

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 968 095**

51 Int. Cl.:

**H01L 31/0224** (2006.01)

**H01L 31/0747** (2012.01)

12

## TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **15.10.2021** **PCT/EP2021/078719**

87 Fecha y número de publicación internacional: **28.04.2022** **WO22084205**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **15.10.2021** **E 21793934 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **06.12.2023** **EP 4078683**

54 Título: **Dispositivo fotovoltaico y método para fabricar el mismo**

30 Prioridad:

**22.10.2020 EP 20203399**

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

**07.05.2024**

73 Titular/es:

**MEYER BURGER (GERMANY) GMBH (100.0%)**

**An der Baumschule 6-8**

**09337 Hohenstein-Ernstthal, DE**

72 Inventor/es:

**LACHENAL, DAMIEN;**

**PAPET, PIERRE y**

**KÖSSLER, TILL**

74 Agente/Representante:

**ELZABURU, S.L.P**

ES 2 968 095 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

Dispositivo fotovoltaico y método para fabricar el mismo

**Campo de la técnica**

5 La presente invención se refiere al campo de los dispositivos fotovoltaicos. Más particularmente, se refiere a un dispositivo fotovoltaico hecho de silicio cristalino con contactos posteriores del tipo contacto posterior interdigitado (IBC, por sus siglas en inglés), en el que el material recolector está modelado, lo que da como resultado un dispositivo que comprende ambos tipos de contactos en la parte posterior del dispositivo. La invención también se refiere a un método de bajo coste para producir este dispositivo fotovoltaico.

10 Una aplicación particularmente ventajosa de la presente invención es la producción de bajo coste de células fotovoltaicas altamente eficientes destinadas a generar energía eléctrica, pero la invención también se aplica, de forma más general, a cualquier dispositivo similar en el que una radiación entrante se convierta en una señal eléctrica, tales como fotodetectores y detectores de radiaciones ionizantes.

**Antecedentes de la invención**

15 Las células solares de silicio de contacto posterior interdigitado (IBC), si bien son altamente eficientes, presentan dificultades debido a su procesamiento altamente complejo. De hecho, la realización de dispositivos IBC requiere localizar o modelar los contactos semiconductores de tipo p y n y las estructuras de contacto conductoras correspondientes en estructuras interdigitadas y alternas, con una precisión muy alta. La mayoría de las técnicas conocidas en el estado de la técnica se basan en el uso de procesos complejos y costosos. Se conocen varios métodos para realizar estructuras alternas de tipo p y n. Estas se pueden basar en métodos de difusión localizada, técnicas de enmascaramiento mecánico o incluso técnicas litográficas con retrograbado parcial de deposiciones no localizadas.

20 Recientemente se han demostrado las mayores eficiencias en células IBC de silicio cristalino basadas en contactos de heterounión.

Se describen ejemplos, por ejemplo, en las siguientes publicaciones:

- *Interdigitated back contact silicon heterojunction solar cells*, J. C. Stang, Tesis TU Berlín 2018
- 25 - *Efficient interdigitated back-contacted silicon heterojunction solar cells*, N. Mingirulli et al, Phys. Status solidi-Rapid Res. Lett., vol. 5, n.º 4, páginas 159-161, Abril 2011.
- The role of back contact patterning on stability and performance of Si IBC heterojunction solar cells, U.K. DAS et al., Actas de la 40ª Conferencia de especialistas fotovoltaicos del IEEE, 2014, vol.1;

30 Un Documento de Patente de los EE.UU. de Número US6274402B1 describe un ejemplo típico de un dispositivo que requiere dos etapas de modelado y se basa en una capa aislante entre los dedos n y p. El proceso de fabricación del dispositivo descrito en el Documento de Patente de los EE.UU. de Número US6274402B1 es complejo y costoso.

35 En el pasado se han realizado varios intentos para reducir el coste de los dispositivos IBC-HJT. Por ejemplo, en el Documento de Patente Europea de Número EP1519422B1 se ha propuesto modelar sólo una primera capa de silicio que es una capa dopada n o una capa dopada p, es decir, una estructura recolectora de electrones o huecos. En estos dispositivos, se deposita una segunda capa de silicio de un segundo tipo sobre las estructuras de recolección de carga modeladas. El dispositivo resultante se denomina "dispositivo IBC-HJT de unión de túnel". En comparación con las técnicas en las que es necesario modelar los dos tipos de recolectores de carga, dicho flujo de proceso resulta en un proceso más simple, porque la segunda capa de silicio, que es de un tipo de dopado opuesto con respecto al tipo de dopado de dicha primera capa de silicio, forma una estructura recolectora autoalineada. Aunque el proceso de fabricación de tales dispositivos es más simple que aquellos en los que están estructurados ambos tipos de recolección de portadores de carga, tal como por ejemplo en el caso del dispositivo descrito en el Documento de Patente de los EE.UU. de Número US6274402B1, los procesos de estructuración y alineación para realizar las estructuras de contacto siguen siendo complicados y costosos de realizar.

45 Los procesos conocidos para realizar estructuras de contacto de tipo IBC o dispositivos IBC-HJT se basan, por ejemplo, en un proceso de revestimiento, que exige múltiples etapas de proceso, como se muestra en el Documento de Patente de los EE.UU. de Número US9362426. Un proceso de este tipo es largo y costoso y, según los conocimientos actuales, no es más sencillo ni menos costoso.

50 El Documento de Patente de los EE.UU. de Número US 2015/0280029 describe una célula solar de unión posterior y contacto posterior, en donde se forma una unión mediante la interfaz P y N. La unión es una región de alta recombinación y se debe eliminar mediante la formación de hendiduras entre las regiones P y N. Las hendiduras se deben realizar en la capa de silicio (Si) en la parte posterior y es necesario realizar una pasivación de las hendiduras para mantener una alta eficiencia. Se debe realizar una etapa posterior de metalización del semiconductor activo y posteriormente se debe modelar y aislar la capa metálica entre las regiones P y N. Preferentemente se usa el grabado

químico para modelar la capa metálica y el modelado de la capa de Si. La secuencia de formación de las hendiduras de Si, enmascaramiento, grabado y abertura de contactos, y aislamiento del metal para formar una célula IBC es un proceso tedioso y complejo.

Otro Documento de Patente de los EE.UU. de Número US 2019/237608A1 describe un proceso para realizar una célula solar IBC. El proceso descrito en el Documento de Patente de los EE.UU. de Número US 2019/237608A1 es complejo, con 4 a 6 etapas de grabado diferentes. Cada etapa de grabado implica la deposición de una capa de protección modelada, el proceso de grabado de las capas no protegidas y la eliminación, por ejemplo mediante decapado, de la capa de protección. Por lo tanto, las múltiples etapas aumentan considerablemente el coste de las células solares debido a un mayor coste operativo y una reducción en el rendimiento de producción y no permitirían proporcionar dispositivos IBC baratos y eficientes.

Por lo tanto, existe la necesidad de un proceso más simplificado para realizar estructuras de contacto conductoras que deberían ser menos costosas y al mismo tiempo garantizar una alta confiabilidad y posiblemente una eficiencia mejorada.

### Sumario de la invención

La presente invención se refiere a un dispositivo fotovoltaico que permite paliar los inconvenientes de la técnica anterior. En particular, la invención permite proporcionar una simplificación considerable del flujo de proceso de acabado posterior de una célula solar IBC mediante el uso de una capa conductora junto con el uso de contactos de compuestos conductores o pasta, donde la estructura de contacto conductor modelada e interdigitada se realiza mediante deposición de sólo una capa de enmascaramiento de resina que incluye aberturas de al menos dos tipos diferentes, una deposición localizada de almohadillas de contacto y un proceso de grabado. En particular, la función múltiple de la capa de resina, que permanece de forma permanente sobre la célula solar, permite una gran simplificación del proceso final.

En un primer aspecto, la invención se consigue mediante un método para fabricar un dispositivo fotovoltaico de contacto posterior interdigitado (IBC) que comprende un sustrato que define un plano (X-Y) y, paralelo a dicho plano (X-Y), una dirección longitudinal (A-A) y una lateral (B-B), ortogonal a dicha dirección longitudinal (A-A) y que comprende las etapas (A-E) de:

Etapas A: proporcionar un sustrato de un dopaje de primer o segundo tipo que es un dopaje de tipo n o de tipo p y que tiene un lado frontal y un lado posterior y realizar en dicho lado posterior una estructura semiconductor que comprende porciones dopadas individuales de dicho dopaje de primer tipo y una estructura semiconductor dopada de un segundo tipo, que es de un tipo distinto al de dicho primer tipo, para proporcionar contactos semiconductores de tipos de carga eléctrica alternantes.

Etapas B: realizar una capa conductora encima de las estructuras semiconductoras dopadas.

Etapas C: realizar una capa de resistencia de aislamiento modelada, con una superficie posterior, sobre dicha capa conductora, y de modo que la capa de resistencia formada comprenda partes de resistencia y aberturas de resistencia,

Etapas D: aplicar una pluralidad de almohadillas conductoras sobre dicha capa de resistencia, de modo que las almohadillas conductoras llenen dichas aberturas de resistencia haciendo contacto eléctrico con dicha capa conductora. Además, las almohadillas conductoras, al llenar dichas aberturas de resistencia, protegen la capa conductora subyacente contra el ataque químico en la siguiente etapa de grabado.

Etapas E: grabar la capa conductora en las áreas especificadas por las aberturas en la capa de resistencia de aislamiento y formar hendiduras para separar eléctricamente las estructuras recolectoras de carga de primer tipo F1 de las estructuras recolectoras de carga de segundo tipo F2. Mediante las hendiduras separadoras eléctricas se forman la capa conductora y la pluralidad de almohadillas conductoras, las estructuras recolectoras de carga de primer tipo F1 y las estructuras recolectoras de carga de segundo tipo F2, extendiéndose las hendiduras entre dicha superficie posterior hasta como máximo la superficie posterior de dicha estructura semiconductor.

Las almohadillas conductoras realizadas mediante la Etapa D también pueden sobresalir de las aberturas de la resistencia y facilitar, sobresaliendo por encima de la superficie y/o sobresaliendo de las aberturas en la dirección X y/o Y de la resistencia, el contacto con las cintas o los hilos para interconectar las almohadillas de contacto individuales de la misma polaridad y entre los contactos de una polaridad de una célula solar para poner en contacto las almohadillas de polaridad opuesta de una segunda célula solar. Esas almohadillas conductoras también sirven como almohadillas protectoras para evitar el ataque químico o físico de la capa conductora de debajo de las aberturas, por ejemplo, durante un proceso de grabado efectuado durante el procesamiento posterior.

El proceso propuesto de la invención para establecer la estructura de contacto conductora individualizada permite usar solo 4 etapas de proceso principales depositando una capa conductora o apilamiento de capas, depositando una capa de resistencia de aislamiento, depositando las almohadillas de contacto y una etapa de grabado para separar los diferentes tipos de contactos y proporcionar una célula solar. Se incluyen, aunque no se mencionen en detalle, etapas

adicionales como el secado y/o curado de la capa de resina, así como las etapas de enjuague y secado usadas en un proceso de grabado químico.

Además, el método de la invención se basa en una deposición de bajo coste de una capa de resistencia de aislamiento. La deposición de la capa de resistencia de aislamiento se puede realizar, por ejemplo, mediante serigrafía o impresión por chorro de tinta.

En realizaciones, la capa de resistencia de aislamiento puede ser, por ejemplo, una resina, una laca, un polímero termoplástico imprimible o similar. La capa de resistencia de aislamiento puede ser opaca, o al menos parcialmente transparente o al menos parcialmente reflectante en al menos un cierto intervalo de longitud de onda predeterminado.

Además, la capa de resistencia de aislamiento garantiza una separación eléctrica de las cintas o de los hilos de conducción que se usan para interconectar las almohadillas de una polaridad en una primera célula y/o las almohadillas de contacto de una polaridad de una célula con las almohadillas de contacto de una segunda célula con la misma polaridad para la conexión en paralelo o de una polaridad opuesta para la conexión en serie.

Además, la capa de resistencia de aislamiento garantiza una separación eléctrica de las cintas o de los hilos de conducción que se usan para interconectar las almohadillas de una polaridad con las almohadillas de polaridad opuesta evitando el contacto eléctrico entre las cintas o los hilos con la capa conductora de debajo.

En una realización, dicha capa conductora comprende al menos una capa de óxido conductor transparente o al menos una capa metálica o una combinación de las mismas.

En una realización dicha capa de óxido conductor transparente (TCO, por sus siglas en inglés) de la capa conductora está hecha de óxidos conductores de uno de los materiales: Zinc (Zn), Estaño (Sn), Indio (In), Tungsteno (W), o una combinación de ellos. Para una mayor conductividad, esos óxidos metálicos se pueden dopar con elementos dopantes como Aluminio, Boro, Galio y Flúor.

En realizaciones, el material de al menos una capa metálica se elige entre: Cobre (Cu), Plata (Ag), Aluminio (Al), Níquel (Ni), Zinc (Zn), Estaño (Sn), Cromo (Cr), Berilio (Be), Oro (Au) o una aleación de los mismos.

La capa conductora o el apilamiento de capas se puede depositar mediante evaporación, pulverización catódica u otros procesos químicos o físicos conocidos usando un método de deposición asistido por plasma como haz de electrones, revestimiento iónico, deposición (PE)-CVD (por sus siglas en inglés), o una combinación de ellos.

En una realización, el material de dichas almohadillas conductoras comprende un compuesto o pasta eléctricamente conductora.

Dichas almohadillas conductoras están hechas preferiblemente de un compuesto conductor que comprende al menos uno de los materiales: Estaño (Sn), Plata (Ag), Indio (In), Bismuto (Bi), Cobre (Cu), Aluminio (Al), Níquel (Ni). El compuesto conductor puede ser, por ejemplo, una pasta de soldar, pastas de sinterización de baja o alta temperatura, polímeros conductores, por ejemplo a base de epoxi o silicio relleno de partículas metálicas, o similares. Las almohadillas conductoras se pueden depositar, por ejemplo, mediante serigrafía o impresión por chorro de tinta, u otros métodos que permitan depositar localmente un compuesto conductor.

En una realización, el método comprende opcionalmente una Etapa F que consiste en la realización de una capa de aislamiento en la parte posterior del dispositivo fotovoltaico rellenando al menos las hendiduras.

En una realización, el método comprende, opcionalmente, una Etapa G que consiste en la realización de una pluralidad de aberturas adicionales, definidas por las aberturas en la capa de resistencia de aislamiento. Dichas aberturas adicionales, con dimensiones laterales, pueden ser menores de 10  $\mu\text{m}$ , por ejemplo 2  $\mu\text{m}$ , y con una dimensión longitudinal, definida en la longitud de las aberturas, que puede ser tan grande como la anchura del sustrato. Las aberturas pueden tener cualquier forma, como agujeros redondos, elípticos, cuadrados, hexagonales o en forma de estrella, hendiduras largas o incluso una combinación de diferentes formas.

Proporcionar agujeros en la capa de resistencia de aislamiento y en la capa conductora permite proporcionar células solares que pueden ser células solares bifaciales. Tales agujeros también pueden mejorar el aumento de la corriente eléctrica de la célula solar, por ejemplo, cuando se usa un reflector posterior eficiente, tal como una lámina posterior teñida de blanco, dispuesta por ejemplo después de la encapsulación en un módulo de célula solar. Al usar aberturas pequeñas, las velocidades de grabado pueden ser más lentas en los agujeros, lo que permite grabar, en los agujeros, sólo metales pero no o no totalmente en la capa de TCO. Mantener intacta toda la capa de TCO permite proporcionar una colección de portadores eléctricos eficientes en un lado y al mismo tiempo proporcionar aberturas suficientes para asegurar la bifacialidad y/o la retro-reflectancia de la célula solar.

En una realización, el método comprende una Etapa H que consiste en conectar las almohadillas conductoras mediante las respectivas cintas y/o hilos eléctricamente conductores.

Estos conductores se usan para interconectar las almohadillas conductoras o los contactos de la misma polaridad en el dispositivo fotovoltaico. Estos conductores también se pueden usar para interconectar los contactos conductores de

una primera polaridad de un primer dispositivo con los contactos conductores de una segunda polaridad de una segunda célula para la interconexión en serie. Estos conductores también se pueden usar para interconectar las almohadillas de contactos de una primera polaridad de un primer dispositivo con los contactos conductores de una primera polaridad de una segunda célula para la interconexión en paralelo.

- 5 En un segundo aspecto, la invención se logra mediante un dispositivo fotovoltaico de contacto posterior interdigitado (IBC) con estructuras recolectoras de carga de primer tipo y estructuras recolectoras de carga de segundo tipo. El dispositivo fotovoltaico comprende un sustrato que comprende una estructura semiconductor que define una superficie frontal y una superficie posterior opuesta a dicha superficie frontal, comprendiendo la estructura semiconductor, en la parte posterior del sustrato, una estructura semiconductor dopada de primer tipo que consiste en una pluralidad de porciones dopadas -p o -n y una estructura semiconductor dopada de segundo tipo, que es del tipo de dopado diferente al de dicha estructura dopada de primer tipo.

El dispositivo fotovoltaico comprende además un apilamiento de capas dispuesto sobre dichas estructuras semiconductoras. El apilamiento de capas comprende;

- una capa conductora dispuesta sobre dicha estructura semiconductor;
- 15 - una capa de resistencia aislante modelada, dispuesta sobre dicha capa conductora, que comprende aberturas de contacto y aberturas de aislamiento y se proporcionan almohadillas conductoras en dicha capa de resistencia en dichas aberturas de contacto donde las almohadillas de contacto están en contacto eléctricamente con la capa conductora y pueden sobresalir de las aberturas de contacto.

- 20 En el dispositivo fotovoltaico, se proporcionan hendiduras en la capa conductora para separar las estructuras recolectoras de carga de primer tipo F1 de las estructuras recolectoras de carga del segundo tipo F2. Las hendiduras están definidas por el aislamiento de las aberturas realizadas en la capa de aislamiento. Las hendiduras tienen una profundidad que se extiende desde la superficie posterior de dicha capa de resistencia aislante modelada hasta dichas estructuras semiconductoras dopadas de primer o segundo tipo.

- 25 En una realización, dicha capa conductora comprende al menos una capa de óxido conductor transparente (TCO) o al menos una capa metálica o una combinación de las mismas.

En una realización, dichas hendiduras comprenden una sucesión de aberturas de las diferentes capas de dicho apilamiento de capas.

En una realización, la anchura lateral de la abertura en dicha al menos una capa de óxido conductor transparente (TCO) es menor que cualquiera de las anchuras laterales de las capas de dicha capa conductora.

- 30 En una realización, la anchura lateral de la abertura en dicha al menos una capa de óxido conductor transparente (TCO) es mayor que al menos una de las anchuras laterales de la capa de dicha capa conductora.

En una realización, dicha capa conductora comprende sobre dicha al menos una capa de óxido conductor transparente (TCO), y al menos uno de: una capa metálica, una segunda capa metálica, una capa metálica adicional.

- 35 En una realización, dicha capa metálica adicional está en contacto con dicha al menos una capa de óxido conductor transparente (TCO).

En una realización, la anchura lateral de la abertura en dicha al menos una capa de óxido conductor transparente es menor que al menos una de las anchuras laterales de las aberturas de las capas de dicha capa conductora.

En una realización, la anchura lateral de la abertura en dicha capa metálica adicional es menor que la anchura lateral de la abertura en dicha al menos una capa metálica.

- 40 En una realización, la invención se logra con un dispositivo fotovoltaico IBC, donde las estructuras semiconductoras proporcionan un contacto de heterounión con el sustrato de silicio cristalino.

- 45 En una realización, la invención es un dispositivo fotovoltaico IBC de tipo heterounión de unión de túnel, donde las estructuras semiconductoras dopadas de primer tipo se depositan localmente en la parte posterior de la célula y la estructura semiconductor dopada de segundo tipo se deposita en la parte posterior del dispositivo cubriendo al menos parcialmente también las estructuras semiconductoras dopadas de primer tipo. Con este proceso se establece una unión de túnel en las zonas de contacto de las estructuras semiconductoras dopadas de primer y segundo tipo.

- 50 En una realización, se deposita una capa protectora adicional encima de la capa de resina al menos en áreas de las hendiduras que separan las estructuras recolectoras de carga de primer tipo F1 de las estructuras recolectoras de carga de segundo tipo F2. En una implementación ventajosa de la invención, la capa protectora se deposita en toda la parte posterior del dispositivo fotovoltaico con un espesor que permite el contacto eléctrico de las almohadillas de contacto a través de la capa protectora. La capa protectora puede ser, por ejemplo, una capa de SiN.

En una realización, el dispositivo fotovoltaico de contacto posterior interdigitado (IBC) 1 comprende una pluralidad de

aberturas que se extienden desde la superficie posterior de la capa de resistencia hasta al menos una profundidad predeterminada d2 en dicha capa conductora, teniendo dichas aberturas dimensiones laterales en las direcciones x, y entre 2  $\mu$ m y la dimensión total del sustrato de la oblea y puede tener cualquier forma, tales como agujeros redondos, elípticos, cuadrados, hexagonales o en forma de estrella, hendiduras largas o incluso una combinación de diferentes formas.

En una realización, al menos dos células fotovoltaicas de contacto posterior interdigitado (IBC) están interconectadas mediante conductores. Las almohadillas conductoras de primer tipo de la primera célula están conectadas a las almohadillas conductoras de primer tipo de la segunda célula para la interconexión en paralelo o al segundo tipo de la segunda célula para la interconexión en serie.

## Breve descripción de los dibujos

La presente invención se describirá ahora con referencia a los dibujos adjuntos en donde:

- La Figura 1 ilustra una vista en perspectiva de un dispositivo IBC de unión realizado según la invención. La textura de la oblea de silicio se ha eliminado en las Figuras para mayor claridad, pero obviamente está presente en un dispositivo real. La Figura 1 y la Figura 6 ilustran los contactos eléctricos y la proyección de los dedos recolectores de carga en un plano horizontal de una capa de aislamiento en la parte posterior de un dispositivo de la invención.
- La Figura 2 ilustra la realización de una resistencia de aislamiento modelada en un apilamiento de capas encima de las estructuras de contacto semiconductoras;
- La Figura 3 ilustra un compuesto conductor depositado en las aberturas de la resina 14b y sobre la resistencia de aislamiento modelada de la Figura 2. En las Figuras 3 y en las Figuras 4 a-d, los dedos recolectores del segundo tipo de carga se ilustran como líneas discontinuas porque están en un plano paralelo diferente al de las Figuras 3, 4.
- Las Figuras 4a-4d ilustran secciones transversales verticales de realizaciones del dispositivo según la invención.
- La Figura 5 ilustra una versión opcional de la invención con una capa aislante adicional que llena al menos las hendiduras realizadas.
- La Figura 6 ilustra una vista superior de la parte posterior de un dispositivo según la invención e ilustra una disposición horizontal de las almohadillas conductoras que miran a los recolectores de carga de tipo -n y tipo -p. La Figura 6 ilustra la proyección de los dedos recolectores de carga en un plano horizontal de una capa de aislamiento en la parte posterior de un dispositivo según la invención.
- La Figura 7 ilustra una sección transversal vertical de un dispositivo según la Figura 3 a lo largo de una sección transversal lateral (B-B) como se ilustra en la Figura 6 que comprende una unión de túnel;
- La Figura 8 muestra una sección transversal lateral y vertical de un dispositivo que comprende una unión de túnel e ilustra la alineación de los hilos conductores dispuestos sobre las almohadillas conductoras;
- La Figura 9 ilustra una capa de resistencia de aislamiento que comprende una serie de aberturas;
- La Figura 10 ilustra una sección transversal lateral y vertical de un dispositivo con aberturas en la capa de resistencia de aislamiento de un dispositivo de la invención;
- La Figura 11 ilustra la sección transversal de una versión del dispositivo que comprende agujeros adicionales realizados después del grabado;
- Las Figuras 12 a 14 ilustran variantes típicas de secciones transversales de aberturas en una estructura multicapa de un dispositivo de la invención.

## Descripción detallada

La presente invención se describirá con respecto a realizaciones particulares y con referencia a ciertos dibujos, pero la invención no se limita a los mismos. Los dibujos descritos son sólo esquemáticos y no limitantes. En los dibujos, el tamaño de algunos de los elementos podrá estar exagerado y no dibujado a escala con fines ilustrativos. Las dimensiones y las dimensiones relativas no corresponden a reducciones reales de la práctica de la invención.

Cabe señalar que el término "que comprende" en la descripción y las reivindicaciones no se debe interpretar como restringido a los medios enumerados a continuación, es decir, no excluye otros elementos.

La referencia a lo largo de la memoria descriptiva a "una realización" significa que un rasgo, estructura o característica descrita en relación con la realización está incluida en al menos una realización de la invención. Así, las apariciones de la expresión "en una realización" o, "en una variante", en varios lugares a lo largo de la descripción no se refieren

necesariamente todas a la misma realización, sino a varias. Además, los rasgos, estructuras o características se pueden combinar de cualquier manera adecuada, como resultará evidente para un experto a partir de esta descripción, en una o más realizaciones. De manera similar, en ocasiones se agrupan diversas características de la invención en una única realización, figura o descripción, con el fin de hacer la descripción más fácil de leer y mejorar la comprensión de uno o más de los diversos aspectos de la invención. Además, aunque algunas realizaciones descritas a continuación incluyen algunas, pero no otras características incluidas en otras realizaciones, las combinaciones de características si son de diferentes realizaciones se pretende que estén dentro del alcance de la invención, y de diferentes realizaciones. Por ejemplo, cualquiera de las realizaciones reivindicadas se puede usar en cualquier combinación. También se entiende que la invención se puede practicar sin algunos de los numerosos detalles específicos establecidos. En otros casos, no se muestran detalladamente todas las estructuras para no obstaculizar la comprensión de la descripción y/o de las figuras.

En la presente invención se define un plano horizontal como un plano X-Y paralelo a una cara del sustrato 3. La expresión "sección transversal horizontal" significa una sección transversal en un plano X-Y. En la presente invención, la expresión "vertical" significa perpendicular al sustrato y define un eje Z. Una sección transversal vertical es una sección transversal en un plano X-Z o Y-Z que comprende el eje vertical Z. Una dirección radial significa una dirección definida en una sección transversal horizontal. Una dirección lateral se define en una dirección X y/o Y en un plano horizontal.

Una dirección longitudinal se define como una dirección sustancialmente en la longitud de los hilos conductores, no siendo los hilos conductores necesariamente hilos rectos sino que pueden tener una forma sinusoidal o comprender curvas o escalones. Una dirección lateral se define como una dirección ortogonal a la dirección longitudinal. Los hilos conductores se extienden principalmente en dicha dirección longitudinal y por lo tanto tienen una extensión mucho mayor en la dirección longitudinal (A-A en las Figuras) que en la dirección lateral (B-B en las Figuras).

Una anchura se define como una anchura de una estructura a través de una línea virtual en un plano horizontal, dicha anchura también se define como un diámetro. Los espesores se definen en la presente invención como espesores en la dirección Z vertical.

El término "capa de área completa" usado en la presente invención se define como una capa depositada sobre una superficie completa, por ejemplo de un sustrato 3 completo.

El término "abertura de contacto" se usa en la presente invención para definir aberturas configuradas para introducir al menos una porción de una capa conductora eléctrica que se usa con fines de contacto eléctrico.

El término "abertura de aislamiento" significa una abertura para aislar capas eléctricamente conductoras o porciones de capas eléctricamente conductoras adyacentes.

El término "anchura lateral de una abertura" se define en un plano horizontal X-Y y perpendicular a la longitud de esa abertura. Una anchura longitudinal de una abertura significa una anchura definida en la longitud de una abertura, estando definida la longitud perpendicular a dicha anchura lateral.

La invención proporciona una célula solar IBC 1, tal como un dispositivo fotovoltaico IBC de silicio cristalino que se puede producir con un proceso de bajo coste, especialmente en máquinas de producción de gran volumen. Las células IBC como se describen en la presente invención también comprenden células IBC que comprenden una unión de túnel.

En un primer aspecto, la invención se logra mediante un método para fabricar un dispositivo fotovoltaico de contacto posterior interdigitado (IBC) 1 que comprende un sustrato 2 que define un plano (X-Y) y, paralelo a dicho plano (X-Y), una dirección longitudinal (A-A) y una lateral (B-B), ortogonal a dicha dirección lateral (A-A) y que comprende las etapas (A-E) de:

Etapa A: proporcionar un sustrato 2 de un dopado de primer o segundo tipo que es un dopado de tipo -n o de tipo -p y con un lado frontal 2a y un lado posterior 2b y realizar en dicho lado posterior 2b una capa semiconductor, definida también como una estructura semiconductor 6, que comprende porciones individuales de capa dopada 6' de dicho dopado de primer tipo y porciones de capa semiconductor dopada 6'' de un segundo tipo, que es de un tipo diferente al de dicho primer tipo, para permitir realizar tipos alternos de contactos semiconductores. La estructura semiconductor 6 tiene una superficie inferior 6a y una superficie superior 6b opuesta a dicha superficie inferior 6a.

Etapa B: realizar una capa conductora 100 encima de las estructuras semiconductoras dopadas 6' y 6'';

Etapa C, ilustrada en la Figura 2: realizar una capa de resistencia de aislamiento modelada 14, con una superficie posterior 140, sobre dicha capa conductora 100, y de modo que la capa de resistencia formada comprenda partes de resistencia 14a y aberturas de resistencia 14b, 14c,

Etapa D, ilustrada en la Figura 3: aplicar una pluralidad de almohadillas conductoras 16, 16' sobre dicha capa de resistencia 14, y de modo que las almohadillas conductoras 16, 16' llenen dichas aberturas de resistencia 14b

haciendo contacto eléctrico con dicha capa conductora 100. La Figura 3 ilustra las almohadillas conductoras de segundo tipo 16' como líneas discontinuas proyectadas sobre el plano de la Figura 1. En realidad, las almohadillas conductoras de segundo tipo 16' están situadas en un plano paralelo al de las Figuras 3, 4 a-d. Como se ilustra en la Figura 4 a, las estructuras recolectoras de carga de primer tipo, F1, y segundo tipo, F2, también definidas como dedos recolectores de carga, se definen como el apilamiento de capas que comprende las almohadillas conductoras 16, 16' y las capas que están situadas debajo de las almohadillas conductoras 16, 16'. Dicho de otro modo, las estructuras recolectoras de carga F1, F2 son una combinación de la capa conductora estructurada 100 en combinación con las almohadillas de contacto. La Figura 6 ilustra una vista superior y hace que esta representación de las Figuras 3, 4 sea más clara al observar que los dedos de segundo tipo F2 no están en el plano definido por la sección A-A de la Figura 6 y están separados de ese plano por la porción discontinua ilustrada de las áreas de recolección de carga de segundo tipo IS2'

Etapas E, ilustrada en las Figuras 4 a-d: grabado de la capa conductora 100 en las áreas especificadas por las aberturas 14c en la capa de resistencia de aislamiento 14 para separar eléctricamente las áreas recolectoras de carga de primer tipo IS1 de las áreas de recolectoras de carga de segundo tipo IS2. El grabado de la capa conductora 100 se realiza no más allá de la parte superior 6b de la estructura semiconductor 6, es decir, las hendiduras realizadas 20 no se extienden dentro de la estructura semiconductor 6, al contrario de los dispositivos de la técnica anterior tales como los descritos, por ejemplo, en el D1 comentado en el párrafo de la técnica anterior de la presente invención.

El posicionamiento de las hendiduras 20 realizadas se describe con más detalle para diferentes variantes de la célula IBC.

Cabe señalar que el proceso de la invención no requiere una capa de pasivación, o cualquier otra capa, sobre la superficie de las hendiduras 20, al contrario de algunos dispositivos de la técnica anterior tal como el descrito en el Documento de Patente de los EE.UU. de Número US 2015/0280029. El proceso de la invención proporciona un proceso considerablemente más simple que permite realizar también un grabado más preciso y dispositivos fiables. De hecho, la realización de una estructura de contacto conductora individualizada solo requiere 4 etapas principales de proceso: depositar una capa conductora o el apilamiento de capas, depositar una capa de resistencia de aislamiento, depositar las almohadillas de contacto y una etapa de grabado para separar los diferentes tipos de contactos y proporcionar una célula solar. El proceso se completa preferiblemente realizando etapas adicionales tales como secado y/o curado de la capa de resina así como etapas de enjuague y secado usadas en un proceso de grabado químico.

En variantes, ilustradas en la Figura 5, se puede disponer una capa aislante adicional 50 en la célula y llenar al menos parcialmente las hendiduras realizadas 20.

En variantes, descritas con más detalle, la capa conductora 100 puede ser un apilamiento de capas conductoras 8, 10, 11, 12.

Por ejemplo, la capa conductora 100 puede comprender una capa de óxido conductor transparente 8 y/o una capa metálica 10, definida como una primera capa metálica, y/o una segunda capa metálica 12. En variantes, la capa conductora 100 puede comprender más de 3 capas diferentes. Por ejemplo, la capa conductora puede comprender al menos una capa metálica adicional 11 dispuesta entre una capa de óxido conductor transparente 8 y dicha segunda capa metálica 12. Las diferentes capas pueden tener diferentes espesores.

La profundidad d20 de las hendiduras 20 es como máximo igual a la suma del espesor d14 de la capa aislante 14 y del espesor d100 de la capa conductora:  $d_{20} \leq d_{14} + d_{100}$ . Esto es al contrario de los enfoques de la técnica anterior, tal como por ejemplo en el dispositivo descrito en el Documento de Patente de los EE.UU. de Número US2015/280029A1 en donde la profundidad de las hendiduras se extiende hacia las porciones de silicio dopado del sustrato.

En realizaciones ventajosas, las hendiduras 20 pueden tener formas diferentes a las cilíndricas o cónicas. Las hendiduras 20 pueden comprender escalones, cada uno de los cuales con diferentes secciones transversales, definidos en diferentes planos horizontales X-Y. Las Figuras 12, 13, 14 ilustran posibles ejemplos de hendiduras en forma de escalón 20 formadas por aberturas adyacentes 20', 20'', 20''', 20'''' de las capas conductoras 8, 10, 12 y la capa de aislamiento 14. Por ejemplo, en una realización ilustrada en la Figura 12, las anchuras laterales A1-A4 de las aberturas 20', 20'', 20''', 20'''' en la capa de aislamiento y en las capas eléctricamente conductoras, definidas en la dirección X, disminuyen desde la capa de aislamiento 14 hasta la superficie superior 6b de la estructura semiconductor 6.

En otro ejemplo mostrado en la Figura 13, la abertura 20' de la capa conductora 11 tiene una anchura lateral A5 más pequeña que la anchura A3 de la abertura 20'' de la capa conductora 10. Esta abertura de tamaño reducido 20' puede ayudar a evitar un contacto directo entre la capa conductora 10 y la capa de silicio 6. Tal característica es especialmente beneficiosa para evitar la difusión de iones metálicos como aluminio o cobre provenientes de la capa conductora 10 hacia la capa de silicio 6.

De manera similar, en otra realización, la capa de TCO 8 tiene una anchura lateral más pequeña en la abertura 20''''



para evitar dicha difusión de iones metálicos desde la capa conductora 10 hacia la capa de silicio 6.

Las aberturas individuales 20', 20'', 20''', 20'''' de las capas 14, 12, 10, 8, que forman dichas hendiduras 20, no deben tener necesariamente paredes verticales rectas.

En una variante, las almohadillas conductoras 16, 16', realizadas según la Etapa D, también pueden sobresalir de las aberturas de contacto 14b de la capa de resistencia 14 y facilitar, al sobresalir por encima de la superficie posterior 140 y/o al sobresalir de las aberturas en la dirección X y/o Y de la capa de resistencia 14, su puesta en contacto con las cintas o los hilos 18, 18' para interconectar las almohadillas de contacto individuales de la misma polaridad y entre los contactos de una polaridad de una célula solar con las almohadillas de contacto de la polaridad opuesta de una segunda célula solar. Esas almohadillas conductoras 16, 16' también sirven como almohadillas protectoras para evitar el ataque químico o físico de la capa conductora de debajo de las aberturas de contacto 14b, por ejemplo, durante un proceso de grabado efectuado durante el procesamiento posterior.

El sustrato 2 puede comprender en cada lado 2a, 2b una capa amortiguadora 4, 4'. Estas capas amortiguadoras 4, 4' se usan como capas de pasivación sobre el sustrato de silicio 2 para reducir la tasa de recombinación en la superficie del silicio. Estas capas amortiguadoras 4, 4' se pueden elegir y adaptar a sus tareas particulares. Por ejemplo, la capa amortiguadora 4', depositada en el lado frontal de la célula solar, puede ser de alta transparencia T ( $T > 60\%$  o  $T > 80\%$  en la parte visible y/o infrarroja del espectro electromagnético). La capa amortiguadora 4' en el lado frontal no necesita necesariamente una alta eficiencia de transferencia de portador. Para ello se puede usar, por ejemplo, una capa de silicio amorfo hidrogenado a-Si:H, una capa de SiO, SiC, SiN o AlOx hidrogenada. Estas capas suelen ser intrínsecas o estar sólo ligeramente dopadas para lograr efectos de pasivación más eficientes. En la parte trasera, la capa amortiguadora 4 opcional puede ser ventajosamente una capa de pasivación altamente transparente que también puede transferir cargas eléctricas de manera eficiente. Para ello se prefieren las capas de silicio amorfo intrínseco. En variantes, sólo se pueden usar capas de silicio amorfo hidrogenado ligeramente dopado, pero en principio se puede usar para este propósito cualquier capa que pueda ofrecer las características mencionadas anteriormente. Silicio amorfo hidrogenado ligeramente dopado significa una concentración de elemento dopante inferior a  $10^{19} \text{ cm}^{-3}$ .

En el lado frontal (es decir, el lado de la luz incidente) del dispositivo IBC 1, se puede depositar una segunda capa adicional 40 encima de la capa amortiguadora 4', para mejorar aún más la eficiencia del dispositivo al reducir el reflejo de la luz en la interfaz entre el dispositivo fotovoltaico y el material circundante.

Las estructuras de contacto semiconductoras de polaridades opuestas se pueden establecer mediante diferentes procesos, como difusión localizada, procesos de dopaje de superficie completa y, por último, mediante el retrograbado químico o físico localizado usando máscaras removibles o mediante eliminación con láser.

También, se puede usar la deposición localizada de capas de silicio dopado para realizar las estructuras de contacto semiconductoras de tipo alternante.

Una variante ventajosa de esta última tecnología se puede realizar mediante una deposición localizada de estructuras semiconductoras de un primer tipo de dopaje 6' y una deposición no localizada de una capa semiconductor de un segundo tipo de dopaje 6'' que cubra al menos parcialmente las estructuras de un primer tipo de dopaje 6' y con ello establecer una unión de túnel en las superficies de contacto entre las estructuras 6' y la capa 6''. Estas estructuras están compuestas por silicio amorfo y/o nanocristalino.

La deposición de la capa de aislamiento o resistencia modelada 14 tiene que estar alineada con respecto a las estructuras semiconductoras alternas 6', 6''. La alineación se puede realizar usando la estructura de patrón individual como marcas de alineación o mediante una marca fiduciaria adicional, establecida con cualquiera de las estructuras semiconductoras 6', 6''. La capa de resistencia de aislamiento modelada 14 se puede depositar mediante serigrafía, impresión por chorro de tinta, tampografía o un método similar. La capa de resistencia de aislamiento modelada 14 tiene un espesor típico d14 de  $1 \mu\text{m}$  a  $100 \mu\text{m}$ .

Como se ilustra en las Figuras 1, 5, 6, dichas hendiduras 20 separan las áreas de recolección de carga de primer tipo IS1 de las áreas de recolección de carga de segundo tipo IS2. Las hendiduras 20 pueden tener cualquier sección transversal horizontal (X-Y), tal como una sección transversal rectangular o elíptica, y pueden tener una anchura uniforme. Las hendiduras 20 también pueden estar formadas por al menos 4 hendiduras continuas que pueden tener diferentes anchuras.

Las hendiduras 20 que separan las áreas de recolección de carga de primer tipo IS1 del(de las) área(s) de recolección de carga de segundo tipo IS2 proporcionan una amplia flexibilidad de diseño de la forma de estas áreas IS1, IS2. En un diseño ejemplar ilustrado en las Figuras 1-11, las áreas de recolección de carga de primer tipo IS1 comprenden 3 dedos de recolección de carga de primer tipo F1, por ejemplo estructuras recolectoras de carga de tipo -n, que comprenden cada una, una almohadilla conductora 16. La Figura 1 ilustra 6 de dichas áreas de recolección de carga de primer tipo IS1, definidas también como islas de recolección de carga de primer tipo IS1 (tipo -n o -p). El resto de la superficie, separada de dichas zonas de recolección de cargas de primer tipo IS1 por dichas hendiduras 20, es del otro tipo -p o -n y constituye la zona de recolección de cargas de segundo tipo IS2. Dicho de otro modo, cada una de la pluralidad de áreas de recolección de carga de primer tipo IS1 comprende al menos una estructura recolectora de carga, para recolectar electrones o huecos, y las áreas restantes de la célula comprenden una pluralidad de estructuras

recolectoras de carga para recolectar las cargas opuestas. Por ejemplo, en la Figura 1, la pluralidad de áreas de recolección de carga de primer tipo IS1 puede ser una pluralidad de áreas que comprenden cada una 3 cargas de recolección de electrones y el área restante de la célula, definida como área(s) de recolección de carga de segundo tipo IS2, comprende una pluralidad de estructuras para recolectar huecos. Las estructuras recolectoras de electrones y huecos pueden tener diferentes dimensiones en 3D, por ejemplo, pueden tener diferentes anchuras en una dirección, por ejemplo las anchuras W3, W4 en una dirección lateral Y como se ilustra en la Figura 6. La expresión "áreas" son "áreas" proyectadas y significa en la presente invención que las estructuras subyacentes también son parte de ella, es decir, un área de recolección de carga de primer tipo IS1 comprende todas las capas bajo el área o la isla IS1.

Las anchuras laterales típicas WG1, WG2 de las hendiduras 20 están entre 10  $\mu\text{m}$  y 1000  $\mu\text{m}$ . Estas anchuras laterales se definen como las anchuras laterales más grandes de las hendiduras proyectadas en un plano horizontal X-Y. De hecho, como se describe e ilustra con más detalle en las Figuras 12 a 14, las hendiduras 20 pueden tener, en secciones transversales verticales, anchuras que varían en la dirección vertical.

Los valores de cada una de las aberturas individuales A1, A2, A2, A4, A5 de la capa de aislamiento 14' y de las capas conductoras 8, 10, 11, 12 pueden ser típicamente, pero no limitadas a: de 10  $\mu\text{m}$  hasta 300  $\mu\text{m}$ .

Las hendiduras 20 se realizan mediante el retrograbado de la capa conductora 100 en áreas definidas por las aberturas de aislamiento 14c. El grabado se puede realizar mediante grabado químico en una sola etapa con una disolución química adaptada para grabar todo el apilamiento de las capas eléctricamente conductoras 100 al mismo tiempo o en múltiples etapas con disoluciones químicas adaptadas a cada tipo de material de la capa conductora 8, 10, 11, 12.

En un ejemplo ventajoso de la invención, el proceso de grabado está adaptado de manera que al menos dos de las anchuras laterales A1-A5 de las aberturas 20'-20'' de capas sucesivas 8, 10, 11, 12, 14, como se describe más adelante, tienen diferentes anchuras.

Entre los procedimientos de grabado químico también se pueden usar etapas de enjuague, así como una etapa de secado final. El grabado químico se puede realizar en un baño de inmersión o mediante el rociado del agente de grabado químico encima de la parte posterior de la célula solar. El retrograbado también se puede realizar en un sistema en línea donde el lado de la oblea que se va a grabar flota sólo sobre la disolución de grabado. El retrograbado químico también se podría acelerar por medios físicos como activación ultrasónica o revestimiento inverso de la capa conductora en las aberturas de aislamiento 14c. El retrograbado de parte de la capa conductora 100 en las aberturas de aislamiento 14c también se podría realizar con medios físicos como un grabado con plasma.

En una realización, el método comprende un Etapa F que comprende una deposición adicional de una capa aislante adicional 50 al menos en las hendiduras 20. Una capa aislante 50 puede ser, por ejemplo, cualquier capa de resistencia orgánica o una capa dieléctrica inorgánica como SiOx, SiN o similar. La deposición de la capa aislante adicional 50 se podría efectuar mediante serigrafía, impresión por chorro de tinta u otro proceso adaptado para este fin. Se podría depositar una capa dieléctrica 50 mediante CVD, pulverización catódica, ALD (por sus siglas en inglés) u otros métodos técnicamente conocidos.

El espesor de una capa aislante 50 puede estar entre 10 nm y 10  $\mu\text{m}$ . El espesor de una capa aislante 50 no debe ser necesariamente uniforme sobre su plano horizontal.

Una capa aislante, especialmente en el caso de una capa muy fina, puede cubrir también toda la parte posterior del dispositivo fotovoltaico 1. En el caso de capas muy finas que cubran también las almohadillas de contacto 16, 16', también se puede establecer un contacto eléctricamente conductor con las cintas o los hilos de contacto 18, 18' a través de la capa aislante sin necesidad de abrir localmente la capa en los puntos de contacto.

La invención también se logra mediante un dispositivo fotovoltaico de contacto posterior interdigitado (IBC) 1 como el realizado mediante el proceso descrito en la presente invención. El dispositivo fotovoltaico de contacto posterior interdigitado (IBC) 1 tiene estructuras recolectoras de carga de primer tipo F1 y estructuras recolectoras de carga de segundo tipo F2. El dispositivo fotovoltaico comprende un sustrato 2 que comprende una estructura semiconductor 6 que define una superficie frontal 6a y una superficie posterior 6a opuesta a dicha superficie frontal 6a. La estructura semiconductor 6 comprende, en la parte posterior del sustrato 2, una estructura semiconductor dopada de primer tipo que consiste en una pluralidad de porciones dopadas -n o -p 6' y una estructura semiconductor dopada de segundo tipo 6'', que es del otro tipo de dopado de dicha estructura dopada de primer tipo.

Un apilamiento de capas 100, 14, 16 está dispuesto sobre dichas estructuras semiconductoras 6', 6'' y comprende:

- una capa conductora 100 dispuesta sobre dichas estructuras semiconductoras 6', 6'';
- una capa de resistencia aislante modelada 14, dispuesta sobre dicha capa conductora 100, que comprende aberturas de contacto 14b y aberturas de aislamiento 14c;
- almohadillas conductoras 16, 16' sobre dicha capa de resistencia 14 en dichas aberturas de contacto 14b donde las almohadillas de contacto hacen contacto eléctricamente con la capa conductora 100 y pueden sobresalir de las aberturas de contacto 14b.

El apilamiento de capas 100, 14, 16 comprende también hendiduras 20 que se proporcionan en la capa conductora 100. Como se ilustra en la Figura 6, las hendiduras 20 comprenden preferiblemente 4 porciones de hendidura continuas 20a, 20b, 20c, 20d, para separar eléctricamente las estructuras recolectoras de carga de primer tipo F1 y las estructuras recolectoras de carga de segundo tipo F2. Las hendiduras 20 comprenden dichas aberturas de aislamiento 14c en la capa de resistencia de aislamiento 14. Las hendiduras 20 se extienden verticalmente entre dicha superficie posterior 140 hasta como máximo la superficie posterior 6b de dicha estructura semiconductor 6.

En realizaciones, dicha capa conductora 100 es un apilamiento de capas de al menos dos capas conductoras.

En realizaciones ventajosas, la capa conductora 100 comprende al menos una capa de óxido conductor transparente (TCO) 8 o al menos una capa metálica 10 o una combinación de las mismas.

En realizaciones, dichas hendiduras 20 están formadas por una sucesión vertical de aberturas 20', 20'', 20''', 20<sup>v</sup> de al menos dos capas diferentes 14, 12, 10, 11, 8 de dicho apilamiento de capas. Las aberturas 20', 20'', 20''', 20<sup>v</sup> pueden tener diferentes anchuras laterales A1-A5 como se explica en las realizaciones siguientes.

Las hendiduras 20 tienen preferiblemente, en un plano horizontal X-Y, como se ilustra en la Figura 6, un diseño de forma rectangular definido por al menos 4 hendiduras continuas 20a, 20, 20c, 20d. Las porciones 20a, 20, 20c, 20d que forman las hendiduras 20, como se ilustra en la Figura 6, no deben tener todas la misma anchura lateral y no deben ser necesariamente hendiduras rectas en su longitud. Por ejemplo, las partes opuestas 20a y 20c de las hendiduras 20 pueden tener anchuras laterales diferentes a las de las otras 2 posiciones opuestas 20b, 20d. Las hendiduras 20 pueden tener, en un plano horizontal, otras formas tales como una forma ovalada o una forma hexagonal o cualquier otra forma 2D.

En realizaciones, ilustradas en la Figura 13, la anchura lateral A4 de la abertura 20''' en dicho al menos un óxido conductor transparente (TCO) 8 es mayor que las anchuras laterales A2, A3 de la capa metálica 10 o de la segunda capa metálica 12 de dicha capa conductora 100.

En realizaciones, la anchura lateral A4 de la abertura 20''' en dicho al menos un óxido conductor transparente (TCO) 8 es menor que cualquiera de las anchuras laterales de la capa de dicha capa conductora 100. Por ejemplo, en la realización de la Figura 14, la anchura lateral A4 de la abertura 20''' en dicho al menos un óxido conductor transparente (TCO) 8 es menor que las anchuras laterales de la capa metálica 10 y de la segunda capa metálica 12.

En realizaciones, ilustradas en la Figura 13, dicha capa conductora 100 comprende sobre dicho al menos un óxido conductor transparente (TCO) 8, y en orden sucesivo a partir del al menos un óxido conductor transparente (TCO) 8: al menos una capa metálica adicional 11, una primera capa metálica 10 y una segunda capa metálica 12. La capa adicional puede ser una capa de plata (Ag). La segunda capa metálica (12) puede ser una capa de cobre (Cu).

En realizaciones, ilustradas en la Figura 13, la anchura lateral A5 de la abertura 20<sup>v</sup> de dicha capa metálica adicional 11 es mayor que la anchura lateral A2 de dicha segunda capa metálica 12. En variantes, no ilustradas, la anchura lateral A5 de la abertura 20<sup>v</sup> de dicha capa metálica adicional 11 es menor que la anchura lateral A2 de dicha segunda capa metálica 12.

El eje central virtual 22 de las hendiduras 20 está preferiblemente alineado con el centro de la interfaz de separación 60 entre las dos áreas dopadas diferentes 6', 6''. Pero en variantes, ilustradas en la Figura 4a, el eje central virtual 22 puede estar verticalmente alineado con el borde inferior o superior de dicha interfaz 60. En variantes, tales como las ilustradas, por ejemplo, en la Figura 4a, un borde lateral 25 de las hendiduras 20 está alineado con un borde inferior 600 de dicha interfaz de separación 60.

Las Figuras 4a-4d son variantes que ilustran versiones diferentes, no exclusivas, de disposiciones de porciones dopadas 6' de dicho dopado de primer tipo y de estructura semiconductor dopada 6'' de un dopado de segundo tipo.

Por ejemplo, en la variante de la Figura 4d, se dispone una capa amortiguadora modelada 4 sobre la capa semiconductor dopada 6.

Las Figuras 4a-4d ilustran también diferentes tipos de interfaces 60 entre estas porciones de capa dopada 6', 6''. Las interfaces 60 pueden ser verticales (es decir, en la dirección Z) o las interfaces pueden formar un ángulo con la dirección vertical. Las interfaces 60 pueden ser interfaces curvas.

En el caso de una célula IBC 1 que comprende una unión de túnel, como se ilustra en la sección transversal de las Figuras 4c, 7, 8, 10, 11, el eje central virtual 22 está preferiblemente alineado, preferiblemente dentro de un margen de algunos micrómetros, con el borde de las porciones dopadas individuales 6' de dicho dopado de primer tipo. En variantes, ilustradas por ejemplo en la Figura 8, los bordes laterales 24, 25 de las hendiduras 20 están alineados verticalmente, dentro de algunos micrómetros, con el borde de las porciones dopadas individuales 6' de dicho dopado de primer tipo.

Se entiende que los bordes laterales 24, 25 de las hendiduras 20 están configurados de manera que haya una separación eléctrica de las áreas vecinas de recolección de carga de diferente tipo, IS1 e IS2, como áreas de

recolección de huecos y electrones.

En realizaciones, ilustradas en la Figura 6, las hendiduras 20 pueden tener diferentes anchuras laterales WG1, WG2 alrededor de al menos una de dichas primeras áreas dopadas IS1.

5 En una realización, ilustrada en las Figuras 2-5, 7, 8, 10, 11, dicha capa conductora 100 comprende al menos una capa conductora transparente o al menos una capa metálica o una combinación de las mismas. Más precisamente, la capa conductora 100 puede ser una de las siguientes combinaciones ejemplares, sin excluir otras variantes: sólo una capa de TCO, sólo una capa de metal, un apilamiento de TCO-metal, un apilamiento de TCO/metal/metal. En variantes, la capa conductora 100 no comprende ninguna capa de TCO.

10 La capa conductora 100 también podría estar hecha de una capa orgánica conductora, es decir, PEDOT:PSS (por sus siglas en inglés), con o sin aditivos conductores como nanotubos de carbono o nanohilos de plata.

En variantes de dicho apilamiento de capas conductoras 100, sus diferentes capas pueden tener diferentes espesores.

Un espesor típico d100 de dicha capa conductora 100, que posiblemente sea un apilamiento de capas conductoras, está preferiblemente entre 50 nm y 10000 nm, más preferiblemente entre 100 nm y 10000 nm.

15 En una realización, dicha capa de óxido conductor transparente (TCO) de la capa conductora 8 está hecha de óxidos conductores de uno de los materiales: Zinc (Zn), Estaño (Sn), Indio (In), Tungsteno (W), o una combinación de ellos. Dicha capa de TCO puede ser también un apilamiento de óxidos conductores fabricados de diferentes tipos, por ejemplo un apilamiento de ZnO e ITO. Para una mayor conductividad, esos óxidos metálicos se pueden dopar con elementos dopantes como aluminio, boro, galio y flúor. El espesor de la capa 8 puede estar entre 10 y 500 nm, normalmente 120 nm para aumentar la reflexión en la región de la longitud de onda del infrarrojo.

20 En una realización, el material de dicha capa o capas metálicas se elige entre: Cobre (Cu), Aluminio (Al), Níquel (Ni), Plata (Ag), Zinc (Zn), Estaño (Sn), Cromo (Cr), Berilio (Be) u Oro (Au). El espesor de la capa metálica 10 suele estar entre 50 nm y 1000 nm. El espesor de la capa metálica 12 suele estar entre 5 nm y 50 nm.

25 La capa conductora o el apilamiento de capas conductoras 100 se puede depositar mediante evaporación, pulverización catódica u otros procesos químicos o físicos conocidos que usan un método de deposición asistido por plasma como haz de electrones, revestimiento iónico, deposición (PE)-CVD o una combinación de ellos.

30 En realizaciones ventajosas, dichas almohadillas conductoras 16, 16' se extienden en una dirección lateral (A-A) y/o longitudinal (B-B) fuera de las aberturas de contacto 14b en la capa aislante 14. Por ejemplo, la Figura 4 ilustra una sección transversal longitudinal de una célula fotovoltaica e ilustra una forma típica de las almohadillas conductoras longitudinales de los dedos recolectores de primer tipo F1. La anchura de las almohadillas conductoras 16, 16' es al menos la anchura WH de las aberturas de contacto 14b en las que se depositan.

35 En una realización, ilustrada en la Figura 11, el dispositivo fotovoltaico puede comprender aberturas adicionales 200. Esto se puede realizar mediante una etapa de fabricación adicional G que consiste en la realización de una pluralidad de aberturas adicionales 200 definidas por aberturas de tercer tipo 14d en la capa de resistencia de aislamiento 14 y esto hasta al menos una profundidad predeterminada d200 en dicha capa conductora 100. Dichas aberturas adicionales 200 pueden tener cualquier forma de sus secciones transversales horizontales tales como agujeros redondos, elípticos, cuadrados, hexagonales o en forma de estrella, hendiduras largas o incluso una combinación de diferentes formas. Las anchuras laterales más grandes de las aberturas adicionales pueden ser inferiores a 10 µm, por ejemplo 2 µm, y pueden tener una dimensión longitudinal, definida en la longitud de las aberturas, que puede ser tan grande como la anchura del sustrato.

40 La realización de la Figura 11 se refiere a células IBC que tienen una unión de túnel. Pero en variantes dicha pluralidad de aberturas adicionales 200 también se puede realizar en células IBC del tipo ilustrado en las Figuras 2-5.

45 La profundidad predeterminada d200 depende de la composición individual de la capa conductora 100. En el caso de una capa metálica completa o de un apilamiento de capas metálicas, la profundidad d200 sería el espesor de la capa metálica o del apilamiento de capas metálicas d100 más el espesor de la capa de resistencia de aislamiento, es decir,  $d200 = d100 + d14$ .

En el caso de un apilamiento de capas donde se deposita primero una capa de óxido conductor transparente 8, con un espesor d8, sobre la parte superior de las estructuras semiconductoras 6', 6'', el espesor d200 se puede definir mediante:

$$d100 + d14 - d8 \leq d2 \leq d100 + d14;$$

50 Dichas aberturas adicionales 200 se pueden realizar a lo largo de una profundidad d202 dentro de una capa de óxido conductor transparente 8, como se ilustra en la Figura 11.

Dichas aberturas adicionales pueden tener cualquier forma, como agujeros redondos, elípticos, cuadrados, hexagonales o en forma de estrella, hendiduras largas o incluso una combinación de diferentes formas.

Los agujeros adicionales 200 pueden garantizar una cierta transparencia y bifacialidad de la capa conductora incluso en el caso de una capa conductora opaca 100 y con ello mejorar potencialmente la eficiencia de un sistema fotovoltaico hecho de estos dispositivos fotovoltaicos.

En una realización, el método comprende una Etapa H que consiste en conectar las almohadillas conductoras 16, 16' mediante respectivas cintas y/o hilos eléctricamente conductores 18, 18'. Más precisamente, todas las almohadillas conductoras 16 de las estructuras de contacto recolectoras dopadas de primer tipo F1 están conectadas mediante primeras cintas y/o hilos eléctricamente conductores 18, y todas las almohadillas conductoras 16' de las estructuras de contacto recolectoras de segundo tipo F2 están conectadas mediante segundas cintas y/o hilos eléctricamente conductores 18'. Los primeros y segundos hilos conectores o cintas 18, 18' pueden tener diferentes formas, anchuras, espesores o estar hechos de diferentes materiales. Los primeros y segundos hilos conectores o cintas 18, 18' tienen su longitud media principalmente en una dirección longitudinal A-A. Los primeros y segundos hilos conectores o cintas 18, 18' no deben ser necesariamente hilos rectos sino que pueden estar curvados o doblados localmente. Los hilos conectores o cintas también se pueden usar para conectar un dispositivo fotovoltaico a un segundo dispositivo fotovoltaico o a segundos dispositivos fotovoltaicos. Al conectar el primer tipo de polaridad de un primer dispositivo a un segundo tipo de polaridad de un segundo dispositivo se establece una conexión en serie de estos dos dispositivos y/o al conectar el primer tipo de polaridad de un primer dispositivo a un primer tipo de polaridad de un segundo dispositivo se establece una conexión en paralelo de los dispositivos.

Un aspecto esencial del dispositivo de la invención es que la capa de resistencia de aislamiento 14 garantiza una separación eléctrica total de los hilos o cintas 18, 18'.

En una realización, el material de dichas almohadillas conductoras 16, 16' comprende un compuesto eléctricamente conductor.

Dichas almohadillas conductoras se depositan como una pasta que comprende uno de los materiales: Estaño (Sn), Indio (In) o Bismuto (Bi), Plata (Ag), Cobre (Cu), Níquel (Ni), Aluminio (Al). Estas pastas pueden ser, por ejemplo, pastas para soldar o pastas o colas a base de polímeros, pastas para encapsular a baja temperatura o similares que se usan tanto para unir componentes electrónicos como para realizar contactos en células solares. En una realización, dicha capa conductora 100, que puede ser un apilamiento de capas 8, 10, 12, se realiza en toda la superficie del lado posterior de la célula, es decir, cubriendo al menos más del 80 %, preferiblemente más del 95 % de la superficie completa de la superficie trasera 140 de la célula fotovoltaica 1.

Otros posibles materiales de las almohadillas conductoras 16, 16' pueden ser, por ejemplo, pastas poliméricas rellenas de grafeno o grafito.

En una realización, cada una de dichas hendiduras 20 son hendiduras que rodean completamente dichas estructuras de contacto recolectoras de primer tipo F1. En una realización, cada una de dichas hendiduras 20 son hendiduras que rodean completamente dichas estructuras de contacto recolectoras de segundo tipo F1. Las hendiduras 20 pueden tener cualquier forma, rodear las áreas de recolección de cargas de primer tipo IS1 y comprender cualquier número de estructuras recolectoras de carga del mismo tipo F1 o F2. No es necesario que las estructuras recolectoras de carga F1, F2 estén alineadas a lo largo de una línea como se ilustra en las figuras ejemplares de la presente invención, sino que se pueden disponer según una distribución radial, por ejemplo dentro de una isla de forma circular IS1.

Para mayor claridad, el otro tipo de almohadillas recolectoras de carga 16' se ilustran en la misma Figura 4 aunque están ubicadas en un plano paralelo, por lo tanto, la almohadilla recolectora de carga de segundo tipo 16' se ilustra con líneas discontinuas.

En un segundo aspecto, la invención se logra mediante un dispositivo fotovoltaico de contacto posterior interdigitado (IBC) 1 con estructuras de contacto recolectoras de primer tipo F1 y estructuras de contacto recolectoras de segundo tipo F2, comprendiendo el dispositivo fotovoltaico 1 un sustrato 2 con estructuras dopadas de primer tipo que consisten en una pluralidad de porciones dopadas -n o dopadas -p 6' y una estructura semiconductor dopada de segundo tipo 6'' que es del otro tipo de dopado de dicha estructura dopada de primer tipo y mediante la cual se establecen tipos alternos de contactos semiconductores.

En realizaciones ventajosas, la célula IBC puede comprender una unión de túnel como se ilustra en la Figura 4c. Se entiende que todas las realizaciones descritas en la presente invención se aplican también a células IBC que comprenden una unión de túnel.

Se entiende también que todas las características posibles que se pueden proporcionar según cualquiera de las realizaciones de las etapas del método, descritas en la presente invención, pueden ser parte del dispositivo fotovoltaico de contacto posterior interdigitado (IBC) 1.

Sobre dichas estructuras semiconductoras de primer y/o segundo tipo 6', 6'' se dispone un apilamiento 100, 14, 16, que comprende:

- una capa conductora 100;

- una capa de resistencia aislante modelada 14 que comprende aberturas pasantes de primer tipo y segundo tipo 14b, c que son, respectivamente, agujeros de contacto 14b y agujeros de aislamiento 14c;
- almohadillas conductoras 16, 16' que se depositan sobre dicha capa de resistencia 14 y en las aberturas de contacto 14b de modo que se realiza un contacto eléctrico con la capa conductora 100.

5 En variantes, ilustradas, por ejemplo, en las Figuras 10, 11, los contactos 16, 16' pueden tener, en al menos una sección transversal, la forma de una curva gaussiana 17. Las hendiduras 20 en la capa conductora 100 están provistas para separar eléctricamente las estructuras de contacto recolectoras de primer tipo F1 y las estructuras de contacto recolectoras de segundo tipo F2. Las hendiduras 20 se extienden desde la superficie posterior 140 de dicha capa de resistencia aislante modelada 14 hasta dichas estructuras semiconductoras dopadas de primer y/o segundo tipo 6', 6".

En una realización, el dispositivo fotovoltaico interdigitado (IBC) 1 comprende estructuras semiconductoras dopadas 6', 6" que proporcionan un contacto de heterounión al sustrato de silicio cristalino 2.

En una realización adicional, el dispositivo fotovoltaico interdigitado (IBC) comprende estructuras semiconductoras 6' de un primer tipo de dopaje que se depositan localmente en la parte posterior del dispositivo y una estructura semiconductor de un segundo tipo de dopaje 6" que se deposita en la parte posterior del dispositivo 1 y que cubre al menos parcialmente las estructuras semiconductoras 6' y que proporciona una unión de túnel en las zonas de contacto entre las estructuras 6' y la estructura 6".

En una realización, el dispositivo fotovoltaico de contacto posterior interdigitado (IBC) 1 comprende una pluralidad de orificios 200 que se extienden desde la superficie posterior 140 de la capa de resistencia hasta al menos una profundidad predeterminada d2 en dicha capa conductora 100. Los agujeros 200 pueden tener cualquier forma en cualquier plano de sección transversal horizontal (X-Y) o vertical (X-Z, Y-Z).

La invención también se logra mediante un sistema fotovoltaico que comprende al menos dos dispositivos fotovoltaicos de contacto posterior interdigitado (IBC) 1 que están interconectados por conductores y en donde las almohadillas conductoras de primer tipo 16 de una primera célula están conectadas a las almohadillas conductoras de segundo tipo 16' de la segunda célula mediante el establecimiento de una conexión en serie de los dispositivos conectados correspondientemente. Las almohadillas conductoras de primer o segundo tipo 16, 16' de la primera célula se pueden conectar respectivamente a las almohadillas conductoras de primer o segundo tipo 16, 16' de la segunda célula y establecer así una conexión en paralelo de dispositivos fotovoltaicos de contacto posterior interdigitado (IBC) 1 conectados correspondientemente.

En una realización, al menos dos dispositivos fotovoltaicos de contacto posterior interdigitado (IBC) 1 están interconectados mediante conductores eléctricos 18, 18'.

# REIVINDICACIONES

1. Un método para fabricar un dispositivo fotovoltaico de contacto posterior interdigitado (IBC) 1 que comprende un sustrato (2) que define un plano (X-Y) y, paralelo a dicho plano (X-Y), una dirección longitudinal (A-A) y lateral (B-B), ortogonal a dicha dirección longitudinal (A-A), y que comprende las etapas (A-E) de:

- 5           - Etapa A: proporcionar un sustrato (2) de un dopaje de primer o segundo tipo que es un dopaje de tipo -n o de tipo -p y con un lado frontal (2a) y un lado posterior (2b) y realizar en dicho lado posterior (2b) una estructura semiconductor (6) que define una superficie frontal (6a) al lado de dicho sustrato (2) y una superficie posterior (6b) opuesta a dicha superficie frontal (6a), comprendiendo la estructura semiconductor (6) porciones dopadas individuales (6') de dicho dopado de primer tipo y una estructura semiconductor dopada (6'') de un segundo tipo, que es del tipo diferente al de dicho primer tipo, para proporcionar contactos semiconductores de tipos de carga eléctrica alternas;
- 10           - Etapa B: realizar una capa conductora (100) encima de dichas estructuras semiconductoras dopadas (6') y (6'');
- 15           - Etapa C: realizar una capa de resistencia de aislamiento (14) modelada, con una superficie posterior (140), sobre dicha capa conductora (100), y de modo que la capa de resistencia formada (14) comprenda partes de resistencia (14a) y aberturas de contacto (14b) y aberturas de aislamiento (14c), y de modo que los patrones (14a, 14b, 14c) de la capa de resistencia de aislamiento (14) estén alineados con respecto a dichas estructuras semiconductoras (6', 6'');
- 20           - Etapa D: aplicar una pluralidad de almohadillas conductoras (16, 16') sobre dicha capa de resistencia de aislamiento (14), y de modo que las almohadillas conductoras (16, 16') llenen dichas aberturas de contacto (14b) haciendo contacto eléctrico con dicha capa conductora (100),
- 25           - Etapa E: grabar la capa conductora (100) en áreas especificadas por las aberturas de aislamiento (14c) en la capa de resistencia de aislamiento (14) y realizar hendiduras (20), que se extienden entre dicha superficie posterior (140) hasta como máximo la superficie posterior (6b) de dicha estructura semiconductor (6), para formar estructuras recolectoras de carga de primer tipo (F1) y estructuras recolectoras de carga de segundo tipo (F2) separadas eléctricamente.

2. El método según la reivindicación 1, en donde dicha capa conductora (100) comprende al menos un óxido conductor transparente (TCO) (8) o al menos una capa metálica (10) o una combinación de los mismos.

3. El método según la reivindicación 2, en donde dicha capa de óxido conductor transparente (8) está hecha de uno de los óxidos de los metales: Indio (In), Zinc (Zn), Estaño (Sn), Tungsteno (W) o una combinación de ellos.

30    4. El método según la reivindicación 2, en donde el material de dicha al menos una capa metálica se elige entre: Cobre (Cu), Plata (Ag), Aluminio (Al), Níquel (Ni), Zinc (Zn), Estaño (Sn) Cromo. (Cr), Berilio (Be), Oro (Au) o una aleación de los mismos.

5. El método según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, en donde el material de dichas almohadillas conductoras (16, 16') comprende un compuesto o pasta eléctricamente conductor.

35    6. El método según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, en donde opcionalmente se realiza una etapa F que consiste en la realización de una capa de aislamiento adicional (50) en la parte posterior del dispositivo fotovoltaico (1) rellenando al menos las hendiduras (20).

40    7. El método según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, en donde opcionalmente se realiza una etapa G que consiste en la realización de una pluralidad de aberturas adicionales (200), definidas por las aberturas (14d) en la capa de resistencia de aislamiento (14), hasta al menos una profundidad predeterminada (d200) en dicha capa conductora (100).

8. El método según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, que comprende una etapa H que consiste en conectar las almohadillas conductoras (16, 16') mediante respectivas cintas y/o hilos eléctricamente conductores (18, 18').

45    9. Un dispositivo fotovoltaico de contacto posterior interdigitado (IBC) (1) con estructuras recolectoras de carga de primer tipo (F1) y estructuras recolectoras de carga de segundo tipo (F2), comprendiendo el dispositivo fotovoltaico (1) un sustrato (2) que comprende una estructura semiconductor (6) definiendo una superficie frontal (6a) al lado de dicho sustrato (2) y una superficie posterior (6b) opuesta a dicha superficie frontal (6a), comprendiendo la estructura semiconductor (6), en el lado posterior del sustrato (2), una estructura semiconductor dopada de primer tipo que consiste en una pluralidad de porciones dopadas -n o -p (6') y una estructura semiconductor dopada de segundo tipo(6''), que es del tipo dopado diferente al de dicha estructura dopada de primer tipo,

en donde se dispone un apilamiento de capas (100, 14) sobre dichas estructuras semiconductoras (6', 6''), comprendiendo el apilamiento de capas (100, 14):

- una capa conductora (100) dispuesta sobre dichas estructuras semiconductoras (6', 6'');

- una capa de resistencia aislante modelada (14), que define una superficie posterior (140) en el lado más alejado de dicho sustrato (2), dispuesta sobre dicha capa conductora (100), que comprende aberturas de contacto (14b) y aberturas de aislamiento (14c) y se proporcionan almohadillas conductoras (16, 16') en dicha capa de resistencia (14) en dichas aberturas de contacto (14b), donde las almohadillas de contacto entran en contacto eléctricamente con la capa conductora (100) y pueden sobresalir de las aberturas de contacto (14b),

y en donde además:

se proporcionan hendiduras (20) en la capa conductora (100), para separar eléctricamente las estructuras recolectoras de carga de primer tipo (F1) y las estructuras recolectoras de carga de segundo tipo (F2), estando especificadas dichas hendiduras (20) por dichas aberturas de aislamiento (14c) en la capa de resistencia de aislamiento (14),

caracterizado por que

las hendiduras se extienden entre dicha superficie posterior (140) hasta como máximo la superficie posterior (6b) de dicha estructura semiconductor (6).

10. El dispositivo fotovoltaico de contacto posterior interdigitado (IBC) (1) según la reivindicación 9, en donde dicha capa conductora (100) comprende al menos una capa de óxido conductor transparente (TCO) (8) o al menos una capa metálica (10, 11, 12), o una combinación de las mismas.

11. El dispositivo fotovoltaico de contacto posterior interdigitado (IBC) (1) según cualquiera de las reivindicaciones 9 o 10, en donde dichas hendiduras (20) comprenden una sucesión de aberturas (20', 20'', 20''', 20'') de las diferentes capas (14, 12, 10, 8, 14, 11) de dicho apilamiento de capas (100, 14), teniendo dichas aberturas (20', 20'', 20''', 20'') anchuras laterales (A1, A2, A3, A4, A5).

12. El dispositivo fotovoltaico de contacto posterior interdigitado (IBC) (1) según la reivindicación 11, en donde la anchura lateral (A4) de la abertura (20''') en dicha al menos una capa de óxido conductor transparente (TCO) (8) es menor que en al menos una de las anchuras laterales (A2, A3, A5) de las aberturas (20'', 20'', 20'') de las capas de dicha capa conductora (100).

13. El dispositivo fotovoltaico de contacto posterior interdigitado (IBC) (1) según una cualquiera de las reivindicaciones 9 a 12, en donde dicha capa conductora (100) comprende, sobre dicha al menos una capa de óxido conductor transparente (TCO) (8), al menos una capa metálica (10) y al menos una capa metálica adicional (11), de las cuales una está en contacto con dicha al menos una capa de óxido conductor transparente (TCO) (8), siendo la anchura lateral (A5) de la abertura (20'') en dicha al menos una capa metálica adicional (11) más pequeña que la anchura lateral (A3) de la abertura (20''') en dicha al menos una capa metálica (10).

14. El dispositivo fotovoltaico de contacto posterior interdigitado (IBC) (1) según una cualquiera de las reivindicaciones 9 a 13, en donde las estructuras semiconductoras (6', 6'') proporcionan un contacto de heterounión con el sustrato de silicio cristalino (2).

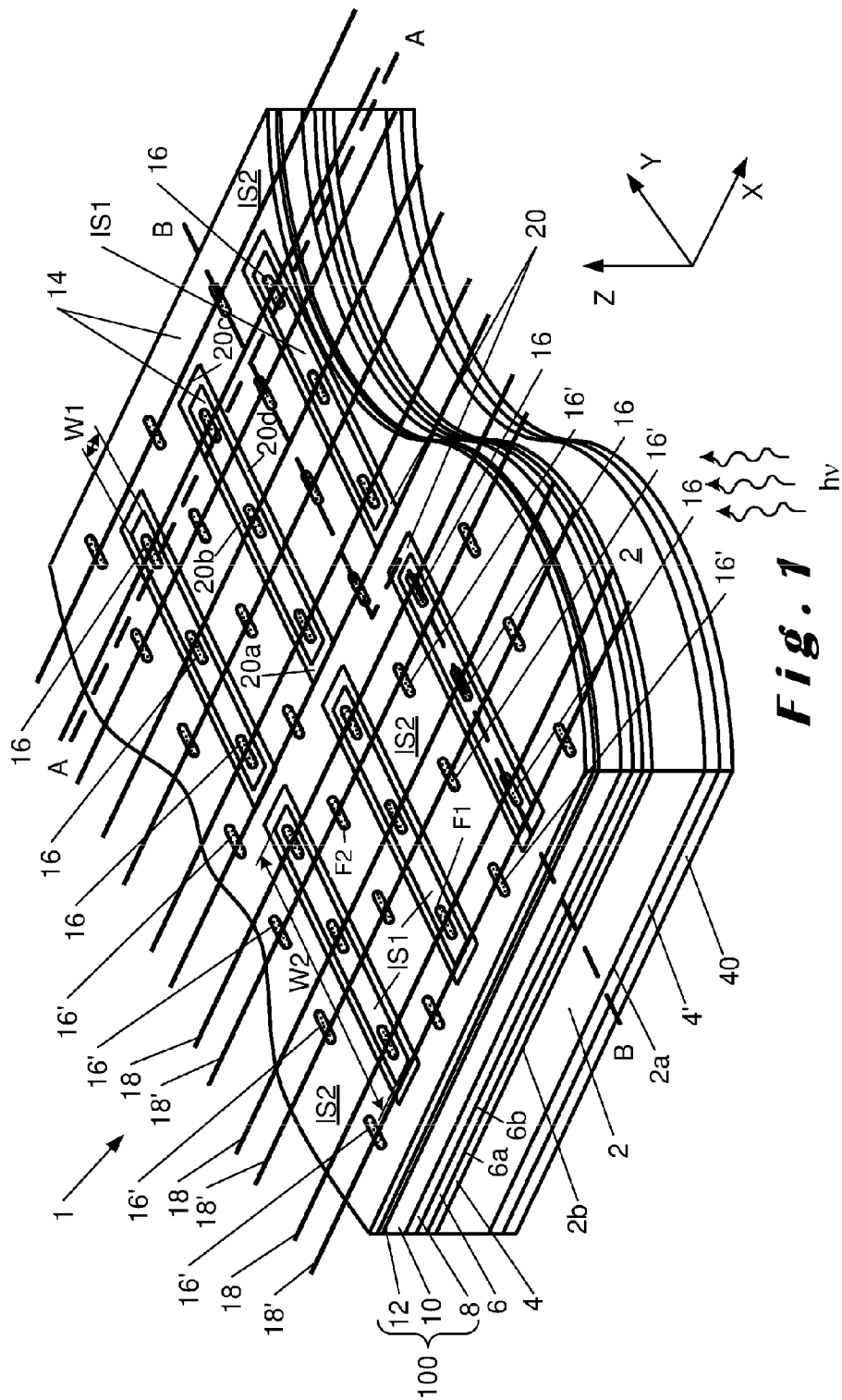
15. El dispositivo fotovoltaico de contacto posterior interdigitado (IBC) (1) según una cualquiera de las reivindicaciones 9 a 14, en donde las estructuras semiconductoras dopadas de primer tipo (6') se depositan localmente en el lado posterior de la célula y una estructura semiconductor dopada de segundo tipo (6'') se deposita en la parte posterior del dispositivo cubriendo al menos parcialmente también las estructuras semiconductoras dopadas de primer tipo (6'), proporcionando una unión de túnel en las zonas de contacto de las estructuras semiconductoras dopadas de primer (6') y segundo tipo (6'').

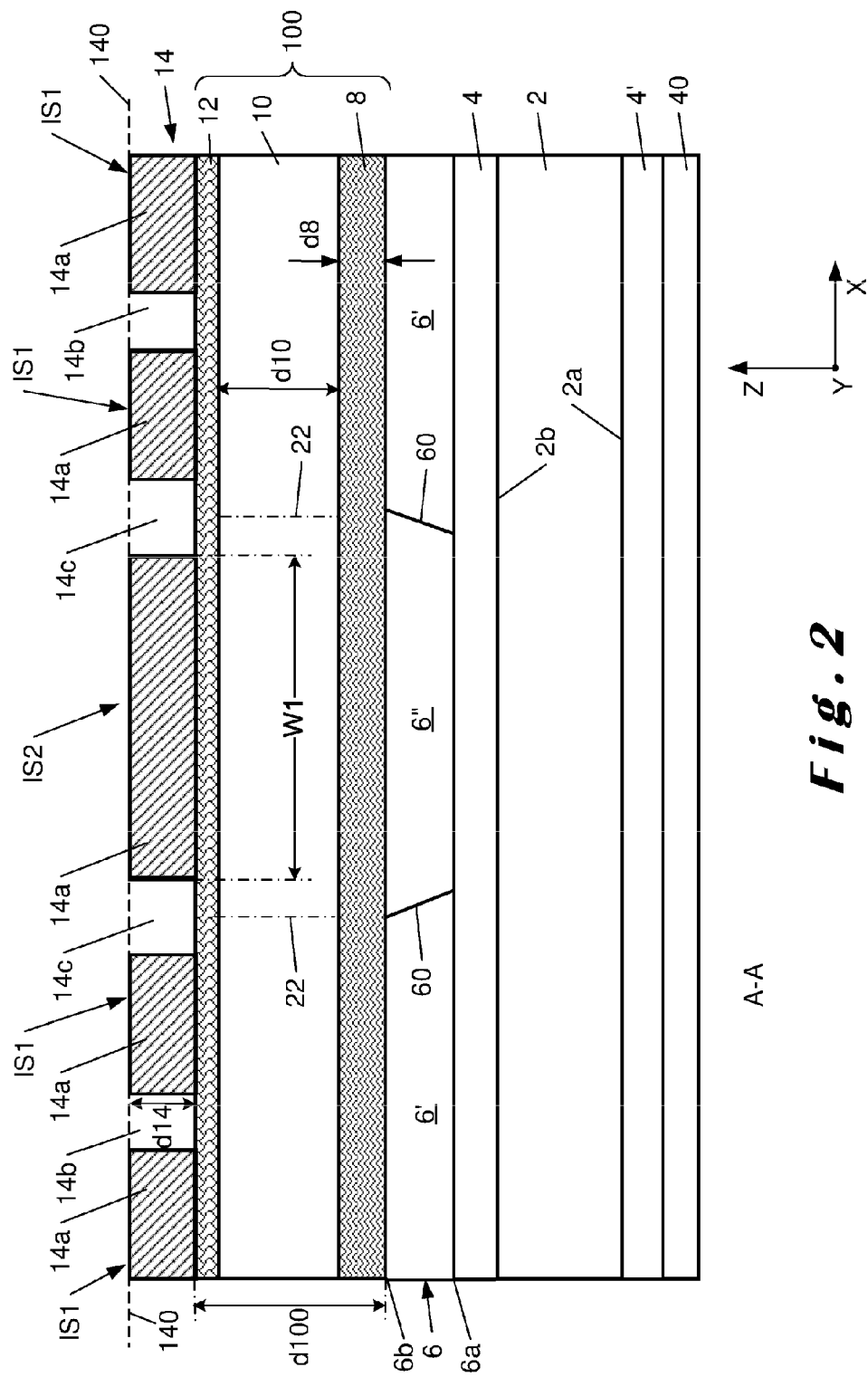
16. El dispositivo fotovoltaico de contacto posterior interdigitado (IBC) según cualquiera de las reivindicaciones 9 a 15, en donde se deposita una capa aislante adicional (50) en la parte posterior del dispositivo fotovoltaico, al menos dentro de las hendiduras (20).

17. El dispositivo fotovoltaico de contacto posterior interdigitado (IBC) (1) según cualquier reivindicación de 9 a 16, que comprende una pluralidad de aberturas (200) que se extienden desde la superficie posterior de la capa de resistencia (140) hasta al menos una profundidad predeterminada (d2) en dicha capa conductora (100).

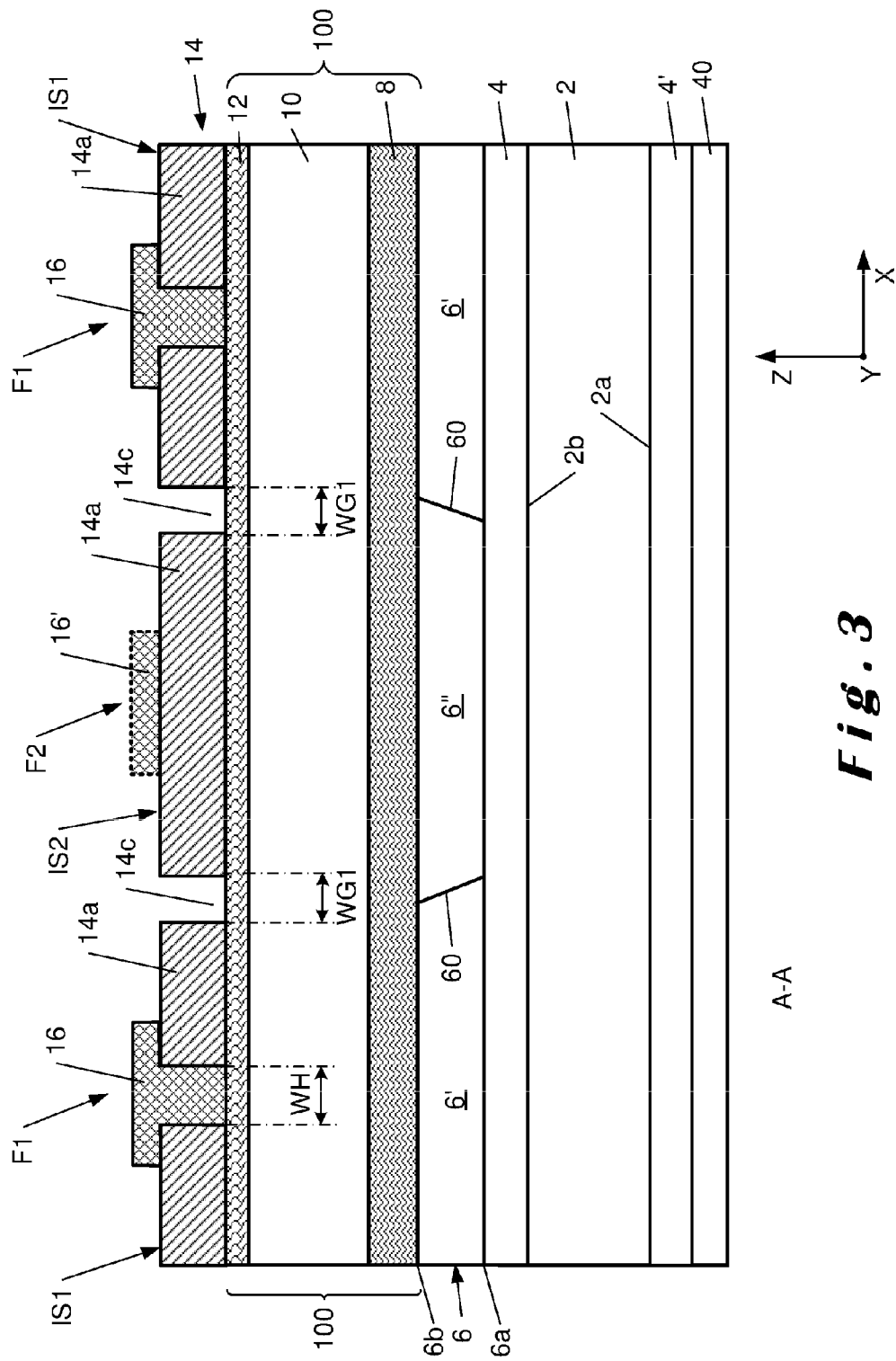
18. Un sistema fotovoltaico que comprende al menos dos dispositivos fotovoltaicos de contacto posterior interdigitado (IBC) según una cualquiera de las reivindicaciones 9 a 17 que están interconectados por conductores y en donde las almohadillas conductoras de primer tipo (16) de la primera célula están conectadas a las almohadillas conductoras de segundo tipo (16') de la segunda célula estableciendo una conexión en serie de dispositivos conectados correspondientemente y/o en donde las almohadillas conductoras de primer o segundo tipo (16, 16') de la primera célula están conectadas respectivamente a las almohadillas conductoras de primer o segundo tipo (16, 16') de la segunda célula y estableciendo así una conexión en paralelo de los dispositivos conectados correspondientemente.



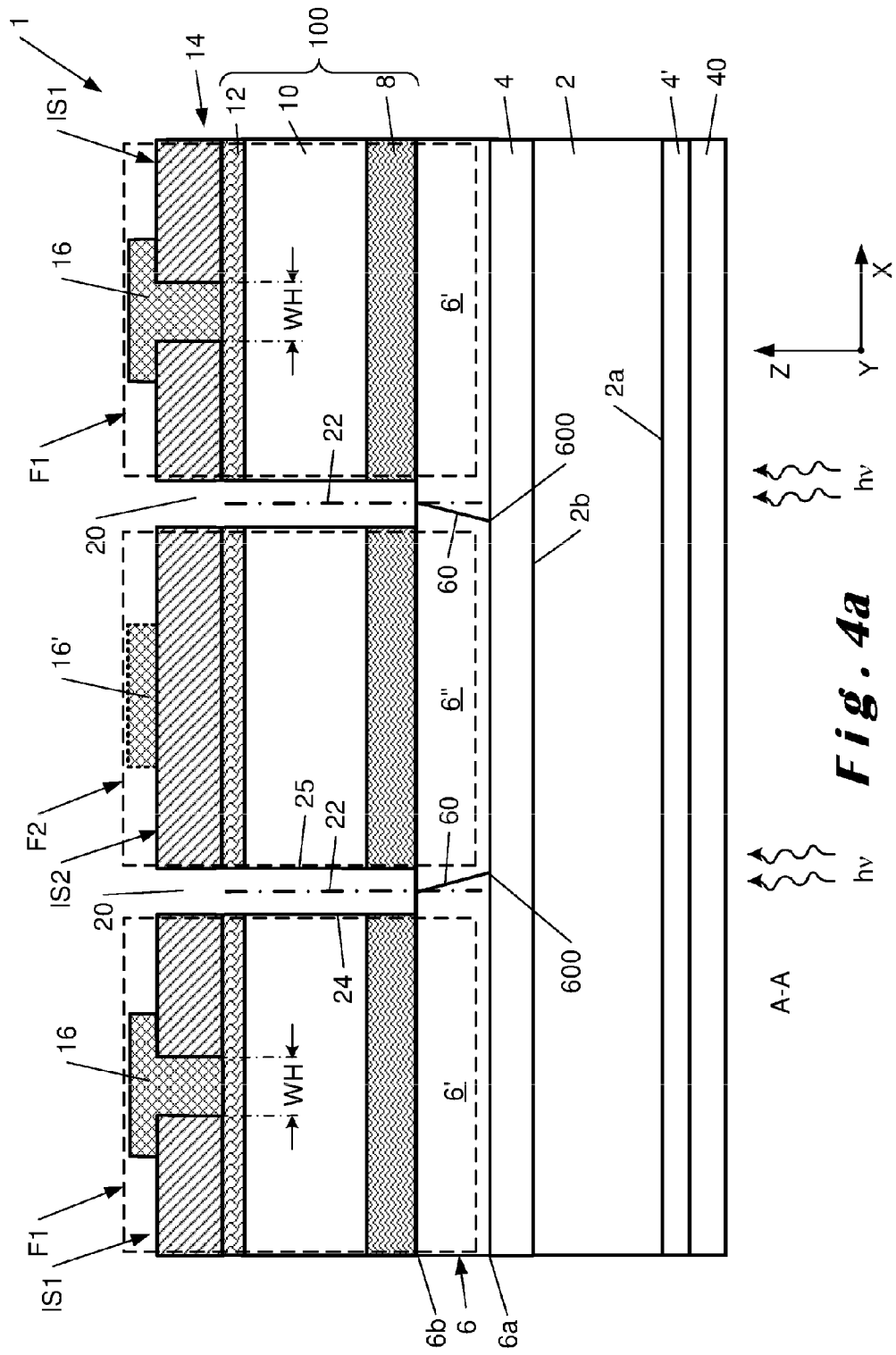


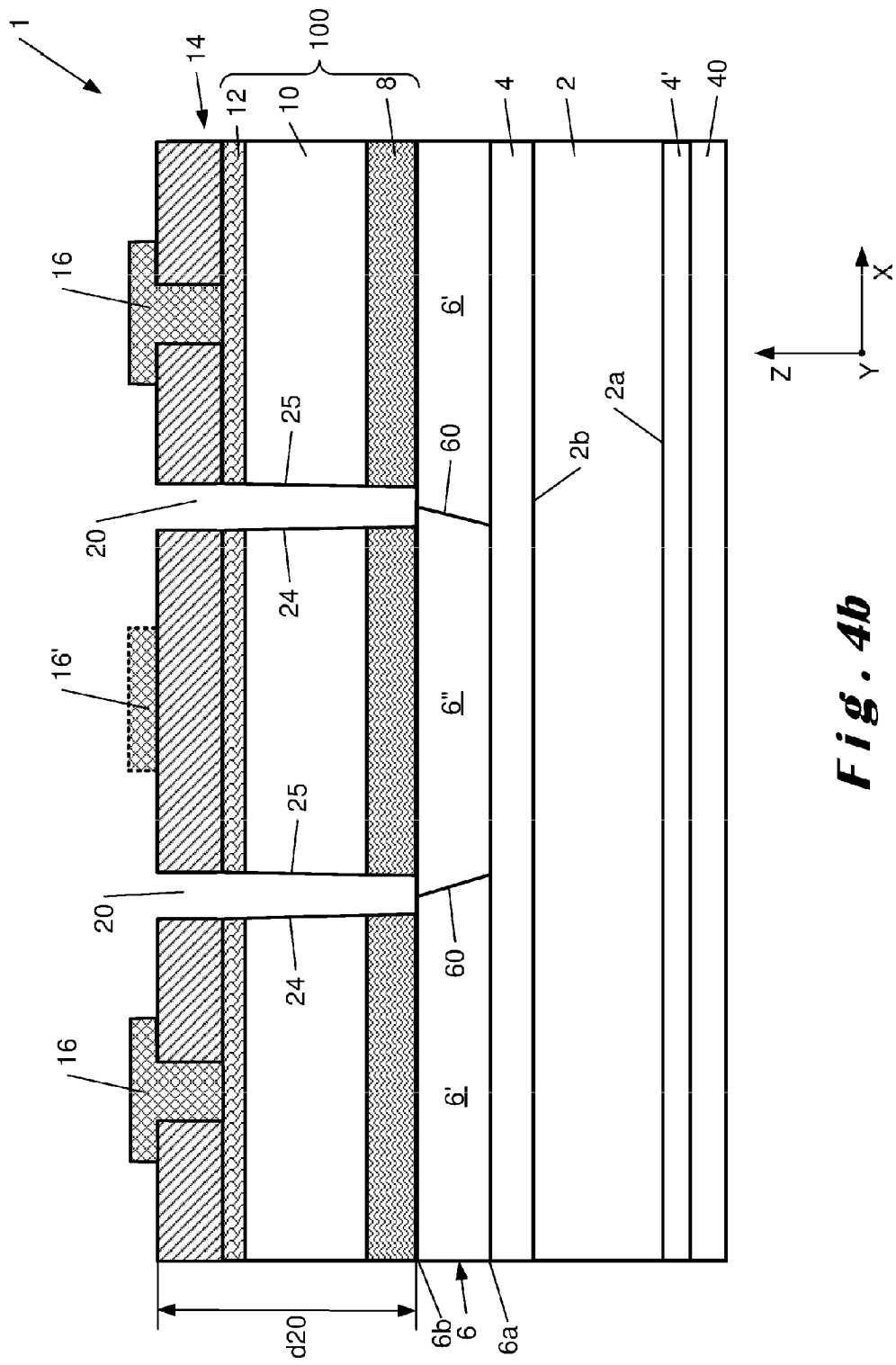


**Fig. 2**

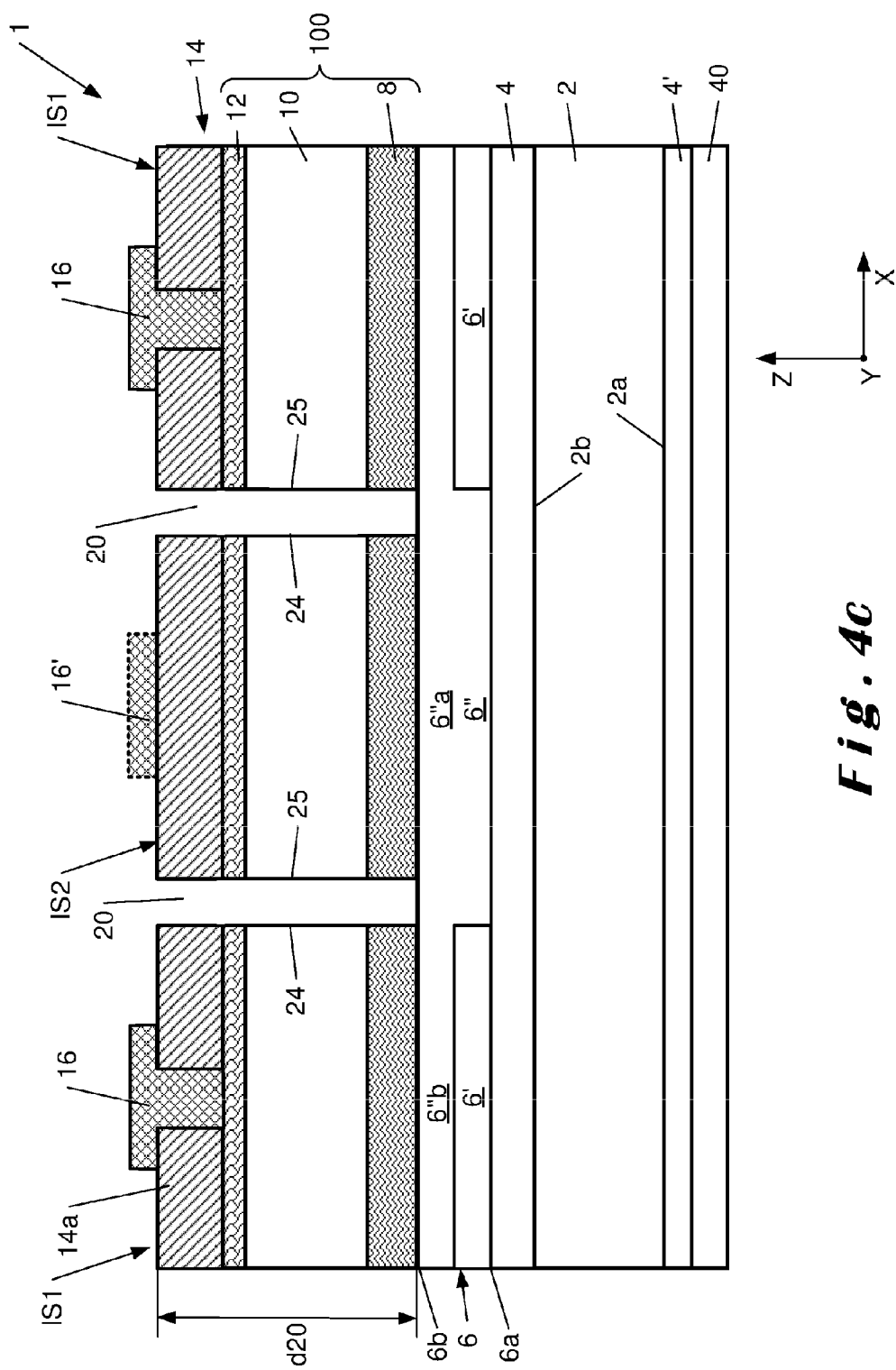


**Fig. 3**

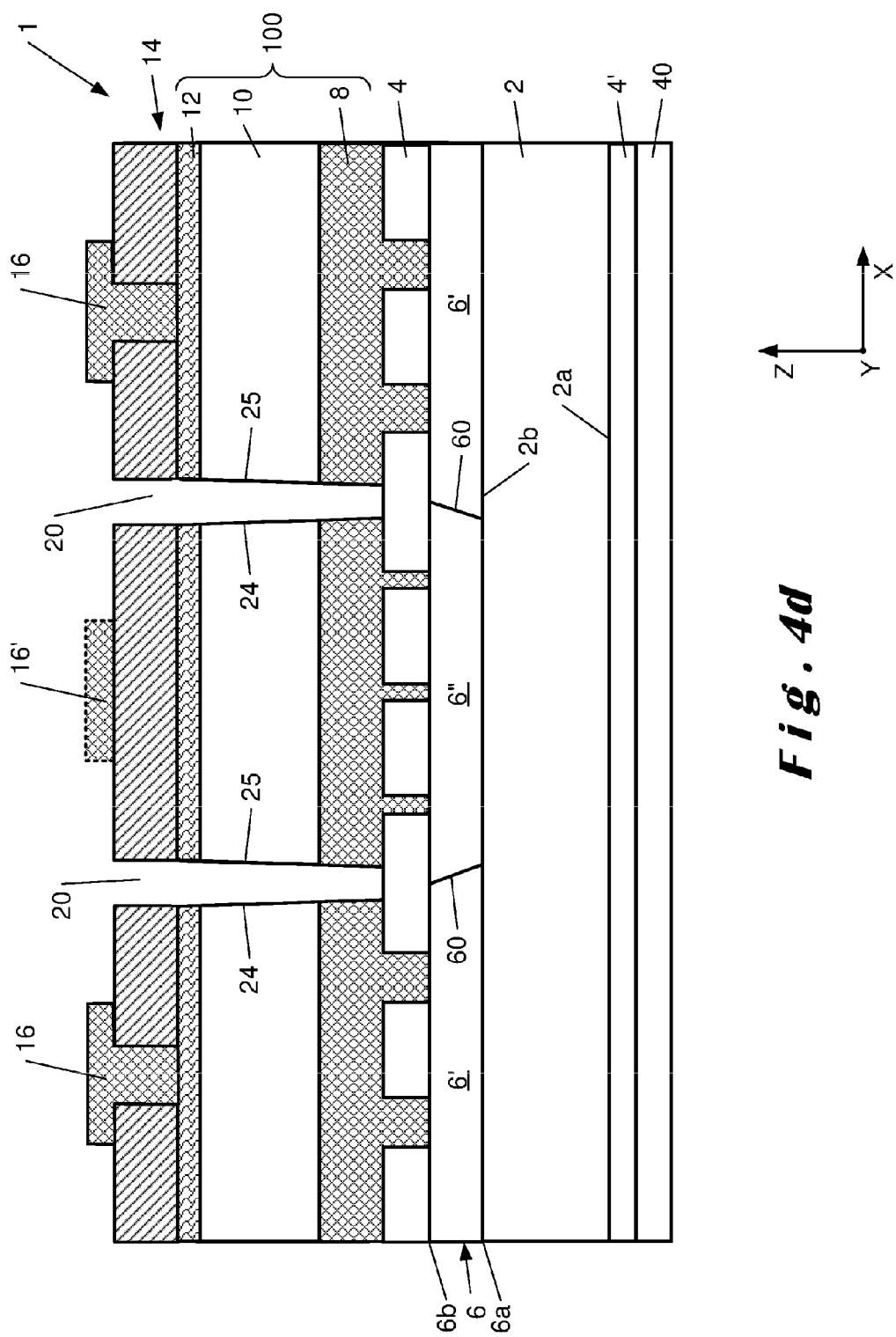




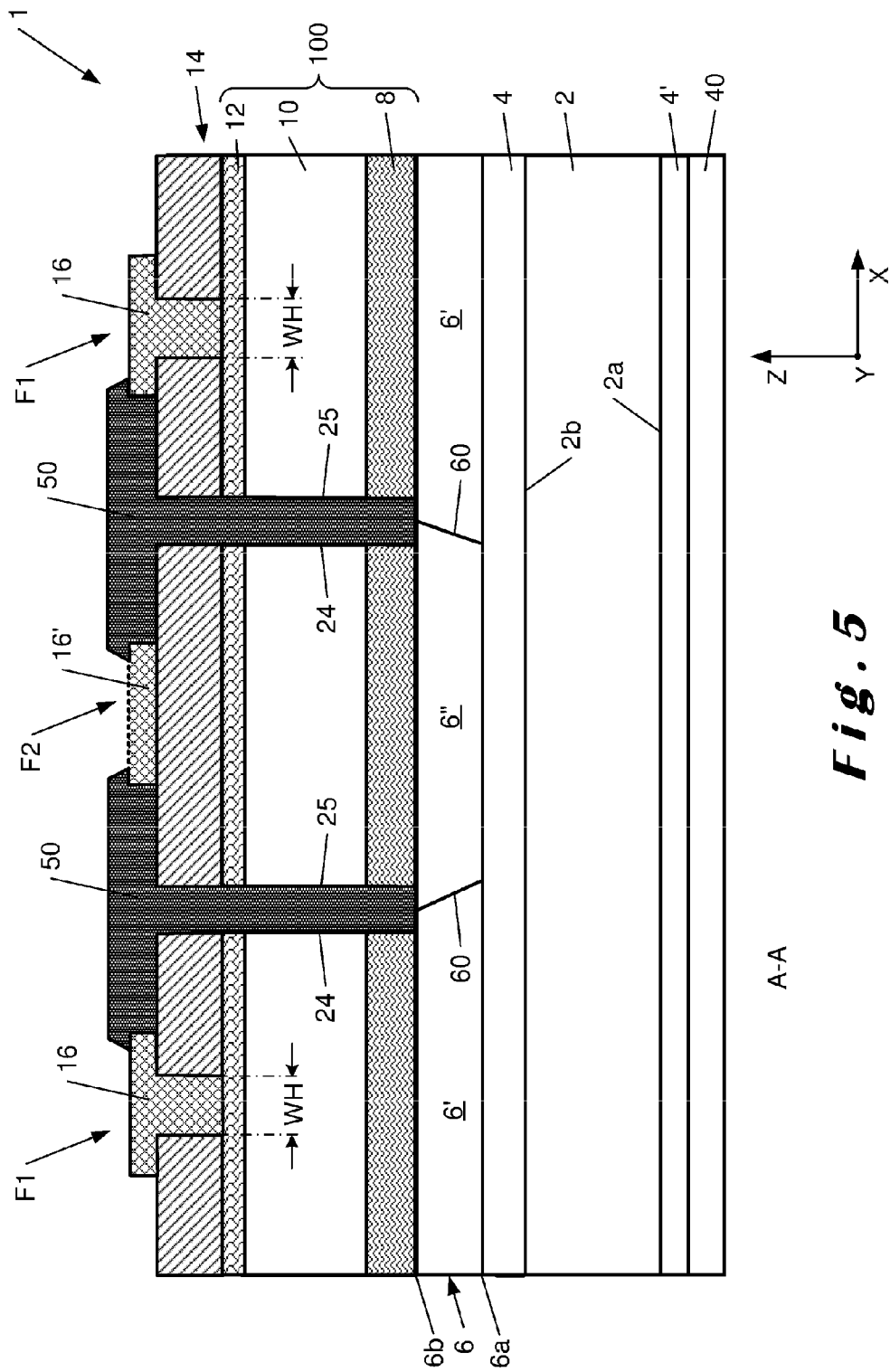
**Fig. 4b**



**Fig. 4c**

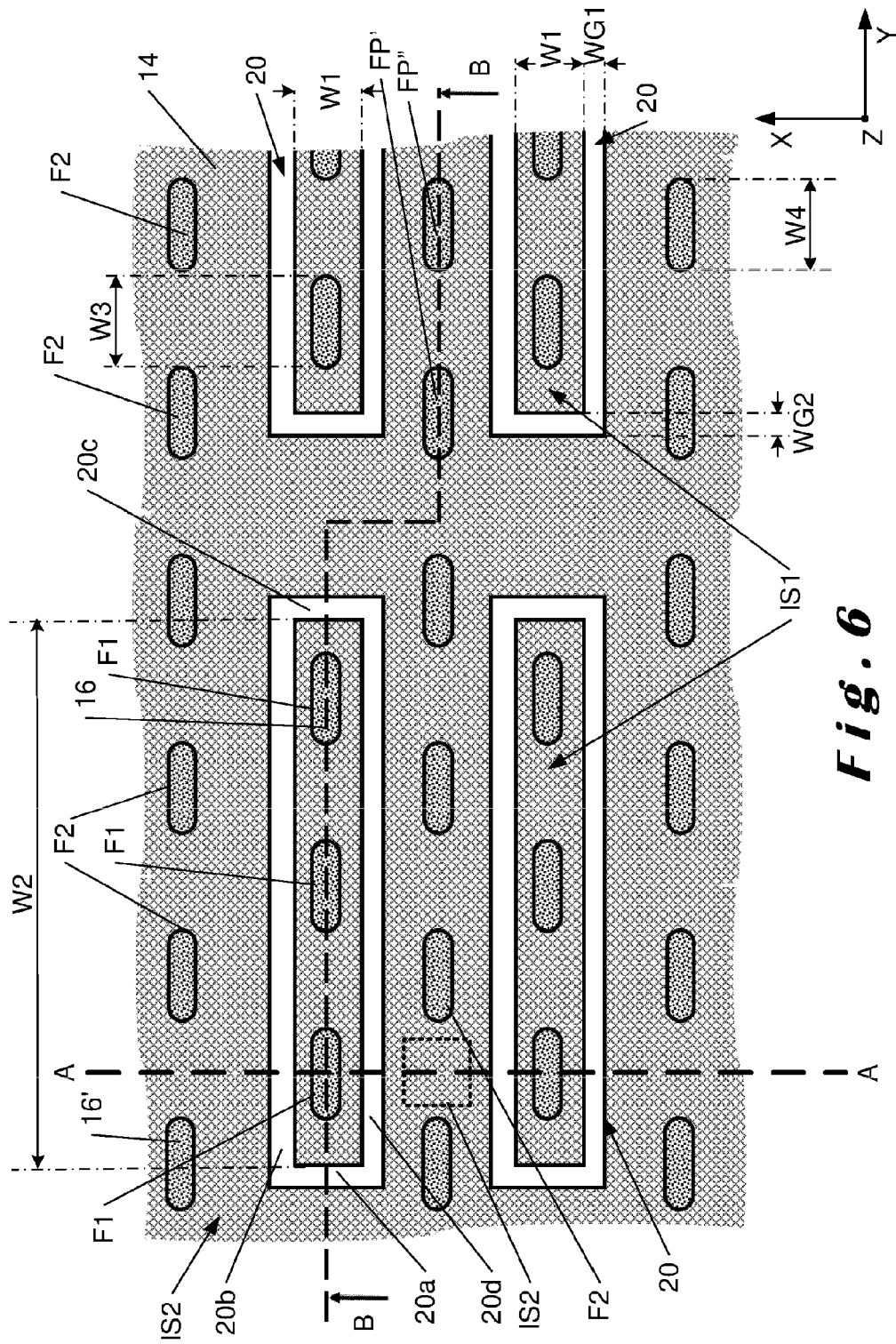


**Fig. 4d**

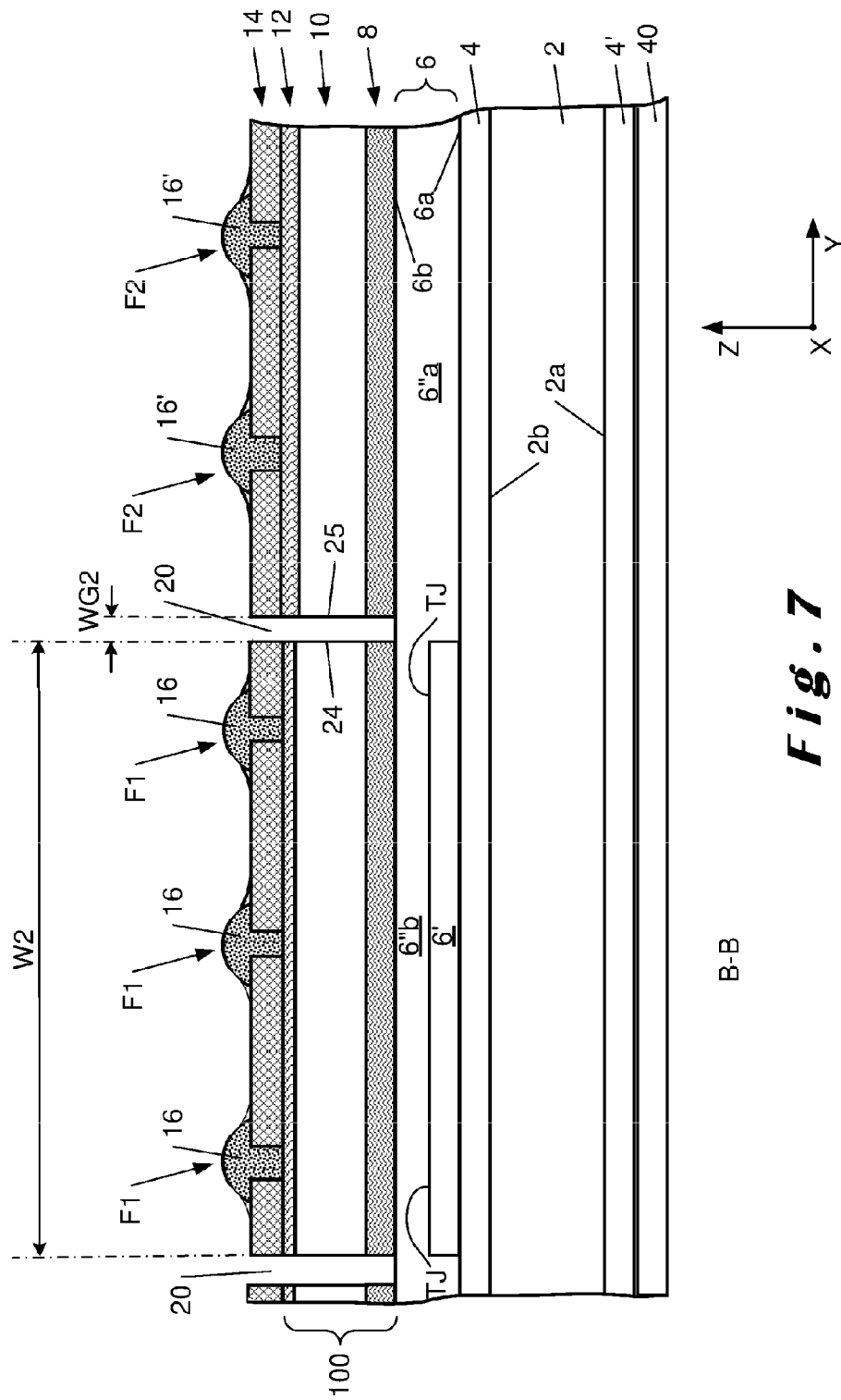


**Fig. 5**



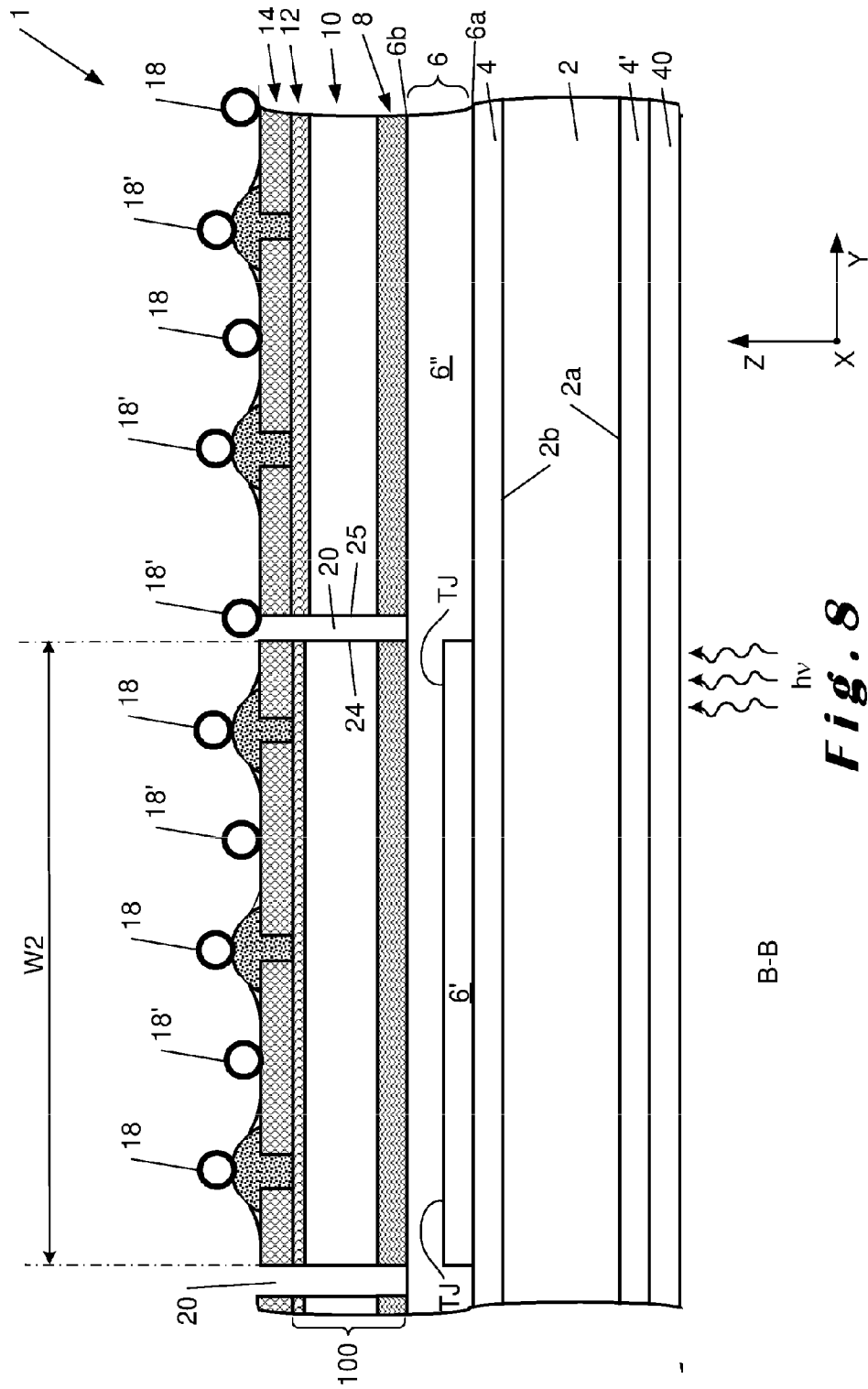


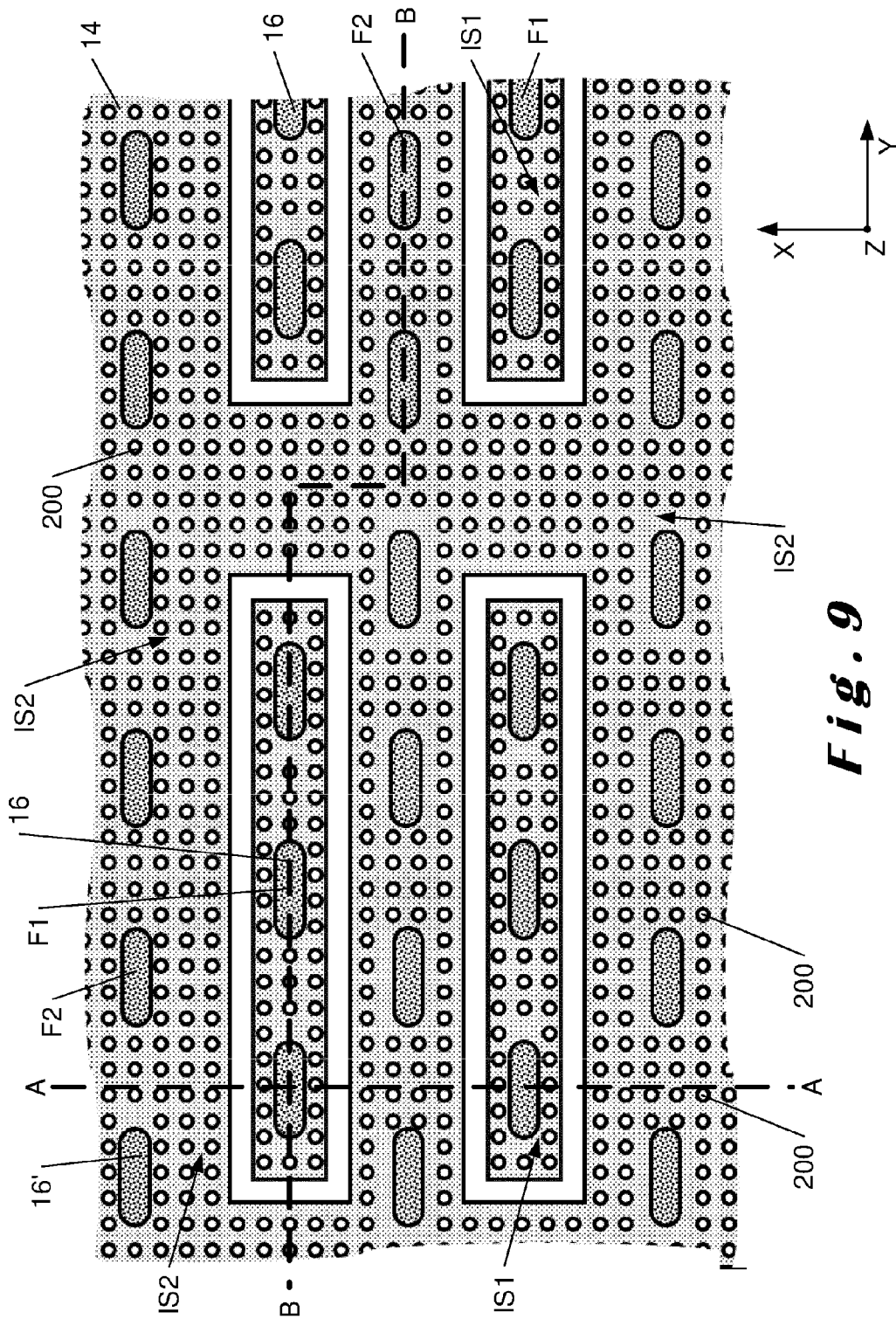
**Fig. 6**



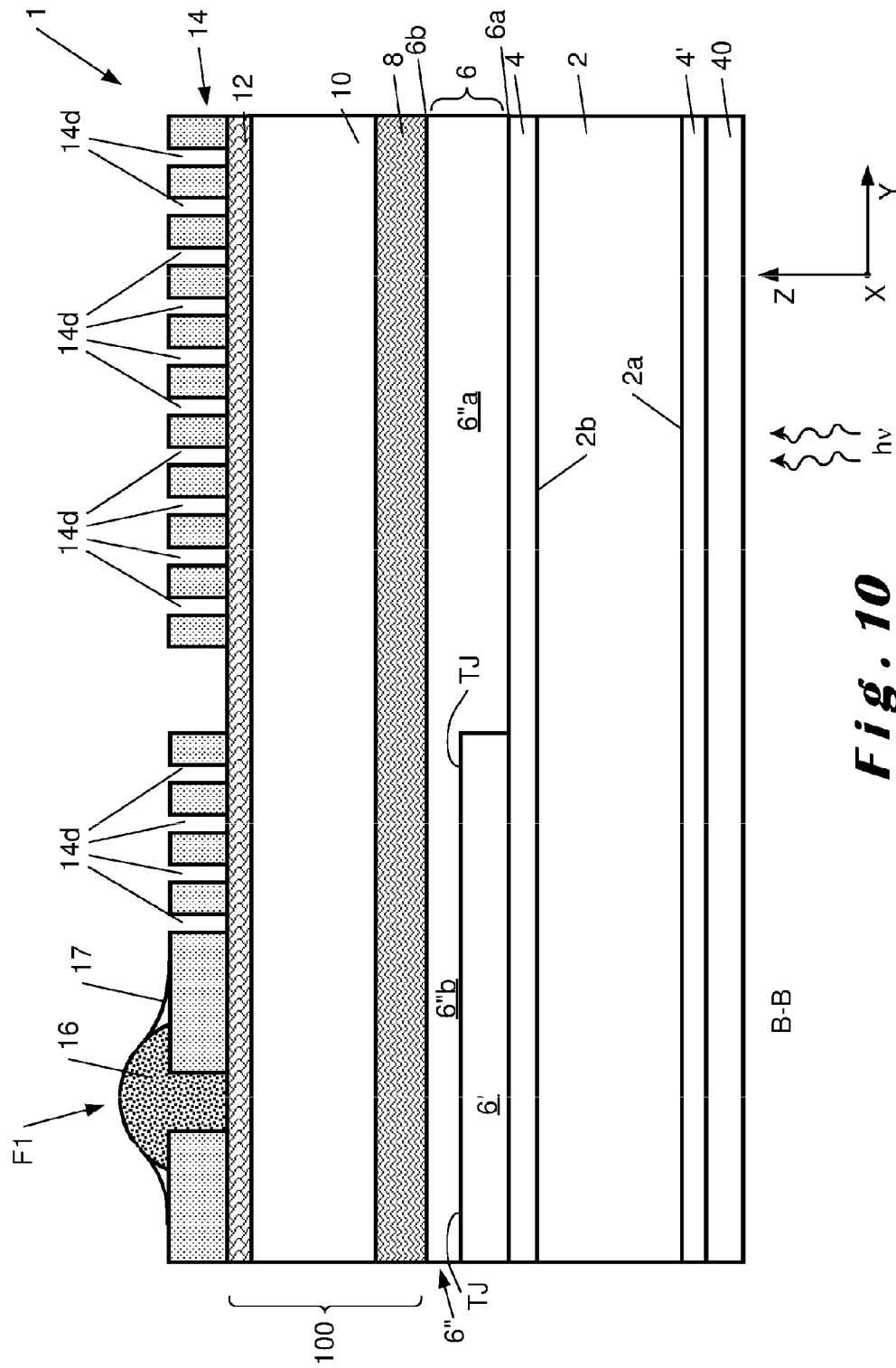
B-B

**Fig. 7**

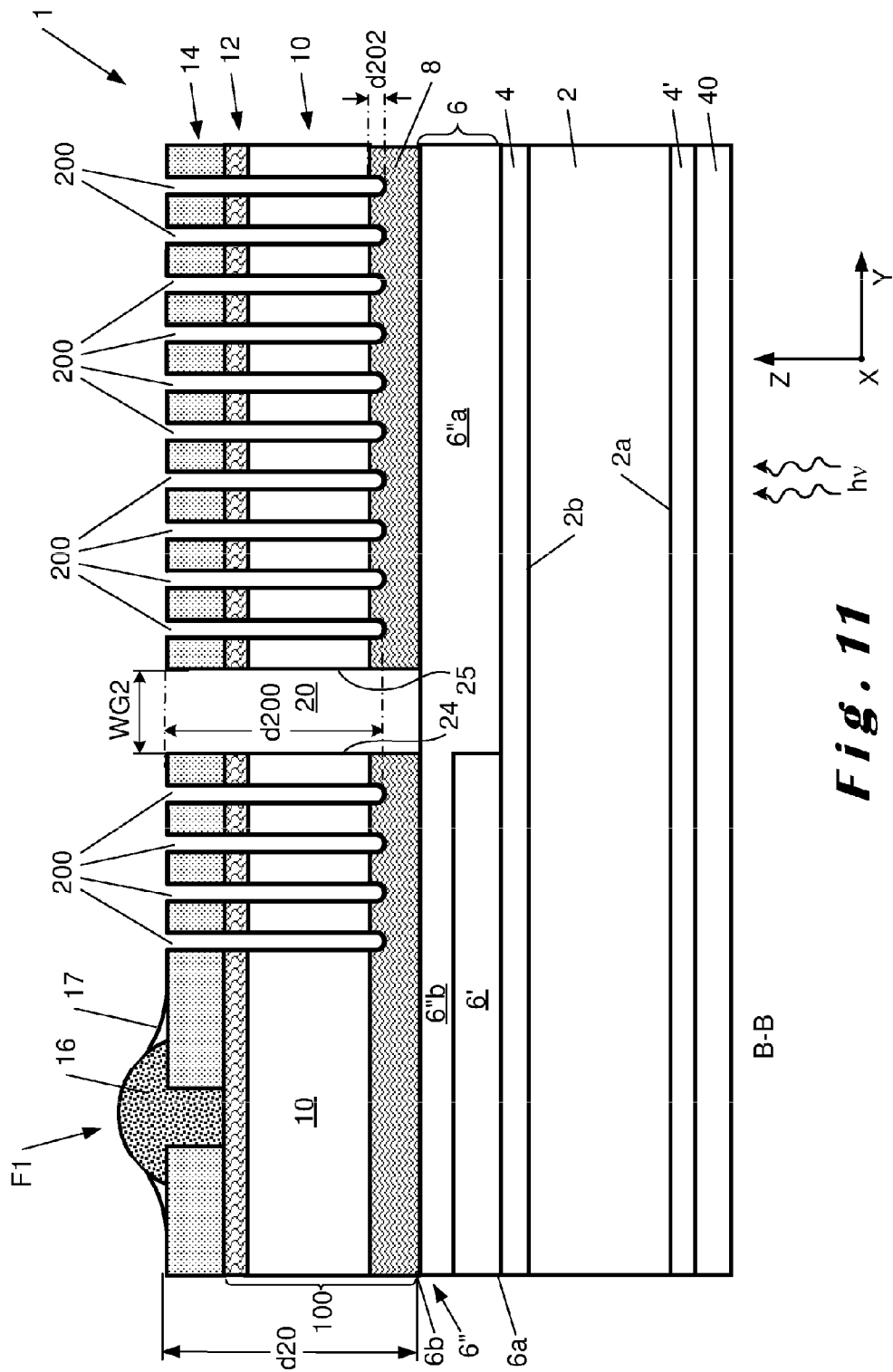




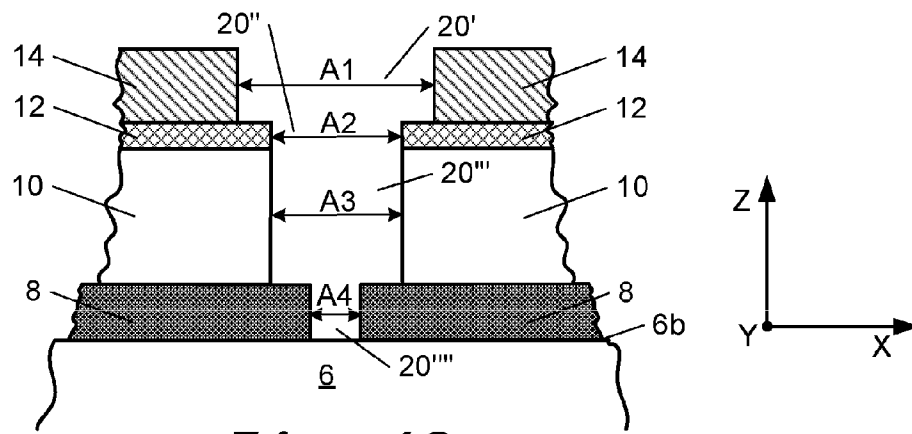
**Fig. 9**



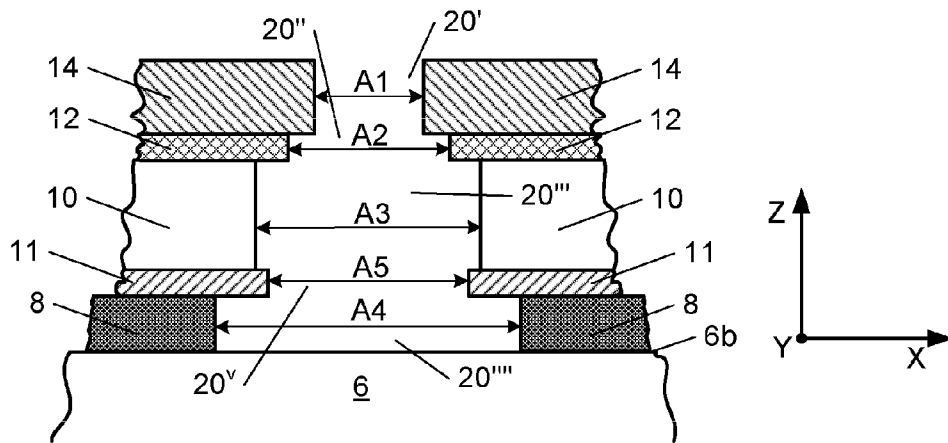
**Fig. 10**



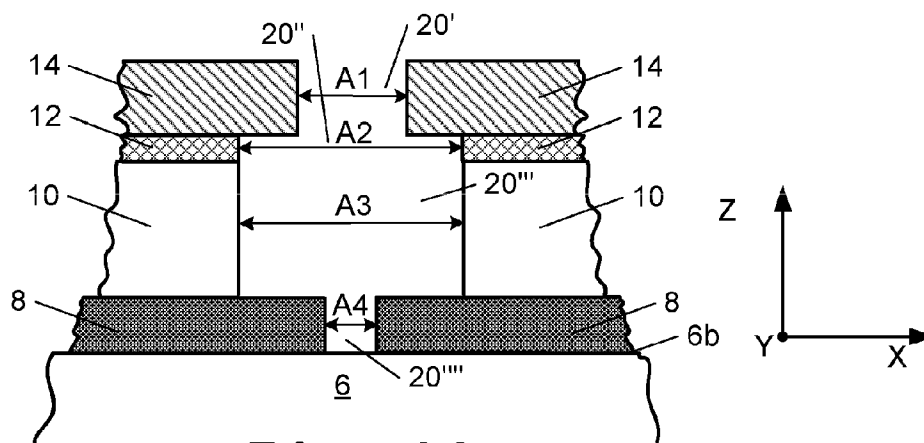
**Fig. 11**



**Fig. 12**



**Fig. 13**



**Fig. 14**