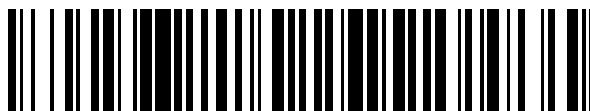


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 947 010**

51 Int. Cl.:

H01L 31/043 (2014.01)

H01L 31/078 (2006.01)

H01L 31/0224 (2006.01)

H01L 51/42 (2006.01)

H01L 51/44 (2006.01)

H01L 27/30 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **20.12.2018** E 18306778 (4)

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **08.03.2023** EP 3671868

54 Título: **Unidad de generación solar en tándem de tres terminales**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
31.07.2023

73 Titular/es:

TOTALENERGIES ONETECH (16.7%)
La Défense 6, 2 Place Jean Millier
92400 Courbevoie, FR;
ELECTRICITÉ DE FRANCE (16.7%);
CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE (16.7%);
ECOLE POLYTECHNIQUE (16.7%);
INSTITUT PHOTOVOLTAIQUE D'ILE DE FRANCE
(16.7%) y
L'AIR LIQUIDE, SOCIETE ANONYME POUR
L'ETUDE ET L'EXPLOITATION DES PROCEDES
GEORGES CLAUDE (16.7%)

72 Inventor/es:

DRAHI, ETIENNE;
HILT, FLORIAN y
SCHULZ, PHILIP

74 Agente/Representante:

LEHMANN NOVO, María Isabel

ES 2 947 010 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

Unidad de generación solar en tándem de tres terminales

5 **Antecedentes de la invención**

La presente invención se refiere a la producción de energía fotovoltaica y, en particular, a una unidad de generación solar que permite la conversión de la energía solar en electricidad.

10 Con el cambio climático, el calentamiento global y el agotamiento de los combustibles fósiles, en los últimos años se han desarrollado muchas tecnologías para utilizar recursos alternativos y, en particular, recursos de energía renovable.

Una de las principales tecnologías se refiere al uso de celdas fotovoltaicas para convertir la energía solar en electricidad.

15 Una celda solar comprende una unión P-N en la que la luz se absorbe para crear pares electrón-hueco y electrodos opuestos para recoger los electrones en un lado y los huecos en el otro lado.

20 Para mejorar la eficacia de las celdas solares, una forma es apilar varias celdas solares para formar celdas solares de múltiples contactos o en tándem.

Se han desarrollado diferentes tipos de celdas solares en tándem, pero cada configuración tiene algunos inconvenientes. Por ejemplo, una configuración de dos terminales (2T) requiere adaptación de corriente debido a subceldas conectadas en serie, y la configuración de cuatro terminales (4T) induce más capas y, por lo tanto, un coste más alto y puede introducir pérdidas por corriente de fuga adicionales.

25 La configuración de tres terminales (3T) parece reducir los inconvenientes de los terminales 2T y 4T. Sin embargo, la configuración 3T normalmente requiere un contacto trasero interdigitado (IBC) que evita el uso de un emisor pasivado y una celda trasera (PERC) de bajo coste de producción en masa, ya que requiere un material de alta calidad, por ejemplo un material de tipo n con una larga longitud de difusión. El documento de Gede W. P. Adhyaksa et al.: "*Nanoscale Back Contact Perovskite Solar Cell Design for Improved Tandem Efficiency*", Nano Letters, vol. 17, n.º 9, 16 de agosto de 2017, págs. 5206-5212, divulga una celda solar en tándem (IBC) de perovskita/silicio 3T.

30 Por lo tanto, la presente invención tiene como objetivo proporcionar una unidad de generación solar que proporcione una alta eficacia al tiempo que limite el coste de fabricación de dicha unidad de generación solar.

Resumen de la invención

35 La presente invención se refiere a una unidad de generación solar en tándem de tres terminales como se define en la reivindicación 1, que comprende:

- una primera capa de absorción hecha de un compuesto que tiene una estructura cristalina de tipo perovskita y que comprende un lado delantero y un lado trasero,
- una segunda capa de absorción que comprende un lado delantero y un lado trasero,
- 45 - un primer y un segundo contacto delantero interdigitado dispuestos en el lado delantero de la primera capa de absorción, teniendo el primer contacto delantero una primera polaridad y teniendo el segundo contacto delantero una segunda polaridad, siendo la segunda polaridad diferente de la primera polaridad,
- un contacto trasero que tiene la primera o la segunda polaridad dispuesta en el lado trasero de la segunda capa de absorción,
- 50 - una capa de interfase dispuesta entre la primera y la segunda capa de absorción que comprende una primera subcapa semiconductor dopada de acuerdo con la primera polaridad y una segunda subcapa dopada de acuerdo con la segunda polaridad y configurada para permitir que los portadores asociados a una polaridad diferente a la polaridad del contacto trasero se transfieran desde la segunda capa de absorción a la primera capa de absorción para su recogida mediante el contacto delantero, que tiene una polaridad diferente a la polaridad del contacto trasero.

55 De acuerdo con otro aspecto de la invención, la capa de interfaz es una capa de unión de túnel.

60 De acuerdo con un aspecto adicional de la invención, la capa de interfase es una capa de recombinación hecha de dos subcapas de óxidos conductores transparentes.

De acuerdo con un aspecto adicional de la invención, la segunda capa de absorción está hecha de silicio cristalino.

65 De acuerdo con otro aspecto de la invención, la segunda capa de absorción está hecha de una aleación de entre las siguientes aleaciones:

- una aleación semiconductor III-V,

- un compuesto que tiene una estructura cristalina de tipo perovskita,
- seleniuro de cobre, indio y galio "CIGS",
- telururo de cadmio "CdTe".

5 De acuerdo con un aspecto adicional de la invención, la primera polaridad corresponde a la polaridad de tipo p que tiene huecos como portadores asociados, y la segunda polaridad corresponde a la polaridad de tipo n que tiene electrones como portadores asociados.

10 De acuerdo con un aspecto adicional de la invención, el contacto trasero tiene la primera polaridad y comprende un campo de superficie trasera, y la segunda capa de absorción está dopada de acuerdo con la primera polaridad.

15 De acuerdo con otro aspecto de la invención, la unión de túnel comprende una subcapa altamente dopada de acuerdo con la primera polaridad y dispuesta en contacto con el lado delantero de la segunda capa de absorción, así como una subcapa dopada de acuerdo con la segunda polaridad y dispuesta en contacto con el lado trasero de la primera capa de absorción.

De acuerdo con un aspecto adicional de la invención, el contacto trasero tiene la segunda polaridad y la segunda capa de absorción está dopada de acuerdo con la segunda polaridad.

20 De acuerdo con un aspecto adicional de la invención, la unión de túnel comprende una subcapa altamente dopada de acuerdo con la segunda polaridad y dispuesta en contacto con el lado delantero de la segunda capa de absorción y una subcapa dopada de acuerdo con la primera polaridad y dispuesta en contacto con el lado trasero de la primera capa de absorción.

25 De acuerdo con otro aspecto de la invención, los contactos delanteros y trasero son contactos pasivados.

De acuerdo con un aspecto adicional de la invención, el primer y el segundo contacto delantero comprenden, respectivamente, una capa de transporte de huecos "HTL" y una capa de transporte de electrones "ETL".

30 De acuerdo con otro aspecto de la invención, la capa de transporte de huecos está hecha de uno de entre:

- óxido de níquel "NiO_x",
- óxido de molibdeno "MoO_x",
- óxido de wolframio "WO_x",
- 35 - 2,2',7,7'-tetraquis-(N,N-di-4-metoxifenilamino)-9,9'-espirobifluoreno "Spiro-OMeTAD",
- poli(triarilamina) "PTAA",
- poli(3-hexiltiofeno) "P3HT",
- poli(3,4-etilendioxitiofeno) dopado con poli(sulfonato de estireno) "PEDOT:PSS",
- tiocianato de cobre(I) "CuSCN",
- 40 - óxido de cobalto "CoO_x",
- óxido de cromo "CrO_x",
- yoduro de cobre(I) "CuI",
- sulfuro de cobre "CuS",
- óxido de cobre "CuO_x",
- 45 - óxido de vanadio "VO_x",

y la capa de transporte de electrones está hecha de uno de entre:

- óxido de estaño "SnO_x",
- 50 - óxido de titanio "TiO_x",
- óxido de zinc "ZnO_x",
- carbono, C60 y derivados
- circonia "ZrO_x"
- grafito
- 55 - grafeno
- óxido de grafeno "rGO".

De acuerdo con un aspecto adicional de la invención, los contactos delantero y trasero comprenden una rejilla metálica o una rejilla de óxido conductor transparente.

60 La presente invención también se refiere a un procedimiento de fabricación de una unidad de generación solar en tándem de tres terminales como se define en la reivindicación 15, que comprende las siguientes etapas:

- proporcionar un sustrato transparente a la luz que tenga una cara trasera y una cara delantera,
- 65 - depositar un contacto trasero con una primera o una segunda polaridad sobre la cara delantera del sustrato,
- depositar una segunda capa de absorción sobre el contacto trasero,

- depositar una primera subcapa semiconductoramente dopada de una unión de túnel sobre la segunda capa de absorción,
- depositar una segunda subcapa semiconductoramente dopada de la unión de túnel sobre la primera subcapa,
- depositar una primera capa de absorción hecha de un compuesto que tiene una estructura cristalina de tipo perovskita sobre la segunda subcapa,
- depositar un primer y un segundo contacto delantero interdigitado sobre la primera capa de absorción, teniendo el primer contacto delantero una primera polaridad y teniendo el segundo contacto delantero una segunda polaridad.

La presente invención también se refiere a un procedimiento de fabricación de una unidad de generación solar en tándem de tres terminales como se define en la reivindicación 16, que comprende las siguientes etapas:

- proporcionar una celda fotovoltaica a base de silicio cristalino que comprende una capa de silicio cristalino que comprende un lado delantero configurado para ser el lado por el que la luz incide en la capa de silicio cristalino y un lado trasero opuesto al lado delantero, un primer conjunto de capas dispuesto en el lado trasero de la capa de silicio cristalino y un segundo conjunto de capas dispuesto en el lado delantero de la capa de silicio cristalino,
- retirar el segundo conjunto de capas de la celda fotovoltaica de silicio cristalino,
- depositar una primera subcapa semiconductoramente dopada de una unión de túnel sobre el lado delantero de la capa de silicio cristalino,
- depositar una segunda subcapa semiconductoramente dopada de la unión de túnel sobre la primera subcapa,
- depositar una primera capa de absorción hecha de un compuesto que tiene una estructura cristalina de tipo perovskita sobre la segunda subcapa,
- depositar un primer y un segundo contacto delantero interdigitado sobre la primera capa de absorción, teniendo el primer contacto delantero una primera polaridad y teniendo el segundo contacto delantero una segunda polaridad.

De acuerdo con otro aspecto de la invención, la etapa de retirar el segundo conjunto de capas comprende una etapa de ataque químico y/o una etapa de pulido usando ácido fluorhídrico o una mezcla de ácido fluorhídrico y ácido nítrico.

La presente invención también se refiere a un procedimiento para hacer funcionar una unidad de generación solar en tándem de tres terminales (1) como se define en la reivindicación 18, en donde la corriente generada entre el primer y el segundo contacto delantero interdigitado (5a, 5b) se ajusta de modo que la corriente generada por la primera capa de absorción (7) coincida con la corriente generada por la segunda capa de absorción (11, 11').

Breve descripción de los dibujos

- [Fig. 1] es un diagrama de una unidad de generación solar en tándem de tres terminales de acuerdo con una primera forma de realización de la invención;
- [Fig. 2] es un diagrama de una unidad de generación solar en tándem de tres terminales de acuerdo con una segunda forma de realización de la invención;
- [Fig. 3] es un diagrama de una unidad de generación solar en tándem de tres terminales de acuerdo con una tercera forma de realización de la invención;
- [Fig. 4] es un diagrama de una unidad de generación solar en tándem de tres terminales de acuerdo con una cuarta forma de realización de la invención;
- [Fig. 5] es un diagrama de una unidad de generación solar en tándem de tres terminales con mediciones de corriente;
- [Fig. 6] es un diagrama de flujo de lo diferente de un procedimiento de fabricación para obtener una unidad de generación solar en tándem de tres terminales de acuerdo con una primera forma de realización de la invención;
- [Fig. 7] es un diagrama de flujo de lo diferente etapas de un procedimiento de fabricación para obtener una unidad de generación solar en tándem de tres terminales de acuerdo con una segunda forma de realización de la invención;

Descripción detallada de la invención

Los siguientes logros son ejemplos. Aunque la memoria descriptiva se refiere a una o varias formas de realización, no implica que cada referencia se refiera a la misma forma de realización o que las características se apliquen únicamente a una sola forma de realización. Las características simples de diferentes formas de realización también pueden combinarse para proporcionar otras formas de realización.

La presente invención se refiere a una unidad de generación solar en tándem que comprende tres terminales. Dichas celdas en tándem comprenden dos capas de absorción diferentes que tienen dos bandas prohibidas diferentes y están configuradas para absorber diferentes partes del espectro de luz que están dispuestas en serie. Los tres terminales se obtienen mediante el uso de dos contactos interdigitados que tienen dos polarizaciones diferentes en un lado de la unidad de generación solar en tándem. En el presente caso, los contactos interdigitados están dispuestos en el lado delantero de la unidad de generación solar en tándem, lo que permite usar celdas existentes estándar como celda trasera de la unidad de generación solar en tándem. Además, una de las capas de absorción está hecha de un compuesto que tiene una estructura cristalina de tipo perovskita que proporciona una alta eficacia con un coste limitado.

La Fig. 1 representa la capa diferente de una unidad de generación solar en tándem 1 de acuerdo con una primera forma de realización de la presente invención. La flecha 3 representa la dirección de incidencia de la luz. El lado fuente de las capas corresponde al lado sobre el que incide primero la luz. Por consiguiente, la luz llega a una capa delantera en primer lugar con respecto a una capa trasera.

La unidad de generación solar en tándem 1 comprende las siguientes capas:

- contactos delanteros interdigitados 5a y 5b,
- 10 - una primera capa de absorción 7,
- una capa de interfase 9 dispuesta en el lado trasero de la primera capa de absorción 7,
- una segunda capa de absorción 11 dispuesta en el lado trasero de la capa de interfase 9,
- una capa de campo de superficie trasera 13,
- 15 - una capa de pasivación 15,
- una capa de contacto trasero 17.

A continuación se describirá con más detalle la posible composición de las diferentes capas.

Los contactos delanteros interdigitados 5a, 5b pueden estar hechos por dos peines intercalados 50a, 50b que tienen, respectivamente, una primera polaridad y una segunda polaridad diferente de la primera polaridad. La primera y la segunda polaridad se refieren al material de tipo n y de tipo p. El primer y el segundo peine intercalado 50a, 50b pueden referirse, respectivamente, a una capa de transporte de huecos (HTL) y una capa de transporte de electrones (ETL).

La capa de tipo p o HTL puede estar hecha, por ejemplo, de uno de los siguientes elementos:

- óxido de níquel "NiO_x",
- óxido de molibdeno "MoO_x",
- óxido de wolframio "WO_x",
- 30 - 2,2',7,7'-tetraquis-(N,N-di-4-metoxifenilamino)-9,9'-espirobifluoreno "Spiro-OMeTAD",
- poli(triarilamina) "PTAA",
- poli(3-hexiltiofeno) "P3HT",
- poli(3,4-etilendioxitiofeno) dopado con poli(sulfonato de estireno) "PEDOT:PSS",
- tiocianato de cobre(I) "CuSCN",
- 35 - óxido de cobalto "CoO_x",
- óxido de cromo "CrO_x",
- yoduro de cobre(I) "CuI",
- sulfuro de cobre "CuS",
- óxido de cobre "CuO_x",
- 40 - óxido de vanadio "VO_x",

La capa de tipo n o ETL puede estar hecha, por ejemplo, de uno de los siguientes elementos:

- óxido de estaño "SnO_x",
- 45 - óxido de titanio "TiO_x",
- óxido de zinc "ZnO_x"
- carbono, C₆₀ y derivados
- circonia "ZrO_x"
- grafito
- 50 - grafeno
- óxido de grafeno "rGO".

Los contactos delanteros 5a, 5b también comprenden una capa conductora delgada 51a, 51b hecha de un óxido conductor transparente tal como óxido de indio y estaño (ITO) u óxido de estaño dopado con flúor (FTO) o una capa metálica, tal como una capa de plata. La capa conductora delgada 51a, 51b está dispuesta, respectivamente, en el lado fuente de los primer y segundo peines intercalados 50a, 50b.

La primera capa de absorción 7 está hecha de un compuesto que tiene una estructura cristalina de perovskita. En esta invención, el término "perovskita" se refiere a un material que puede representarse mediante la fórmula 'A'B'X₃, en la que 'A' es al menos un catión, 'B' es al menos un catión y 'X' es al menos un anión. El catión 'A' puede ser un catión orgánico, inorgánico u orgánico-inorgánico. Cuando el catión 'A' es orgánico, el catión orgánico puede tener la fórmula (R₁R₂R₃R₄N)ⁿ⁺ o (R₅R₆N=CH-NR₇R₈)ⁿ⁺, donde R es hidrógeno, alquilo sustituido o no sustituido, o arilo sustituido o no sustituido, y n es igual o superior a uno (por ejemplo, 'CH₃NH₃'⁺ se denota como MA, 'HC(NH₂)₂'⁺ se denota como FA, 'C(NH₂)₃'⁺ se denota como GA). Cuando el catión 'A' es inorgánico, el catión puede seleccionarse del grupo que consiste en Ag⁺, Li⁺, Na⁺, K⁺, Rb⁺, Cs⁺, Be²⁺, Mg²⁺, Ca²⁺, Pb²⁺, Sr²⁺, Ba²⁺, Fe²⁺, Sc³⁺, Y³⁺ y La³⁺. El catión puede usarse como un ion único o múltiple (por ejemplo, (Mg,Fe)SiO₃), YBaCuO₃).

Cuando el catión 'A' es orgánico-inorgánico, el catión puede usarse como un ion único o múltiple, tal como 'A'=(MIn(R21-xR3x)(100-n)), donde R es preferiblemente un catión orgánico como se ha descrito anteriormente y M es preferiblemente un catión inorgánico comprendido como se ha descrito anteriormente (por ejemplo, FA1-xGax'B''X'3, Csx(MAnFA1-n)(100-x)'B''X'3).

El catión 'B' puede ser un catión metálico seleccionado del grupo que consiste en Pb2T, Sn2+, Ge2+, Bi2+, Cu2T, Au2+, Ag2+, Sb2+, Nb2T, Ti2+, Mg2+, Si2+, Ca2+, Sr2T, Cd2+, Ni2+, Mn2+, Fe2+, Zr4+, Co2+, Pd2+, Yb2+, Eu2T, Ce4+ y Tb4+.

El anión 'X' puede seleccionarse del grupo que consiste en aniones haluro que comprenden aniones Cl-, Br-, I-, F- o calcogenuro que comprenden O2-, S2-, Se2-, Te2- o polianiones que comprenden BF4-, PF6-, SCN-. El anión puede usarse como un ion único o múltiple, tal como 'X'=(Rl-xRx), donde R es un anión como los enumerados anteriormente. La invención también incluye otro tipo de perovskitas que se pueden elaborar: Perovskita de cuprato (La2-xBaxCuO4, YBa2Cu3O7, Ba2MCu3O7, donde M es un ion de tierras raras tal como Pr, Y, Nd, Sm, Gd, Dy, Ho). La perovskita metálica puede producirse en base a una estructura RT3M, donde R es un ion de tierras raras, T es un ion de metal de transición (Pd, Rh, Ru) y M es un metaloide ligero (por ejemplo, B, C).

Por lo tanto, la definición anterior acerca de la gama de materiales incluye, pero no se limita a, los siguientes compuestos: CH3NH3PbX3, Csx(CH3(NH2)2)1-xPbX3, Csx((CH3NH3)y(CH3(NH2)2)1-y)(1-x)PbX3, AxCsy((CH3NH3)z(CH3(NH2)2)1-z)1-yPbX3 donde A es un metal alcalino (Li, Na, K, Rb), BaTiO3, PbTiO3, CaTiO3, SrTiO3, PbZrO3, SrTiO3, KTaO3, KNbO3, NaNbO3, Pb(Mg1/3Nb2/3)O3, Pb(Zn1/3Nb2/3)O3, Pb(Mn1/3Sb2/3)O3, Pb(Co1/3Nb2/3)O3, Pb(Mn1/3Nb2/3)O3, Pb(Ni1/3Nb2/3)O3, Pb(Sb1/2Sn1/2)O3, Pb(Co1/2W1/2)O3, Pb(Mg1/2W1/2)O3, LiNbO3, LiTaO3, BiTiO3, NaTiO3, NaNbO3, KNbO3, La1-xSrxMnO3, La2NiO4, La2CoO4, GdBaCo2O5, PrBaCo2O5, NdBa1-xSrxCoO2O5, Ba1-xSrxCo1-yFeyO3, BiCr1-xGaxO3, NaNbO3, KNbO3, LaFeO3, LaCoFe1-xO3, La1-xSrxCoO3, LaSrNiO4, LaxSrx-1FeyBiy-1O3, La2NiO4, La2-xSrxCuO4, LaSrNi1-xAlxO4, LaMnO3, LaFeO3, LaCoO3, LaTi1-xCuxO3, LiTaO3, NaTaO3, KTaO3, CaTa2O6, SrTa2O6, BaTa2O6, (La1-xSrxCoO3, Pr1-xSrxCoO3, Sm1-xSrxCoO3, Gd1-xSrxCoO3, Tb1-xSrxCoO3, LaCoO3, La1-xSrxMnO3, LaCo1-xNixO3).

De acuerdo con la primera forma de realización representada en la Fig. 1, la capa de interfase 9 puede referirse a una capa de unión de túnel 9.

La capa de unión de túnel 9 comprende una primera subcapa semiconductor 9a dopada de acuerdo con la primera polaridad y una segunda subcapa semiconductor 9b altamente dopada de acuerdo con la segunda polaridad.

La primera subcapa 9a es, por ejemplo, una capa de tipo p hecha de óxido de níquel (NiOx), óxido de molibdeno (MoOx) u óxido de wolframio (WOx).

La segunda subcapa 9b es, por ejemplo, una capa de tipo n hecha de silicio cristalino y altamente dopada de acuerdo con la segunda polaridad, por ejemplo con dopaje de boro o fósforo.

De acuerdo con una segunda forma de realización representada en la Fig. 2, la capa de interfase 90 se refiere a una capa de recombinación 90. La capa de recombinación 90 comprende una primera subcapa semiconductor 90a hecha de un óxido conductor transparente dopado de acuerdo con la primera polaridad y una segunda subcapa semiconductor 90b hecha de un óxido conductor transparente dopado de acuerdo con la segunda polaridad. Las otras capas son idénticas en la primera y la segunda forma de realización.

En las formas de realización de la Fig. 1 y la Fig. 2, la segunda capa de absorción 11 tiene la primera polaridad. La segunda capa de absorción 11 está hecha de silicio cristalino o de una aleación de entre las siguientes aleaciones:

- una aleación semiconductor III-V,
- un compuesto que tiene una estructura cristalina de tipo perovskita como se ha descrito previamente para la primera capa de absorción 7,
- seleniuro de cobre, indio y galio (CIGS),
- telururo de cadmio (CdTe).

La capa de campo de superficie trasera 13 puede estar hecha de aluminio.

La capa de pasivación 15 puede estar hecha de óxido de aluminio/nitruro de silicio (AlOx/SiNx) u óxido de silicio/nitruro de silicio (SiOx/SiNx).

La capa de contacto trasero 17 puede estar hecha de aluminio y puede obtenerse mediante serigrafía.

Cabe señalar que puede obtenerse texturización en las diferentes capas de la unidad de generación solar en tándem (texturización delantera, texturización trasera o texturización interna). Todos los contactos pueden pasivarse y la capa

de unión de túnel 9 o la capa de recombinación 90 pueden comprender capas adicionales. Sin embargo, con una primera capa de absorción hecha de perovskita, es posible prescindir de la pasivación de los contactos delanteros.

La Fig. 3 representa una tercera forma de realización de la unidad de generación solar en tándem.

5

En esta tercera forma de realización, la unidad de generación solar en tándem 1 comprende las siguientes capas:

- contactos delanteros interdigitados 5a y 5b,
- una primera capa de absorción 7,
- 10 - una capa de interfase 9' dispuesta en el lado trasero de la primera capa de absorción 7,
- una segunda capa de absorción 11' dispuesta en el lado trasero de la capa de interfase 9',
- una capa emisora 12,
- una capa de pasivación 15',
- una capa de contacto trasero 17'.

15

En esta forma de realización, los contactos delanteros interdigitados 5a y 5b y la primera capa de absorción 7 pueden ser idénticos a los de la primera y la segunda forma de realización representadas en la Fig. 1 y la Fig. 2.

20

La capa de interfase es una capa de unión de túnel 9' y comprende una primera subcapa semiconductor 9a' dopada de acuerdo con la segunda polaridad (tipo n) y una segunda subcapa semiconductor 9b' altamente dopada de acuerdo con la primera polaridad (tipo p).

25

La primera subcapa 9a' está hecha, por ejemplo, de óxido de estaño (SnO_x), óxido de titanio (TiO_x) u óxido de zinc (ZnO_x).

La segunda subcapa 9b' está hecha, por ejemplo, de silicio cristalino altamente dopado.

30

De acuerdo con una cuarta forma de realización representada en la Fig. 4, la capa de interfase es una capa de recombinación 90' que comprende una primera subcapa semiconductor 90a' hecha de un óxido conductor transparente dopado de acuerdo con la primera polaridad y una segunda subcapa semiconductor 90b' hecha de un óxido conductor transparente dopado de acuerdo con la segunda polaridad. Las otras capas son idénticas en la tercera y la cuarta forma de realización.

35

En las formas de realización de la Fig. 3 y la Fig. 4, la segunda capa de absorción 11' tiene la segunda polaridad (tipo n). La segunda capa de absorción 11' está hecha, por ejemplo, de silicio cristalino o perovskita o seleniuro de cobre, indio y galio (CIGS) o telururo de cadmio (CdTe).

40

La capa emisora 12 está dopada de acuerdo con la primera polaridad. La capa emisora 12 está hecha, por ejemplo, de boro.

La capa de pasivación 15 está hecha de óxido de aluminio/nitruro de silicio ($\text{AlO}_x/\text{SiN}_x$) u óxido de silicio/nitruro de silicio ($\text{SiO}_x/\text{SiN}_x$).

45

La capa de contacto trasero 17' está hecha, por ejemplo, de aluminio. La capa de contacto trasero 17' también puede comprender un porcentaje de silicio y puede obtenerse mediante deposición en fase vapor (PVD).

50

Por lo tanto, la unidad de generación solar en tándem 1 permite que los portadores asociados a una polaridad diferente a la polaridad del contacto trasero se transfieran desde la segunda capa de absorción a la primera capa de absorción para su recogida mediante el contacto delantero, que tiene una polaridad diferente a la polaridad del contacto trasero.

En el caso de la primera y la segunda forma de realización representadas en la Fig. 1 y la Fig. 2, la unidad de generación solar en tándem 1 está configurada para permitir que los portadores asociados a la segunda polaridad (electrones) se transfieran desde la segunda capa de absorción a la primera capa de absorción para su recogida mediante el contacto delantero asociado a la segunda polaridad (tipo n).

55

En el caso de la tercera y la cuarta forma de realización representadas en la Fig. 3 y la Fig. 4, la unidad de generación solar en tándem 1 está configurada para permitir que los portadores asociados a la primera polaridad (huecos) se transfieran desde la segunda capa de absorción a la primera capa de absorción para su recogida mediante el contacto delantero asociado a la primera polaridad (tipo p).

60

Las características de la primera 7 y la segunda 11, 11' capas de absorción y, en particular, su grosor, se eligen de modo que la corriente producida por la primera capa de absorción 7 y la corriente producida por la segunda capa de absorción 11, 11' sean aproximadamente iguales.

65

Además, como se representa en la Fig. 5, la corriente I_{FC} medida entre los contactos delanteros 5a, 5b y la corriente I_{F-B} entre los contactos delanteros 5a, 5b y trasero 17, 17' se puede supervisar para determinar si la corriente producida

por la primera capa de absorción 7 coincide con la corriente producida por la segunda capa de absorción 11, 11' y para extraer o reinyectar una parte de la corriente I_{FC} en caso de una diferencia o desajuste para optimizar la eficacia global de la unidad de generación solar en tándem 1. La presente invención también se refiere a un uso o un procedimiento para hacer funcionar la unidad de generación solar en tándem de tres terminales 1, en donde la corriente generada entre el primer y el segundo contacto delantero interdigitado se ajusta de modo que la corriente generada por la primera capa de absorción 7 coincida con la corriente generada por la segunda capa de absorción 11, 11'.

La Fig. 6 representa un diagrama de flujo de las diferentes etapas de un procedimiento de fabricación de acuerdo con una primera forma de realización.

La primera etapa 101 se refiere a una etapa de proporcionar un sustrato transparente a la luz que tenga una cara trasera y una cara delantera.

La segunda etapa 102 se refiere a una etapa de depositar una capa de contacto trasera 17, 17' con una primera o una segunda polaridad sobre la cara delantera del sustrato. La capa de contacto trasero puede referirse a una capa de aluminio y puede depositarse de acuerdo con una técnica de deposición en fase vapor. De forma alternativa, la capa de aluminio puede estar serigrafiada. La segunda etapa 102 también puede referirse a una deposición de una capa de pasivación 15, 15' o una capa emisora 12.

La tercera etapa 103 se refiere a una etapa de depositar una capa de absorción correspondiente a la segunda capa de absorción 11, 11' sobre el lado delantero de la capa de contacto trasera 17, 17' (o, posiblemente, sobre el lado delantero de una capa de pasivación 15, 15' o una capa emisora 12).

La cuarta etapa 104 se refiere a una etapa de depositar una primera subcapa semiconductoramente dopada 9b, 9b', 90b, 90b' de una unión de túnel sobre el lado delantero de una segunda capa de absorción 11, 11'.

La quinta etapa 105 se refiere a una etapa de depositar una segunda subcapa semiconductoramente dopada 9a, 9a', 90a, 90a' de la unión de túnel sobre el lado delantero de la primera subcapa 9b, 9b', 90b, 90b'.

La sexta etapa 106 se refiere a una etapa de depositar una capa de absorción correspondiente a la primera capa de absorción 7 hecha de un compuesto que tiene una estructura cristalina de tipo perovskita sobre el lado delantero de la segunda subcapa 9a, 9a', 90a, 90a'.

La séptima etapa 107 se refiere a una etapa de depositar un primer y un segundo contacto delantero interdigitado 5a, 5b en el lado delantero de la primera capa de absorción 7, teniendo el primer contacto delantero 5a una primera polaridad, por ejemplo una polaridad de tipo n, y teniendo el segundo contacto delantero 5b una segunda polaridad, por ejemplo una polaridad de tipo p.

La Fig. 7 representa un diagrama de flujo de las diferentes etapas de un procedimiento de fabricación de acuerdo con una segunda forma de realización. En esta forma de realización, la idea es modificar una celda fotovoltaica existente con el fin de obtener una unidad de generación solar en tándem de acuerdo con la invención. En particular, la celda fotovoltaica existente se elige por su bajo coste con el fin de limitar el coste global y la unidad de generación solar en tándem.

La primera etapa 201 se refiere a una etapa de proporcionar una celda fotovoltaica a base de silicio cristalino que comprende una capa de absorción hecha de silicio cristalino, un primer conjunto de capas dispuesto en el lado trasero de la capa de silicio cristalino, por ejemplo la capa de contacto trasero..., y un segundo conjunto de capas dispuesto en el lado delantero de la capa de silicio cristalino, por ejemplo la capa de contacto delantero... Tales celdas fotovoltaicas se producen en masa y pueden obtenerse a precios bajos.

La segunda etapa 202 se refiere a una etapa de retirar el segundo conjunto de capas de la celda fotovoltaica de silicio cristalino. Tal retirada se realiza mediante un proceso de ataque químico y/o de pulido. Los productos de ataque químico pueden ser ácido fluorhídrico o una mezcla de ácido fluorhídrico y ácido nítrico.

La tercera etapa 203 se refiere a una etapa de depositar una primera subcapa semiconductoramente dopada de una unión de túnel sobre el lado delantero de la capa de silicio cristalino.

La cuarta etapa 204 se refiere a una etapa de depositar una segunda subcapa semiconductoramente dopada de la unión de túnel sobre la primera subcapa.

La quinta etapa 205 se refiere a una etapa de depositar una primera capa de absorción hecha de un compuesto que tiene una estructura cristalina de tipo perovskita sobre la segunda subcapa.

La sexta etapa 206 se refiere a una etapa de depositar un primer y un segundo contacto delantero interdigitado sobre la primera capa de absorción, teniendo el primer contacto delantero una primera polaridad y teniendo el segundo contacto delantero una segunda polaridad.

Cabe señalar que se pueden añadir otras etapas y, en concreto, la deposición de capas adicionales, a los procesos de fabricación divulgados en base a las Figs. 6 y 7 sin apartarse del alcance de la presente invención.

- 5 Por lo tanto, la presente invención permite obtener una unidad de generación solar en tándem 3T eficaz que comprende una celda fotovoltaica delantera acoplada en serie a una celda fotovoltaica trasera en una unidad de generación en tándem que comprende un contacto delantero interdigitado que permite el uso de una celda trasera producida en masa disponible con el fin de limitar el conjunto dando lugar a una relación eficacia/coste optimizada.

REIVINDICACIONES

1. Unidad de generación solar en tándem de tres terminales (1), que comprende:

- 5
- una primera capa de absorción (7) hecha de un compuesto que tiene una estructura cristalina de tipo perovskita y que comprende un lado delantero y un lado trasero,
 - una segunda capa de absorción (11, 11') que comprende un lado delantero y un lado trasero,
 - un primer y un segundo contacto delantero interdigitado (5a, 5b) dispuestos en el lado delantero de la primera
- 10
- capa de absorción (7), teniendo el primer contacto delantero (5a) una primera polaridad y teniendo el segundo contacto delantero (5b) una segunda polaridad, siendo la segunda polaridad diferente de la primera polaridad,
 - un contacto trasero (17, 17') que tiene la primera o la segunda polaridad dispuesta en el lado trasero de la segunda capa de absorción (11, 11'),
 - una capa de interfase (9, 90, 9', 90') dispuesta entre la primera (7) y la segunda (11, 11') capa de absorción que comprende una primera subcapa semiconductor (9a, 90a, 9a', 90a') dopada de acuerdo con la primera
- 15
- polaridad y una segunda subcapa (9b, 90b, 9b', 90b') dopada de acuerdo con la segunda polaridad y configurada para permitir que los portadores asociados a una polaridad diferente a la polaridad del contacto trasero (17, 17') se transfieran desde la segunda capa de absorción (11, 11') a la primera capa de absorción (7) para su recogida mediante el contacto delantero (5a, 5b) que tiene una polaridad diferente a la polaridad del contacto trasero (17, 17').
- 20

2. Unidad de generación solar en tándem de tres terminales (1) de acuerdo con la reivindicación 1, en donde la capa de interfase (9, 90, 9', 90') es una capa de unión de túnel.

3. Unidad de generación solar en tándem de tres terminales (1) de acuerdo con la reivindicación 1, en donde la capa de interfase (9, 90, 9', 90') es una capa de recombinación hecha de dos subcapas de óxidos conductores transparentes.

25

4. Unidad de generación solar en tándem de tres terminales (1) de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, en donde la segunda capa de absorción (7) está hecha de silicio cristalino.

30

5. Unidad de generación solar en tándem de tres terminales (1) de acuerdo con las reivindicaciones 1 a 3, en donde la segunda capa de absorción (7) está hecha de una aleación de entre las siguientes aleaciones:

- 35
- una aleación semiconductor III-V,
 - un compuesto que tiene una estructura cristalina de tipo perovskita,
 - seleniuro de cobre, indio y galio "CIGS",
 - telururo de cadmio "CdTe".

6. Unidad de generación solar en tándem de tres terminales (1) de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, en donde la primera polaridad corresponde a la polaridad de tipo p que tiene huecos como portadores asociados, y la segunda polaridad corresponde a la polaridad de tipo n que tiene electrones como portadores asociados.

40

7. Unidad de generación solar en tándem de tres terminales (1) de acuerdo con la reivindicación 6, en donde el contacto trasero (17, 17') tiene la primera polaridad y comprende un campo de superficie trasera (13) y la segunda capa de absorción (11, 11') está dopada de acuerdo con la primera polaridad.

45

8. Unidad de generación solar en tándem de tres terminales (1) de acuerdo con la reivindicación 7, en donde la unión de túnel comprende una subcapa altamente dopada de acuerdo con la primera polaridad y dispuesta en contacto con el lado delantero de la segunda capa de absorción (11, 11') y una subcapa dopada de acuerdo con la segunda polaridad y dispuesta en contacto con el lado trasero de la primera capa de absorción (7).

50

9. Unidad de generación solar en tándem de tres terminales (1) de acuerdo con la reivindicación 6, en donde el contacto trasero (17, 17') tiene la segunda polaridad y la segunda capa de absorción (11, 11') está dopada de acuerdo con la segunda polaridad.

55

10. Unidad de generación solar en tándem de tres terminales (1) de acuerdo con la reivindicación 9, en donde la unión de túnel comprende una subcapa altamente dopada de acuerdo con la segunda polaridad y dispuesta en contacto con el lado delantero de la segunda capa de absorción (11, 11') y una subcapa dopada de acuerdo con la primera polaridad y dispuesta en contacto con el lado trasero de la primera capa de absorción (7).

60

11. Unidad de generación solar en tándem de tres terminales (1) de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, en donde los contactos delanteros y trasero (5a, 5b, 17, 17') son contactos pasivados.

12. Unidad de generación solar en tándem de tres terminales de acuerdo con la reivindicación 6, en donde el primer y el segundo contacto delantero (5a, 5b) comprenden, respectivamente, una capa de transporte de huecos "HTL" y una capa de transporte de electrones "ETL".

65

13. Unidad de generación solar en tándem de tres terminales (1) de acuerdo con la reivindicación 12, en donde la capa de transporte de huecos está hecha de uno de entre:

- 5 - óxido de níquel "NiO_x",
- óxido de molibdeno "MoO_x",
- óxido de wolframio "WO_x",
- 2,2',7,7'-tetraquis-(N,N-di-4-metoxifenilamino)-9,9'-espirobifluoreno "Spiro-OMeTAD",
- poli(triarilamina) "PTAA",
- 10 - poli(3-hexiltiofeno) "P3HT",
- poli(3,4-etilendioxitiofeno) dopado con poli(sulfonato de estireno) "PEDOT:PSS",
- tiocianato de cobre(I) "CuSCN",
- óxido de cobalto "CoO_x",
- óxido de cromo "CrO_x",
- 15 - yoduro de cobre(I) "CuI",
- sulfuro de cobre "CuS",
- óxido de cobre "CuO_x",
- óxido de vanadio "VO_x",

20 y la capa de transporte de electrones está hecha de uno de entre:

- óxido de estaño "SnO_x",
- óxido de titanio "TiO_x",
- óxido de zinc "ZnO_x"
- 25 - carbono, C₆₀ y derivados
- circonita "ZrO_x"
- grafito
- grafeno
- óxido de grafeno "rGO".

30 14. Unidad de generación solar en tándem de tres terminales (1) de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, en donde los contactos delanteros y trasero (5a, 5b, 17, 17') comprenden una rejilla metálica o una rejilla de óxido conductor transparente.

35 15. Procedimiento de fabricación de una unidad de generación solar en tándem de tres terminales (1) de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, que comprende las siguientes etapas:

- proporcionar un sustrato transparente a la luz que tenga una cara trasera y una cara delantera (101),
- depositar un contacto trasero con una primera o una segunda polaridad sobre la cara delantera del sustrato
- 40 (102),
- depositar una segunda capa de absorción sobre el contacto trasero (103),
- depositar una primera subcapa semiconductoras altamente dopada de una unión de túnel sobre la segunda capa de absorción (104),
- depositar una segunda subcapa semiconductoras dopada de la unión de túnel sobre la primera subcapa (105),
- 45 - depositar una primera capa de absorción hecha de un compuesto que tiene una estructura cristalina de tipo perovskita sobre la segunda subcapa (106),
- depositar un primer y un segundo contacto delantero interdigitado sobre la primera capa de absorción, teniendo el primer contacto delantero una primera polaridad y teniendo el segundo contacto delantero una segunda polaridad (107).

50 16. Procedimiento de fabricación de una unidad de generación solar en tándem de tres terminales de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 14, que comprende las siguientes etapas:

- proporcionar una celda fotovoltaica a base de silicio cristalino que comprende una capa de silicio cristalino que comprende un lado delantero configurado para ser el lado por el que la luz incide en la capa de silicio cristalino y un lado trasero opuesto al lado delantero, un primer conjunto de capas dispuesto en el lado trasero de la capa de silicio cristalino y un segundo conjunto de capas dispuesto en el lado delantero de la capa de silicio cristalino
- 55 (201),
- retirar el segundo conjunto de capas de la celda fotovoltaica de silicio cristalino (202),
- 60 - depositar una primera subcapa semiconductoras altamente dopada de una unión de túnel sobre el lado delantero de la capa de silicio cristalino (203),
- depositar una segunda subcapa semiconductoras dopada de la unión de túnel sobre la primera subcapa (204),
- depositar una primera capa de absorción (7) hecha de una estructura cristalina de tipo perovskita sobre la segunda subcapa (205),

- depositar un primer y un segundo contacto delantero interdigitado (5a, 5b) sobre la primera capa de absorción, teniendo el primer contacto delantero una primera polaridad y teniendo el segundo contacto delantero una segunda polaridad (206).
- 5 17. Procedimiento de fabricación de acuerdo con la reivindicación 16, en donde la etapa de retirar el segundo conjunto de capas (202) comprende una etapa de ataque químico y/o una etapa de pulido usando ácido fluorhídrico o una mezcla de ácido fluorhídrico y ácido nítrico.
- 10 18. Procedimiento para hacer funcionar una unidad de generación solar en tándem de tres terminales (1) de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 14, en donde la corriente generada entre el primer y el segundo contacto delantero interdigitado (5a, 5b) se ajusta de modo que la corriente generada por la primera capa de absorción (7) coincida con la corriente generada por la segunda capa de absorción (11, 11').

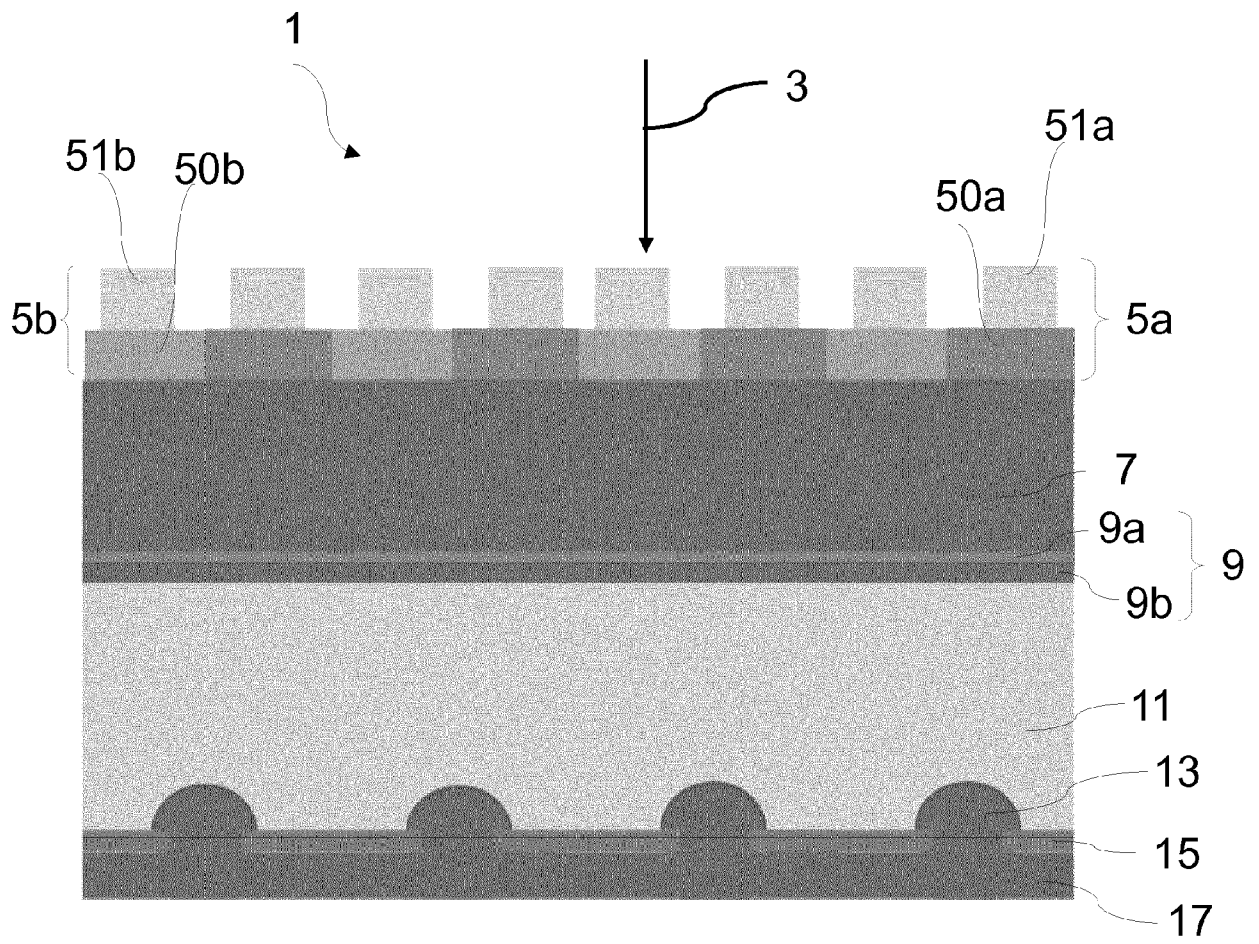


FIG. 1

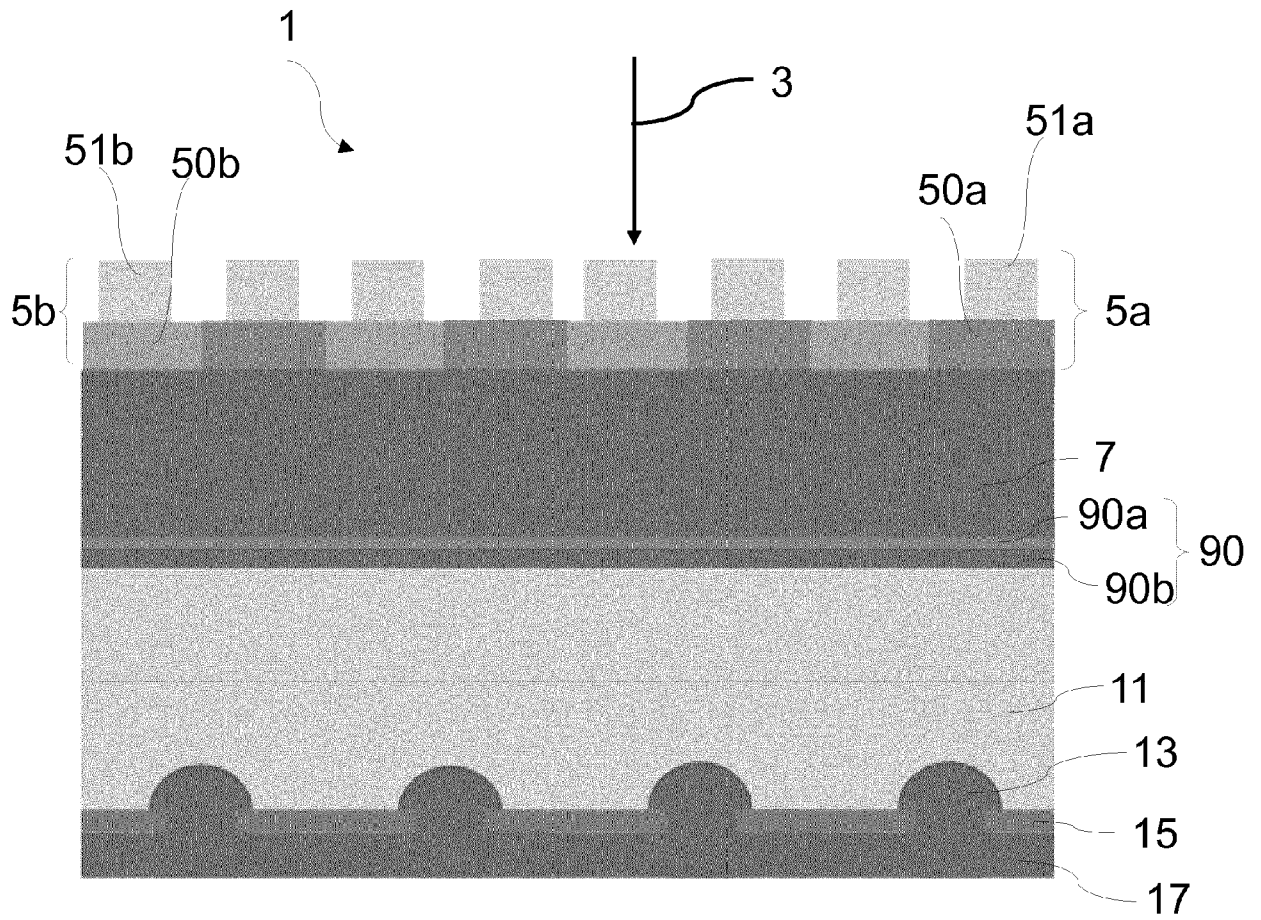


FIG. 2

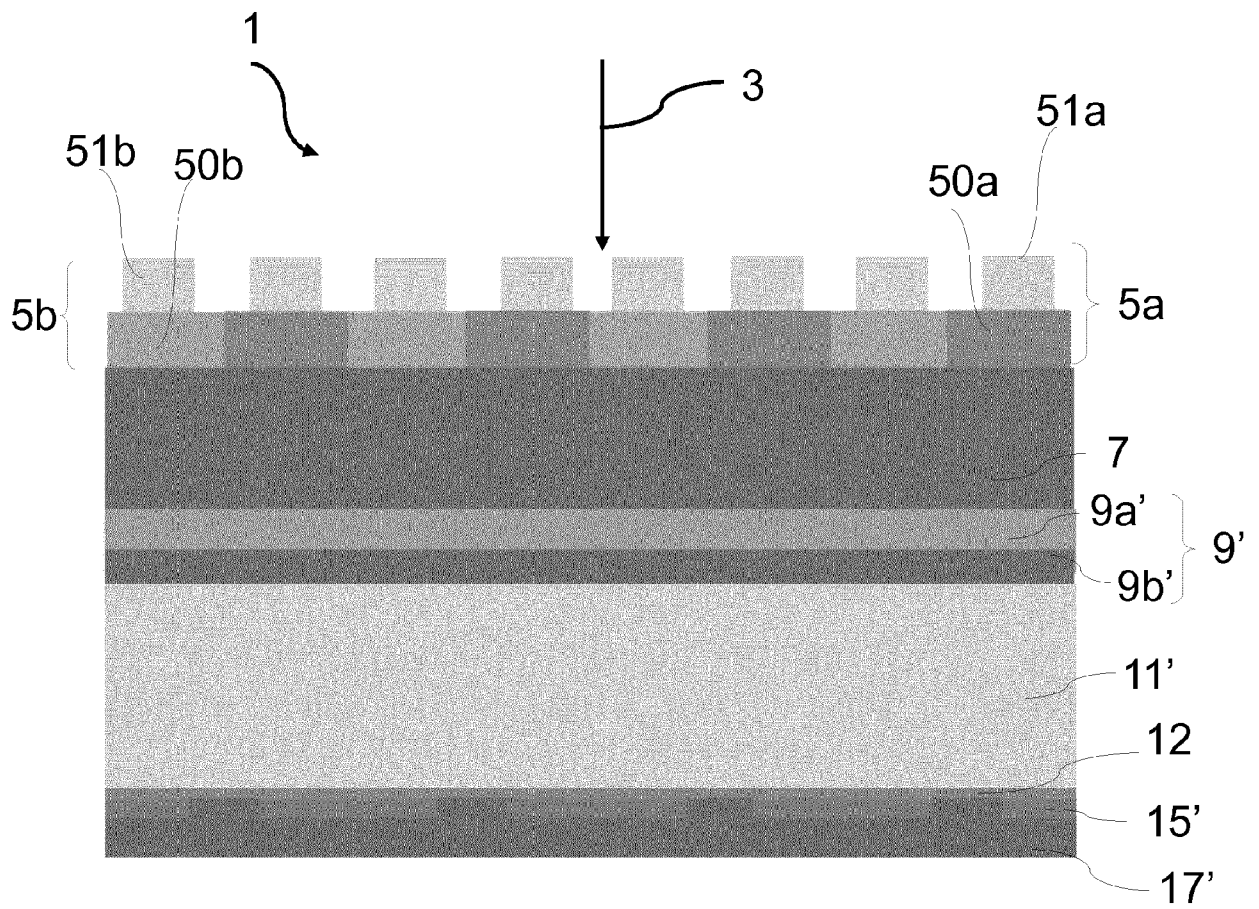


FIG. 3

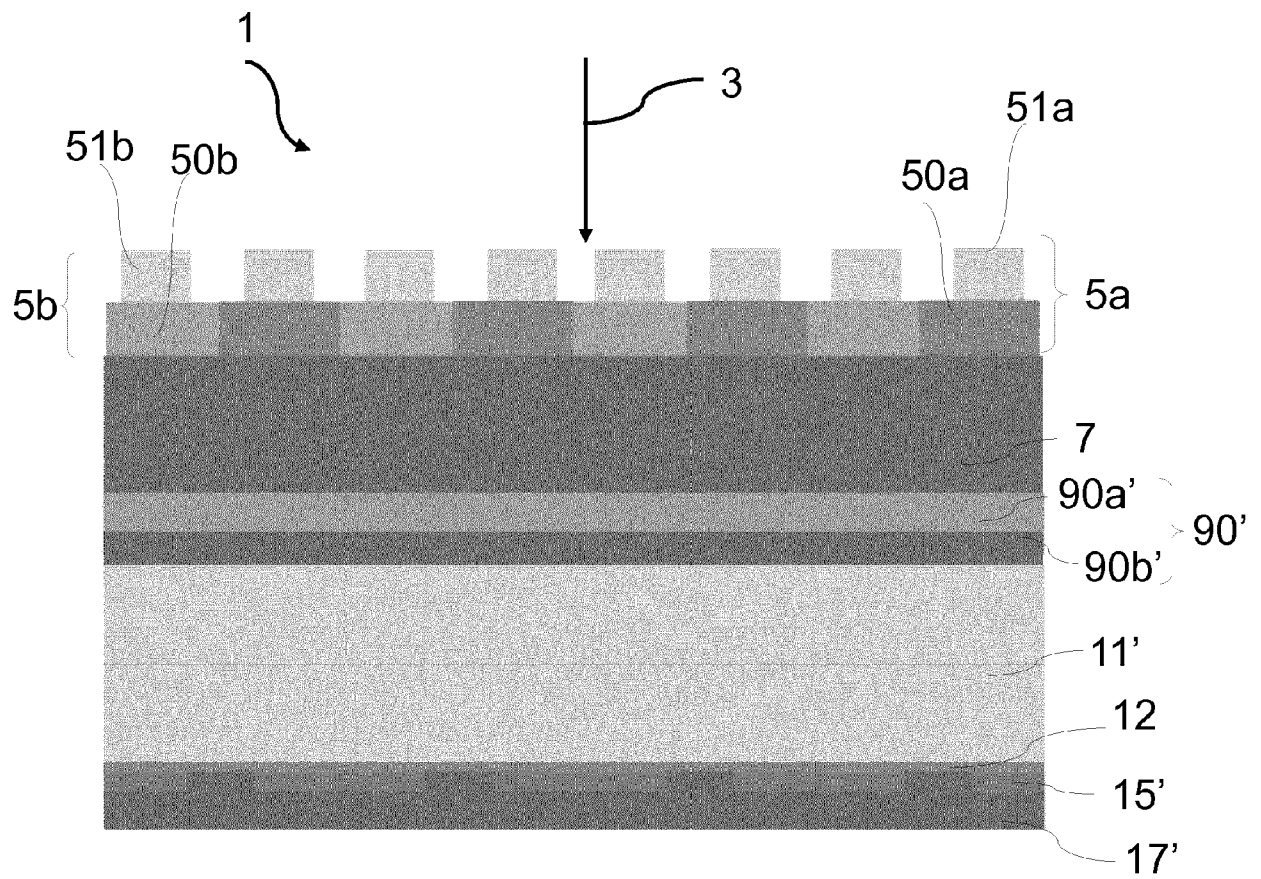


FIG. 4

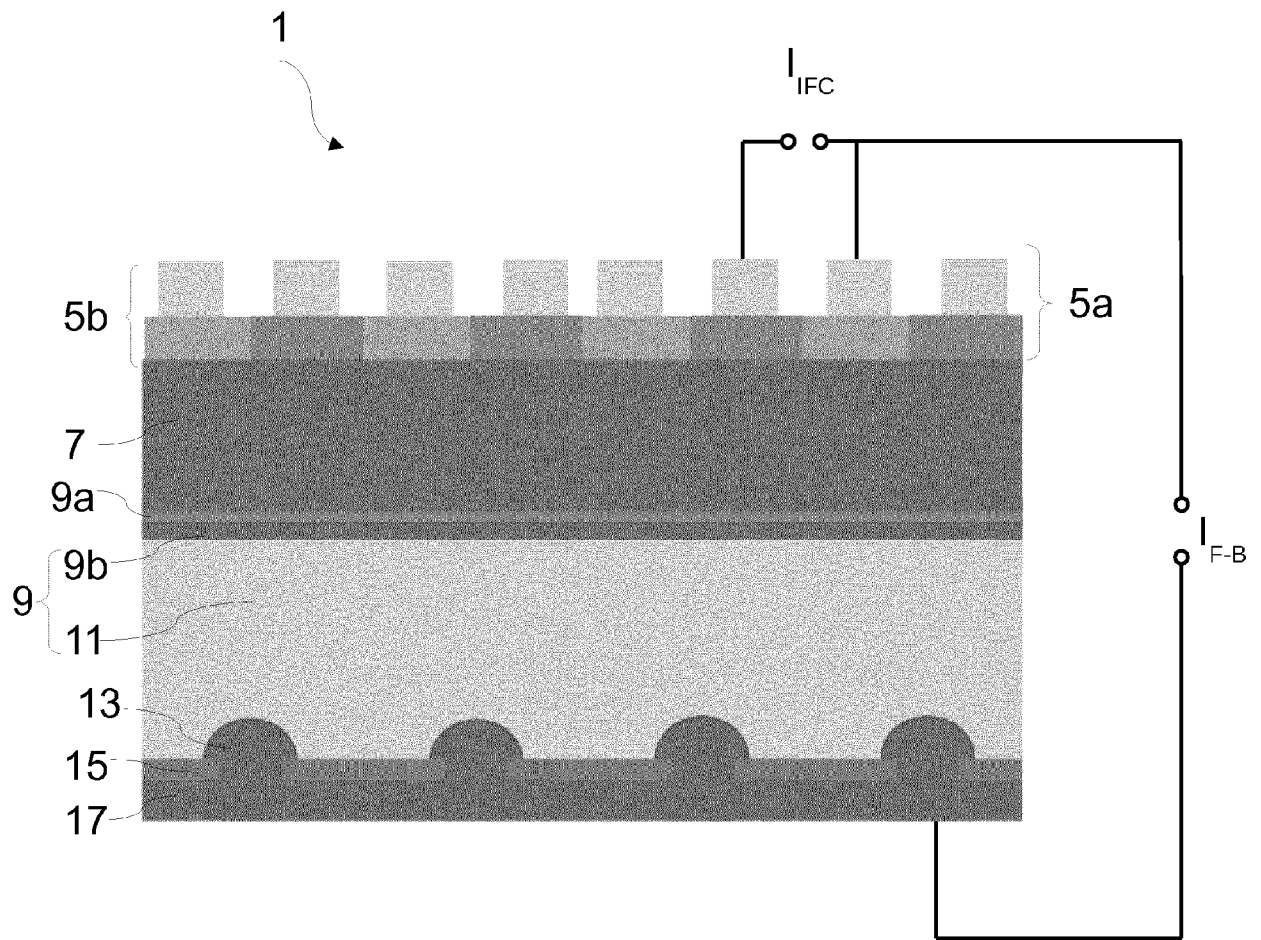


FIG. 5

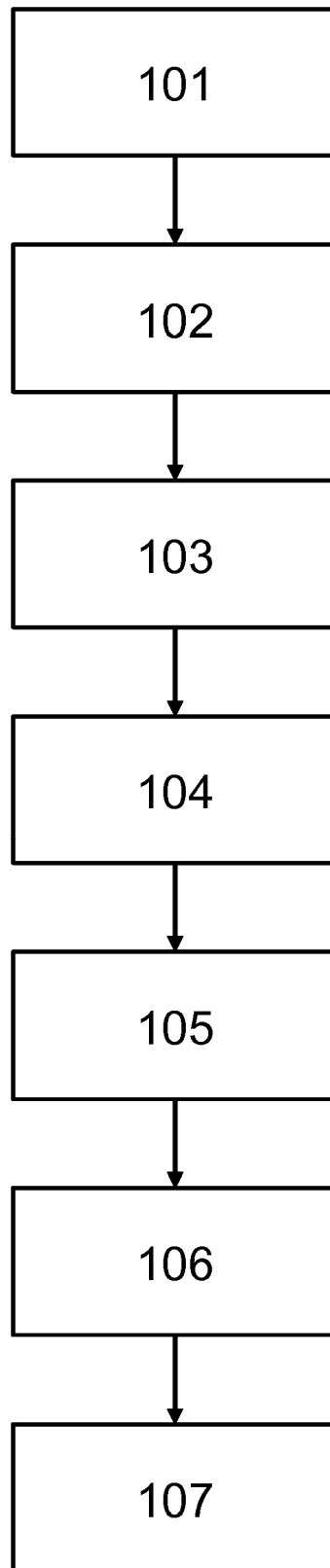


FIG. 6

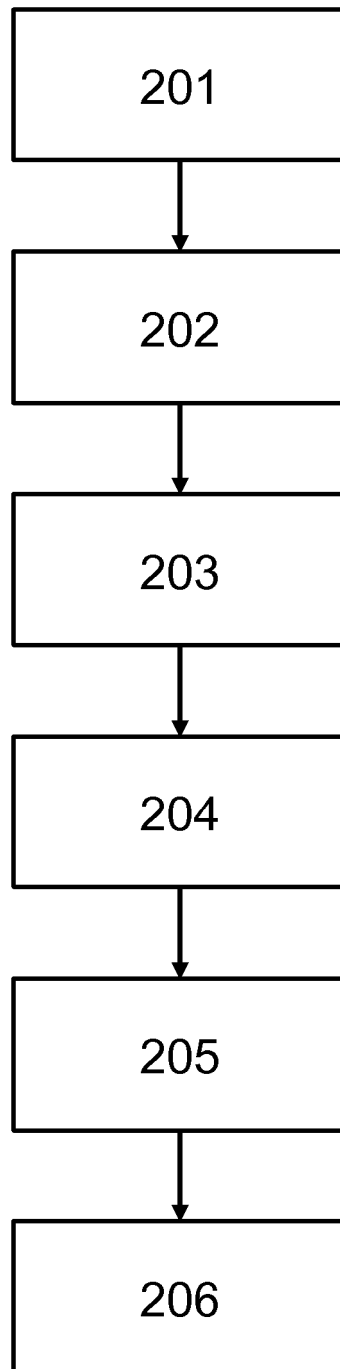


FIG. 7