

(19)



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS  
ESPAÑA



(11) Número de publicación: **2 989 449**

(51) Int. Cl.:

**H01L 31/18** (2006.01)

**H01L 21/78** (2006.01)

**H01L 31/05** (2014.01)

(12)

## TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

(86) Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **24.09.2019 PCT/EP2019/075597**

(87) Fecha y número de publicación internacional: **02.04.2020 WO20064669**

(96) Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **24.09.2019 E 19778932 (4)**

(97) Fecha y número de publicación de la concesión europea: **31.07.2024 EP 3857617**

---

(54) Título: **Método para separar un elemento semiconductor que tiene una unión PN**

(30) Prioridad:

**24.09.2018 DE 102018123484**

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

**26.11.2024**

(73) Titular/es:

**FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT ZUR FÖRDERUNG DER ANGEWANDTEN FORSCHUNG E.V. (100.0%)  
Hansastr. 27c  
80686 München, DE**

(72) Inventor/es:

**LOHMÜLLER, ELMAR;  
PREU, RALF;  
BALIOZIAN, PUZANT;  
FELLMETH, TOBIAS;  
WÖHRLE, NICO;  
SAINT-CAST, PIERRE y  
RICHTER, ARMIN**

(74) Agente/Representante:

**ELZABURU, S.L.P**

**ES 2 989 449 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

Método para separar un elemento semiconductor que tiene una unión PN

La invención se refiere a un método para separar un elemento semiconductor con una unión pn según la reivindicación 1.

5 En la producción de elementos semiconductores, a menudo resulta deseable separar varios elementos semiconductores producidos sobre un sustrato separando el sustrato en al menos una superficie de separación de modo que los elementos semiconductores queden separados. Esta separación es necesaria en la fabricación de procesadores informáticos, ya que un gran número de procesadores informáticos suelen fabricarse en una oblea de silicio. Además, cada vez se utiliza más la separación de células solares fotovoltaicas:

10 Hoy en día, los módulos fotovoltaicos se fabrican normalmente a partir de células solares de silicio con una longitud de borde de aproximadamente 156 mm. La conexión se realiza mediante conexiones eléctricamente conductoras mediante elementos conductores, normalmente los llamados conectores de células, que conectan alternativamente las células solares en la parte delantera y trasera. Una desventaja de esta conexión es que la corriente alta (hasta aproximadamente 10 A) de las células solares individuales requiere una conductividad muy alta y, por tanto, secciones transversales de cable grandes en los conectores de células.

15 Una forma conocida de evitar esta desventaja es proporcionar dos o más células solares en una oblea de silicio para reducir proporcionalmente la corriente por célula solar. Estas no se separan hasta el final del procesamiento para poder producir con las obleas iniciales de gran tamaño durante el mayor tiempo posible y así mantener una alta productividad y poder utilizar equipos de producción establecidos.

20 Si las células solares todavía están conectadas eléctricamente mediante conectores de células como se ha descrito anteriormente, entre las células solares queda un espacio que no es fotovoltaicamente activo y, por tanto, conduce a una reducción del rendimiento del módulo.

25 Un método bien conocido para solucionar este inconveniente es el llamado solapamiento de células solares, por el cual la parte superior de un extremo de una célula solar está conectada eléctrica y directamente a la parte inferior de la siguiente célula. Para ello, los contactos externos en la parte delantera y trasera están implementados en los bordes opuestos de las células solares. Dado que en la célula solar normalmente no existen elementos de contacto muy conductores para minimizar las sombras y, en el caso del concepto de solapamiento basado en grandes células solares convencionales, las distancias a través de las cuales debe fluir la corriente en los dedos de contacto hasta los contactos externos son muy grandes, tras el procesamiento de las células solares, las obleas de silicio se cortan en tiras estrechas, de modo que se crean varias células solares fotovoltaicas con una forma típicamente rectangular para minimizar las pérdidas de energía en los contactos de los dedos de la célula solar durante el método de formación de solapas.

30 35 La separación de los elementos semiconductores fabricados sobre un sustrato, en particular una oblea de silicio, conduce a un aumento de la relación entre la circunferencia y la superficie y, con ello, a un aumento de las pérdidas de potencia normalizadas por superficie debido a la recombinación de bordes. La investigación ha demostrado (J. Dicker, "Analyse und Simultation von hocheffizienten Silizium-Solarzellenstrukturen für industrielle Fertigungstechniken", tesis doctoral, Universidad de Konstanz, 2003), en particular en la zona en donde una unión pn choca con una superficie de separación en la que se produjo la separación, se producen pérdidas de potencia. Una razón para ello es, en particular, la recombinación de bordes en las zonas casi neutras del emisor y de la base y, como se ha descrito anteriormente, en particular en la zona de carga espacial. Además, la separación de los elementos semiconductores separados en los bordes generados conduce a un aumento significativo de la propia tasa de recombinación. Esta influencia es especialmente relevante si el elemento semiconductor presenta en las demás superficies una alta calidad electrónica, en particular una menor tasa de recombinación debido a capas de pasivación u otros mecanismos de pasivación.

40 45 Por lo tanto, existe la necesidad de separar elementos semiconductores sin reducir significativamente la calidad electrónica del elemento semiconductor a través de la superficie de separación, en particular debido a efectos de recombinación en la superficie de separación.

50 Para evitar tales propiedades electrónicas negativas en la superficie de separación, se conoce la formación de un fuerte dopaje en la zona de la superficie de separación, que penetra completamente en el sustrato semiconductor, y la posterior separación dentro de este fuerte dopaje, de modo que después de la separación se forma un área de fuerte dopaje en las superficies de separación (W. P. Mulligan, A. Terao, D. D. Smith, P. J. Verlinden, y R. M. Swanson, "Development of chip-size Silicon solar cells", en Proceedings of the 28th IEEE Photovoltaic Specialists Conference, Anchorage, EE. UU., 2000, págs. 158-163). Este método tiene el inconveniente de que la formación del dopaje fuerte requiere mucho tiempo y, por tanto, no es adecuada para la producción industrial.

5 También se conoce la formación de las llamadas ventanas de emisor (D. König y G. Ebest, "New contact frame design for minimizing losses due to edge recombination and grid-induced shading", Solar Energy Materials and Solar Cells, vol. 75, n.º 3-4, págs. 381-386, 2003). En la producción del emisor mediante procesos de enmascaramiento y/o aplicación selectiva de una fuente de dopaje, como, por ejemplo, una pasta de dopaje, el emisor se diseña de tal manera que la unión pn no linda con la superficie de separación, sino que queda una distancia de algunas decenas de micrómetros entre la unión pn y la superficie de separación. Sin embargo, se necesitan pasos de enmascaramiento adicionales para formar la ventana del emisor, lo que significa que la producción lleva más tiempo y cuesta más.

10 También se conoce la creación de zanjas de aislamiento mediante ablación por láser, utilizando pastas de grabado aplicadas localmente utilizando tecnología de impresión (por ejemplo, dosificación, extrusión, serigrafía, inyección de tinta) o procesos de estructuración alternativos en la superficie celular para minimizar la influencia de las áreas altamente recombinativas en la superficie de separación del elemento semiconductor. De este modo, las zanjas de aislamiento están separadas de la superficie de separación y separan eléctricamente una zona emisora marginal, que ya no está disponible para la función del elemento semiconductor, del componente interno del elemento semiconductor. La desventaja de estos procesos es que normalmente tales procesos solo son posibles en el llamado *frontend* y, por tanto, en una etapa del método de fabricación en la que el elemento semiconductor, en particular la célula solar, aún no está pasivado ni metalizado, ya que suelen necesitarse procesos a altas temperaturas para pasivar las zanjas de aislamiento (M. D. Abbott, J. E. Cotter, T. Trupke y R. A. Bards, "Investigation of edge recombination effects in silicon solar cell structures using photoluminescence", Applied Physics Letters, vol. 88, n.º 11, pág. 114105, 2006). El documento US 2008/230116 A1 describe un método para separar un elemento semiconductor con una unión pn, según el estado de la técnica.

15 Por lo tanto, la presente invención se basa en el objetivo de proporcionar un método para separar un elemento semiconductor con unión pn y un elemento semiconductor con unión pn, de modo que se reduzca una influencia negativa de la superficie de separación sobre la calidad electrónica y puedan evitarse o al menos reducirse las desventajas de los métodos conocidos hasta ahora.

20 25 Este objetivo se resuelve mediante un método según la reivindicación 1. De las reivindicaciones dependientes se desprenden formas de realización ventajosas.

30 El método según la invención está diseñado preferiblemente para la fabricación de un elemento semiconductor según la invención, en particular una forma de realización preferida del mismo. El elemento semiconductor según la invención se forma preferiblemente mediante el método según la invención, en particular una forma de realización preferida del mismo.

El método según la invención para separar un elemento semiconductor con unión pn presenta las siguientes etapas:

35 En una etapa A del método, se proporciona un elemento semiconductor que tiene al menos un emisor y al menos una base con una unión pn formada entre el emisor y la base y una capa de conducción transversal no metálica para la conducción transversal de los portadores de carga mayoritarios del emisor, comprendiendo el emisor la capa de conducción transversal y/o estando la capa de conducción transversal configurada en paralelo al emisor y conectada con este de forma eléctricamente conductora.

40 En una etapa B del método se separa el elemento semiconductor separándolo en al menos dos subelementos sobre al menos una superficie de separación.

45 45 Es esencial que entre las etapas A y B del método en una etapa B0 del método se forme una zona de prevención de conducción transversal en la capa de conducción transversal para reducir la capacidad de conducción transversal en al menos un factor de 10 y que en la etapa B del método la superficie de separación se una y/o penetre en la zona de prevención de conducción transversal.

50 55 La invención se basa en el conocimiento de que la recombinación en un semiconductor en general y, por tanto, también en la superficie de separación, depende proporcionalmente del producto entre el número de huecos y electrones y, por tanto, la reducción de la calidad electrónica del elemento semiconductor se debe en gran medida al mecanismo de transporte de electrones y huecos a la superficie de separación. Si se impide o al menos se restringe significativamente el flujo de electrones o huecos hacia la superficie de separación, se evita o al menos se reduce significativamente una reducción de la calidad electrónica del elemento semiconductor a través de la superficie de separación, en particular debido a actividades de recombinación en la superficie de separación. De este modo se impide o al menos se limita claramente el flujo de portadores de carga en el emisor hacia la superficie de separación. Si en la superficie de separación falta el respectivo compañero de recombinación complementario a la base, no se produce la recombinación o la recombinación se reduce significativamente.

En el método según la invención, antes de la separación del elemento semiconductor se forma la zona de prevención de conducción transversal, que llega hasta la superficie de separación y, por tanto, al menos linda con ella, siendo en particular atravesada por la superficie de separación. Debido a la capacidad de conducción transversal reducida en al menos un factor de 10, la influencia negativa de la superficie de separación sobre la calidad electrónica se evita o al menos se reduce significativamente mediante la zona de prevención de conducción transversal como se ha descrito anteriormente.

Por lo tanto, es ventajoso reducir la capacidad de conducción transversal mediante la zona de prevención de conducción transversal en al menos un factor de 10, en particular en al menos un factor de 100. En particular es ventajoso impedir por completo la conducción transversal de los portadores de carga del emisor en la zona de prevención de conducción transversal.

- 5 En una pluralidad de elementos semiconductores, en particular en células solares fotovoltaicas con emisores fabricados, por ejemplo, mediante difusión de átomos de dopaje o mediante implantación, se produce una conducción transversal de portadores de carga esencialmente en el emisor. Normalmente, la conducción transversal se produce en estructuras de contacto metálicas, que están unidas eléctricamente con el emisor para alimentar o (en el caso de células solares fotovoltaicas) retirar los portadores de carga mayoritarios.
- 10 En un emisor del tipo de dopaje n, los electrones representan los portadores de carga mayoritarios y, correspondientemente, en un emisor de tipo de dopaje p, los huecos.

También se conocen estructuras emisoras que tienen poca o ninguna conductividad transversal. Se conoce el uso de los llamados heteroemisores, en los que se forma una fina capa interna entre el emisor y la base. En particular, se conocen estructuras de células solares en las que se forma un heteroemisor mediante una capa de emisor dopada de silicio amorfo. Tales capas dopadas de silicio de silicio amorfo presentan solo una baja conductividad transversal, por lo que normalmente, junto a la capa de emisor, se aplica una capa con una alta conductividad transversal, es decir, una baja resistencia a la conducción transversal, por ejemplo, una capa de óxido conductor transparente (TCO, *transparent conducting oxide*). En este caso, la conducción transversal de los portadores de carga mayoritarios del emisor se produce esencialmente fuera de la capa de emisor dopada y la capa de TCO mencionada anteriormente representa la capa de conducción transversal.

En el método según la invención es esencial, como se ha descrito anteriormente, impedir la conducción transversal de los portadores de carga del emisor hacia la superficie de separación. Por consiguiente, la formación de la zona de prevención de conducción transversal tiene lugar al menos en la capa de conducción transversal y, por tanto, por ejemplo, en la capa de TCO antes mencionada en el caso de un heteroemisor o en la propia capa de emisor dopada en el caso de un emisor difundido o implantado, como se ha descrito anteriormente.

El método según la invención ofrece la ventaja de que se puede implementar de forma económica en el método de fabricación y, en particular, la separación se puede aplicar al final del método de fabricación, de modo que se puede contar con los beneficios de un procesamiento económico de gran superficie del sustrato, concretamente una oblea de silicio, durante el método de fabricación.

- 30 Por lo tanto, la etapa B0 del método se lleva a cabo preferiblemente después de formar el emisor y, dado el caso, una capa de conducción transversal no metálica, si esta se encuentra fuera del emisor, como, por ejemplo, una capa de TCO, de forma especialmente preferible antes de formar las capas de pasivación. De manera adicional y/o alternativa, la etapa B0 del método se lleva a cabo preferiblemente antes de aplicar una estructura de contacto metálica, que está conectada eléctricamente de forma conductora al emisor.
- 35 El objetivo mencionado al principio se soluciona además mediante un elemento semiconductor según la reivindicación 13. El elemento semiconductor según la invención presenta al menos un emisor y al menos una base, habiendo formada entre el emisor y la base una unión pn y al menos una capa de conducción transversal no metálica para la conducción transversal de los portadores de carga mayoritarios del emisor, comprendiendo el emisor la capa de conducción transversal y/o la capa de conducción transversal paralela al emisor y estando conectado eléctricamente a esta. El elemento semiconductor representa un elemento semiconductor separado con un lado de fractura en donde se separó el elemento semiconductor. Es importante que se diseñe y disponga una zona de prevención de conducción transversal en el lado de fractura de tal manera que la capacidad de conducción transversal se reduzca en al menos un factor de 10, presentando la zona de prevención de conducción transversal perpendicular al lado de fractura una profundidad en el intervalo de 5 µm a 500 µm, en particular de 10 µm a 200 µm.
- 45 De este modo se consiguen las ventajas mencionadas anteriormente para el método según la invención.

La zona de conducción transversal está configurada ventajosamente como una zanja de separación, por medio de la cual se reduce el espesor de la capa de conducción transversal. De esta manera se consigue de manera sencilla una reducción de la conductividad transversal de la capa de conducción transversal y con ello un aumento de la resistencia a la conducción transversal, ya que un menor espesor provoca una mayor resistencia a la conducción transversal.

- 50 Preferiblemente, el espesor de la capa de conducción transversal en la zona de prevención de conducción transversal se reduce al menos a la mitad, preferiblemente al menos al 80 %.

En particular, es ventajoso que la zanja de separación esté diseñada para atravesar la unión pn. Esto también impide que la unión pn y, por tanto, la zona de carga espacial se unan a la superficie de separación y, por tanto, se evitan los efectos negativos mencionados al principio.

Ventajosamente, la zanja de separación tiene una profundidad que asciende al menos al 10 %, en particular al menos al 20 %, preferiblemente al menos al 40 % del espesor del elemento semiconductor. De este modo, la separación se puede realizar de forma simplificada en la etapa B del método, en particular la zanja de separación puede servir como punto de ruptura predeterminado;

- 5 Para evitar roturas en la zona de la zanja de separación en las etapas del método anteriores a la etapa B del proceso, es ventajoso que los extremos de la zanja de separación estén separados respectivamente de los bordes del elemento semiconductor, en particular una distancia en el rango de 0,25 mm a 20 mm, preferiblemente de 0,5 mm a 5 mm. Las zonas entre los extremos de la zanja de separación y los bordes del sustrato de los elementos semiconductores antes de la separación estabilizan así la oblea antes de la etapa B del proceso. En la etapa B del proceso, antes de separar el elemento semiconductor, la zanja de separación se alarga preferiblemente de modo que los extremos de la zanja de separación tienen una distancia de menos de 0,3 mm, en particular menos de 0,1 mm, a los bordes del elemento semiconductor, en particular de modo que los extremos de la zanja de separación lleguen hasta los bordes del elemento semiconductor. Esto elimina el efecto estabilizador y la separación se puede realizar de manera simplificada.

- 10 En particular, es ventajoso que entre las etapas B0 y B del método, en una etapa B1 del método, se aplique una capa de pasivación en la zanja de separación, que cubra al menos la unión pn adyacente a la zanja de separación. Esto evita que la unión pn se una a la superficie de separación y reduzca así la calidad electrónica del elemento semiconductor. Además, mediante la aplicación de una capa de pasivación se evita o al menos se reduce un efecto negativo de la unión pn situada junto a la superficie de la zanja de separación. La capa de pasivación es preferiblemente una capa dieléctrica, de manera particularmente preferida una capa con cargas estacionarias, de manera particularmente preferida con una densidad de carga superficial mayor o igual a  $10^{12} \text{ cm}^{-2}$ .

- 15 Como se ha descrito anteriormente, algunas estructuras de emisor tienen solo una baja capacidad de conducción transversal, es decir, una alta resistencia a la conducción transversal, y en tales estructuras la capa de conducción transversal por lo tanto se forma paralela al emisor por separado del emisor, como, por ejemplo, la capa de TCO a modo de capa de conducción transversal anteriormente mencionada. En este caso, la capa de conducción transversal se encuentra fuera del emisor.

- 20 En una forma de realización ventajosa, en la que la capa de conducción transversal está dispuesta paralela al emisor y formada por separado de este, es ventajoso que la zanja de separación esté diseñada para reducir el espesor de la capa de conducción transversal, en particular, que la zanja de separación esté diseñada para atravesar la capa de conducción transversal.

- 25 La zanja de separación puede estar formada de manera en sí conocida, en particular mecánica y/o químicamente. La zanja de separación se forma ventajosamente mediante ablación por láser y/o mediante grabado local (por ejemplo, pasta de grabado aplicada mediante tecnología de impresión, químicamente húmeda o utilizando medios de grabado alternativos).

- 30 En particular, es ventajoso realizar un tratamiento posterior después de la formación de la zanja de separación, para reducir la recombinación de superficies en las paredes de la zanja de separación, en particular en la zona en donde la unión pn linda con la zanja de separación. Este tratamiento posterior se lleva a cabo preferiblemente mediante grabado químico húmedo.

- 35 En otra forma de realización ventajosa del método según la invención se modifican las propiedades del material de la capa de conducción transversal en la zona de prevención de conducción transversal para reducir la capacidad de conducción transversal.

40 En este caso también se evita o al menos se reduce la conducción transversal de portadores de carga desde el emisor hasta la superficie de separación, sin que sea necesario retirar la capa de conducción transversal en la zona de prevención de conducción transversal.

- 45 Ventajosamente, la estructura cristalina del material se modifica en la zona de prevención de conducción transversal, de forma especialmente preferible mediante calor local, preferiblemente mediante un láser.

Alternativa o adicionalmente, el emisor se forma preferiblemente con una resistencia de capa aumentada en la zona de prevención de conducción transversal, tanto en cuanto el emisor presenta una concentración de dopaje efectiva más baja en la zona de prevención de conducción transversal. En particular, se prefiere que en la zona de prevención de conducción transversal el emisor tenga una resistencia de capa que sea mayor en al menos un factor de 10.

- 50 En una configuración preferida, la resistencia de la capa de emisor en la zona de prevención de conducción transversal se aumenta mediante contradifusión: en la zona de prevención de conducción transversal se lleva a cabo una contradifusión con un material de dopaje de un tipo de dopaje opuesto al dopaje del emisor. Esto reduce la concentración de dopaje efectiva en la zona de prevención de conducción transversal y la resistencia de la capa aumenta en consecuencia. La contradifusión se realiza ventajosamente después de la formación del emisor.

También está dentro del alcance de la invención que, mediante contradifusión, el tipo de dopaje efectivo de la zona de prevención de conducción transversal cambie al tipo de dopaje opuesto al tipo de dopaje del emisor. En este caso, la zona de prevención de conducción transversal tiene un tipo de dopaje opuesto al del emisor. También está dentro del alcance de la invención que la zona contradifundida se extienda más allá de la profundidad del emisor.

- 5 El elemento semiconductor se puede separar en la etapa B del método de manera conocida en sí, en particular mediante uno o más de los métodos descritos a continuación:
- a) corte con una sierra para astillas (W. P. Mulligan, A. Terao, D. D. Smith, P. J. Verlinden, y R. M. Swanson, "Development of chip-size Silicon solar cells", in Proceedings of the 28th IEEE Photovoltaic Specialists Conference, Anchorage, EE. UU., 2000, págs. 158-163);
  - 10 b) creación de una zanja mediante láser con posterior rotura mecánica (M. Oswald, M. Turek, J. Schneider, and S. Schönfelder, "Evaluation of Silicon solar cell separation techniques for advanced module concepts", en Proceedings of the 28th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, París, Francia, 2013, págs. 1807-1812);
  - 15 c) separación Térmica por láser (TLS): M. Oswald, M. Turek, J. Schneider, y S. Schönfelder, "Evaluation of Silicon solar cell separation techniques for advanced module concepts", en Proceedings of the 28th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, París, Francia, 2013, págs. 1807-1812; S. Eiternick, F. Kaule, H.-U. Zühlke, T. Kießling, M. Grimm, S. Schoenfelder, y M. Turek, "High quality half-cell Processing using thermal laser separation", Energy Procedia, vol. 77, págs. 340-345, 2015.
  - 20 d) corte inducido por láser (LIC): S. Weinhold, A. Gruner, R. Ebert, J. Schille, y H. Exner, "Study of fast laser induced cutting of Silicon materials", en Proc. SPIE 8967, Laser Applications in Microelectronic and Optoelectronic Manufacturing (LAMOM), San Francisco, EE. UU., 2014, 89671J.

Los estudios muestran que es especialmente ventajoso realizar la separación en la etapa B del método mediante TLS o LIC. El método TLS se basa en que mediante un primer rayo láser se crea una corta zanja láser, que, a continuación, mediante calentamiento (por ejemplo, con un segundo rayo láser) y enfriamiento (por ejemplo, con una mezcla de aire y agua) simultáneos conduce a una separación de la oblea a lo largo del borde que se crea en cualquier dirección mediante tensión termomecánica aplicada. Esto permite en particular tener una superficie de separación independiente de la orientación del cristal de la oblea a separar. El método LIC es bastante similar al método TLS, aunque en el LIC no sigue al calentamiento (por ejemplo, mediante un rayo láser) ningún enfriamiento activo. El método LIC también se conoce como método LDC (*Laser Direct Cleaving*).

- 30 Otras características y formas de realización ventajosas de la presente invención se explican a continuación mediante ejemplos de realización y figuras. Se muestra en la:

- Figura 1 cinco ejemplos de realización de elementos semiconductores según la invención en una vista en sección;
- Figura 2 una vista superior de una oblea semiconductora para ilustrar la posición de las superficies de separación y
- 35 Figura 3 una vista en planta superior de una oblea semiconductora con zanjas de separación, cuyos extremos están separados de los bordes del elemento semiconductor.

Las figuras son representaciones esquemáticas, no a escala real. En particular, las anchuras y espesores de las capas individuales no corresponden a las condiciones reales para una mejor representación.

- 40 En la Figura 1 se muestran cinco ejemplos de realización a a e. Para cada ejemplo de realización, el estado antes de la separación se muestra en la columna i) de la izquierda y el estado después de la separación se muestra en la columna ii) de la derecha.

A continuación se explican a modo de ejemplo de realización las células solares fotovoltaicas como elementos semiconductores. Los elementos semiconductores mostrados también pueden estar configurados como transistor en una modificación de los ejemplos de realización.

- 45 A continuación se explica, a partir del primer ejemplo de realización de un elemento 1a semiconductor según la invención representado en la Figura 1a, un primer ejemplo de realización de un método según la invención:

En una etapa A del método se proporciona el elemento 1a semiconductor. Este presenta en el presente caso un emisor 2a del tipo de dopaje n formado por difusión desde la fase gaseosa y correspondientemente una base 3a, que está dopada con un material de dopaje del tipo de dopaje p. En consecuencia, se forma una unión 4a pn entre el emisor 2a y la base 3a. El emisor y la base se formaron en una oblea de silicio. En una modificación del ejemplo de realización, el emisor se forma mediante difusión a partir de una capa de dopaje aplicada previamente o mediante implantación. También se pueden intercambiar los tipos de dopaje de emisor y base.

En una etapa B0 del método se forma una zona 5a de prevención de conducción transversal en la capa de conducción transversal, es decir, en el presente caso en el emisor 2a. La zona de prevención de conducción transversal linda con una superficie T de separación, en la que a continuación debería realizarse la separación. La zona de prevención de conducción transversal es perpendicular al lado de fractura y, por tanto, perpendicular a la superficie T de separación con una profundidad TQ en el intervalo de 5 µm a 500 µm, en este caso 100 µm.

Como puede verse en la Figura 1a, i, dos zonas 5a de prevención de conducción transversal están formadas simétricamente a ambos lados de la superficie T de separación, que en este estado forman una zona de prevención de conducción transversal común, que después de la separación se separa correspondientemente en dos zonas 5a de prevención de conducción transversal. En el presente caso, la zona 5a de prevención de conducción transversal está configurada como una zanja de separación, en donde el espesor del emisor 2a se redujo en un 80 % mediante ablación con láser. Esto dio como resultado un aumento de la resistencia a la conducción transversal del emisor en un factor de 100 en la zona de la zona de prevención de conducción transversal, es decir, en la zona del emisor adelgazado y, con ello, una reducción de la capacidad de conducción transversal en un factor de 100.

A continuación, se fabrican otros componentes conocidos de una célula solar: estos comprenden capas de pasivación en la parte superior delantera y en la parte inferior trasera, estructuras de metalización en la parte delantera y trasera para la evacuación de los portadores de carga, así como capas antirreflectantes en la parte delantera y, en caso necesario, en la parte posterior para aumentar la absorción de la luz. Estos componentes no se muestran para mayor claridad.

Por lo tanto, en este ejemplo de realización se produce una conducción transversal de los portadores de carga mayoritarios en el emisor 2a hacia las estructuras metálicas de contacto frontales (no representadas). En este caso, el emisor 2a representa también la capa de conducción transversal.

A continuación, en una etapa B del método se realiza una separación en la superficie T de separación según el método TLS descrito anteriormente. La superficie T de separación es perpendicular a la superficie de dibujo en la Figura 1 y, por lo tanto, penetra en la base 3a y el emisor 2a.

El método TLS se realiza empezando por la parte posterior, lo que significa que primero se forma una zanja inicial con un láser en la parte posterior que queda por debajo, en la zona en la que la línea T de separación corta la parte posterior. La zanja inicial comienza en un borde del elemento semiconductor. La zanja inicial no se extiende por toda la anchura del elemento semiconductor. Las zanjas iniciales típicas tienen una longitud en el intervalo de 200 µm a 4 mm, normalmente menos de 2 mm. A continuación, se separa el elemento semiconductor como se ha descrito anteriormente mediante calentamiento y enfriamiento simultáneos.

El resultado se muestra en la Figura 1a, ii: de este modo se obtienen dos elementos semiconductores simétricos en imagen especular, cada uno de los cuales presenta una zona 5a de prevención de conducción transversal, que está unida a la superficie T de separación.

Para evitar repeticiones, solo se analizan las diferencias esenciales al explicar las Figuras 1b a 1e:

La Figura 1b muestra una modificación del método según la Figura 1a como segundo ejemplo de realización de un método según la invención, en donde la zona 5b de prevención de conducción transversal configurada como zanja de separación penetra completamente en la unión 4b pn entre el emisor 2b y la base 3b.

Entre la etapa B0 del método y la etapa B del método, es decir, antes de la separación, se lleva a cabo un método de grabado para evitar posibles daños a las paredes de la zanja de separación. Además, sobre las paredes de la zanja de separación se aplica mediante oxidación térmica una capa de óxido de silicio que cubre así también la unión 4b pn en la zona en la que linda con la zona de prevención de conducción transversal. Esto aumenta aún más la calidad electrónica. La zanja de separación tiene una profundidad TG de varios 100 nm a 50 µm, en este caso 20 µm, lo que corresponde por tanto al 10 % del espesor del elemento semiconductor con un espesor de 200 µm.

El resultado después de la separación en la superficie T de separación en la etapa B del método se muestra en la Figura 1b, ii. También en este caso se encuentran dos elementos 1b semiconductores especulares.

En un tercer ejemplo de realización del método según la invención según la Figura 1c se realiza una modificación de modo que la zona 5c de prevención de conducción transversal en el emisor 2c no esté configurada como zanja de separación, sino como zona de dopaje reducido de emisores. Esto se logra mediante contradifusión en la zona 5c de prevención de conducción transversal: como en los ejemplos de realización anteriores, el emisor 2c presenta dopaje de tipo n y la base 3c presenta dopaje de tipo p. Introduciendo átomos de boro mediante difusión local (mediante calentamiento, en particular calentamiento local, preferiblemente mediante un láser) desde un medio de dopaje que contiene el material de dopaje, en particular una pasta de dopaje, en la zona 5c de prevención de conducción transversal, se consigue una reducción de la concentración de dopaje eficaz del emisor en la zona 5c de prevención de conducción transversal, de modo que, en consecuencia, se consigue un aumento de la resistencia de capa del emisor y, por tanto, un aumento de la resistencia a la conducción transversal del emisor en un factor de 100.

Después de la separación en la etapa B del método (que se muestra en la Figura 1c, ii), el flujo de corriente de los portadores de carga en el emisor 2c hacia la superficie T de separación se reduce debido al aumento de la resistencia de la capa de emisor en la zona 5c de prevención de conducción transversal.

5 Las figuras 1d ye muestran un cuarto y un quinto ejemplo de realización, en donde el emisor está diseñado como heteroemisor:

En una oblea de silicio, que en el presente caso presenta dopaje de tipo n, hay formada una base 3d, 3e. En la parte frontal está aplicado un sistema de capas que, partiendo de la base 3d, 3e, presenta una capa 2d3, 2e3 de silicio propia (capa de i-Si), una capa 2d2, 2e2 de silicio amorfo (capa de a-Si) y una capa 2d1, 2e1 de óxido transparente (capa de TCO).

10 De este modo, el emisor está formado como heteroemisor mediante la capa de a-Si y la capa de i-Si. La capa (2d2, 2e2) de a-Si tiene solo una baja capacidad de conducción transversal, es decir, una alta resistencia a la conducción transversal. Para poder evacuar los portadores de carga mayoritarios mediante conducción transversal, la capa 2d1, 2e1 de TCO está dispuesta delante de la capa 2d2, 2e2 de a-Si. Por tanto, en estos dos ejemplos de realización la capa TCO representa la capa de conducción transversal.

15 Por consiguiente, en la etapa B0 del método se forma una zona 5d, 5e de prevención de conducción transversal en la capa 2d1, 2e1 de TCO.

En el cuarto ejemplo de realización según la Figura 1d, la zona 5d de prevención de conducción transversal está configurada como una zanja de separación, en la que la capa 2d1 de TCO en la zona 5d de prevención de conducción transversal se eliminó por completo mediante ablación con láser. Como se puede ver en la Figura 1d, ii, después de 20 la separación, el emisor con la capa 2d2 de a-Si y la capa 2d3 de i-Si se une a la superficie T de separación sin cambios, pero la capa 2d1 de TCO está espaciada de la superficie T de separación. Debido a la baja conductividad transversal de la capa 2d2 de a-Si explicada anteriormente, en este caso también se reduce claramente la conducción transversal de los portadores de carga desde el emisor hasta la superficie de separación.

25 En el quinto ejemplo de realización según la Figura 1e, la zona 5e de prevención de conducción transversal está configurada de tal manera que la estructura del TCO se transforma mediante calor en una forma con una conductividad eléctrica claramente reducida, en particular la estructura cristalina se convierte en una estructura parcialmente amorfa o amorfita. Incluso sin cambiar el espesor de la capa 2e1 de TCO en la zona 5e de prevención de conducción transversal, la resistencia a la conducción transversal de la capa de TCO en la zona 5e de prevención de conducción transversal se incrementa de esta manera en un factor de 100.

30 En la Figura 1, por razones de mejor visibilidad, solo se muestra una superficie de separación.

Al separar células solares fotovoltaicas, por ejemplo, para formar módulos según la tecnología de solapamiento mencionada al principio, normalmente se separan varias células solares partiendo de una oblea de silicio.

35 La Figura 2 muestra una vista esquemática superior desde arriba de una oblea de silicio en la que se han formado células solares fotovoltaicas. Uno de los métodos descritos anteriormente se aplica sobre varias superficies T de separación, en este caso cuatro, de modo que tras la separación quedan cinco elementos semiconductores.

40 La Figura 3 muestra otra vista esquemática superior desde arriba de una oblea de silicio en la que se han formado células solares fotovoltaicas, para ilustrar el ejemplo de realización según la Figura 1b). Las zonas 5b de prevención de conducción transversal, configuradas como zanjas de separación, están separadas de los bordes del elemento semiconductor con una distancia A de 1 mm. Esto conduce a una estabilización de la oblea semiconductor, a pesar de que las zanjas de separación tienen una profundidad TG del 30 % del espesor del elemento semiconductor. Antes de separar los elementos semiconductores se siguen formando las zanjas de separación hasta los bordes, de modo que los extremos de las zanjas de separación se encuentran en los bordes y, por tanto, la distancia A es 0. La separación se puede realizar entonces de forma simplificada, con menor riesgo de errores, ya que se ha eliminado la estabilización descrita anteriormente continuando las zanjas de separación.

#### 45 **Lista de signos de referencia**

1a, 1b, 1c, 1d, 1e	Elemento semiconductor
2a, 2b, 2c	Emisor
2d1, 2e1	Capa de TCO
2d2, 2e2	Capa de a-Si
50 2d3, 2e3	Capa de i-Si
3a, 3b, 3c, 3d, 3e	Base

# ES 2 989 449 T3

4a, 4b, 4c	Unión pn
5a, 5b, 5c, 5d, 5e	Zona de prevención de conducción transversal
T	Superficie de separación
TQ	Profundidad de la zona de prevención de conducción transversal
5 TG	Profundidad de la zanja de separación
A	Distancia al borde

## REIVINDICACIONES

1. Método para separar un elemento (1a, 1b, 1c, 1d, 1e) semiconductor con una unión (4a, 4b, 4c) pn, que comprende las etapas del método
- 5      A. proporcionar un elemento (1a, 1b, 1c, 1d, 1e) semiconductor que tiene al menos un emisor (2a, 2b, 2c) y al menos una base (3a, 3b, 3c, 3d, 3e), con una unión (4a, 4b, 4c) pn formada entre el emisor (2a, 2b, 2c) y la base (3a, 3b, 3c, 3d, 3e), y tiene una capa de conducción transversal no metálica para la conductividad transversal de portadores de carga mayoritarios del emisor (2a, 2b, 2c), comprendiendo el emisor (2a, 2b, 2c) la capa de conducción transversal y/o estando formada la capa de conducción transversal en paralelo con el emisor (2a, 2b, 2c) y estando conectada al mismo de forma eléctricamente conductora,
- 10     B. separar el elemento (1a, 1b, 1c, 1d, 1e) semiconductor separándolo en al menos dos subcomponentes en al menos una superficie (T) de separación,
- 15     de modo que entre las etapas A y B del método, en una etapa B0 del método, se forma una zona (5a, 5b, 5c, 5d, 5e) de prevención de conducción transversal en la capa de conducción transversal para reducir la capacidad de conducción transversal al menos en un factor de 10 y, en la etapa B del método, la superficie (T) de separación linda y/o penetra en la zona (5a, 5b, 5c, 5d, 5e) de prevención de conducción transversal, caracterizado por que
- la zona (5a, 5b, 5c, 5d, 5e) de prevención de conducción transversal está diseñada como una zanja de separación, penetrando la zanja de separación completamente en la capa de conducción transversal.
- 20     la zanja de separación se forma de manera que penetre en la unión (4a, 4b, 4c) pn,
- 25     entre las etapas B0 y B del método, en una etapa B1 del método, se aplica una capa de pasivación en la zanja de separación, que cubre al menos la unión (4a, 4b, 4c) pn adyacente a la zanja de separación,
- 30     en la etapa B del método la separación se lleva a cabo mediante separación térmica por láser (TLS, LIC o LDC) y
- 35     La etapa B0 del método se lleva a cabo antes de aplicar una o varias estructuras de contacto metálicas.
2. Método según la reivindicación 1, caracterizado por que la zanja de separación tiene una profundidad (TG) que es al menos el 10 %, en particular al menos el 20 %, preferiblemente al menos el 40 % del espesor del elemento semiconductor.
3. Método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que la capa (2d1, 2e1) de conducción transversal está dispuesta en paralelo y por separado del emisor (2a, 2b, 2c).
4. Método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que la zanja de separación se forma mediante ablación láser y/o mediante grabado local.
5. Método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que
- 35     la zanja de separación está formada de manera que esté separada de los bordes del elemento semiconductor, en particular a una distancia en el intervalo de 0,25 mm a 20 mm, preferiblemente de 0,5 mm a 5 mm, preferiblemente
- en la etapa B del método, antes de separar el elemento semiconductor, la zanja de separación se extiende de manera que los extremos de la zanja de separación estén a una distancia de menos de 0,3 mm, en particular menos de 0,1 mm, de los bordes del elemento semiconductor, en particular de manera que los extremos de la zanja de separación alcancen los bordes del elemento semiconductor.
- 40     6. Método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que en la zona (5a, 5b, 5c, 5d, 5e) de prevención de conducción transversal, se modifica la propiedad material de la capa de conducción transversal para reducir la capacidad de conducción transversal.
- 45     7. Método según la reivindicación 6, caracterizado por que en la zona (5a, 5b, 5c, 5d, 5e) de prevención de conducción transversal se modifica la estructura cristalina del material, en particular a una forma con conductividad eléctrica reducida, preferiblemente de un estado cristalino a un estado parcialmente amorfo o amorfo, en particular mediante acción térmica local, preferiblemente por medio de un láser o un haz de partículas.
8. Método según cualquiera de las reivindicaciones 6 a 7, caracterizado por que en la zona (5a, 5b, 5c, 5d, 5e) de prevención de conducción transversal, la resistencia de capa del emisor se incrementa al menos en un factor de 10, preferiblemente por contradifusión.

9. Método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que la etapa B0 del método se lleva a cabo después de la formación del emisor, en particular por que la etapa B0 del método se lleva a cabo antes de la formación de las capas de pasivación.

Figura 1

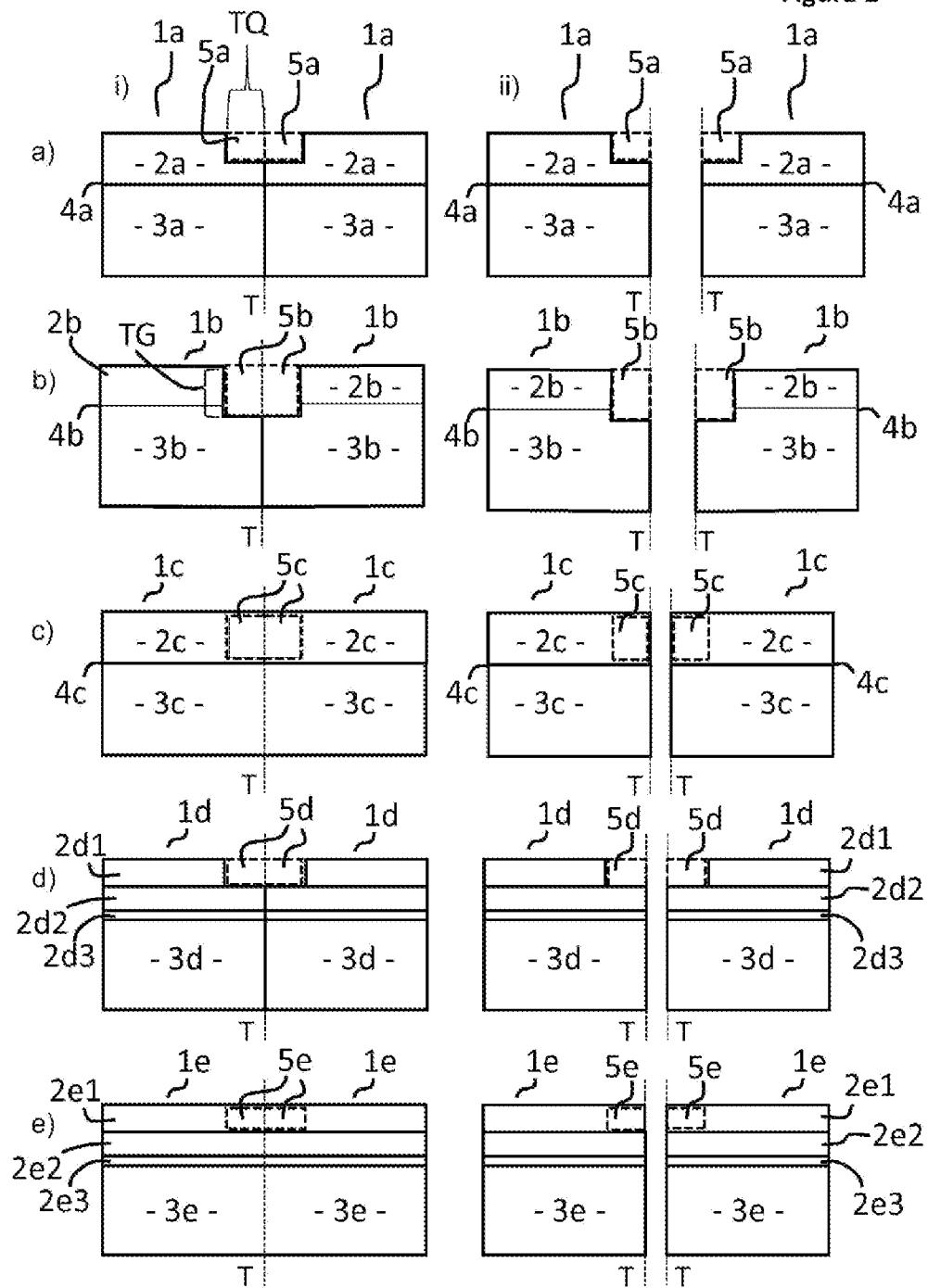


Figura 2

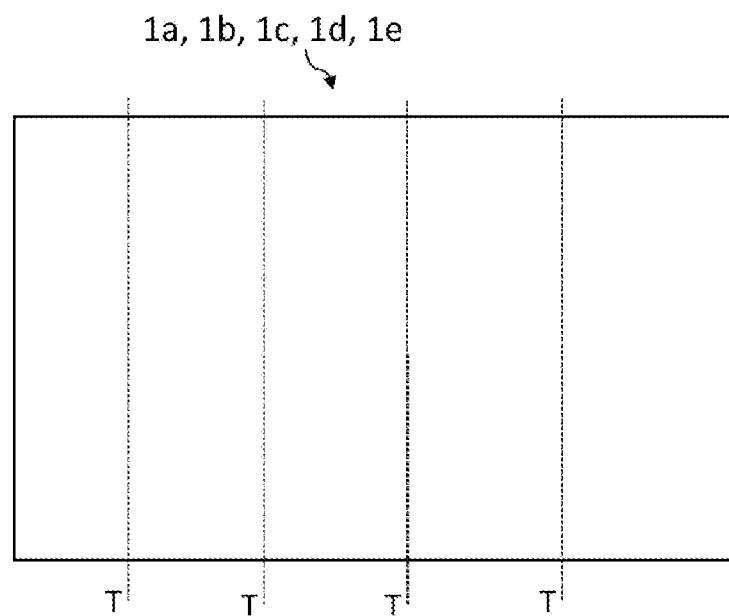


Figura 3

