



19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

11 Número de publicación: **2 359 639**

51 Int. Cl.:
H01L 31/18 (2006.01)
H01L 31/04 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **05791311 .3**
96 Fecha de presentación : **14.09.2005**
97 Número de publicación de la solicitud: **1792349**
97 Fecha de publicación de la solicitud: **06.06.2007**

54 Título: **Procedimiento para la recristalización y el dopaje simultáneos de capas semiconductoras y sistemas de capas semiconductoras fabricados según este procedimiento.**

30 Prioridad: **15.09.2004 DE 10 2004 044 709**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
25.05.2011

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
25.05.2011

73 Titular/es: **Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der Angewandten Forschung e.V.**
Hansastraße 27C
80686 München, DE

72 Inventor/es: **Reber, Stefan**

74 Agente: **Carpintero López, Mario**

ES 2 359 639 T3

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

DESCRIPCIÓN

Procedimiento para la recristalización y el dopaje simultáneos de capas semiconductoras y sistemas de capas semiconductoras fabricados según este procedimiento

5 La presente invención se refiere a un procedimiento para la recristalización y el dopaje simultáneos de capas semiconductoras, especialmente para la fabricación de celdas solares de capas delgadas de silicio cristalino y sistemas de capas semiconductoras fabricados según este procedimiento, especialmente a celdas solares de capas delgadas de silicio cristalino.

10 Por el estado de la técnica (documento US 5.192.991 A) se conocen celdas solares policristalinas y procedimientos de fabricación de las mismas. A este respecto, especialmente sobre un sustrato se deposita una película de electrodos y sobre ésta una capa semiconductoras de silicio amorfo dopada n, una capa semiconductoras intrínseca de silicio amorfo y una capa de silicio amorfo dopada p. La deposición se produce a este respecto con CVD de plasma. A continuación, las capas se recristalizan térmicamente y se deposita una película de electrodos superior.

15 El estado de la técnica conoce además (Arimoto S. y col. "High efficient operation of large-area tin film polycrystalline silicon solar cell based on SOI structure", Solar Energy Materials and Solar Cells, ELSEVIER Science Publishers, Ámsterdam, tomo 34, nº 1-4, 1 de septiembre de 1994, páginas 257-262) la fabricación de celdas solares a base de silicio basada en etapas de recristalización por fusión por zonas ZMR. A este respecto, sobre un sustrato de silicio se deposita inicialmente una capa de aislamiento de SiO₂, luego se realiza la deposición de una capa de silicio policristalino. Por último, luego se recristaliza por ZMR. A continuación se deposita una capa activa (dopada p) sobre la capa recristalizada.

20 Finalmente, el estado de la técnica (Ishihara T. y col. "Zone-melting recrystallization of silicon tin films for solar cell application", Progress in Photovoltaics, Research and Applications, John Wiley & Sons, tomo 3, nº 2, 1 de marzo de 1995, páginas 105-113) conoce un procedimiento similar al que se describió en el párrafo anterior en el que sin embargo también se realiza la deposición de una capa de cubierta.

25 La fabricación de capas semiconductoras dopadas delgadas o sistemas de capas para la electrónica y la fotovoltaica se realiza actualmente de formas de lo más variadas. En general, el objetivo es realizar estructuras de capas de tipo sándwich de capas parciales dopadas de distinta forma. A este respecto, normalmente se utilizan varias etapas de proceso con las que se construye secuencialmente una estructura de capas tal. La construcción se produce o mediante el crecimiento de capas parciales (deposición, epitaxia) o mediante la introducción de un dopante (por ejemplo, mediante difusión o implantación). Los procedimientos se caracterizan normalmente porque para la fabricación de varias capas dopadas de distinta forma se necesitan varios procesos de introducción o procesos de deposición. Son una excepción los llamados procesos de codifusión en los que capas dopadas de distinta forma se fabrican simultáneamente a partir de diferentes fuentes de dopante.

35 La presente invención se refiere a estructuras de capas de semiconductores en las que el semiconductor todavía se recristaliza después de una etapa de deposición mediante la fase líquida para cambiar, por ejemplo, la estructura cristalina. Una aplicación tal se facilita, por ejemplo, en la tecnología "Silicon on Insulator" ("silicio sobre aislante") (SOI) o en el sector de celdas solares de capas delgadas de silicio cristalino. La invención se explica a continuación a modo de ejemplo especialmente con referencia al último sistema.

40 Las celdas solares de capas delgadas de silicio cristalino se fabrican actualmente mediante diferentes procedimientos. Uno de estos procedimientos según el estado de la técnica está constituido por las siguientes etapas de proceso:

1. Fabricación de un sustrato.
2. Deposición de una capa intermedia conductora.
3. Deposición de una capa de nucleación que normalmente está enriquecida con dopante que provoca una conducción n o p en la capa de nucleación.
- 45 4. Aplicación de una capa de "cubierta" ("capping") mediante deposición u oxidación térmica.
5. Calentamiento y recristalización de la capa de nucleación.
6. Eliminación de la capa de cubierta.
7. Deposición de la capa absorbente fotovoltaicamente activa.

8. Producción de la transición pn mediante introducción de un dopante en la capa absorbente activa.

9. Aplicación de la metalización.

5 A este respecto, la capa de nucleación sirve para el fin de tanto formar núcleos de cristalización para la deposición epitáctica del absorbente como también para la formación de un llamado "Back Surface Field" ("campo de superficie negra") (BSF) para evitar las recombinaciones de portadores de carga. Para esto, la capa de nucleación está normalmente altamente dopada.

A partir del estado de la técnica, el objetivo de la presente invención es hacer innecesaria la deposición separada de la capa absorbente fotovoltaicamente activa sin tener que reducir la funcionalidad de la construcción fundamental, especialmente la presencia de la capa de BSF.

10 Este objetivo se alcanza mediante el procedimiento de fabricación según la reivindicación 1, el sistema de capas semiconductoras fabricado según éste según la reivindicación 38, así como el sistema según la reivindicación 39. En las reivindicaciones dependientes respectivas se describen variantes ventajosas del procedimiento según la invención.

En el procedimiento según la invención se modifican las siguientes etapas de proceso:

15 Etapa de proceso 2: en lugar de una capa intermedia sin dopar se deposita un sistema de capas constituido por al menos una capa parcial. Al menos una de las capas parciales del sistema de capas posee una proporción de dopante que puede actuar de aceptor o donante en la capa absorbente activa.

20 Etapa de proceso 3: el nivel de dopaje de la capa depositada en la tercera etapa de proceso se elige más bajo o igual que el dopaje que es necesario para el absorbente del sistema de capas semiconductoras finalmente fabricado o de la celda solar de capas delgadas finalmente fabricada.

A este respecto, la capa absorbente se dopa controlando la etapa de recristalización de forma que o calentando, enfriando y acondicionando térmicamente de forma que el primer dopante se incorpore por difusión desde el sistema de capas intermedias en la capa absorbente mientras que ésta está fundida y/o mientras que ésta solidifica de nuevo y/o mientras que ésta está solidificada.

25 Mediante estas dos modificaciones de etapas de proceso, la etapa de proceso 7 (es decir, la deposición separada de la capa absorbente) puede suprimirse ya que, debido a los desarrollos descritos a continuación, en la etapa de recristalización (etapa 5) la capa depositada en la etapa de proceso 3 puede usarse como absorbente. La esencia del procedimiento según la invención radica por último lugar en que tanto la formación de una capa de BSF como también el dopaje de la capa absorbente activa pueden realizarse durante la etapa de recristalización. La etapa de recristalización y la etapa de dopaje se realizan simultáneamente. La formación de la capa de BSF sigue inmediatamente a la recristalización y el dopaje que tienen lugar simultáneamente, de manera que la formación de la capa de BSF, la recristalización y el dopaje de la capa absorbente se producen *in situ* en una etapa a alta temperatura.

35 En una variante de configuración ventajosa también se modifica la etapa de proceso 4. En lugar de una capa de cubierta sin dopar se deposita un sistema de capas constituido por al menos una capa parcial. Al menos una de estas capas parciales del sistema de capas de cubierta depositado posee una proporción de dopante que es complementaria a la de la capa absorbente. Esta forma de configuración causa la producción de una transición pn simultáneamente a la fabricación de la capa de BSF inmediatamente después de la resolidificación en la misma etapa a alta temperatura. La metalización de la celda solar puede comenzarse inmediatamente después de eliminarse la multicapa de cubierta.

Adicionalmente, debido a una recristalización posterior de la capa emisora / absorbente sobre la superficie alejada de la base del sustrato, una capa emisora de espesor discrecional que supera el espesor del absorbente puede fabricarse con ajuste específico del espesor del silicio licuado.

45 En otra variante de configuración ventajosa, la capa parcial dopada del sistema de capas intermedias y la capa parcial dopada del sistema de capas de cubierta están dopadas de manera complementaria al dopaje de la capa depositada en la etapa de proceso 3 (último absorbedor). En este caso se fabrica un sistema dopado pnp o npn. Igualmente, el sistema de capas intermedias puede doparse de manera complementaria al sistema de capas de cubierta y a la capa depositada en la etapa de proceso 3 (última capa absorbente). Esto conduce entonces a sistemas dopados npp⁺ o pnn⁺. También son posibles otras permutaciones (sistemas p⁺pn o n⁺np).

50 Las ventajas del procedimiento según la invención radican en la secuencia de proceso simplificada que permite especialmente fabricar celdas solares de capas delgadas de silicio cristalino rentables: la construcción en capas y

la funcionalidad del sistema de capas pueden conseguirse con pocas etapas de proceso.

El procedimiento según la invención para la fabricación de sistemas de capas semiconductoras dopadas o los sistemas de capas semiconductoras fabricados según este procedimiento pueden fabricarse o realizarse como en el ejemplo descrito a continuación. El ejemplo describe una celda solar de capas delgadas de silicio cristalino que, sin embargo, no conduce a ninguna limitación del alcance protector como se facilita por las reivindicaciones.

La Figura 1 esquematiza la fabricación de una celda solar de capas delgadas de silicio cristalino con un procedimiento según el estado actual de la técnica.

La Figura 2 esquematiza la fabricación de una celda solar de capas delgadas de silicio cristalino con el procedimiento según la invención.

La Figura 1a muestra un sustrato 1 sobre el que está dispuesta una capa 2 de SiC conductor como capa intermedia. Sobre el lado alejado de la capa intermedia, un contacto 10 de base metálica está aplicado sobre la parte inferior del sustrato. Sobre la capa 2 intermedia está dispuesta una capa 3 de nucleación de silicio. Esta capa 3 de nucleación se presenta en forma recristalizada altamente dopada (para celdas solares normalmente $> 10^{18}$ át/cm³ de dopante). Sobre la capa 3 de nucleación altamente dopada está dispuesta una capa 7 absorbente de silicio normalmente dopada (normalmente 10^{16} - 10^{17} átomos/cm³).

Con respecto al sustrato 1 visto por encima de la capa 7 absorbente se encuentra la capa 8 emisora sobre la que están dispuestos dos contactos 9 emisores metálicos.

La Figura 1b muestra la secuencia de proceso que conduce a la fabricación de un sistema de capas de la celda solar de capas delgadas de silicio cristalino recristalizado según la Figura 1a. En la etapa 1 se fabrica el sustrato mediante estiramiento de bandas (banda de cerámica/Si). A continuación se realiza en la etapa 1a la limpieza del sustrato. En la siguiente etapa 2 se realiza la deposición de la capa intermedia conductora dopada o sin dopar. Sobre la capa 2 intermedia dopada o sin dopar se deposita la capa de nucleación de silicio en la etapa de proceso 3. Ésta está enriquecida con dopante que en el presente caso es además adecuado para provocar una conducción n en la capa de nucleación. Sin embargo, el dopante también puede provocar una conducción p. En la etapa de proceso 4 se deposita una capa de cubierta. Ésta está constituida en el presente caso por SiO₂. La aplicación de la capa de cubierta también puede realizarse mediante oxidación térmica. En la etapa de proceso 5, la etapa de recristalización, la capa 3 de silicio o la capa 3 de nucleación se calienta y recristaliza mediante recristalización por fusión (en el presente caso recristalización por fusión por zonas). La etapa de recristalización 5 está constituida por tres procesos parciales: en primer lugar el proceso de fusión en el que el silicio de la capa 3 de nucleación está presente en fase líquida, en segundo lugar el proceso de solidificación en el que el silicio líquido normalmente solidifica direccionalmente y en tercer lugar un proceso de acondicionamiento térmico (en el que el silicio se mantiene a una temperatura próxima a pero por debajo de la temperatura de fusión para disipar tensiones congeladas) después del proceso de fusión y de solidificación en el que el silicio está presente como sólido.

En la siguiente etapa 6, la capa 4 de cubierta se elimina de nuevo. Después, en la etapa de proceso 7 se realiza la deposición de la capa 7 absorbente de silicio fotovoltaicamente activa. En la siguiente etapa 8 se produce la transición pn. Esto se realiza en el presente caso mediante impresión, pulverización o deposición de una capa fuente enriquecida con dopante (este dopante es complementario al dopante presente en la capa 7 absorbente, por tanto en el presente caso conduce a una conducción p; sin embargo, en una conducción p en la capa 7 absorbente, también puede conducir a una conducción n) con introducción posterior o simultánea del dopante en la capa 7 absorbente activa mediante acondicionamiento térmico. Mediante esto se forma la capa 8 emisora. En la etapa 9 se realiza finalmente la aplicación de la metalización o de contactos 9 emisores y del contacto 10 de base. La capa 3 de nucleación de silicio satisface dos fines: mediante ella se forman núcleos de cristalización para la deposición epitáctica del absorbente 7 de silicio y sirve para la formación de una llamada capa de "Back Surface Field" ("campo de superficie negra") (BSF) para evitar la recombinación de portadores de carga sobre la superficie de separación de la capa 2 intermedia con respecto al silicio. Para esto, la capa 3 de nucleación está altamente dopada en el presente caso.

Las Figuras 2a (antes del proceso de fusión) y 2b (después del proceso de fusión y de la metalización) muestran cómo en el procedimiento según la invención a diferencia del procedimiento según el estado de la técnica (Figura 1) la etapa de proceso de la epitaxia de silicio (deposición separada de la capa absorbente de silicio activo en la etapa de proceso 7) es innecesaria sin que tenga que reducirse la funcionalidad de la construcción fundamental, especialmente la presencia de la capa de BSF. En las figuras, las capas o los constituyentes de sistemas de capas que coinciden con las capas o constituyentes de sistemas de capas en la Figura 1a o constituyentes de sistemas de capas que se corresponden con la disposición mostrada en la Figura 1a se caracterizan con números de referencia idénticos. En el proceso según la invención, en la etapa de proceso 2, en lugar de una capa intermedia discrecionalmente dopada o sin dopar se deposita un sistema de capas intermedias (éste también se caracteriza a

continuación por el número de referencia 2) constituido por al menos una capa parcial. Al menos una de las capas parciales de este sistema 2 de capas intermedias posee una proporción exactamente prefijada de dopante, que posteriormente actúa de aceptor o donante en la capa absorbente activa que va a depositarse. En la etapa de proceso 3, el nivel de la capa de silicio depositada en esta etapa de proceso (que representa la última capa absorbente) es más bajo o igual que el del dopaje que se necesita para la última capa absorbente o el absorbente de celdas solares. Debido a los desarrollos descritos a continuación que tienen lugar en la etapa de recristalización, en el procedimiento según la invención puede suprimir la deposición separada del absorbente de silicio (en el estado de la técnica se corresponde con la etapa de proceso 7). La Figura 2a muestra ahora un esquema de la combinación de capas de semiconductor según la invención antes de la etapa de recristalización 5. Sobre el sustrato 1 de silicio conductor está dispuesta o depositada la multicapa 2 intermedia conductora o el sistema 2 de capas intermedias correspondiente. Este sistema 2 de capas intermedias puede ser en general eléctricamente conductor, pero también puede ser no conductor (por ejemplo, SiO₂ dopado) y altamente dopado (en el presente caso el dopaje conduce a una conducción n; sin embargo, también puede conducir a una conducción p) y en el presente caso está constituido por una capa parcial. La (última) capa 3 absorbente de silicio está depositada sobre el sistema 2 de capas intermedias sobre el lado alejado del sustrato. Ésta presenta en el presente caso un dopaje (aquí: como el dopaje n de la multicapa 2 intermedia, pero también puede ser un dopaje p cuando el sistema 2 de capas intermedias presente uno tal) que es más bajo que el dopaje que se ajusta finalmente para el absorbente de celdas solares. Sin embargo, la última capa 3 absorbente también puede estar sin dopar (aquí también es técnicamente posible un ligero dopaje complementario a la capa intermedia que se dopa en exceso en la recristalización). En la Figura 2b se caracterizan dos secciones de la capa absorbente (sección 3b sobre el lado alejado del sustrato directamente adyacente al sistema de capas intermedias y sección 3a sobre el lado de la sección 3b alejado del sistema 2 de capas intermedias directamente adyacente a la sección 3b). En la sección 3b, la capa de BSF altamente dopada se ha formado después del proceso de recristalización mediante incorporación por difusión.

La capa 4 de cubierta está depositada o dispuesta (Fig. 2a) por encima de la última capa 3 absorbente. Ésta es en el presente caso (que se describe posteriormente) una multicapa de cubierta o un sistema de capas de cubierta.

Las particularidades del sistema de capas intermedias son las siguientes (estas particularidades son igualmente válidas para el último sistema de capas de cubierta descrito):

Las concentraciones de dopante en las capas fuente de dopante del sistema 2 de capas intermedias ascienden normalmente a aproximadamente 10^{18} a 10^{22} átomos/cm³. Las capas de amortiguamiento del sistema 2 de capas pueden estar sin dopar o presentar concentraciones de dopante de hasta aproximadamente 10^{18} átomos/cm³. Estos valores son válidos antes de la fusión o de la etapa de recristalización. Después de la fusión o de la etapa de recristalización, los valores para la capa fuente de dopante (ésta se corresponde con la capa parcial previamente mencionada con la proporción de dopante exactamente prefijada) ascienden normalmente a aproximadamente $> 10^{16}$ átomos/cm³. La distribución de dopante puede presentar fuertes saltos, pero también variar lentamente a lo largo de la sección de la capa (perpendicular al plano de la capa) correspondientemente al proceso. El número de capas usado en el sistema 2 de capas intermedias (capas fuente y capas de amortiguamiento) depende de las necesidades del proceso de recristalización. Normalmente asciende a dos a tres capas. Generalmente, a este respecto sólo se deposita una capa como capa fuente. Los espesores de capa deben ajustarse correspondientemente al desarrollo térmico del proceso. Normalmente se utilizan espesores de capa en el orden de magnitud de 100 a 1000 nm. Como materiales de capa se consideran todos los materiales que retienen la pureza del semiconductor a las altas temperaturas de proceso (hasta aproximadamente 1500 °C). Por tanto, se usan compuestos de Si, O, C, N, B, P, Al, Ga, Sb, As e/o In, especialmente SiO₂, SiN_x (x es un número entero, igual o mayor que 1), SiC, BN y/o BC.

Como ya se ha descrito, el dopaje del sistema 2 de capas intermedias también puede ser eventualmente complementario al dopaje de la capa 3 absorbente.

Si la capa de BSF introducida en la parte trasera o sobre el lado orientado hacia el sustrato de la última capa absorbente (sin embargo, la introducción también puede realizarse alternativamente a esto en la parte delantera o en el lado de la última capa absorbente alejado del sustrato) se usa para celdas solares de capas delgadas, para celdas solares de Si normalmente se usan los siguientes valores:

- espesor de capa de la capa de BSF (dado por el perfil de difusión) en el intervalo de 0,1 a 5 μ m
- concentración de dopante en la capa de BSF en el intervalo de aproximadamente 10^{17} a 10^{21} átomos/cm³.

Pero dependiendo del material y la aplicación estos valores también pueden encontrarse fuera del intervalo mencionado.

En la etapa de proceso 5, el proceso de recristalización, se produce lo siguiente: durante el proceso parcial de fusión el dopante se elimina del sistema 2 de capas intermedias y se distribuye casi homogéneamente en la masa fundida de la última capa 3 absorbente. En la resolidificación de la masa fundida de la última capa 3 absorbente, este dopante se incorpora en la capa absorbente formada y se activa. Ahora sirve para el dopaje básico de esta capa, que mediante esto se convierte en la capa absorbente activa (o la base de la celda solar). En el siguiente proceso de acondicionamiento térmico y enfriamiento sigue difundiendo dopante del sistema 2 de capas intermedias en la nueva capa 3 absorbente formada. Debido a la reducida velocidad de difusión en el estado sólido de la capa 3 absorbente en comparación con la fase líquida, el dopante se acumula ahora sobre la superficie trasera (es decir, sobre la superficie de la capa 3 absorbente orientada hacia el sistema 2 de capas intermedias) de la capa 3 absorbente y de esta manera forma en la región 3b de capas una capa de BSF altamente dopada debido a la incorporación por difusión.

Para el control en la fase de recristalización o en la etapa de recristalización están a disposición los siguientes parámetros:

Potencias de calefacción, distribución de la potencia de calefacción, velocidad de alimentación, rampas de calentamiento / enfriamiento, nivel (es decir, temperatura) de la meseta de acondicionamiento térmico y tiempos de acondicionamiento térmico. Todos estos parámetros influyen por último lugar en a) el momento en el que el silicio está fundido y b) el perfil de temperatura con el tiempo. El proceso de recristalización según la invención puede describirse con más exactitud mediante 5 fases distintas:

1. Fase de calentamiento y retención (rampa para la elevación de temperatura):

Ésta dura normalmente algunos minutos, la temperatura final se encuentra en el caso del silicio normalmente en el intervalo de 900 °C a 1300 °C (en el caso de otros materiales la temperatura debe adaptarse correspondientemente). Los parámetros de control durante esta fase son el tiempo, el perfil de temperatura, la temperatura de la meseta, el tiempo de meseta y/o la atmosfera de gas del proceso.

2. Fase de fusión:

Aquí se realiza la fusión de la capa de silicio y la retención. En el proceso de fusión por zonas, la distribución de la potencia de calefacción, la velocidad de alimentación y en parte también la atmosfera de gas del proceso se determinan mediante potencias de calefacción. En el caso de otros procedimientos de fusión, los parámetros pueden ser otros o elegirse de otra forma. Duración típica: algunas décimas hasta unos diez segundos. En el caso de la recristalización por láser o por haz de electrones el tiempo es claramente más corto (hasta por debajo de los nanosegundos).

3. Fase de recristalización: resolidificación de la capa fundida

En el caso del proceso de ZMR (proceso de recristalización por fusión por zonas o en inglés zone-melting recrystallisation process), la velocidad de alimentación, la potencia de calefacción y la distribución de la potencia de calefacción, la disipación de energía (conducción de calor, radiación y convección), así como dirección del acoplamiento de energía, determinan la recristalización. Esto es importante para la segregación que tiene lugar durante la resolidificación (se describe a continuación).

4. Fase de acondicionamiento térmico:

El control sólo es posible en esta fase mediante el ajuste de la temperatura y los tiempos de acondicionamiento térmico, es decir, mediante el perfil de temperatura con el tiempo. Aquí se introduce el dopaje y se realiza una relajación de las tensiones del cristal. Los parámetros de control son en esta fase la(s) temperatura(s), la(s) duración (duraciones) de la retención y/o la(s) velocidad(es) de enfriamiento (rampas).

5. Fase de enfriamiento:

Aquí se realiza un enfriamiento del sistema de sustrato hasta temperatura ambiente. Los parámetros para el control son aquí la duración de la rampa y la forma de la rampa. Especialmente la fase de fusión y la fase de recristalización deben configurarse en interacción con la difusión, la solubilidad y la segregación de forma que resulte el perfil final deseado.

Por tanto, la esencia de la invención radica en que el dopaje de la capa 3a absorbente activa, así como la recristalización de la capa 3a absorbente, se realizan simultáneamente en una etapa a alta temperatura y que en la

misma etapa a alta temperatura (al final de la fase 3^a y durante la fase 4^a) se realiza inmediatamente a continuación la realización de la capa 3b de BSF. A continuación de las etapas de proceso anteriormente descritas todavía se realiza la difusión del emisor, la eliminación del sistema 4 de capas de cubierta, así como la aplicación de la metalización o de los contactos 9 emisores.

5 La Figura 2b muestra una celda solar de capas delgadas de silicio cristalino fabricada con el procedimiento según la invención como se ha descrito. El sistema 2 de capas intermedias conductor altamente dopado está dispuesto sobre la superficie opuesta al contacto de base sobre el sustrato 1 de silicio conductor (con el contacto 10 de base aplicado en la parte inferior). Por encima de o sobre el lado del sistema 2 de capas intermedias alejado del sustrato está dispuesta, adyacente a éste, la capa 3b de BSF altamente dopada incorporada por difusión. Entonces, por encima de o sobre el lado de la capa de BSF alejado de la capa intermedia se encuentra, adyacente a ésta, la capa absorbente de silicio normalmente dopada, el absorbente real de la celda solar (número de referencia 3a). En el extremo superior de la secuencia de capas, directamente sobre la capa 3a absorbente (sobre cuyo lado alejado de la capa de BSF) puede apreciarse la capa 8 emisora. Entonces, sobre ésta están dispuestos los dos contactos 9 emisores sobre su superficie alejada del absorbente.

15 Mediante la Figura 2a también puede apreciarse una ventajosa extensión de las modificaciones realizadas en comparación con el estado de la técnica. En lugar de una capa de cubierta sin dopar, un sistema 4 de capas de cubierta constituido por al menos una capa parcial se deposita sobre la última capa 3 absorbente. Al menos una capa parcial de este sistema de capas de cubierta (en el caso mostrado el sistema 4 de capas de cubierta está constituido por esta capa parcial) posee una proporción de dopante que es complementaria a la de la capa absorbente (que también produce la conducción n cuando la capa absorbente es conductora p e inversa). En el presente caso, el dopante causa una conducción p. Este sistema 4 de capas de cubierta se produce ahora durante la etapa de proceso 5 de la siguiente manera: en el proceso parcial de fusión se elimina dopante del sistema 4 de capas de cubierta y se distribuye casi homogéneamente en la masa fundida de la última capa 3 absorbente. La cantidad de dopante eliminado o incorporado por difusión en esta masa fundida puede controlarse mediante capas parciales sin dopar o débilmente dopadas que se encuentran sobre el lado de la última capa 3 absorbente de silicio del sistema 4 de capas de cubierta. En el proceso parcial de solidificación de la etapa de proceso 5, la concentración del dopante del sistema 4 de capas de cubierta se ajusta mediante procesos de segregación en la última capa 3 absorbente.

20 La segregación (esto es un proceso en el que se ajusta una diferencia de concentración entre dos capas adyacentes incluso cuando se encuentran en equilibrio térmico. La segregación se produce extremadamente en la solidificación, por ejemplo, para la impureza hierro en silicio: la concentración en el silicio sólido puede ser 10^5 veces menor que en el líquido) entre la fase líquida y sólida puede controlarse mediante el ajuste del gradiente de temperatura en la capa y, por tanto, la dirección de la solidificación. La segregación se produce cuando dos materiales diferentes limitan entre sí (por ejemplo, SiO_2 y Si). Esto se llama entonces segregación en sólido y puede conducir además a que en el equilibrio térmico se mantenga un gradiente de concentración a través de dos capas de sólido. En el procedimiento según la invención, la segregación en sólido puede aprovecharse mediante materiales de capa hábilmente elegidos para el sistema 2 de capas intermedias y/o el sistema 4 de capas de cubierta en la superficie de separación con respecto al silicio o con respecto a la capa 3 absorbente.

25 En la etapa de acondicionamiento térmico sigue difundiendo dopante de la multicapa 4 de cubierta en la capa 3 absorbente ahora sólida. Debido a esta difusión en sólido, sobre la superficie de la capa de silicio se forma una capa contradopada con respecto a la capa 3 absorbente que sirve de emisor de celdas solares o capa 8 emisora (véase la Figura 2b).

30 La concentración del tercer dopante en la capa absorbente (el tercer dopante es aquél que se incorpora por difusión de la capa parcial dopada del sistema 4 de capas de cubierta en la capa 3 absorbente) asciende normalmente para el silicio antes de la fusión o la etapa de recristalización a entre 0 átomos/cm³ (sin dopar) y aproximadamente 10^{18} átomos/cm³ y después de la fusión o la etapa de recristalización a entre aproximadamente 10^{17} y 10^{22} átomos/cm³, preferiblemente entre 3×10^{18} y 2×10^{21} átomos/cm³. La concentración del dopante en la capa absorbente con bajo dopaje o en el intervalo de bajo dopaje de la capa 3 absorbente asciende antes de la fusión o la etapa de recristalización a entre 0 átomos/cm³ (sin dopar) y aproximadamente 10^{17} átomos/cm³. La concentración correspondiente después de la fusión o la etapa de recristalización asciende a entre aproximadamente 10^{14} átomos/cm³ y 10^{19} átomos/cm³. Para celdas solares es óptima una concentración de dopante (después de la fusión) de 10^{16} a 5×10^{17} átomos/cm³.

35 Si, como se ha descrito, se usa un sistema 4 de multicapa de cubierta, entonces en el proceso de fabricación según la invención también se suprime la producción separada de la transición pn o de la capa 8 emisora (etapa de proceso 8 en el estado de la técnica), es decir, la producción de la transición pn también puede realizarse en la etapa a alta temperatura, en la que se realiza la fabricación de la capa de BSF. Por tanto, después de eliminarse la

multicapa 4 de cubierta, inmediatamente puede empezarse con la metalización de la celda solar.

5 Sin embargo, alternativamente a esto, también puede usarse una capa 4 de cubierta convencional y producirse la transición pn análogamente a la etapa de proceso 8 del estado de la técnica (mediante impresión, pulverización o deposición de una capa fuente enriquecida con dopante que es complementaria a la capa de dopaje presente en la capa 3 absorbente con incorporación posterior o simultánea de este dopante en la capa 3 absorbente activa mediante acondicionamiento térmico).

10 Opcionalmente, mediante una recristalización posterior de la capa 3, 8 emisora/absorbente, sobre la superficie alejada del sustrato o del lado del emisor puede fabricarse una capa emisora con ajuste específico del espesor del silicio licuado que presenta un espesor que baja del espesor del absorbente. Una capa emisora tal tiene normalmente un espesor en el intervalo de aproximadamente 1 μm .

Por tanto, aspectos esenciales de la presente invención son el dopaje de la capa de base o capa absorbente en la fase de fusión mediante difusión de sistemas de capas dopados adyacentes a la capa de base y la recristalización de la capa absorbente que se realiza simultáneamente a este dopaje y la fabricación de la capa de BSF mediante difusión de una capa fuente. Por tanto, los procesos descritos se realizan en una única etapa a alta temperatura.

15 El control del dopaje de la capa absorbente puede producirse mediante adaptación de la velocidad de recristalización, así como de los procesos de calentamiento, enfriamiento y acondicionamiento térmico que tienen lugar antes y después. Sin embargo, el control del dopaje de la capa absorbente también puede realizarse mediante adaptación de los sistemas de multicapas, es decir, del sistema de multicapa de cubierta y/o del sistema de multicapa de capas intermedias (con respecto al número y/o el tipo de capas parciales usadas, su contenido de dopante y su espesor).

20

REIVINDICACIONES

1.- Procedimiento para la fabricación de un sistema de capas semiconductoras dopadas para la electrónica o la fotovoltaica en el que

en una primera etapa se fabrica una capa de base de sustrato (1),

5 en una segunda etapa, sobre esta capa de base de sustrato (1) se deposita un sistema de capas intermedias (2) constituido por al menos una capa parcial, en el que al menos una de las capas parciales del sistema de capas intermedias (2) se enriquece con un primer dopante en la primera concentración,

10 en una tercera etapa, una capa absorbente (3) sin dopar o dopada con un segundo dopante en una segunda concentración se deposita sobre el sistema de capas intermedias (2), y la capa absorbente (3) se calienta en una etapa de recristalización y se funde, así como a continuación se enfría hasta solidificar,

caracterizado porque

15 la capa absorbente (3) se dopa controlando la etapa de recristalización de forma que o calentando, enfriando y acondicionando térmicamente de forma que el primer dopante se incorpore por difusión desde el sistema de capas intermedias (2) en la capa absorbente (3) mientras que ésta está fundida y/o mientras que ésta solidifica de nuevo y/o mientras que ésta está solidificada.

2.- Procedimiento de fabricación según la reivindicación precedente,

caracterizado porque

20 después de la tercera etapa y antes de la etapa de recristalización se aplica una capa de cubierta (4) sin dopar sobre la capa absorbente (3) y porque esta capa de cubierta (4) se elimina de nuevo después de la etapa de recristalización.

3.- Procedimiento de fabricación según la reivindicación 1,

caracterizado porque

25 después de la tercera etapa y antes de la etapa de recristalización un sistema de capas de cubierta (4) constituido por al menos una capa parcial se aplica sobre la capa absorbente (3), en el que al menos una de las capas parciales del sistema de capas de cubierta (4) se enriquece con un tercer dopante en una tercera concentración.

4.- Procedimiento de fabricación según la reivindicación precedente,

caracterizado porque

este sistema de capas de cubierta (4) se elimina de nuevo después de la etapa de recristalización.

5.- Procedimiento de fabricación según una de las dos reivindicaciones precedentes,

30 caracterizado porque

35 sobre el lado del sistema de capas semiconductoras alejado del sustrato se produce una transición pn o una capa emisora controlando la etapa de recristalización de forma que o calentando, enfriando y acondicionando térmicamente de forma que el tercer dopante se incorpore por difusión desde el sistema de capas de cubierta (4) en la capa absorbente (3) mientras que ésta está fundida y/o mientras que ésta solidifica de nuevo y/o mientras que ésta está solidificada.

6.- Procedimiento de fabricación según la reivindicación precedente,

caracterizado porque

40 la cantidad del tercer dopante incorporado por difusión se controla con ayuda de capas parciales sin dopar o débilmente dopadas del sistema de capas de cubierta (4) que se encuentran sobre el lado orientado hacia la capa absorbente (3).

7.- Procedimiento de fabricación según una de las dos reivindicaciones precedentes o según la reivindicación 1,

caracterizado porque

la cantidad del tercer y/o la cantidad del primer dopante que se incorpora por difusión en la capa absorbente (3)

mientras que ésta solidifica y/o está solidificada se ajusta mediante procesos de segregación.

8.- Procedimiento de fabricación según una de las reivindicaciones 1 a 2,

caracterizado porque

5 sobre el lado alejado del sustrato u orientado hacia el sustrato del sistema de capas semiconductoras o de la capa absorbente (3) se genera una transición pn o una capa emisora en la que se incorpora un tercer dopante complementario al primer y segundo dopante en la capa absorbente (3).

9.- Procedimiento de fabricación según una de las reivindicaciones precedentes,

caracterizado porque

10 el segundo dopante es complementario al primer dopante o porque el segundo dopante no es complementario al primer dopante.

10.- Procedimiento de fabricación según una de las reivindicaciones precedentes,

caracterizado porque

el primer y el segundo dopante son idénticos.

11.- Procedimiento de fabricación según una de las reivindicaciones precedentes y según la reivindicación 3,

15 caracterizado porque

el tercer dopante es complementario al segundo dopante o porque el tercer dopante no es complementario al segundo dopante.

12.- Procedimiento de fabricación según una de las reivindicaciones precedentes y según la reivindicación 3,

caracterizado porque

20 el segundo y el tercer dopante son idénticos.

13.- Procedimiento de fabricación según una de las reivindicaciones precedentes y según la reivindicación 3,

caracterizado porque

el segundo dopante es complementario al primer y tercer dopante o porque el primer dopante es complementario al segundo y tercer dopante o porque el tercer dopante es complementario al primer y segundo dopante.

25 14.- Procedimiento de fabricación según una de las reivindicaciones precedentes,

caracterizado porque

la capa absorbente (3) se dopa de manera complementaria al sistema de capas intermedias (2) de forma que el dopaje complementario se dopa en exceso en la etapa de recristalización.

15.- Procedimiento de fabricación según una de las reivindicaciones precedentes,

30 caracterizado porque

el espesor de capa de al menos una capa parcial del sistema de capas intermedias (2) asciende a más de 10 nm y/o a menos de 10000 nm, especialmente a más de 100 nm y/o a menos de 1000 nm y/o porque el sistema de capas intermedias contiene compuestos de Si, O, C, N, B, P, Al, Ga, Sb, As e/o In, especialmente SiO₂, SiN_x, SiC, BC y/o BN o está constituido por éstos, y/o porque el sistema de capas intermedias (2) es conductor.

35 16.- Procedimiento de fabricación según una de las reivindicaciones precedentes y según la reivindicación 3,

caracterizado porque

40 el espesor de capa de al menos una capa parcial del sistema de capas de cubierta (4) asciende a más de 10 nm y/o a menos de 10000 nm, especialmente a más de 100 nm y/o a menos de 1000 nm y/o porque el sistema de capas de cubierta contiene compuestos de Si, O, C, N, B, P, Al, Ga, Sb, As e/o In, especialmente SiO₂, SiN_x, SiC, BC y/o BN, o está constituido por éstos.

- 17.- Procedimiento de fabricación según una de las reivindicaciones precedentes, caracterizado porque en la etapa de recristalización se acondiciona térmicamente.
- 5 18.- Procedimiento de fabricación según una de las reivindicaciones precedentes, caracterizado porque se controla mediante la potencia de calefacción y/o la distribución de la potencia de calefacción y/o la velocidad de alimentación y/o al menos una rampa de calentamiento y/o al menos una rampa de enfriamiento y/o la temperatura de una meseta de acondicionamiento térmico y/o mediante un tiempo de acondicionamiento térmico.
- 10 19.- Procedimiento de fabricación según una de las reivindicaciones precedentes y según la reivindicación 6, caracterizado porque se controla mediante la temperatura y/o un tiempo de acondicionamiento térmico o mediante el perfil de temperatura con el tiempo.
- 15 20.- Procedimiento de fabricación según una de las reivindicaciones precedentes y según la reivindicación 7, caracterizado porque el ajuste se realiza mediante un gradiente de temperatura en la capa absorbente (3) y/o en el sistema de capas de cubierta (4) y/o entre la capa absorbente (3) y el sistema de capas de cubierta (4).
- 20 21.- Procedimiento de fabricación según una de las reivindicaciones precedentes y según la reivindicación 8, caracterizado porque la transición pn o la capa emisora se produce aplicando una capa fuente enriquecida con el tercer dopante sobre la capa absorbente (3), imprimiendo, pulverizando o depositando sobre la capa absorbente (3) e incorporando a continuación o simultáneamente el tercer dopante en la capa absorbente (3) mediante acondicionamiento térmico.
- 25 22.- Procedimiento de fabricación según una de las reivindicaciones precedentes, caracterizado porque la segunda concentración se elige de forma que sea igual o menor que la concentración de dopante que va a alcanzarse en la capa absorbente (3) después de terminarse el procedimiento de fabricación.
- 30 23.- Procedimiento de fabricación según una de las reivindicaciones precedentes, caracterizado porque el dopaje de la capa absorbente (3) se controla mediante la velocidad y/o temperatura de recristalización.
- 35 24.- Procedimiento de fabricación según una de las reivindicaciones precedentes, caracterizado porque el dopaje de la capa absorbente (3) se controla mediante el número, el espesor y/o el contenido de dopante de las capas individuales del sistema de capas de cubierta (4) y/o del sistema de capas intermedias (2).
- 40 25.- Procedimiento de fabricación según una de las reivindicaciones precedentes, caracterizado porque en una parte orientada hacia el sustrato de base (1) de la capa absorbente (3) se forma una capa con una mayor concentración de dopante que en el resto de la capa absorbente (3), especialmente una capa de BSF (Back-Surface-Field, "campo de superficie negra"), controlándose la etapa de recristalización de forma que o calentando, enfriando y acondicionando térmicamente de forma que el primer dopante se incorpore por difusión desde el sistema de capas intermedias (2) en la capa absorbente (3) mientras que ésta está fundida y/o mientras que ésta solidifica de nuevo y/o mientras que ésta está solidificada.

- 26.- Procedimiento de fabricación según una de las reivindicaciones precedentes,
caracterizado porque
debido a una etapa de recristalización adicional la capa absorbente (3) se funde en su lado alejado del sustrato en un intervalo de espesor definido.
- 5 27.- Procedimiento de fabricación según la reivindicación precedente,
caracterizado porque
el intervalo de espesor fundido es inferior al espesor de la capa absorbente (3) y/o porque se fabrica una capa emisora, especialmente con un espesor superior a 0,1 μm e/o inferior a 10 μm .
- 10 28.- Procedimiento de fabricación según una de las reivindicaciones precedentes y según una de las reivindicaciones 2 ó 3,
caracterizado porque
la concentración del tercer dopante en la capa absorbente (3) antes de la etapa de recristalización o la fusión asciende a más de 0 átomos/ cm^3 y/o a menos de 10^{18} átomos/ cm^3 y/o porque esta concentración después de la etapa de recristalización o la fusión asciende a más de 10^{16} átomos/ cm^3 y/o a menos de 10^{23} átomos/ cm^3 , especialmente a más de $3 \cdot 10^{18}$ y/o a menos de $2 \cdot 10^{21}$ átomos/ cm^3 .
- 15 29.- Procedimiento de fabricación según una de las reivindicaciones precedentes,
caracterizado porque
la concentración del primer dopante en el sistema de capas intermedias (2) antes de la etapa de recristalización o la fusión asciende a más de 0 átomos/ cm^3 y/o a menos de 10^{23} átomos/ cm^3 y/o porque esta concentración después de la etapa de recristalización o la fusión asciende a más de 10^{16} átomos/ cm^3 .
- 20 30.- Procedimiento de fabricación según una de las reivindicaciones precedentes,
caracterizado porque
la concentración del segundo dopante en la capa absorbente (3) antes de la etapa de recristalización o la fusión asciende a más de 0 átomos/ cm^3 y/o a menos de 10^{17} átomos/ cm^3 y/o porque esta concentración después de la etapa de recristalización o la fusión asciende a más de 10^{14} átomos/ cm^3 y/o a menos de 10^{19} átomos/ cm^3 , especialmente a más 10^{16} átomos/ cm^3 y/o a menos de $5 \cdot 10^{17}$ átomos/ cm^3 .
- 25 31.- Procedimiento de fabricación según una de las reivindicaciones precedentes,
caracterizado porque
el primer y el segundo dopante provocan una conducción n (sistema n^+np) y porque el tercer dopante provoca una conducción p o porque inversamente el primer y el segundo dopante provocan una conducción p y porque el tercer dopante provoca una conducción n (sistema p^+pn) o porque el primer y el tercer dopante provocan una conducción n y porque el segundo dopante provoca una conducción p (sistema npn) o inversamente (sistema pnp) o porque el segundo y el tercer dopante provocan una conducción n y porque el primer dopante provoca una conducción p (sistema pnn^+) o inversamente (sistema npp^+).
- 30 32.- Procedimiento de fabricación según una de las reivindicaciones precedentes,
caracterizado porque
sobre la capa de base de sustrato (1) y/o sobre la capa absorbente (3) se aplica una capa de contacto metálica o una metalización.
- 35 33.- Procedimiento de fabricación según la reivindicación precedente y según una de las reivindicaciones 5 u 8,
caracterizado porque
sobre la capa emisora se aplica un contacto emisor.
- 40 34.- Procedimiento de fabricación según una de las reivindicaciones precedentes,

caracterizado porque

la capa de base de sustrato (1) y/o la capa absorbente (3) contienen silicio (Si) y/o son conductoras.

35.- Procedimiento de fabricación según una de las reivindicaciones precedentes y según la reivindicación 2 ó 3,

caracterizado porque

5 la capa de cubierta (4) o el sistema de capas de cubierta (4) se fabrican mediante deposición o mediante oxidación térmica.

10 36.- Uso de un procedimiento de fabricación según una de las reivindicaciones precedentes en el sector de la fabricación de componentes electrónicos, especialmente en la tecnología de Silicon-on-Insulator ("silicio sobre aislante"), o para la fabricación de o en el sector de celdas solares de capas delgadas, especialmente de celdas solares de capas delgadas de silicio cristalino.

37.- Sistema de capas semiconductoras, especialmente celda solar de capas delgadas o celda solar de capas cristalinas delgadas a base de silicio, fabricado mediante un procedimiento de fabricación según una de las reivindicaciones 1 a 35.

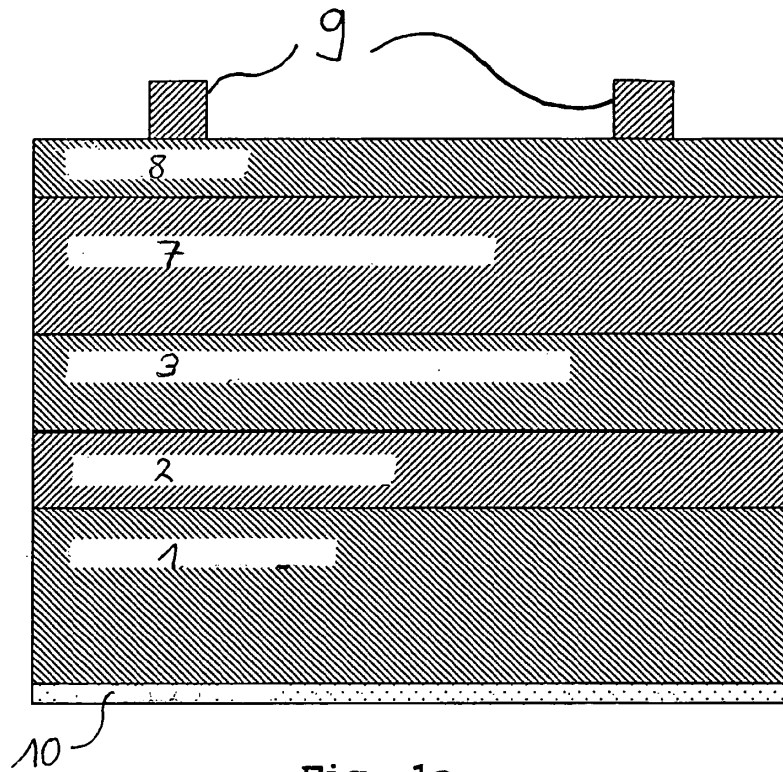


Fig. 1a

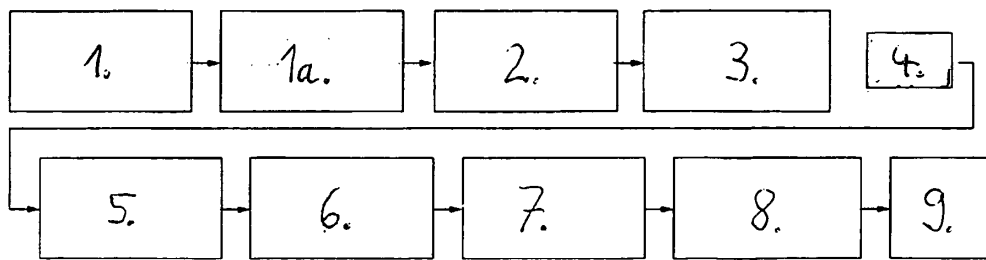


Fig. 1b

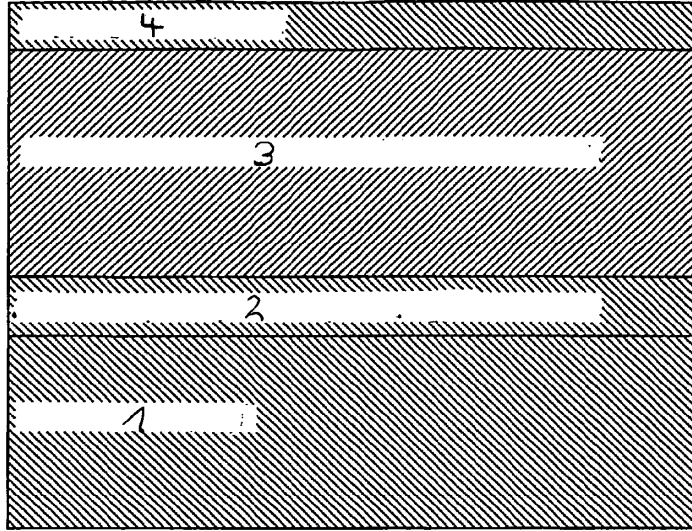


Fig. 2a

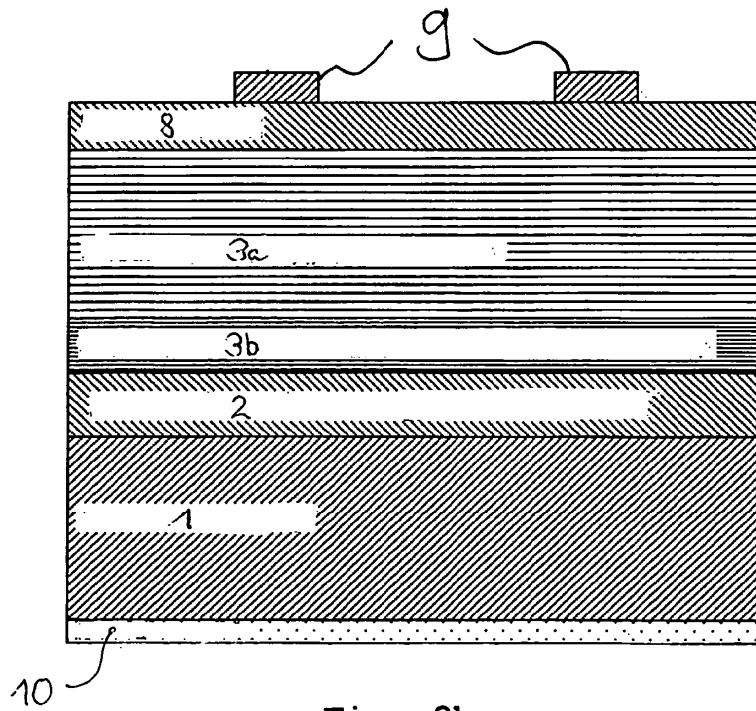


Fig. 2b