a escala). Se puede apreciar que todos los portadores de carga excedentes generados en la capa de absorbedor 03 pueden desplazarse de conformidad con su polaridad con respecto a unos primeros elementos de contacto 09 (derivación de portadores de carga excedentes positivos) hasta las primeras regiones de pasivación 04 y con respecto a unos segundos elementos de contacto 10 (derivación de portadores de carga excedentes negativos) hasta las segundas regiones de pasivación 05.

Para que todos los portadores de carga de la capa de absorbedor completa 03 alcancen también las zonas de carga espacial 06, 07 (con una anchura  $W$ ) es necesario que el espesor  $L_x$  de la capa de absorbedor 03 sea más pequeño o igual que la longitud de difusión efectiva más pequeña  $L_{ef,min}$  ( $0 < L_x \leq L_{ef,min}$ ) que se presenta en la capa de absorbedor 03. Los elementos de contacto primeros y segundos 09, 10 están dispuestos en unas primeras aberturas de contacto 11 y unas segundas aberturas de contacto 12. Para que todos los portadores de carga fotogenerados en las zonas de carga espacial 06, 07 puedan alcanzar los elementos de contacto primeros y segundos 09, 10 es necesario que las aberturas de contacto 11, 12 tengan entre ellas una distancia  $L_y$  que sea más pequeña o igual que el doble de la longitud de difusión efectiva más pequeña  $L_{ef,min}$  ( $0 < L_y \leq 2 L_{ef,min}$ ) que se presenta en la capa de absorbedor 03. Se obtiene una derivación especialmente segura de los portadores de carga cuando  $L_y$  es más pequeña o igual que la longitud de difusión efectiva  $L_{ef,min}$  ( $0 < L_y \leq L_{ef,min}$ ). En el ejemplo de realización elegido las aberturas de contacto 11, 12 están dispuestas en los respectivos centros de gravedad de la superficie de las regiones de pasivación primeras y segundas 04, 05.

En la figura 1B se representa el funcionamiento de las regiones de pasivación 04, 05, que son eléctricamente no conductoras y consisten en materiales no semiconductores y no dopados con una alta carga superficial positiva y negativa, respectivamente, con ayuda de los diagramas de bandas del absorbedor con la evolución de energía ( $E_V$  banda de valencia,  $E_F$  nivel de Fermi,  $E_C$  banda de conducción) en función del espesor  $L_x$  de la capa de absorbedor 03 y la distancia  $L_y$  de las aberturas de contacto 11, 12. Debido a las altas cargas superficiales (estados de defecto) de las regiones de pasivación 04, 05 se produce en la superficie de la capa de absorbedor 03 una acumulación de respectivos portadores de carga excedentes opuestamente cargados, de modo que no es posible una recombinación superficial para los otros portadores de carga excedentes de polaridad opuesta (superficie bien pasivada con buena velocidad de recombinación). La torsión de banda se extiende hasta la desnaturalización (ya no hay otros portadores de carga excedentes que alcancen la superficie) o hasta casi la desnaturalización (otros pocos portadores de carga excedentes alcanzan todavía la superficie). Se puede apreciar la respectiva desnaturalización, es decir que portadores de carga sobrantes con la misma carga ( $e^-$  para electrones, polaridad negativa,  $h^+$  para huecos, polaridad positiva) que las regiones de pasivación correspondientes 04, 05 no alcanzan la superficie correspondiente de la capa de absorbedor 03. A lo largo de los cantos en los que se tocan las dos regiones de pasivación 04, 05 con la densidad de carga superficial opuestamente elevada, se ha anulado la desnaturalización, ya que en las proximidades del canto es entonces pequeña la carga total neta resultante (diferencia de la carga superficial positiva y la carga superficial negativa). Por tanto, la evolución del campo se desarrolla de tal manera que los electrones o huecos sobrantes en los "centros" de las regiones de pasivación 04, 05 se concentran en la superficie semiconductor de la capa de absorbedor 03. No se produce entonces especialmente una recombinación interna de electrones y huecos sobrantes en los cantos.

La anulación necesaria de la desnaturalización o casi desnaturalización en los cantos puede reforzarse aún más haciendo que una tercera región de pasivación 43 delgada, en forma de tira y eléctricamente aislante, sin una alta carga superficial (por ejemplo,  $SiO_2$ ) esté dispuesta entre las dos regiones de pasivación 04, 05 con alta carga superficial; véase la figura 2A.

Las figuras siguientes muestran diferentes formas de realización de la célula solar 01 según la invención respecto de la constitución en capas y de la configuración de los dos sistemas de contacto. Los signos de referencia no mostrados en algunas figuras pueden deducirse de las figuras anteriores y de la descripción.

Es sabido que a-Si:H(i) ultradelgado (por ejemplo, 30 nm de espesor) actuante como capa de pasivación conductora proporciona una buena pasivación semejante a la de las mejores capas de pasivación aislantes actualmente conocidas (por ejemplo,  $SiO_2$ ,  $Si_3N_4$ ,  $Al_2O_3$ ). Por este motivo, en la invención se puede utilizar, por ejemplo, silicio amorfo intrínseco hidrogenado (a-Si:H(i)) como capa de pasivación eléctricamente conductiva para el contactado puntual de una pastilla de silicio, por ejemplo intrínseca, actuante como capa de absorbedor fotoactiva 03. Asimismo, se puede emplear también a-Si:H(i) para el contactado de los elementos de contacto puntuales (o de forma de tira) de la capa de absorbedor. Como quiera que las capas de pasivación aislantes proporcionan ya la separación

- selectiva de portadores de carga, ya no es necesario en la célula solar según la invención aplicar sobre o debajo de la capa de a-Si:H(i) intrínseco otras capas semiconductoras altamente dopadas y, por tanto, activas en recombinación para la separación selectiva de portadores de carga. En particular, se sigue necesitando entonces solamente una capa de pasivación conductora y no dos capas de naturalezas diferentes, tal como era usual hasta ahora (una para la evacuación de los electrones excedentes y otra para la evacuación de los huecos excedentes). Según la región de pasivación aislante (carga superficial negativa o positiva) sobre la cual se encuentre el a-Si:h(i), éste evacua entonces electrones excedentes o huecos excedentes. Esto reduce considerablemente el coste de la estructuración, especialmente en la forma de realización de una célula solar contactada en el lado trasero según las figuras 2A, 2B, 2C.
- 5
- 10 En las figuras 2A, 2B se representa en sección transversal esquemática (no a escala) una célula solar 01 según la invención. En el lado delantero 13 vuelto hacia la incidencia de la luz (flecha) en la situación de funcionamiento está dispuesta también una capa de pasivación plana 14 (por ejemplo, SiN, por ejemplo  $\text{Si}_3\text{N}_4$ , o  $\text{SiO}_2$ ) para lograr una buena pasivación superficial de la capa de absorbedor intrínseca 03 (por ejemplo, pastilla de silicio intrínseca), pero la cual no contribuye forzosamente a la separaciones de portadores de carga. En el lado trasero 02 de la capa de absorbedor 03 están dispuestas alternándose unas primeras regiones de pasivación eléctricamente aislantes 04 con alta carga superficial negativa (por ejemplo, AlO, por ejemplo  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) y unas segundas regiones de pasivación eléctricamente aislantes 05 con alta carga superficial positiva (por ejemplo, SiN). Sobre ambas regiones 04, 05 está dispuesta nuevamente una capa de pasivación intrínseca eléctricamente conductora 15 (por ejemplo, de silicio amorfo intrínseco, a-Si(i)) figura 2A: estructurada, figura 2B: plana) para reducir la tasa de recombinación. La capa de pasivación intrínseca eléctricamente conductora 15 contacta con la capa de absorbedor 02 a través de aberturas de contacto puntiformes 11, 12. Según la estructuración de la capa de pasivación intrínseca eléctricamente conductora 15, los primeros elementos de contacto 09 (por ejemplo, AlO TCO/Al) y los segundos elementos de contacto 10 (por ejemplo, AlO TCO/Al) están realizados con mayor tamaño (figura 1A) o con menos tamaño (figura 2B).
- 15
- 20
- 25 En la figura 2A se ha previsto aún adicionalmente una tercera región de pasivación 14 delgada, de forma de tira y eléctricamente aislante, sin una alta carga superficial (por ejemplo,  $\text{SiO}_2$ ), entre las dos regiones de pasivación 04, 05. Ésta sirve para el fomento seguro de la anulación necesaria de la desnaturalización o casi desnaturalización en los cantos de las dos regiones de pasivación eléctricamente aislantes 04, 05; véase la figura 1B.
- 30 La figura 2C muestra una sección longitudinal a lo largo de la flecha lateral de la figura 2B hasta las regiones de pasivación primeras y segundas 04, 05 con los elementos de contacto 09, 10. Se puede apreciar que en cada región de pasivación 09, 10 se encuentran varias respectivas aberturas de contacto puntiformes 11, 12 (formadas aquí por la capa de pasivación intrínseca eléctricamente conductora 15) y varias tiras de contacto de unión 16, 17 (formadas aquí a base de tiras de aluminio) en la forma de realización de metalizaciones interdigitadas, las cuales se reúnen en respectivos carriles colectores laterales 18, 19. En la figura 2C se muestra nuevamente la línea de sección para la sección transversal según la figura 2B.
- 35
- Si se utiliza una pastilla de silicio dopada (carga dopada: portadores de carga mayoritarios o mayoritarios, carga opuesta: portadores de carga minoritarios o minoritarios) como capa de absorbedor dopada fotoactiva 20 y el tamaño de las estructuras de los elementos de contacto 09, 10 es mayor que el doble de la anchura media  $W$  de las zonas de carga espacial 06, 07, solamente se pueden evacuar entonces sin problemas los mayoritarios excedentes a través de un contactado puntual con una heterocapa de contacto intrínseca conductiva (por ejemplo, a-Si:H(i)). Según el tamaño de los contactados puntuales, la superficie semiconductor de la capa de absorbedor dopada 20 en los contactos puntuales de los minoritarios está ciertamente aún en inversión cerca de la desnaturalización en las regiones de borde (acumulación de minoritarios en la superficie semiconductor), pero después en dirección al centro de los contactados puntuales hace transición de la inversión a una situación de banda plana (acumulación de mayoritarios en la superficie semiconductor debido al dopado del absorbedor), de modo que el contacto ya no actúa entonces selectivamente para la evacuación de los minoritarios excedentes del absorbedor. Por el contrario, la superficie semiconductor de los contactos de los mayoritarios pasa entonces de una acumulación (enriquecimiento de mayoritarios en las superficies semiconductoras) hasta una situación de banda plana (enriquecimiento de mayoritarios en la superficie semiconductor debido al dopado del absorbedor), de modo que este contacto sigue siendo así selectivo para la evacuación de los mayoritarios excedentes del absorbedor.
- 40
- 45
- 50
- Por tanto, los contacto puntuales se pueden configurar como muy pequeños (y, por tanto, se puede elegir muy grande el número de contactados puntuales (posiblemente por procedimientos de fabricación especiales (por ejemplo, procedimientos de interferencia o bien por un procedimiento para producir nanocontactos puntuales estocásticamente dispuestos; esto se describe más adelante)), o bien se pueden utilizar heterocapas de contacto dopadas (véanse las figuras 3a...3F) o regiones dopadas convencionalmente difundidas (véanse las figuras 4A...4B) para al menos evacuar los mayoritarios excedentes. Si se prescinde de las capas dopadas para evacuar los mayoritarios excedentes, se puede reducir aquí también considerablemente el gasto de estructuración en la célula solar según la invención. Además, en el caso de una difusión convencional, es suficiente un dopado menos fuerte (y, por tanto, también menos activo en recombinación).
- 55

En la figura 3A se representa una capa de absorbedor dopada 20 (por ejemplo, p-dopada) con una capa de pasivación plana 14 en el lado delantero 13 y unas regiones de pasivación primeras y segundas aislantes 04, 05 dispuestas alternándose en el lado trasero 02. Sobre las primeras regiones de pasivación 04 (carga superficial negativa) está dispuesta una heterocapa BSF 21 (campo de superficie trasero) con un dopado igual al de la capa de absorbedor 20 (aquí entonces p-dopada) y sobre las segundas regiones de pasivación 05 (carga superficial positiva) está dispuesta una capa de emisor heterogénea 22 con un dopado opuesto al de la capa de absorbedor dopada 20 (aquí entonces n-dopada). Sin embargo, la transición pn que se forma entre la capa de absorbedor dopada 20 y la capa de emisor heterogénea contradopada 22 sirve principalmente para la evacuación de carga mejorada y contribuye solamente en grado inferior a la separación de portadores de carga. Sobre la capa BSF heterogénea 21 están dispuestos unos primeros elementos de contacto 09 para evacuar las cargas excedentes positivas y sobre la capa de emisor heterogénea 22 están dispuestos unos segundos elementos de contacto 10 para evacuar las cargas excedentes negativas.

En la figura 3B está dispuesta adicionalmente sobre las regiones de pasivación primeras y segundas 04, 05 una capa de pasivación intrínseca eléctricamente conductora 15 (figura 3B: estructurada, figura 3C: plana). En la figura 3D, aparte de la capa de pasivación intrínseca eléctricamente conductora 15 (figura 3D: estructurada, figura 3E: plana), está prevista solamente la capa de emisor heterogénea 22. La capa BSF heterogénea 21 no está presente, lo que reduce el coste de la estructuración.

La figura 4A corresponde a la figura 3A, estando previstas en la figura 4A unas capas BSF difundidas 23 (con alto dopado idéntico al de la capa de absorbedor dopada 20) y unas capas de emisor difundidas 24 con alto dopado opuesto al de la capa de absorbedor dopada 20). La figura 4B corresponde a la figura 3D, estando previstas en la figura 4B solamente unas capas de emisor localmente difundidas 25 (con un sencillo dopado opuesto al de la capa de absorbedor dopada 20).

En todas las configuraciones indicadas (absorbedor intrínseco, absorbedor dopado con heterocapas de contacto dopadas o regiones difundidas convencionalmente dopadas) el absorbedor está pasivado primordialmente con capas de pasivación aislantes depositadas en forma plana (con alta carga superficial diferente) y estas capas se hacen cargo de la separación selectiva de portadores de carga excedentes. Los portadores de carga excedentes se evacuan entonces a través de aberturas de contacto de forma de puntos o de tiras (a través de una heterocapa de contacto en todas las figuras excepto las figuras 4A, 4B o a través de regiones difundidas en las figuras 4A, 4B). Gracias a la disposición de dos capas de pasivación eléctricamente aislantes en regiones del lado trasero del absorbedor se evita toda problemática de alineación, ya que las capas de pasivación aislantes se pueden solapar también parcialmente sin problemas. Si se evitan regiones convencionalmente difundidas mediante la utilización de heterocapas, se puede reducir así significativamente la recombinación de contacto: por un lado, el absorbedor de la célula solar sigue siendo pobre en recombinación (no hay regiones difundidas activas en recombinación y altamente dopadas) y, por otro lado, los decalajes de banda adecuadamente elegidos del heterocontacto reducen la recombinación de contacto.

Naturalmente, son imaginables también combinaciones híbridas (un tipo de contacto se realiza mediante una difusión convencional y el otro mediante heterocapas), pero éstas no se exponen aquí explícitamente.

Por tanto, el rendimiento de estas estructuras mostradas de la célula solar según la invención puede presentar, en comparación con las homocélulas solares conocidas contactadas en el lado trasero, un aumento significativo junto con una considerable reducción simultánea del gasto de estructuración. En comparación con los conceptos de heterocélulas solares conocidas hasta ahora, contactadas en el lado trasero, se ha reducido también considerablemente el gasto de estructuración. No se tienen que aplicar dos heterocapas de contacto estructuradas diferentes, sino que, en el caso ideal, se tiene que aplicar solamente una heterocapa de contacto no estructurada. Debido al daño de la superficie límite de a-Si:H/c-Si que cabe esperar por efecto de la estructuración y a la mejor acción de pasivación de una capa intrínseca de a-Si:H, en comparación con una capa doble intrínseca/dopada de a-Si:H, cabe esperar aquí también un rendimiento netamente mayor de la célula solar.

En la célula solar según la invención son imaginables también estructuras "pseudo-emitter-wrap-through" (travesía de la pseudoenvoltura del emisor) (véanse las figuras 5A...F). Estas estructuras pueden utilizarse ventajosamente cuando se emplee un fotoabsorbedor dopado (por ejemplo, una pastilla de c-Si dopada) con una longevidad del absorbedor relativamente mala, de modo que no sea problemática la concentración en el lado trasero de los minoritarios excedentes fotogenerados.

El fotoabsorbedor se reviste entonces en el lado delantero con una capa de pasivación aislante de alta carga superficial del mismo signo que el del fotoabsorbedor (es decir, por ejemplo, en el caso de un fotoabsorbedor p-dopado una capa de pasivación con alta carga superficial positiva). A través de "pseudotranscontactados" adicionales, es decir, sencillos agujeros de paso en el fotoabsorbedor, que se rellenan con el mismo material de la capa de pasivación del lado delantero, se originan superficies semiconductoras de portadores de carga minoritarios casi desnaturalizadas. Los minoritarios se concentran entonces en el lado delantero y se conducen a lo largo del lado delantero (en la superficie semiconductor desnaturalizada) hasta los transcontactados y se conducen luego a lo largo de estos (también en la superficie semiconductor desnaturalizada) hasta el lado trasero del

fotoabsorbedor. Allí son concentrados entonces por el sistema de contacto ya descrito (véanse las figuras 5A...C). Si no es suficiente la conductividad transversal necesaria para ello en el material absorbedor puro, se puede reforzar esto todavía, naturalmente, por medio de una difusión plana convencional (véanse las figuras 6A..B).

5 La figura 5A muestra en el lado delantero 13 de la capa de absorbedor dopada 20 (aquí p-dopada) una capa de pasivación plana 26 con la misma carga superficial que la segunda región de pasivación 05 con alta carga superficial positiva. Ventajosamente, se emplea un material idéntico, por ejemplo nitruro de silicio. En el ejemplo de realización elegido los agujeros de contacto 12 de las segundas regiones de pasivación 05 con alta carga superficial están realizados como conductos de paso 27 hasta el lado delantero 13 de la capa de absorbedor 20. Los conductos de paso están recubiertos también con una pasivación de la misma carga superficial que la de las segundas regiones de pasivación 05. Se emplea ventajosamente aquí también un material idéntico. Se obtienen pseudotranscontactados 28. En este caso, no está atravesado cada agujero de contacto 12. Los otros respectivos agujeros de contacto 12 presentan a su vez una capa de emisor difundida 25 con dopado opuesto al de la capa de absorbedor 20 (véase la figura 4B). El recorrido de desplazamiento de los portadores de carga minoritarios está representado por flechas en la capa de absorbedor 20. En la figura 5C se representa nuevamente una vista en planta del sitio identificado con una flecha en las figuras 5A, 5C (véase la figura 2C). Se han dibujado los planos de sección para las figuras 5A y 5B. Se pueden apreciar los agujeros de contacto 12 o conductos de paso 27 no rellenos y los agujeros de contacto 12 rellenos de la capa de pasivación intrínseca eléctricamente conductora 15. En la capa de absorbedor n-dopada se obtienen análogamente condiciones inversas. Sin embargo, en todas las formas de realización todas las transiciones pn formadas no contribuyen principalmente a la separación de portadores de carga. Ésta se consigue sustancialmente por medio de las capas de pasivación primera y segunda opuestamente cargadas 04, 05.

Las figuras 6A y 6B muestran una estructura análoga a la de las figuras 5A y 5B, si bien aquí la capa de emisor 29 normalmente dopada en sentido opuesto a la capa de absorbedor 20 se ha difundido en forma plana. La figura 5C se aplica también a las figuras 6A, 6B.

25 Las figuras 7A y 7B muestran formas de realización análogas a las de las figuras 5A y 5C, si bien ahora con un gran número de primeros elementos de contacto puntiformes 09 (en aberturas de contacto 11) y segundos elementos de contacto puntiformes 10 (en aberturas de contacto 12), así como varios transcontactados 28 (en conductos de paso 27).

30 Para una exposición completa, se deberán mencionar aquí también (no esbozado) unas estructuras de célula solar contactadas en ambos lados (un sistema de contacto en el lado delantero y otro sistema de contacto en el lado trasero de la célula solar) según el principio de la invención (separación de portadores de carga sustancialmente por medio de las regiones de pasivación primeras y segundas opuestamente cargadas). Sin embargo, estas estructuras adolecen del inconveniente de que, debido a la capa de pasivación conductora dispuesta en el lado delantero y eventualmente otras capas dispuestas en el lado delantero, la fotoabsorción en estas capas no contribuye a la generación de portadores de carga excedentes en el fotoabsorbedor. Por tanto, habría que realizar aquí entonces una estructuración de la célula solar en su lado delantero, pero esto se efectúa ventajosamente en el lado trasero de la célula solar para evitar, con el mismo gasto, la proyección de sombra por el sistema de contacto del lado delantero. Estas estructuras son pertinentes solamente cuando la calidad del fotoabsorbedor es demasiado pequeña para la concentración en el lado trasero (los portadores de carga excedentes generados principalmente en el lado delantero se recombinan entonces en el camino hacia el lado trasero de la célula solar).

40 Ayudándose del ejemplo de la célula solar 01 según la figura 3D se muestra un procedimiento de fabricación convencional adecuada en las figuras 8A a 8N.

Figura 8A

45 Habilitación de la capa de absorbedor 20 (por ejemplo, pastilla de silicio, p-dopada), texturación en el lado delantero (y eventualmente en el lado trasero) (no dibujado), pasivación en el lado delantero de la capa de absorbedor 20 por aplicación de la capa de pasivación plana 14.

Figura 8B

Deposición de una capa de pasivación aislante 30 con carga superficial positiva sobre toda la superficie del lado trasero.

50 Figura 8C

Estructuración de la capa de pasivación 30 con carga superficial positiva para formar las segundas regiones de pasivación 05 con carga superficial positiva.

Figura 8D

Aplicación de un enmascaramiento 31 sobre las segundas regiones de pasivación 05.

Figura 8E

Deposición de una capa de pasivación aislante 32 con carga superficial negativa sobre toda la superficie del lado trasero.

5 Figura 8F

Estructuración de la capa de pasivación 32 con carga superficial negativa para formar las primeras regiones de pasivación 04 con carga superficial negativa.

Figura 8G

Retirada del enmascaramiento 31.

10 Figura 8H

Deposición de la capa de pasivación intrínseca eléctricamente conductiva 15 como heterocapa de contacto intrínseca sobre toda la superficie del lado trasero.

Figura 8I

Aplicación de un enmascaramiento 33 sobre la capa de pasivación intrínseca eléctricamente conductiva 15.

15 Figura 8J

Deposición de una capa de emisor 34 con dopado opuesto al de la capa de absorbedor 20 (aquí n-dopada) como heterocapa de contacto dispuesta sobre toda la superficie del lado trasero.

Figura 8K

Estructuración de la capa de emisor 34 para formar las regiones de emisor 22.

20 Figura 8L

Retirada del enmascaramiento 33.

Figura 8M

Deposición de una capa de contacto 35 sobre toda la superficie del lado trasero.

Figura 8N

25 Estructuración de la capa de contacto 35 dispuesta en toda la superficie y de la capa de pasivación conductiva 15 para producir los primeros elementos de contacto 09 y los segundos elementos de contacto 10.

30 La estructuración de las capas de pasivación aislantes 30 y 32 tiene que efectuarse en el caso de grandes tamaños de las estructuras por medio de procedimientos de chorros de tinta o de estructuración con láser (límite de estructuración aproximadamente 10  $\mu\text{m}$ ). Esto no plantea ningún problema en el caso de células solares basadas en pastillas (tamaños de estructura típicos en el rango del espesor de la pastilla, es decir, entre 100 y 300  $\mu\text{m}$ ). En el caso de pequeños tamaños de estructura, como los que son necesarios en el caso de células solares de capa delgada (tamaños de estructura típicos en el rango del espesor del absorbedor, es decir, entre 500 nm y 10  $\mu\text{m}$ ), la estructuración puede efectuarse, por ejemplo, por vía fotolitográfica (límite de estructuración de aproximadamente 100 nm hasta actualmente alrededor de 40 nm). A título de ejemplo, se muestra en general la estructuración correspondiente para formar las segundas regiones de pasivación 05 (en lugar de la figura 8C):

35

Figura 9A

Estructuración basta de la capa de pasivación 30 con carga superficial positiva para formar regiones de pasivación bastas 36.

Figura 9B

40 Aplicación de un enmascaramiento 37 sobre las regiones de pasivación bastas 36.

Figura 9C

Estructuración fina de las regiones de pasivación bastas 36 por medio de fotobarniz e interferencia de láser para

formar las regiones de pasivación 05 con carga superficial positiva en estructuración fina.

Figura 9D

Retirada del enmascaramiento 37.

- 5 La estructuración de las aberturas de contacto 11, 12 puede efectuarse también por medio de procedimientos de chorros de tinta o por estructuración de láser (para aberturas de contacto con un diámetro  $> 10 \mu\text{m}$ ) o bien por medio de un procedimiento preferido para la formación estocástica de nanocontactos, tal como se explica con más detalle en lo que sigue, ya que en la invención no se presentan problemáticas de alineación. Con el procedimiento descrito se pueden producir en distribución estocástica nanoagujeros con un dinamitero de aproximadamente  $500 \text{ nm} - 1 \mu\text{m}$
- 10 por corrosión de una matriz estructurada, que consiste, por ejemplo, en ZnO, y se pueden utilizar estos agujeros para los elementos de contacto 09, 10.

El procedimiento especial ventajoso preferido según la invención se explica ayudándose de un ejemplo de una célula solar 01 según la figura 3D con aberturas de contacto 11, 12 de nanodimensiones en una constitución de capa delgada sobre un sustrato 40:

Figura 10A

- 15 Habilitación de un sustrato 38 (por ejemplo, vidrio); la incidencia de la luz en la situación de funcionamiento está insinuada por flechas.

Figura 10B

- 20 Deposición de la capa de pasivación plana delantera 14 (por ejemplo,  $\text{SiO}_2$ , SiN, AlO) sobre toda la superficie. En este caso, la capa de pasivación 14 muestra capas de pasivación alternadamente dispuestas 40, 42 de alta carga superficial de polaridad opuesta que están colocadas de manera contrapuesta a las regiones de pasivación 04, 05. Mediante los campos eléctricos correspondientemente establecidos se fomentan la separación y el transporte de portadores de carga excedentes.

Figura 10C

Deposición de la capa de absorbente 03 (por ejemplo, a-Si:H(i)) sobre toda la superficie.

- 25 Figura 10D

Deposición de la capa de pasivación aislante 30 sobre toda la superficie, en el ejemplo una capa con alta carga superficial positiva (por ejemplo, SiN), con un espesor de capa  $d_1$  elegido en correspondencia con la tasa de corrosión.

Figura 10E

- 30 Estructuración de regiones de la segunda capa de pasivación aislante 30 (sin transcontactados) para formar las segundas regiones de pasivación 05.

Figura 10F

Deposición de la capa de pasivación aislante 32 sobre toda la superficie, en el ejemplo con alta carga superficial negativa (por ejemplo, AlO), con un espesor de capa  $d_2$  elegido de manera correspondiente a la tasa de corrosión.

- 35 Figura 10G

Estructuración de regiones de la primera capa de pasivación aislante 32 para formar las primeras regiones de pasivación 04.

#### **Producción de nanoaberturas de contacto estocásticamente distribuidas**

Figura 10H

- 40 Deposición de una matriz 39 (por ejemplo, ZnO) sobre toda la superficie y estructuración subsiguiente de la matriz 39, por ejemplo por corrosión.

Figura 10I

Corrosión parcial de la matriz 39 hasta que ésta se haya erosionado en parte totalmente de manera estocástica.

Figura 10J

Corrosión selectiva (en plasma) de la matriz 39. La corrosión no ataca la matriz 39 debido a la elección del material (por ejemplo, óxido de zinc), pero sí ataca las capas de pasivación primera y segunda 30, 32 (por ejemplo, SiN, AlO). Se obtienen así, con una duración de corrosión adecuadamente seleccionada, unas aberturas de contacto 11, 12 (véase la figura 1) con nanodimensiones (diámetro en el intervalo de 500 nm a 2 μm) en las regiones de pasivación primeras y segundas 04, 05 (se han elegido de manera correspondiente los espesores d<sub>1</sub>, d<sub>2</sub> de las dos capas de pasivación 30, 32).

Figura 10K

Deposición de la capa de pasivación intrínseca conductiva 15 (por ejemplo, a-Si:H(i)) sobre toda la superficie.

Figura 10L

Aislamiento de la capa de pasivación intrínseca 15 sobre las regiones de pasivación primeras y segundas 04, 05 mediante estructuración por láser y

Figura 10M

Deposición de los elementos de contacto metálicos 09, 10 de dos metales diferentes con trabajo de salida diferente en función de la polaridad de los portadores de carga excedentes a derivar.

### 15 **Materiales y parámetros adecuados para la célula solar según la invención**

Capa de absorbedor: todas las capas de absorbedor actualmente empleadas para células solares, por ejemplo silicio amorfo hidrogenado intrínseco o p-dopado o n-dopado, a-Si:H(i), a-Si:H(p), a-Si:H(n), silicio microcristalino intrínseco o p-dopado o n-dopado, μc-Si(i), μc-Si(p), μc-Si(n), silicio policristalino intrínseco o p-dopado o n-dopado, polic-Si(i), polic-Si(p), polic-Si(n), silicio cristalino intrínseco o p-dopado o n-dopado, c-Si(i), c-Si(p), c-Si(n), telurio de cadmio, CdTe, seleniuro de cobre-indio, CISE, seleniuro de cobre-indio-galio, CIGSe, sulfuro de cobre-indio, CIS.

Primera región de pasivación: todas las capas de pasivación aislantes con carga superficial negativa tan alta que resulte una desnaturalización o casi una desnaturalización en la superficie del absorbedor (en células solares de c-Si basadas en pastillas con absorbedor intrínseco esto corresponde aproximadamente a una carga superficial negativa > 10<sup>11</sup> cm<sup>-2</sup> y en células solares de c-Si basadas en pastillas con absorbedor p-dopado (por ejemplo, Na=1,5·10<sup>16</sup> cm<sup>-3</sup>) esto corresponde aproximadamente a una carga superficial negativa > 4·10<sup>12</sup> cm<sup>-2</sup>). Este material es, por ejemplo, óxido de aluminio Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (carga superficial de aproximadamente 1,3·10<sup>13</sup> cm<sup>-2</sup>).

Segunda región de pasivación: todas las capas de pasivación eléctricamente aislantes con una carga superficial positiva tan alta que resulte una desnaturalización o casi una desnaturalización en la superficie del absorbedor (en células solares de c-Si basadas en pastillas con absorbedor intrínseco esto correspondería aproximadamente a una carga superficial positiva > 10<sup>11</sup> cm<sup>-2</sup> y en células solares de c-Si basadas en pastillas con absorbedor p-dopado (por ejemplo, Na=1,5·10<sup>16</sup> cm<sup>-3</sup>) esto corresponde aproximadamente a una carga superficial positiva > 2·10<sup>12</sup> cm<sup>-2</sup>). Este material es, por ejemplo, nitruro de silicio, SiN<sub>x</sub>) carga superficial de aproximadamente 2·10<sup>12</sup> cm<sup>-2</sup>).

Tercera región de pasivación: todas las capas de pasivación eléctricamente aislantes sin alta carga superficial, por ejemplo SiO<sub>2</sub>.

35 Capa de pasivación plana. SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SiN<sub>x</sub>, a-Si:H(i).

Capa de pasivación conductora: silicio amorfo hidrogenado intrínseco a-Si:H(i).

Capa de emisor: dopado opuesto al de la capa de absorbedor: silicio p-dopado o n-dopado, c-Si(p), c-Si(n), silicio amorfo hidrogenado p-dopado o n-dopado heterogéneamente depositado, a-Si:H(p), a-Si:H(n), silicio microcristalino p-dopado o n-dopado heterogéneamente depositado, μc-Si:H(p), μc-Si:H(n), sulfuro de cadmio heterogéneamente depositado, CdS, óxidos transparentemente conductivos (ZnO, ITO, n-dopados).

Capa BSF: alto dopado idéntico al de la capa de absorbedor: silicio p-dopado o n-dopado, c-Si(p), c-Si(n), silicio amorfo hidrogenado p-dopado o n-dopado heterogéneamente depositado, a-Si:H(p), a-Si:H(n), silicio microcristalino p-dopado o n-dopado heterogéneamente depositado, μc-Si:H(p), μc-Si:H(n), óxidos transparentemente conductivos (ZnO, ITO, n-dopados).

45 Elementos de contacto: metales, por ejemplo aluminio, molibdeno, cromo, plata, níquel, titanio, paladio u óxidos transparentemente conductivos (ZnO, ITO).

Espesor L<sub>x</sub> de la capa de absorbedor

- células solares de c-Si basadas en pastillas: típicamente entre 100 μm y 300 μm

- células solares de capa delgada: típicamente entre 500 nm y 100 μm

Longitud de difusión mínima  $L_{ef,min} \geq L_x$

Distancia media  $L_y$  de las aberturas de contacto  $\leq L_x$

5 Anchura media  $W$  de la zona de carga espacial en el absorbedor que se genera por las regiones de pasivación aislantes:

-células solares de c-Si basadas en pastillas: absorbedor intrínseco: 25 μm absorbedor dopado (por ejemplo,  $N_a=1,5 \cdot 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ ): 300 nm

10 **Lista de símbolos de referencia**

- 01 Célula solar
- 02 Lado trasero de 01
- 03 Capa de absorbedor semiconductor, intrínseca
- 04 Primera región de pasivación eléctricamente aislante con alta carga superficial de una polaridad, por ejemplo negativa
- 15 05 Segunda región de pasivación eléctricamente aislante con alta carga superficial de polaridad opuesta, por ejemplo positiva
- 06 Zona de carga espacial de 04
- 07 Zona de carga espacial de 05
- 20 08 Campo eléctrico
- 09 Primer elemento de contacto para derivar portadores de carga excedentes de una polaridad, por ejemplo positiva
- 10 Segundo elemento de contacto para derivar portadores de carga excedentes de polaridad opuesta, por ejemplo negativa
- 25 11 Primera abertura de contacto para 09 (de forma de punto o de tira)
- 12 Segunda abertura de contacto para 10 (de forma de punto o de tira)
- 13 Lado delantero de 01
- 14 Capa de pasivación plana sobre 13
- 15 Capa de pasivación intrínseca eléctricamente aislante sobre 02
- 30 16 Tira de contacto para 09
- 17 Tira de contacto para 10
- 18 Carril colector para 16, 09
- 19 Carril colector para 17, 10
- 20 Capa de absorbedor semiconductor a (absorbedor), normalmente dopada (p/n)
- 35 21 Heterocapa BSF (heterogénea normalmente con dopado opuesto al de 20)
- 22 Capa de emisor (heterogénea, normalmente con dopado opuesto al de 20)
- 23 Heterocapa BSF (difundida, normalmente con dopado igual al de 20)
- 24 Capa de emisor (localmente difundida, con alto dopado opuesto al de 20)
- 25 Capa de emisor (localmente difundida, normalmente con dopado opuesto al de 20)
- 40 26 Capa de pasivación plana con alta carga superficial de una polaridad, por ejemplo positiva
- 27 Conducto de paso
- 28 Pseudotranscontactado
- 29 Capa de emisor (difundida en forma plana, normalmente con dopado opuesto al de 20)
- 30 Capa de pasivación eléctricamente aislante de superficie completa con alta carga superficial de una polaridad, por ejemplo positiva
- 45 31 Enmascaramiento para 29
- 32 Capa de pasivación eléctricamente aislante de superficie completa con alta carga superficial de polaridad opuesta, por ejemplo negativa
- 33 Enmascaramiento para 32
- 50 34 Capa de emisor trasera (heterogénea, normalmente con dopado opuesto al de 20)
- 35 Capa de contacto
- 36 Región de pasivación basta (alta carga superficial positiva o negativa)
- 37 Enmascaramiento para 36
- 38 Superestrato
- 55 39 Matriz, resistente a la corrosión con plasma
- 40 Primera superficie de pasivación de alta carga superficial de una polaridad, por ejemplo positiva (con respecto a 04)
- 42 Segunda superficie de pasivación de alta carga superficial de polaridad opuesta, por ejemplo negativa (con respecto a 05)
- 60 43 Tercera región de pasivación eléctricamente aislante sin carga superficial
- d<sub>1</sub> Espesor de capa de 30

	$d_2$	Espesor de capa de 32
	$E_C$	Nivel de energía de la banda de conducción
	$E_F$	Nivel de Fermi
	$E_V$	Nivel de energía de la banda de valencia
5	$L_{ef,min}$	Longitud de difusión efectiva (que se presenta mínimamente en portadores minoritarios)
	$L_x$	Espesor de 03, 20
	$L_y$	Distancia media entre 11, 12
	$W$	Anchura media de 06, 07

**REIVINDICACIONES**

1. Célula solar (01) que comprende

- una capa de absorbedor semiconductora fotoactiva (03, 20) que sirve para generar portadores de carga excedentes de polaridad opuesta por efecto de luz incidente, en la situación de funcionamiento, sobre el lado delantero (13) de la capa de absorbedor (03, 20),
- la formación de al menos un campo eléctrico (08) en la capa de absorbedor (03, 20), que sirve para la separación de los portadores de carga excedentes fotogenerados de polaridad opuesta, que pueden recorrer al menos una longitud de difusión efectiva mínima  $L_{ef,min}$  en la capa de absorbedor (03, 20),
- unos primeros elementos de contacto (09) que sirven para derivar los portadores de carga excedentes de una polaridad en el lado trasero (02) de la capa de absorbedor (03, 20) que queda alejado de la luz en la situación de funcionamiento,
- unos segundos elementos de contacto (10) que sirven para derivar los portadores de carga excedentes de polaridad opuesta, y
- al menos una primera región de pasivación eléctricamente aislante (04) no dopada, aplicada sobre el lado trasero (02) de la capa de absorbedor (03, 20) y hecha de un primer material no semiconductor con una carga superficial de una polaridad tan alta que se provoque una torsión de banda de la capa de absorbedor (03, 20) en una dirección hasta su desnaturalización o casi hasta ésta, y
- al menos una segunda región de pasivación eléctricamente aislante (05) no dopada y hecha de un segundo material no semiconductor con una carga superficial de polaridad opuesta tan alta que se provoque una torsión de banda de la capa de absorbedor (03, 20) en la dirección opuesta hasta la desnaturalización o casi hasta ésta,
- una disposición también de los segundos elementos de contacto (10) sobre el lado trasero (02) de la capa de absorbedor (03, 20),
- al menos una primera abertura de contacto (11) en cada primera región de pasivación eléctricamente aislante (04) para la conexión de un primer elemento de contacto (09);

**caracterizada** por

- una disposición contigua alternante de varias primeras y segundas regiones de pasivación eléctricamente aislantes (04, 05) en el lado trasero (02) de la capa de absorbedor (03, 20) con un espesor  $L_x$  de  $0 < L_x \leq 5 L_{ef,min}$ ,
- al menos una segunda abertura de contacto (12) en cada segunda región de pasivación eléctricamente aislante (05) para la conexión de un segundo elemento de contacto (10) y
- una distancia  $L_y$  entre cada primero y cada segundo elemento de contacto (09, 10) de  $0 < L_y \leq 2 L_{ef,min}$ .

2. Célula solar (01) según la reivindicación 1, **caracterizada** por una configuración en forma de puntos o de tiras de los elementos de contacto primeros y segundos (09, 10) especialmente constituidos por dos metales con un trabajo de salida diferente de conformidad con la polaridad de los portadores de carga excedentes a evacuar.

3. Célula solar (01) según la reivindicación 1, **caracterizada** por una disposición de las aberturas de contacto (11, 12) al menos en la zona de los centros de gravedad de la superficie de las regiones de pasivación primeras y segundas (04, 05).

4. Célula solar (01) según la reivindicación 1, **caracterizada** por una disposición de un gran número de aberturas de contacto estocásticamente distribuidas (11, 12) con nanodimensiones en las regiones de pasivación primeras y segundas (04, 05).

5. Célula solar (01) según la reivindicación 1, **caracterizada** por una capa de pasivación plana (14) en el lado delantero (13) de la capa de absorbedor (03, 20), constituida especialmente por unas superficies de pasivación primera y segunda alternantes eléctricamente aislantes (04, 05) de alta carga superficial con polaridad opuesta a la de las regiones de pasivación primeras y segundas (04, 05).

6. Célula solar (01) según la reivindicación 1, **caracterizada** por una capa de pasivación intrínseca eléctricamente conductora plana o estructurada (15) sobre las regiones de pasivación primeras y/o segundas (04, 05), la cual contacta la capa de absorbedor (03, 20) en la región de las aberturas de contacto (12) de las regiones de pasivación primeras y/o segundas (04, 05), siendo el material para la capa de pasivación intrínseca eléctricamente conductora (15) preferiblemente a-Si:H intrínseco.

7. Célula solar (01) según la reivindicación 1, **caracterizada** por una tercera capa de pasivación eléctricamente aislante estrecha y delgada (43) sin alta carga superficial entre las regiones de pasivación primeras y segundas (04, 05).

8. Célula solar (01) según la reivindicación 1, **caracterizada** por una capa de absorbedor dopada (20) y unas capas de emisor adicionales (22, 24, 25, 29) opuestamente dopadas y heterogéneamente aplicadas o difundidas al menos en las aberturas de contacto (11, 12) de las regiones de pasivación primeras o segundas (04, 05) con una carga

superficial idéntica a la del dopado del absorbedor.

- 5 9. Célula solar según la reivindicación 1, **caracterizada** por una capa de absorbedor dopada (20) y unas capas BSF adicionales (21, 23) igualmente dopadas, heterogéneamente aplicadas o local o planamente difundidas al menos en las aberturas de contacto (11, 12) de las regiones de pasivación primeras o segundas (04, 05) con una carga superficial opuesta a la del dopado del absorbedor.
- 10 10. Célula solar según las reivindicaciones 8 y/o 9, **caracterizada** por una extensión de las capas de emisor (22, 24, 25, 29) y las capas BSF (21, 23) desde las aberturas de contacto (11, 12) hasta las regiones de pasivación primeras y/o segundas (04, 05) sin un contacto mutuo.
- 10 11. Célula solar (01) según la reivindicación 6, **caracterizada** por una capa de absorbedor dopada (20) y unas capas de emisor adicionales (22, 24, 25, 29) opuestamente dopadas, heterogéneamente aplicadas o difundidas sobre la capa de pasivación intrínseca eléctricamente conductora (15) plana o estructurada.
- 15 12. Célula solar según la reivindicación 6, **caracterizada** por una capa de absorbedor dopada (20) y unas capas BSF adicionales (21, 23) igualmente dopadas, heterogéneamente aplicadas o local o planamente difundidas sobre la capa de pasivación intrínseca eléctricamente conductora (15) plana o estructurada.
- 15 13. Célula solar según la reivindicación 1, **caracterizada** por una capa de absorbedor (03, 30), un conducto de paso (27) de las aberturas de contacto (12) en las regiones de pasivación primeras o segundas (04, 05) hasta el lado delantero (13) de la capa de absorbedor (20), y un recubrimiento de las aberturas de contacto atravesadas (27, 12) y del lado delantero (13) de la capa de absorbedor (20) con el material de las regiones de pasivación primeras o segundas (04, 05).
- 20 14. Célula solar según la reivindicación 1, **caracterizada** por silicio intrínseco o dopado como material para la capa de absorbedor (03, 20), nitruro de silicio (SiN) con una alta carga superficial positiva y óxido de aluminio (AlO) con una alta carga superficial negativa como materiales para la regiones de pasivación primeras y segundas eléctricamente aislantes (04, 05), y un metal (aluminio (Al)) o un óxido transparentemente conductor (TCO) (óxido de zinc (ZnO) u óxido de indio-estaño ITO)) como material para los elementos de contacto primeros y segundos (09, 10).
- 25 15. Procedimiento de fabricación de una célula solar (01) según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 14 con una disposición de un gran número de aberturas de contacto estocásticamente distribuidas (11, 12) en las regiones de pasivación primeras y segundas (04, 05), **caracterizado** por los pasos de procedimiento siguientes:
- 30 - deposición en el lado trasero de una capa de pasivación eléctricamente aislante (30) con una alta carga superficial de una polaridad, con un espesor de capa  $d_1$ , directamente sobre la capa de absorbedor (03) y estructuración de la capa de pasivación eléctricamente aislante (30) en las segundas regiones de pasivación eléctricamente aislantes de una polaridad (05),
- 35 - deposición en el lado trasero de una capa de pasivación eléctricamente aislante (32) con una alta carga superficial de polaridad opuesta, con un espesor de capa  $d_2$ , directamente sobre la capa de absorbedor (03) y directamente sobre las segundas regiones de pasivación (05) y estructuración de la capa de pasivación eléctricamente aislante (32) en las primeras regiones de pasivación eléctricamente aislantes (04),
- 40 - deposición sobre toda la superficie de una matriz (39) de un material resistente a la corrosión con plasma, especialmente de ZnO, y estructuración subsiguiente de la matriz (39),
- corrosión parcial de la matriz (39) hasta que ésta se haya erosionado por completo en sitios estocásticamente distribuidos y
- corrosión selectiva en un plasma que ataca las regiones de pasivación primeras y segundas (04, 05), pero no la matriz (39), habiéndose elegido los espesores de capa  $d_1$ ,  $d_2$  de las regiones de pasivación primeras y segundas (04, 05) en función de sus tasas de corrosión de modo que en ambas regiones de pasivación (04, 05) se formen aberturas de contacto (11, 12) hasta la capa de absorbedor (03).

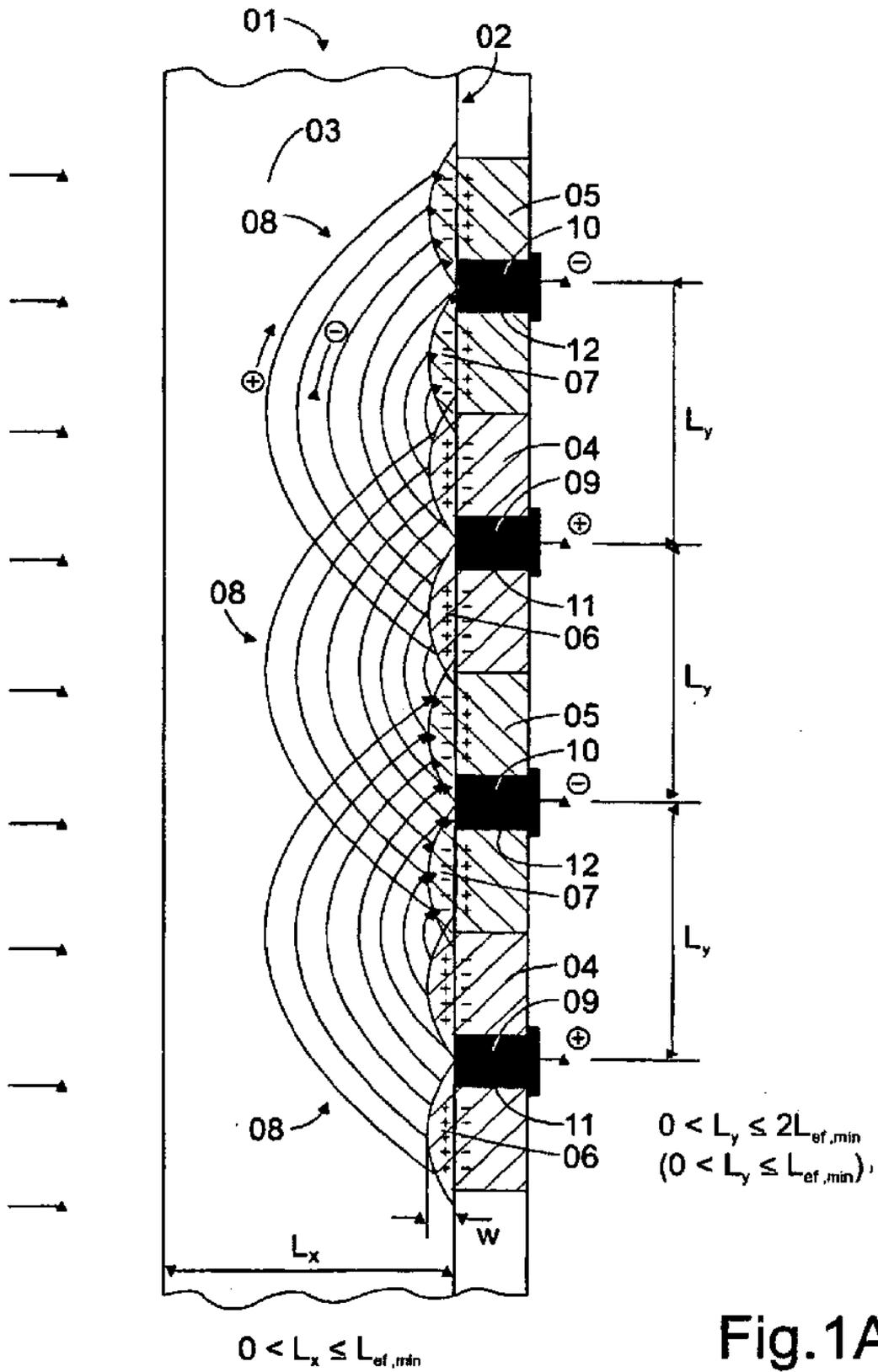


Fig.1A

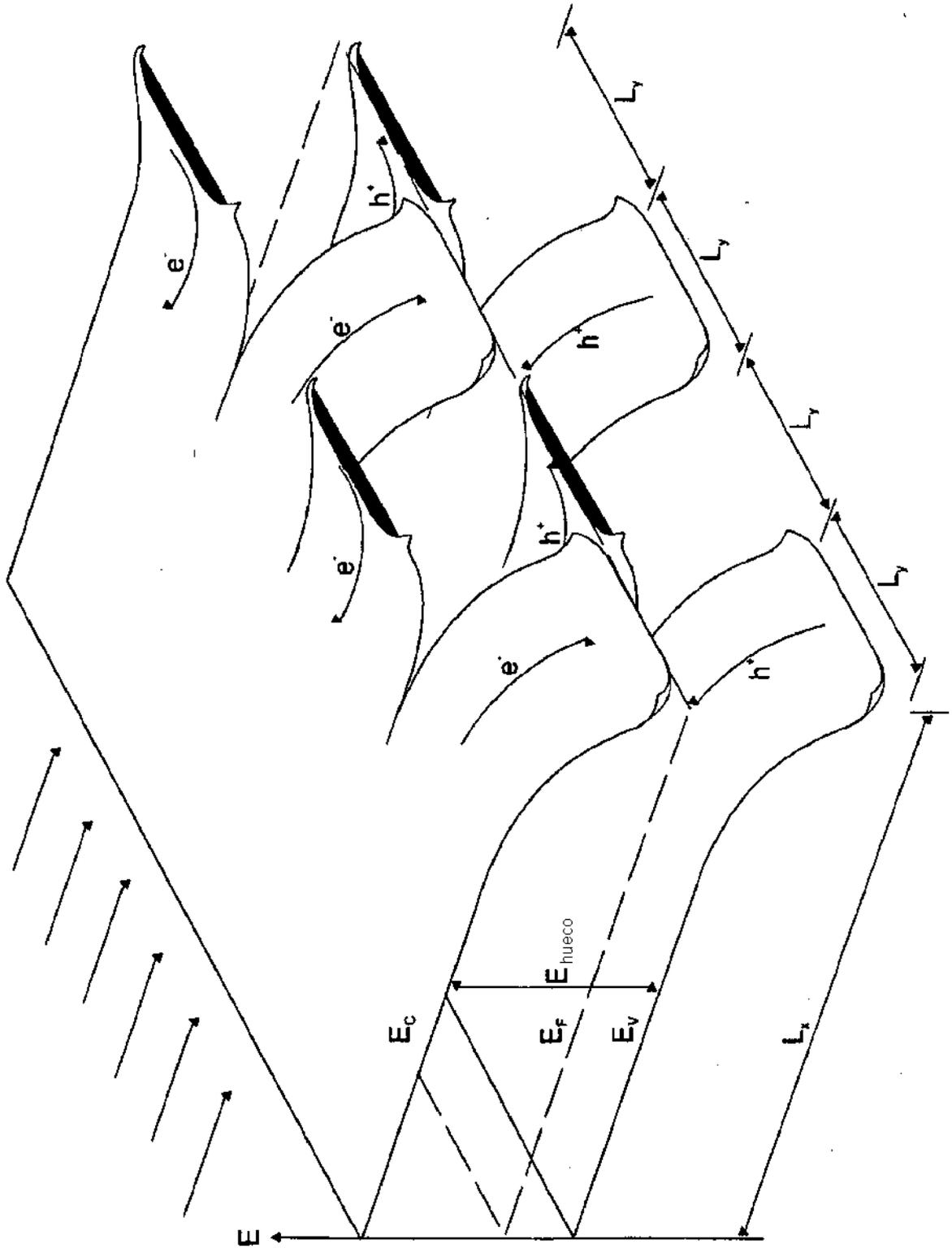
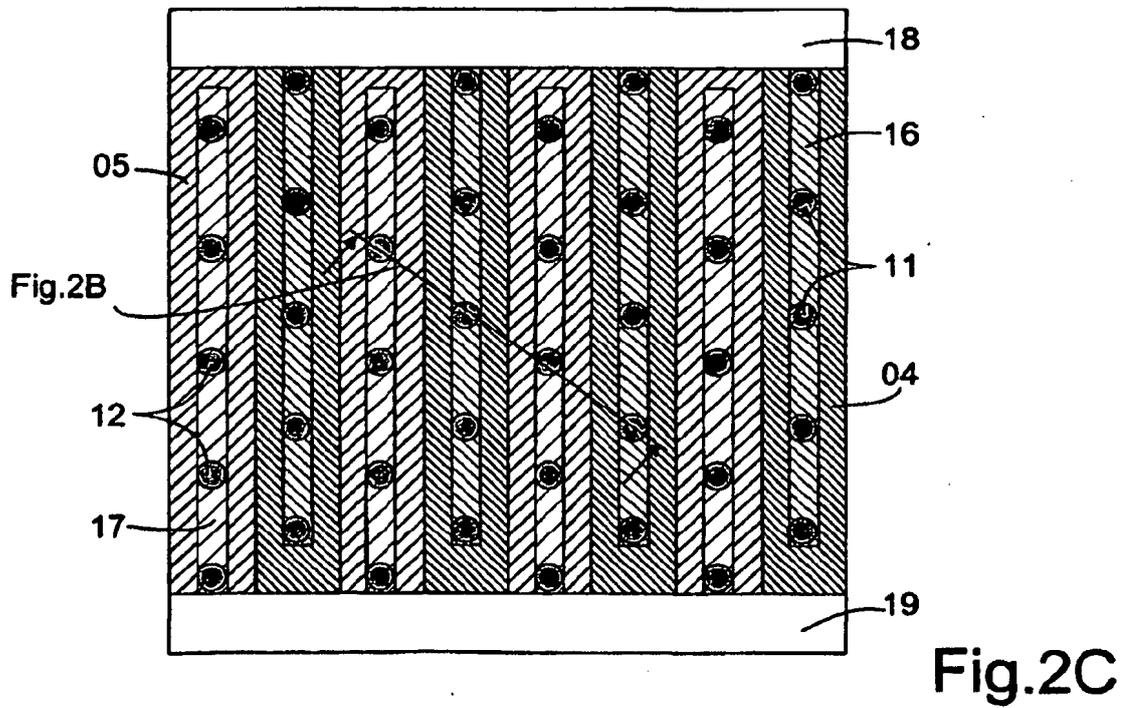
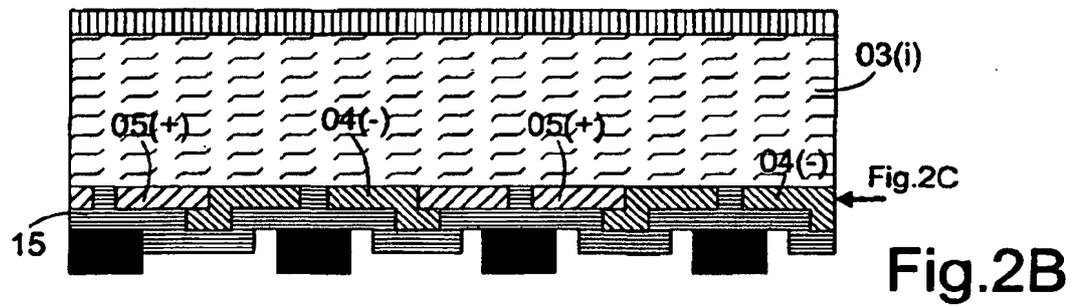
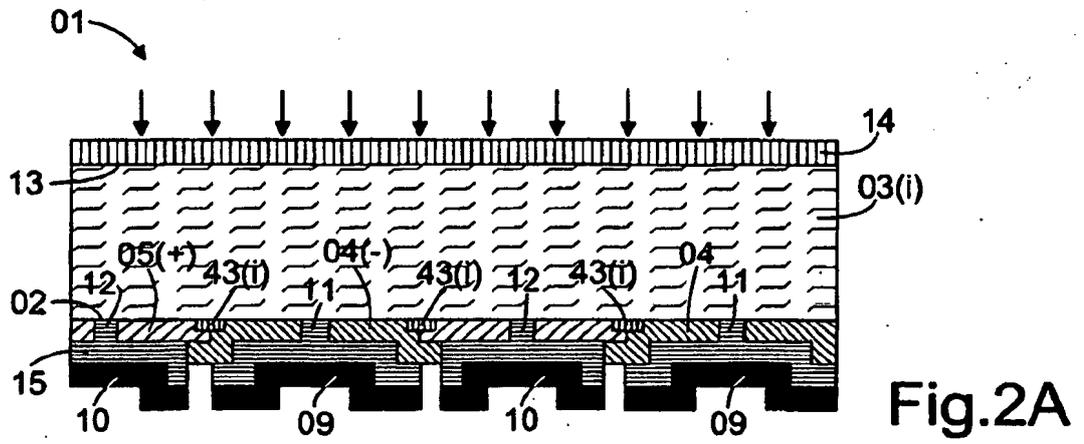


Fig.1B



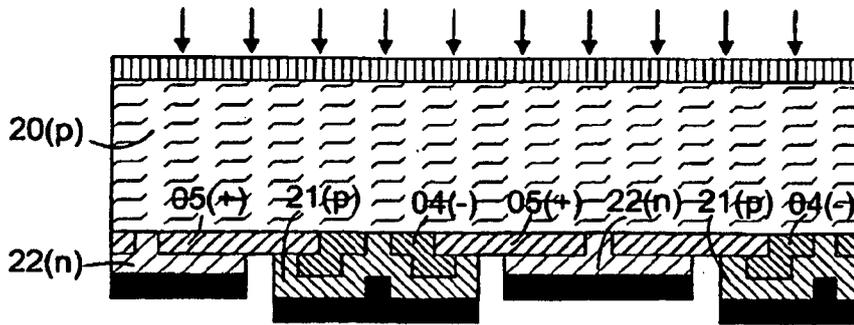


Fig.3A

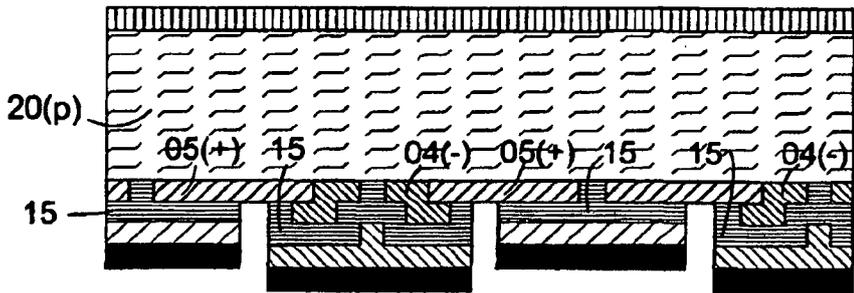


Fig.3B

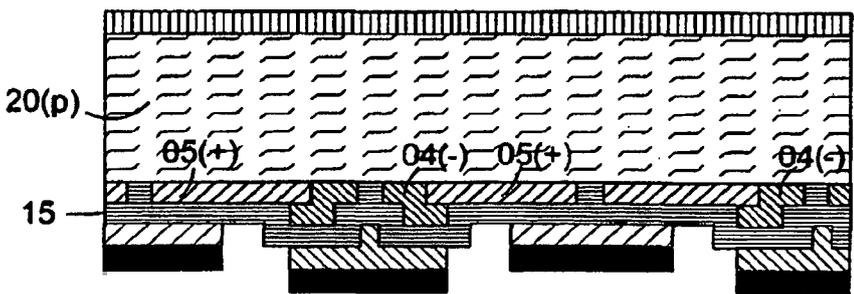


Fig.3C

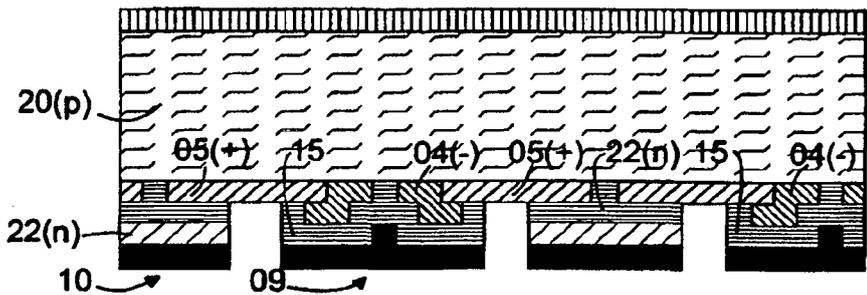


Fig.3D

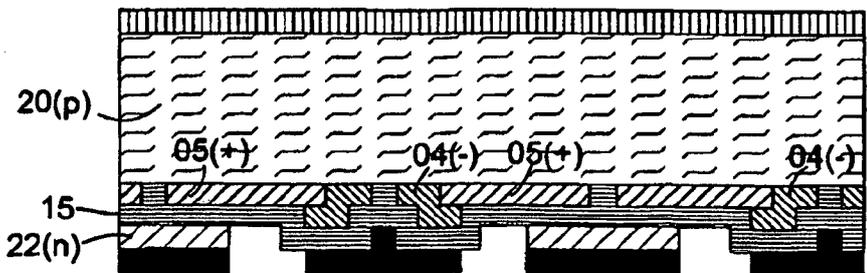


Fig.3E

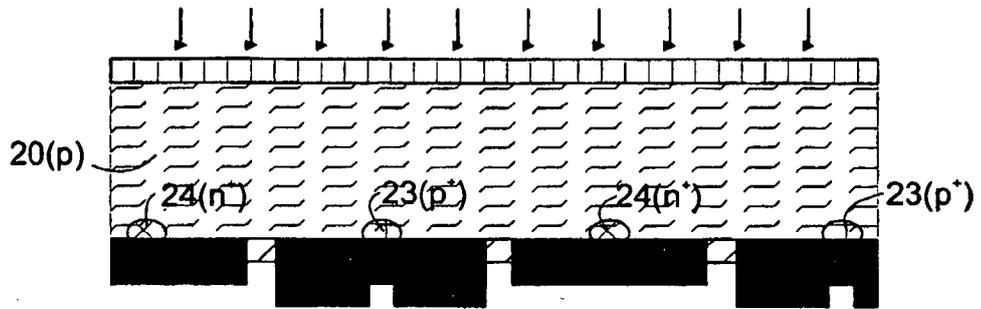


Fig.4A

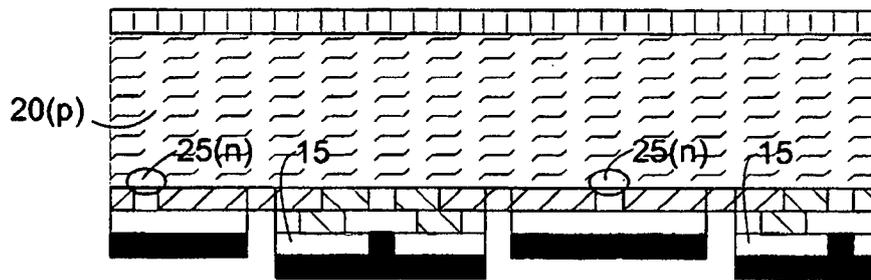


Fig.4B

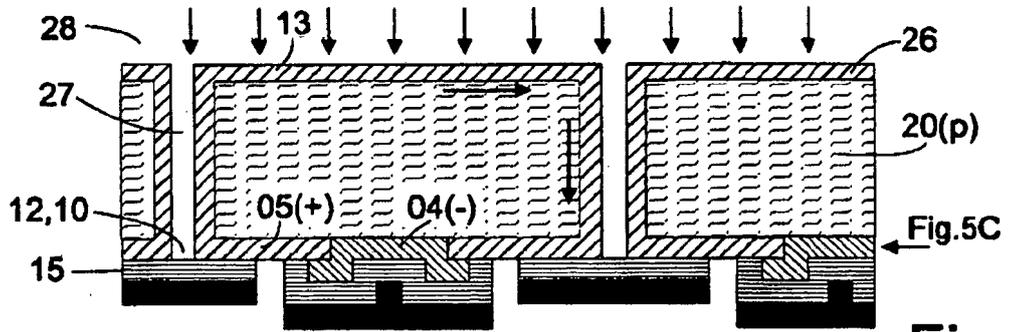


Fig.5A

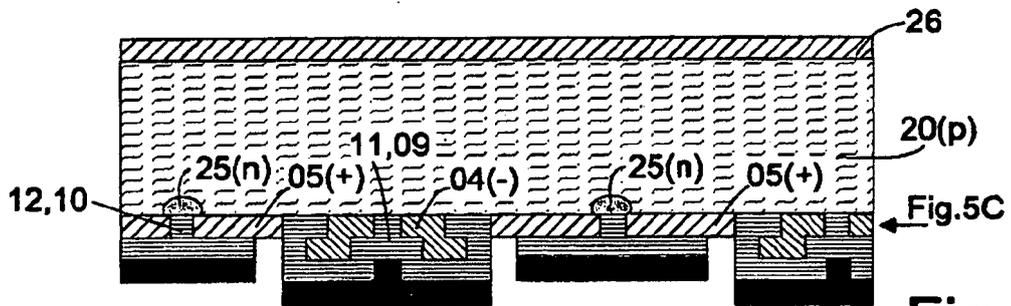


Fig.5B

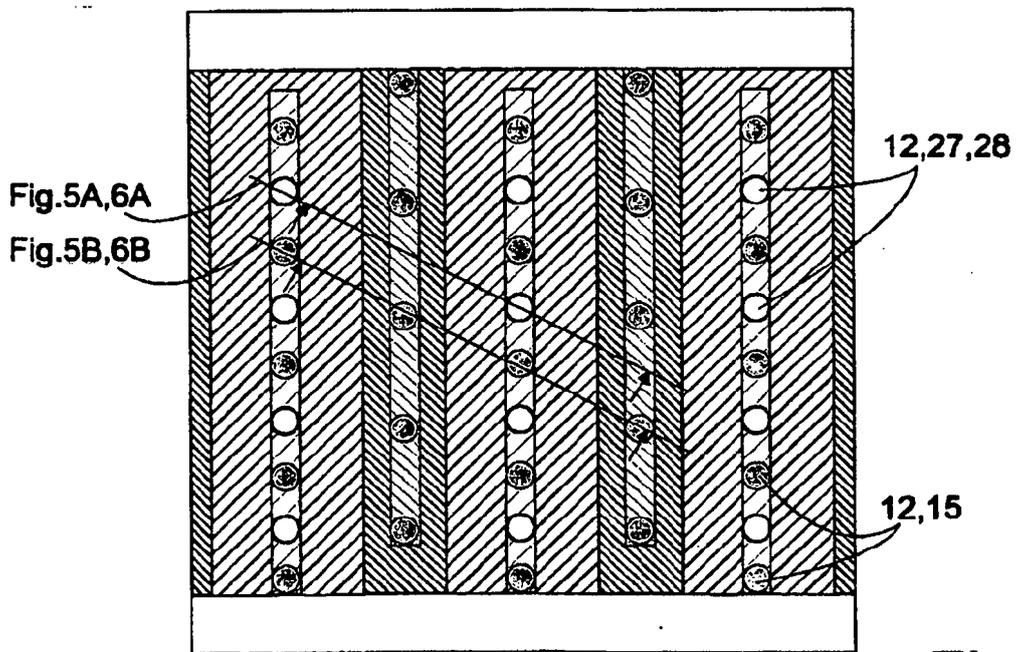


Fig.5C

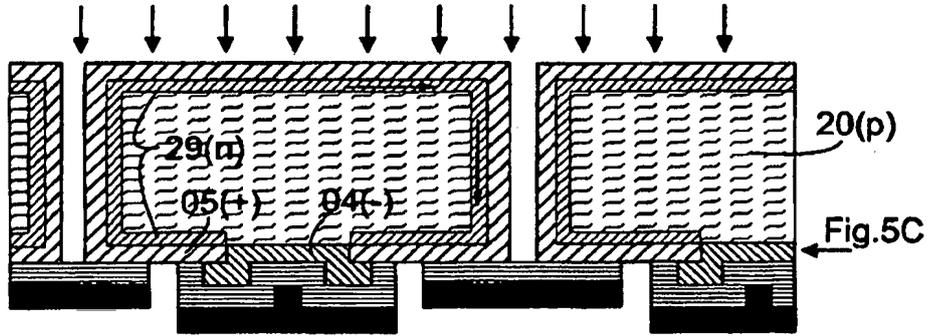


Fig.6A

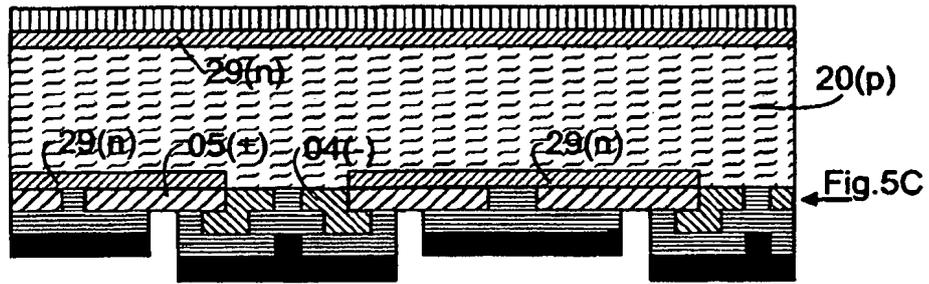


Fig.6B

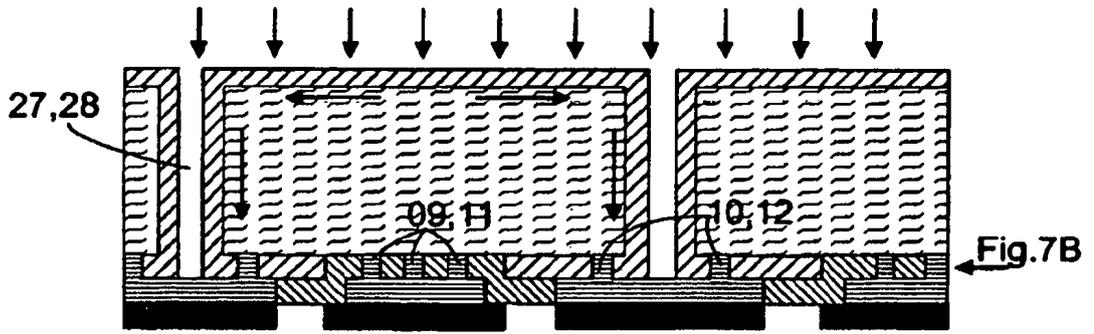


Fig.7A

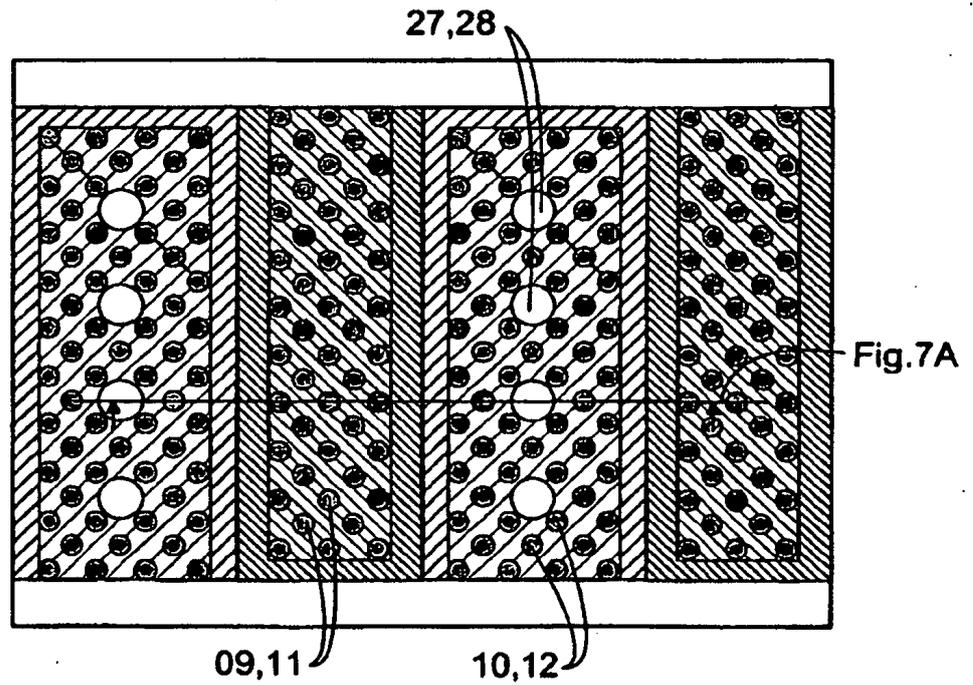


Fig.7B

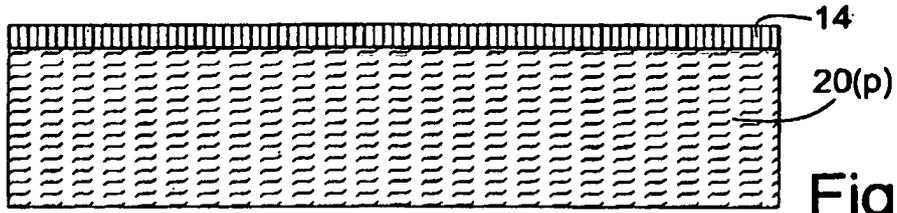


Fig. 8A

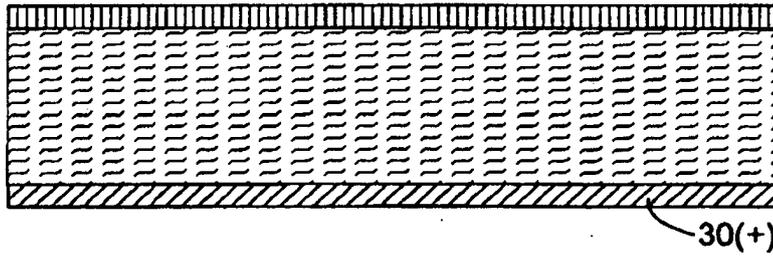


Fig. 8B

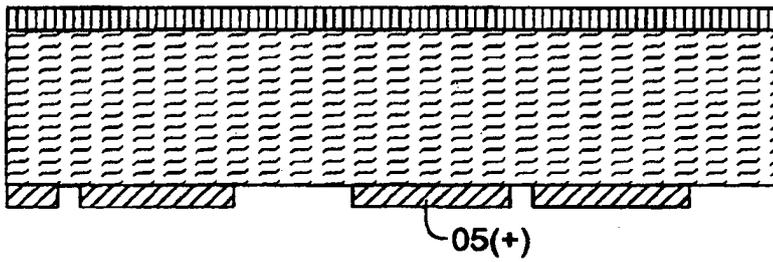


Fig. 8C

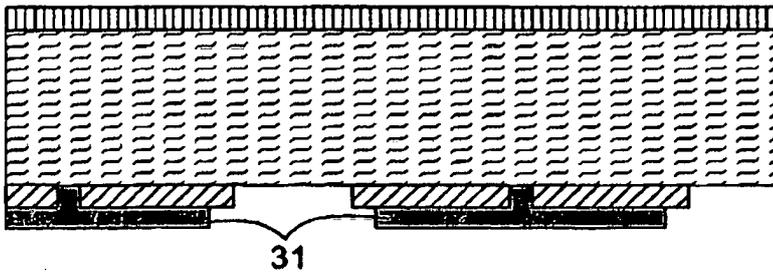


Fig. 8D

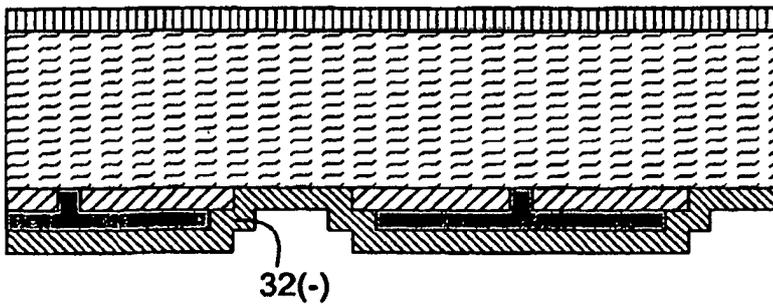


Fig. 8E

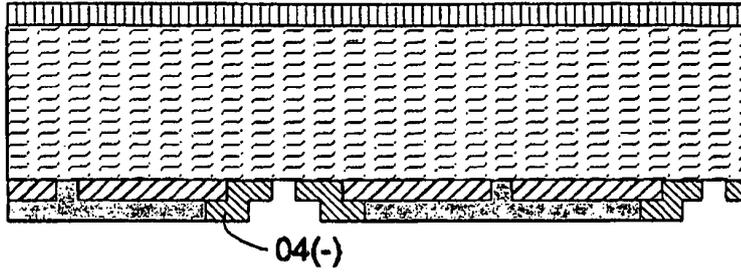


Fig.8F

04(-)

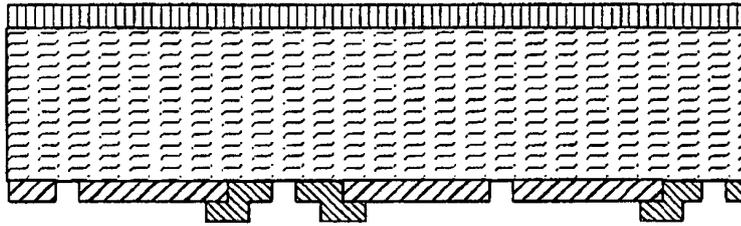


Fig.8G

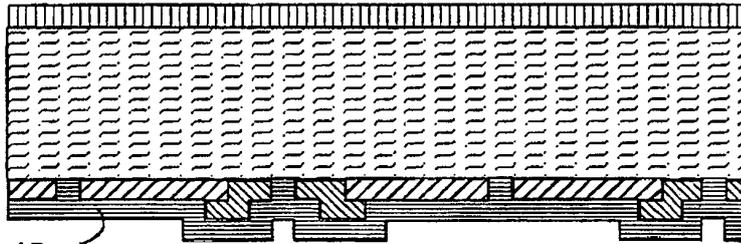


Fig.8H

15

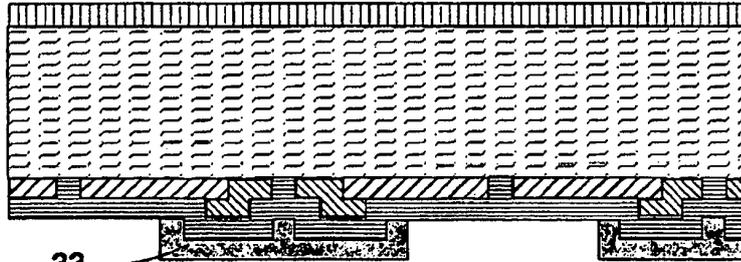


Fig.8 I

33

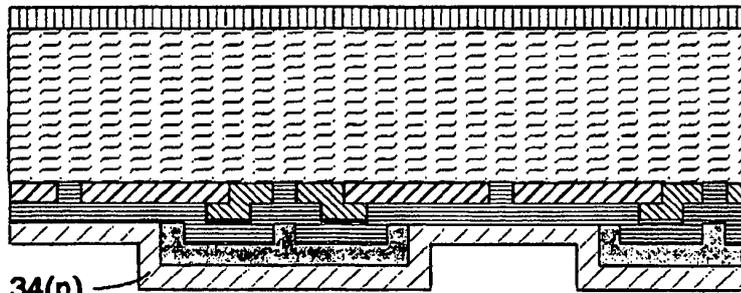


Fig.8J

34(n)

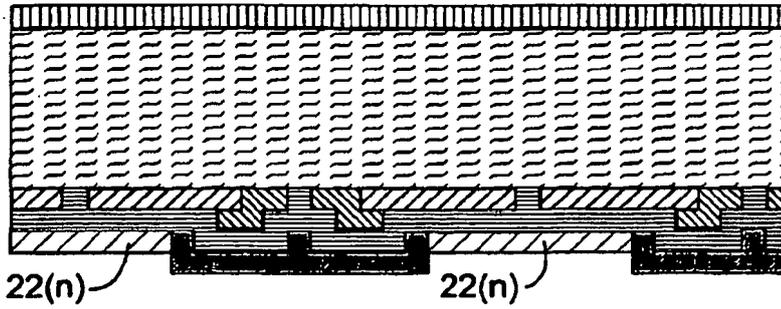


Fig.8K

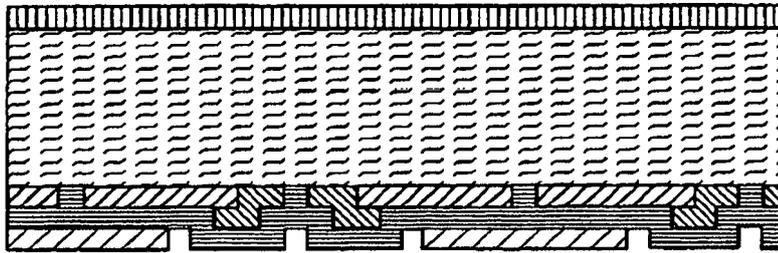


Fig.8L

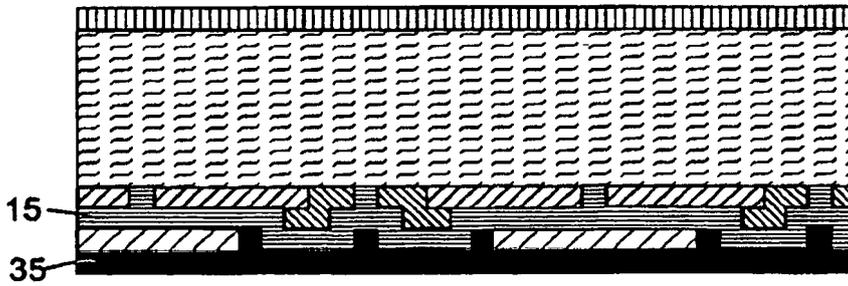


Fig.8M

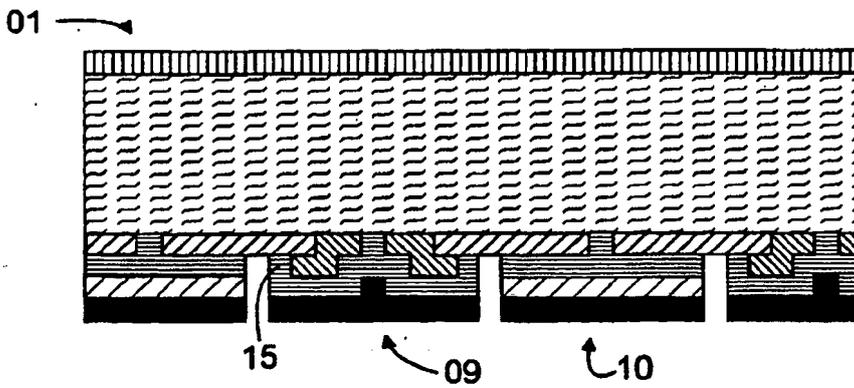


Fig.8N

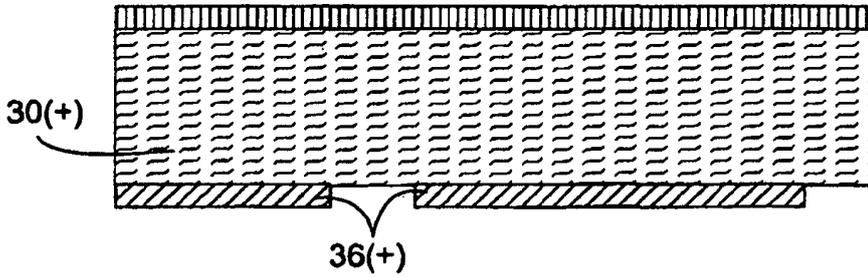


Fig.9A

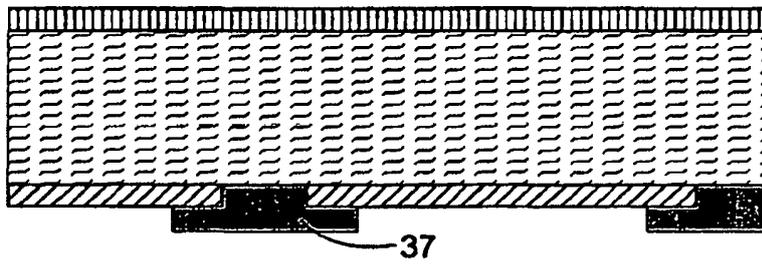


Fig.9B

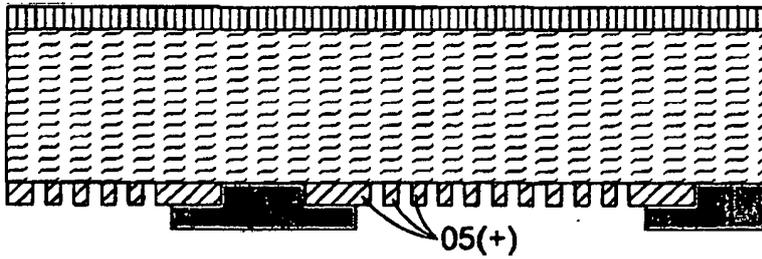


Fig.9C

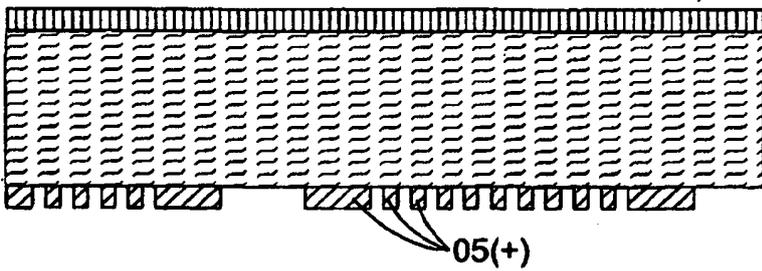


Fig.9D

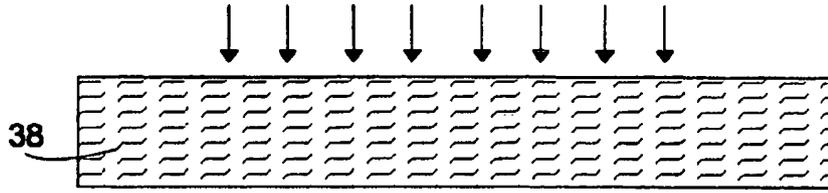


Fig. 10A

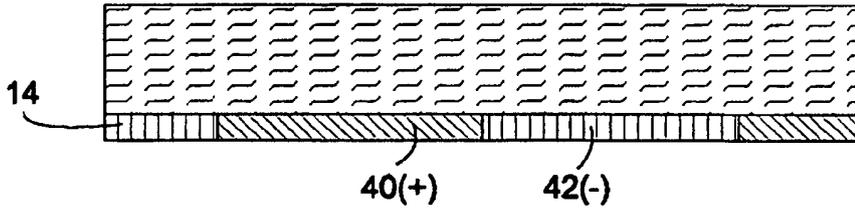


Fig. 10B

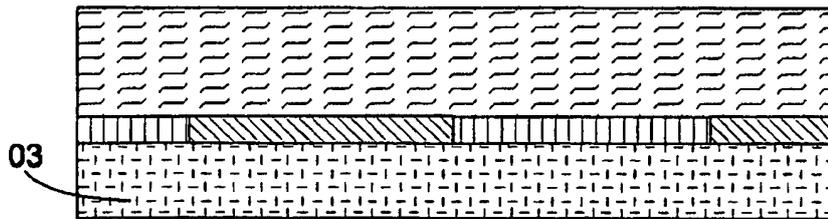


Fig. 10C

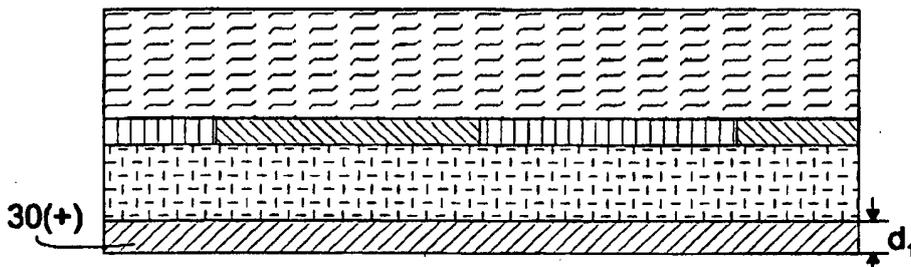


Fig. 10D

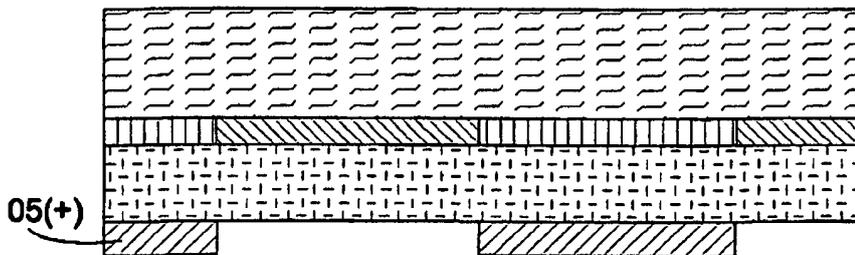


Fig. 10E

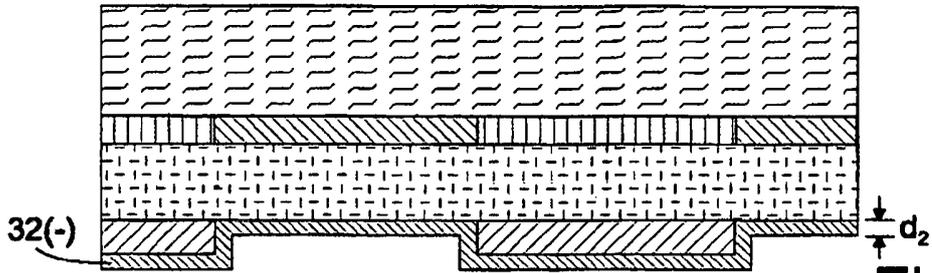


Fig.10F

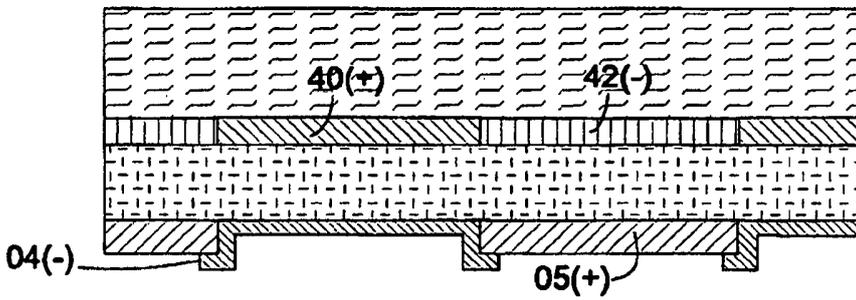


Fig.10G

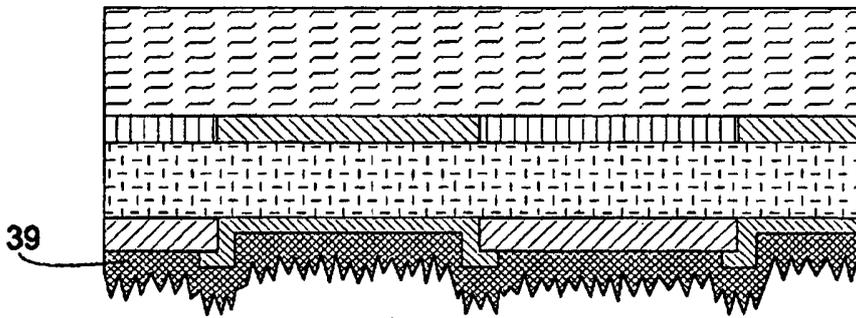


Fig.10H

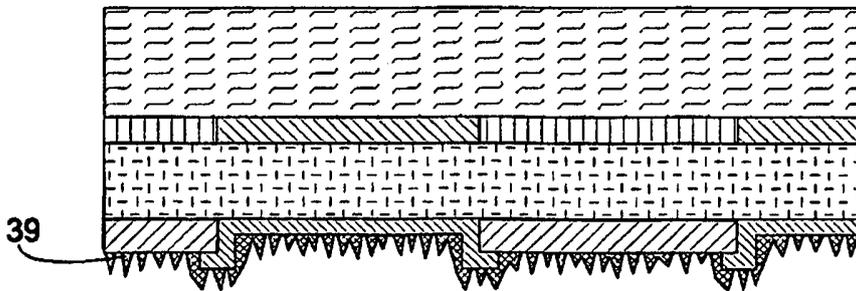


Fig.10I

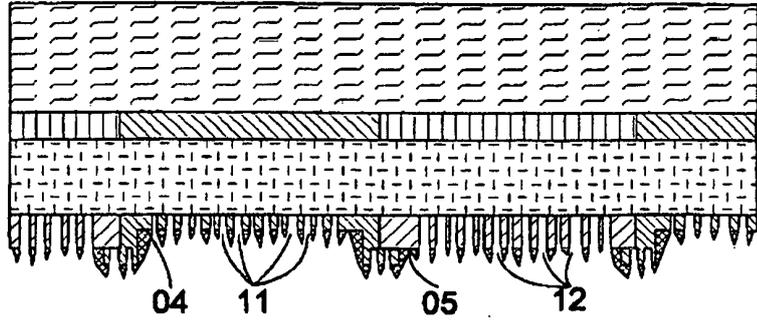


Fig.10J

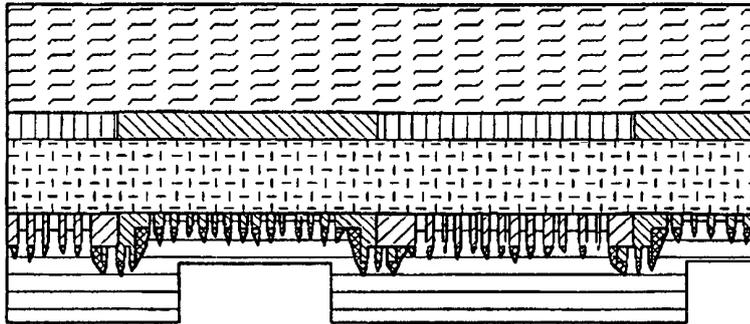


Fig.10K

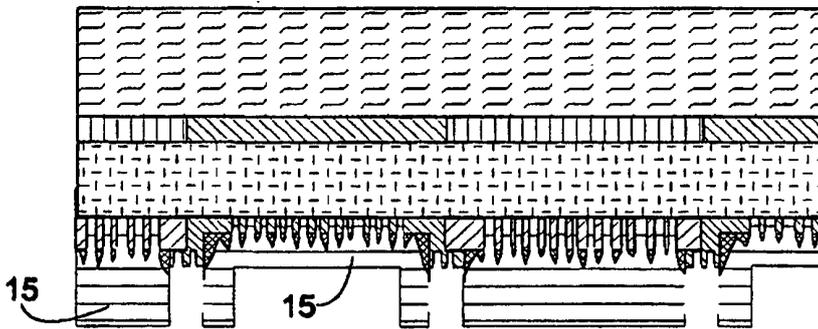


Fig.10L

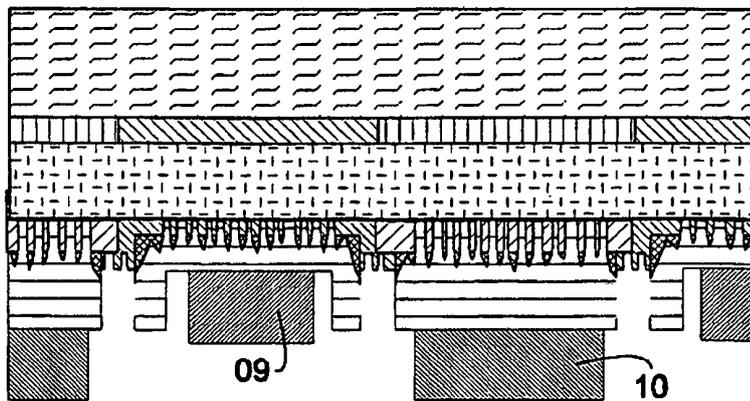


Fig.10M