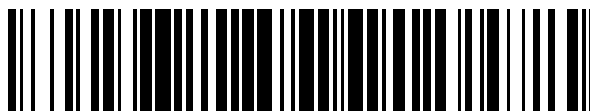


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 388 771**

51 Int. Cl.:
H01L 23/532 (2006.01)
H01L 21/768 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 96 Número de solicitud europea: **09305329 .6**
96 Fecha de presentación: **17.04.2009**
97 Número de publicación de la solicitud: **2139038**
97 Fecha de publicación de la solicitud: **30.12.2009**

54 Título: **Arquitectura de interconexiones horizontales a partir de nanotubos de carbono**

30 Prioridad:
25.06.2008 FR 0854213

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
18.10.2012

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
18.10.2012

73 Titular/es:
**COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE ET
AUX ENERGIES ALTERNATIVES
BATIMENT D "LE PONANT" 25, RUE LEBLANC
75015 PARIS, FR**

72 Inventor/es:
Dijon, Jean

74 Agente/Representante:
Isern Jara, Jorge

ES 2 388 771 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

Arquitectura de interconexiones horizontales a partir de nanotubos de carbono.

ÁMBITO DE LA INVENCIÓN

5 La presente invención concierne a un dispositivo de interconexiones horizontales, basado en el crecimiento horizontal de nanotubos de carbono (CNT).

ESTADO ANTERIOR DE LA TÉCNICA

Los nanotubos de carbono constituyen una solución potencial para realizar interconexiones, particularmente gracias a la formación de vías o líneas de interconexión.

10 Concerniente a las líneas de interconexión, un material muy denso, constituido por un cordón de nanotubos de una pared (acrónimo SWCNT para la expresión anglosajona "single-walled carbon nanotube", o de un pequeño número de paredes (acrónimo MWCNT para la expresión anglosajona "multi-walled carbon nanotube"), es susceptible de establecer una conexión entre bornes de unión conductores según el esquema de la figura 1.

15 Una solución técnica que se puede contemplar para realizar este tipo de producto consiste en utilizar el crecimiento catalítico de nanotubos de carbono. De hecho, los nanotubos de varios milímetros de longitud ya han estado realizados [1], lo que es suficiente para las aplicaciones contempladas.

Sin embargo, todavía se tienen que superar dificultades técnicas para realizar un producto de este tipo:

- la localización del crecimiento de los nanotubos sobre los flancos de la estructura;
 - el guiado de los nanotubos de un borne de unión al borne de unión adyacente;
 - la realización de una conexión con una densidad muy fuerte de nanotubos de carbono conectados eléctricamente.
- 20

El último punto aparece como particularmente delicado. En efecto y hasta ahora, las densidades muy altas de nanotubos sólo han sido obtenidas sobre películas aislantes [2].

25 El documento US 2007/0205450 describe un procedimiento para establecer una conexión eléctrica horizontal que comprende nanotubos de carbono entre dos bornes de unión con la ayuda de un material que cataliza el crecimiento de los nanotubos.

El objetivo de la invención es por lo tanto proponer una solución técnica que permita resolver estos problemas y particularmente superar la dificultad de depositar una capa de catalizador, para iniciar el crecimiento de los nanotubos, sobre paredes verticales.

EXPOSICIÓN DE LA INVENCIÓN

30 La presente invención está relacionada por primera vez con la posibilidad de utilizar nanotubos de carbono para realizar conexiones horizontales entre bornes de unión eléctricos.

Así y según un primer aspecto, la presente invención concierne a un dispositivo que permite establecer una conexión eléctrica horizontal entre por lo menos dos bornes de unión eléctricos y que se basa sobre nanotubos de carbono horizontales que unen paredes verticales de los bornes de unión.

35 De manera específica y con relación al procedimiento de fabricación descrito más adelante, el dispositivo según la invención concierne a bornes de unión realizados con la ayuda de un apilamiento de capas de por lo menos dos materiales, uno que cataliza el crecimiento de los nanotubos y el otro que juega el papel de separador entre las capas que favorece el crecimiento.

40 Así, este apilamiento de capas o múltiples capas, que alterna de forma ventajosa los dos tipos de materiales, asegura a la vez el crecimiento horizontal de los nanotubos de carbono, pero también una división nanométrica estable a la temperatura del catalizador.

El interés de las múltiples capas de catalítico es realizar una estructura de paso nanométrico en una dirección, que asegure una fragmentación estable a la temperatura de la capa de metal. Su depósito es fácil y se evita así el problema del depósito de un catalizador de crecimiento sobre los flancos verticales de una estructura.

45 Otra función de este apilamiento es asegurar la conducción eléctrica. Así por lo menos uno de los materiales, incluso los dos, son conductores eléctricos.

Según una característica ventajosa de la invención, el catalizador de cada uno de los apilamientos se puede presentar bajo la forma de una capa continua o bajo la forma de una capa compuesta de agregados.

Se pueden contemplar varias disposiciones:

Según un primer modo de realización, es el material catalizador el que es conductor eléctrico. Se trata ventajosamente de un metal, particularmente de hierro (Fe), o de una aleación metálica.

En combinación con este material catalizador conductor eléctrico, son posibles dos opciones:

5 El material que juega el papel de separador puede ser un material dieléctrico. Se trata ventajosamente de un óxido, tal como la alúmina (óxido de aluminio), la sílice (óxido de silicio) o el óxido de magnesio (MgO).

Alternativamente, el material que juega el papel de separador es igualmente conductor eléctrico. Se trata ventajosamente de un semiconductor, tal como el silicio (Si), o de un óxido conductor tal como el óxido de indio dopado con estaño (ITO) o el óxido de rutenio (RuO).

10 Todos estos materiales son favorables para el crecimiento de los nanotubos. Además, la continuidad eléctrica entre los cordones de nanotubos está asegurada por las capas de catalizador enterradas.

15 Según otro modo de realización, el material catalizador es un material dieléctrico, ventajosamente un óxido de hierro aislante y el material que juega el papel de separador es conductor eléctrico, ventajosamente un metal tal como el hierro (Fe), el paladio (Pd) y el titanio (Ti), o un óxido conductor tal como el óxido de indio dopado con estaño (ITO) o el óxido de rutenio (RuO).

20 De manera ventajosa, los bornes de unión tienen una sección transversal en forma de rombo. Así, es posible obtener una densidad de nanotubos independiente del ancho de las zanjas. En efecto, el ancho de la conexión depende así únicamente de la posición de la pieza en bruto de la zanja con relación a la punta del rombo y no del tamaño del borne de unión. De hecho, se pueden realizar matrices de bornes de unión normalizados y obtener la finura de la conexión únicamente colocando a la distancia adecuada de la punta el extremo de la zanja, en el momento de grabar esta zanja.

De manera privilegiada, los bornes de unión pueden además contener, en su parte central, una travesía vertical conductora eléctrica, ventajosamente realizada con la ayuda de un metal tal como el cobre.

25 Otro aspecto de la invención concierne al procedimiento que permite la realización de un dispositivo de conexión horizontal de este tipo a partir de nanotubos de carbono.

Este procedimiento comprende las etapas esenciales siguientes:

- depósito sobre un sustrato de un apilamiento de capas de por lo menos dos materiales como han sido definidos anteriormente;
- definición de bornes de unión a partir de este apilamiento;
- 30 - inmersión de estos bornes de unión en una matriz dieléctrica;
- formación de zanjas en la matriz dieléctrica para definir las líneas de interconexión entre los bornes de unión y para guiar el crecimiento de los nanotubos entre los bornes de unión;
- crecimiento de los nanotubos de carbono en las zanjas realizando así las conexiones horizontales entre los bornes de unión.

35 Las etapas esenciales del procedimiento según la invención se esquematizan en la figura 2, que constituye una vista en sección y en la figura 3, que corresponde a una vista desde arriba.

Gracias a este apilamiento de capas que aseguran a la vez la función de catalizador y de conducción eléctrica, la tecnología que se pone en funcionamiento se simplifica en gran medida y se limita a los depósitos horizontales.

40 Los bornes de unión pueden estar definidos por grabación seca o húmeda y una resina debe ser depositada previamente sobre el apilamiento para realizar la litografía de los bornes de unión.

Las capas sacrificiales pueden estar depositadas debajo del apilamiento, incluso encima, antes del depósito de la resina para facilitar la realización del metal de contacto.

La matriz aislante (o dieléctrica) en la cual están incrustados los bornes de unión ventajosamente está constituida por un óxido, un nitruro o un material de constante dieléctrica débil. Se trata por ejemplo de aluminio.

45 A continuación con el objeto de conectar dos puntos, se abren zanjas en el aislante y se deja así al desnudo la capa múltiple catalítica que se convertirá en activa para el crecimiento de la conexión. Se empujan entonces los nanotubos en las zonas abiertas que guían los nanotubos.

Según un modo de realización privilegiada, una capa de un material de contacto que inhiba el crecimiento de los

nanotubos y que favorezca el contacto eléctrico, por ejemplo de paladio, se deposita sobre por lo menos una de las caras verticales de los bornes de unión, antes del crecimiento de los nanotubos.

5 Ventajosamente, se trata de las caras de los bornes de unión frente a una cara de crecimiento. Así, en el transcurso de su crecimiento, los nanotubos se conectan sobre la superficie en frente y establecen un auto contacto sobre el borne de unión con respecto al borne de unión de crecimiento.

Por consiguiente, en el dispositivo final, por lo menos uno de los dos bornes de unión que se van a conectar está recubierto, al nivel de su zona de contacto con los nanotubos de carbono, de dicho material.

El depósito de este material, ventajosamente metálico, para mejorar los contactos de los nanotubos y los bornes de unión se ilustra en las figuras 4 y 6.

10 BREVE DESCRIPCIÓN DE LAS FIGURAS

La manera en la cual se puede realizar la invención y las ventajas que se derivan se pondrán de manifiesto mejor a partir de los ejemplos de realización que siguen a continuación, proporcionados a título indicativo y no limitativo, con el soporte de las figuras adjuntas entre las cuales:

La figura 1 esquematiza el principio de interconexión horizontal a partir de nanotubos de carbono.

15 La figura 2 representa una vista en sección de las diferentes etapas del procedimiento según la invención que permite crear una conexión horizontal a partir de nanotubos de carbono:

- A. Apilamiento que comprende bornes de unión de múltiples capas y de dieléctrico;
- B. Abertura de zanjas en el dieléctrico para definir las conexiones;
- C. Depósito opcional de un material para mejorar el contacto de los nanotubos y de la estructura;
- 20 D. Crecimiento de los nanotubos entre los bornes de unión.

La figura 3 representa una vista desde arriba de las diferentes etapas del procedimiento según la invención que permite crear una conexión horizontal a partir de nanotubos de carbono:

- A. Bornes de unión dispuestos siguiendo una matriz rectangular e incrustados en un dieléctrico;
- B. Abertura de zanjas en el dieléctrico en el lugar de las futuras las conexiones;
- 25 C. Depósito opcional de un material para mejorar los contactos;
- D. Crecimiento de los nanotubos entre los bornes de unión.

La figura 4 representa una vista en sección de las diferentes etapas del procedimiento según la invención que integra el recubrimiento de por lo menos una de las caras del borne de unión con un metal que asegure el contacto entre el nanotubo y el borne de unión:

- A. Apilamiento con capas sacrificiales antes del depósito de resina para definir las zanjas;
- B. Abertura de zanjas parando sobre la capa sacrificial del fondo;
- C. Depósito bajo incidencia del metal de contacto para que recubra únicamente uno de los bornes de unión de la zanja después de la eliminación de la resina;
- D. "Despegado" de la capa de metal de contacto por eliminación de las capas sacrificiales;
- 35 E. Crecimiento de los nanotubos con auto contacto sobre la capa de metal.

La figura 5 ilustra las diferentes etapas para la realización de un borne de unión que comprende un apilamiento de capas:

- A. Depósito de múltiples capas de metal y dieléctrico;
- B. Definición de los bornes de unión por litografía;
- 40 C. Depósito del segundo dieléctrico;
- D. Aplanamiento de la estructura.

La figura 6 esquematiza una variante de la realización de procedimientos según la invención, sin capa inferior sacrificial. En este caso, el control de la grabación permite dejar una capa de material dieléctrico que juega entonces

el papel de la capa sacrificial de la figura 4:

- A. Depósito de la resina para definir las zanjas;
- B. Grabación de las zanjas y de los motivos de los bornes de unión, reservando una fina capa de dieléctrico;
- C. Depósito del metal de contacto bajo incidencia paralelamente a las zanjas;
- 5 D. "Despegado" del metal de contacto depositado sobre la resina;
- E. "Despegado" del metal de contacto depositado sobre la capa de dieléctrico;
- F. Crecimiento de los nanotubos con auto contacto sobre la capa de metal.

La figura 7 representa una vista desde arriba de las direcciones del depósito en función de la dirección de las gargantas.

- 10 La figura 8 es una vista en sección (A) o desde arriba (B) de un borne de unión que asegura una conexión vertical gracias a su parte central llena con la ayuda de un metal.

EJEMPLOS DE REALIZACIÓN DE LA INVENCION

Ejemplo 1

- 15 En este ejemplo, el dieléctrico que constituye el material separador de los bornes de unión y aquél que incrusta los bornes de unión son idénticos.

1/ Realización de bornes de unión catalíticos incrustados en un dieléctrico (figura 5):

- Se deposita por bombardeo con haz de iones (IBS – "ion beam sputtering") sobre un sustrato 1 que puede ser un componente electrónico que se va a conectar, una capa múltiple de veinte capas de alúmina (dieléctrico = separador, 4) / hierro (metal = catalizador conductor eléctrico, 5) (figura 5A). El grosor de las capas está comprendido entre 0,25 y 2 nm.

- Se deposita una resina 10 sobre el apilamiento constituido de ese modo y se realiza la litografía de los bornes de unión de catalizador 2, ya sea por grabado en seco, ya sea por grabado húmedo, con por ejemplo una solución de H_3PO_4 que ataca el hierro y la alúmina (figura 5B).

- Se debe observar que la primera capa aislante del apilamiento, la última, o las dos pueden ser más gruesas que las capas aislantes del sistema catalítico.

- Una vez se ha realizado la grabación, se deposita la alúmina (segundo dieléctrico, 6) por pulverización sobre toda la muestra de modo que se incrusten los bornes de unión (figura 5C).

- Se aplanan el depósito por medio de un pulido mecano-químico (CMP) (figura 5D).

2/ Realización las zanjas (figura 6):

- 30 - Se extiende una segunda resina 11 sobre toda la muestra, de modo que se realice el motivo de conexión deseado (figura 6A).

- Se abre el motivo definido así con una solución de H_3PO_4 o por grabado de plasma y se deja subsistir un grosor de aluminio 6 al fondo de las zanjas del orden de 20 nanómetros (figura 6B).

- 35 - Se deposita bajo incidencia rasante, por evaporación por cañón de electrones, una capa de paladio 8, de 2 a 5 nanómetros de grosor (figura 6C). La muestra no se gira. El plano de incidencia (que comprende la normal a la muestra y la dirección del flujo incidente) corta el plano de la muestra según una de las direcciones de las gargantas (véase más adelante la figura 7).

- Se efectúa un segundo depósito idéntico girando la muestra 90°.

- Se realiza un "despegado" de la resina 11 (figura 6D).

- 40 - Se realiza un "despegado" de la capa del segundo dieléctrico 6 (figura 6E).

- Se realiza el crecimiento de los nanotubos 3 a una temperatura comprendida entre 400 y 650 °C, por medio de acetileno diluido en una mezcla del 50% de hidrógeno / 50% de helio. Los nanotubos 3 se conectan sobre la superficie en frente que lleva el paladio 8 (figura 6F).

- 45 La figura 7 muestra, en vista desde arriba, los depósitos realizados en la etapa C en las dos direcciones perpendiculares.

Ejemplo 2

El segundo dieléctrico 6 que sirve para incrustar los bornes de unión 2 está constituido por silicio o un material que tenga una constante dieléctrica débil ("baja K"), incluso muy débil ("ultra baja K").

Ejemplo 3

5 Las capas de metal catalizador 5 se realizan por medio de un depósito de agregados metálicos.

Ejemplo 4

La capa que sirve de separador 4 en el apilamiento catalítico es una capa de silicio.

Ejemplo 5

10 Se realizan "vías" de conexión vertical en el centro de los bornes de unión del catalizador. Este ejemplo está esquematizado en la figura 8. Un metal 12, tal como el cobre, atraviesa el borne de unión 2 y asegura una conexión vertical.

REFERENCIAS

[1] Zhong y otros, J. Phys. Chem. B (Letters), 2007, 111 (8) :1907-1910.

[2] Zhong y otros, Carbon, 2006, 44 : 2009-2014

15

REIVINDICACIONES

- 5 1. Dispositivo para establecer una conexión eléctrica horizontal entre por lo menos dos bornes de unión eléctricos (2) que comprende nanotubos de carbono horizontales (3) que unen las paredes verticales de dichos bornes de unión, dichos bornes de unión estando realizados con la ayuda de un apilamiento de capas de por lo menos dos materiales, uno (5) que cataliza el crecimiento de los nanotubos y el otro (4) que juega el papel de separador entre las capas de material que cataliza el crecimiento de los nanotubos.
- 10 2. Dispositivo según la reivindicación 1 caracterizado porque el material (5) que cataliza el crecimiento de los nanotubos está constituido bajo la forma de una capa continua o bajo la forma de una capa compuesta de agregados.
3. Dispositivo según cualquiera de las reivindicaciones 1 y 2 caracterizado porque el material catalizador (5) es conductor eléctrico, ventajosamente un metal, particularmente hierro, o una aleación metálica.
- 15 4. Dispositivo según la reivindicación 3 caracterizado porque el material que juega el papel de separador (4) es un dieléctrico, ventajosamente un óxido tal como la alúmina, la sílice o un óxido de magnesio.
5. Dispositivo según la reivindicación 3 caracterizado porque el material que juega el papel de separador (4) es conductor eléctrico, ventajosamente un semiconductor, tal como el silicio, o un óxido conductor tal como el óxido de indio dopado con estaño o el óxido de rutenio.
- 20 6. Dispositivo según cualquiera de las reivindicaciones 1 y 2 caracterizado porque el material catalizador (5) es un dieléctrico, ventajosamente un óxido de hierro aislante y porque el material que juega el papel de separador (4) es un conductor eléctrico, ventajosamente un metal tal como el hierro, el paladio o el titanio, o un óxido conductor tal como el óxido de indio dopado con estaño o el óxido de rutenio.
7. Dispositivo según cualquiera de las reivindicaciones anteriores caracterizado porque los bornes de unión (2) tienen una sección transversal en forma de rombo.
- 25 8. Dispositivo según cualquiera de las reivindicaciones anteriores caracterizado porque por lo menos uno de los dos bornes de unión (2) que se van a conectar está recubierto, al nivel de su zona de contacto con los nanotubos de carbono (3), con un material de contacto (8), ventajosamente de paladio.
9. Dispositivo según cualquiera de las reivindicaciones anteriores caracterizado porque los bornes de unión (2) contienen una travesía vertical conductora eléctrica (12), ventajosamente realizada con la ayuda de un metal tal como el cobre.
- 30 10. Procedimiento de fabricación de un dispositivo de conexión horizontal según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 9 que comprende las etapas siguientes:
- depósito sobre un sustrato (1) de un apilamiento de etapas de por lo menos dos materiales, uno (5) que cataliza el crecimiento de los nanotubos y el otro (4) que juega el papel de separador entre las capas de material que cataliza el crecimiento de los nanotubos;
 - definición de bornes de unión (2) a partir de este apilamiento;
 - 35 - inmersión de los bornes de unión (2) dentro de una matriz dieléctrica (6), ventajosamente constituida por un óxido, un nitruro o un material de constante dieléctrica débil;
 - formación de zanjas (7) en la matriz aislante;
 - crecimiento de los nanotubos de carbono dentro de las zanjas realizando conexiones horizontales (3) entre los bornes de unión (2).
- 40 11. Procedimiento de fabricación de un dispositivo de conexión horizontal según la reivindicación 10 caracterizado porque una capa de material conductor eléctrico (8), tal como el paladio, se deposita sobre por lo menos una de las caras verticales de los bornes de unión (2), antes del crecimiento de los nanotubos.

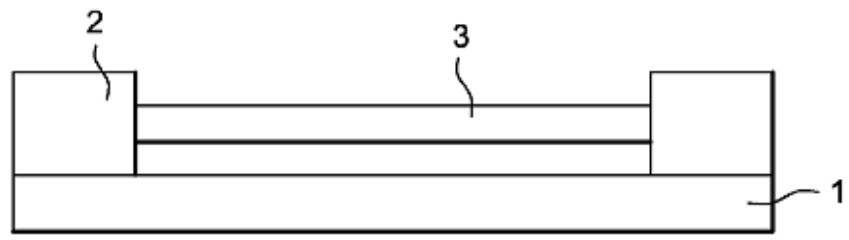


Fig. 1

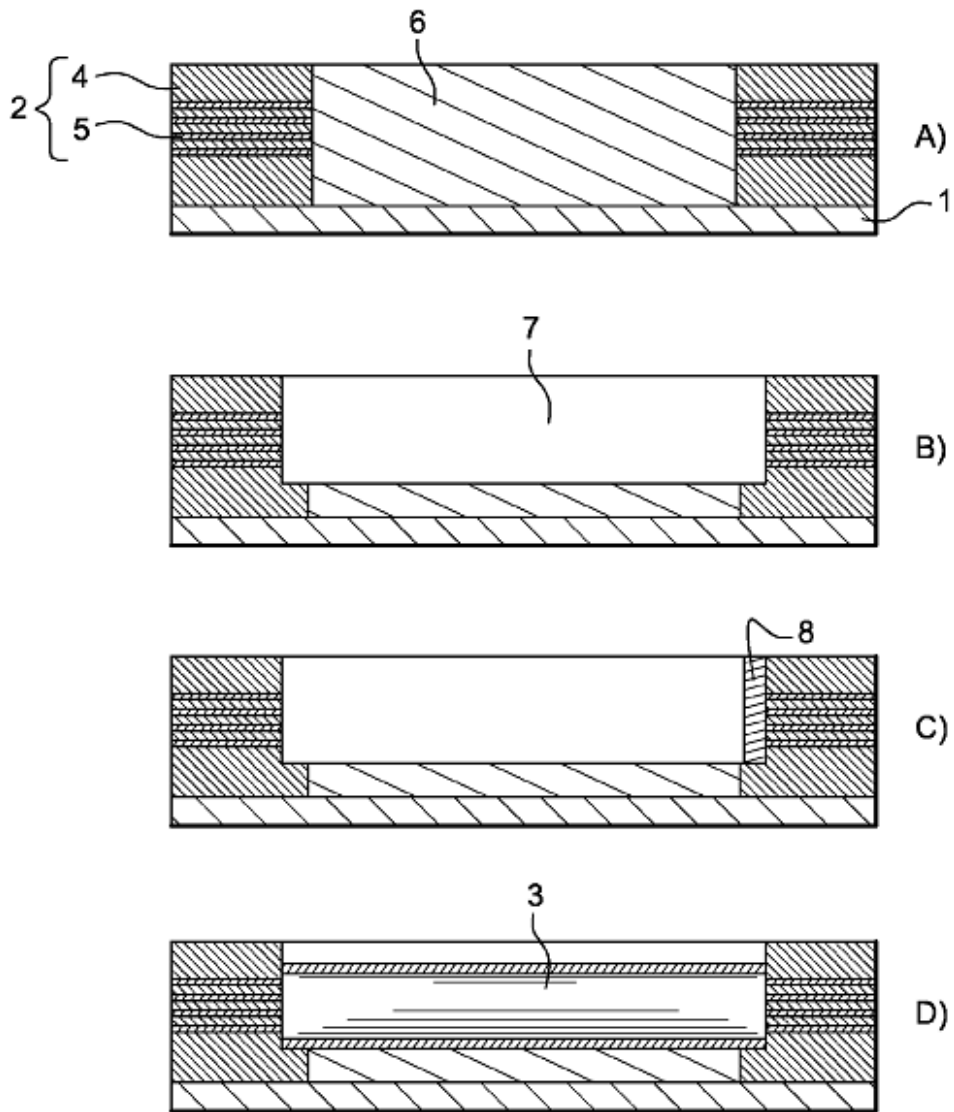


Fig. 2

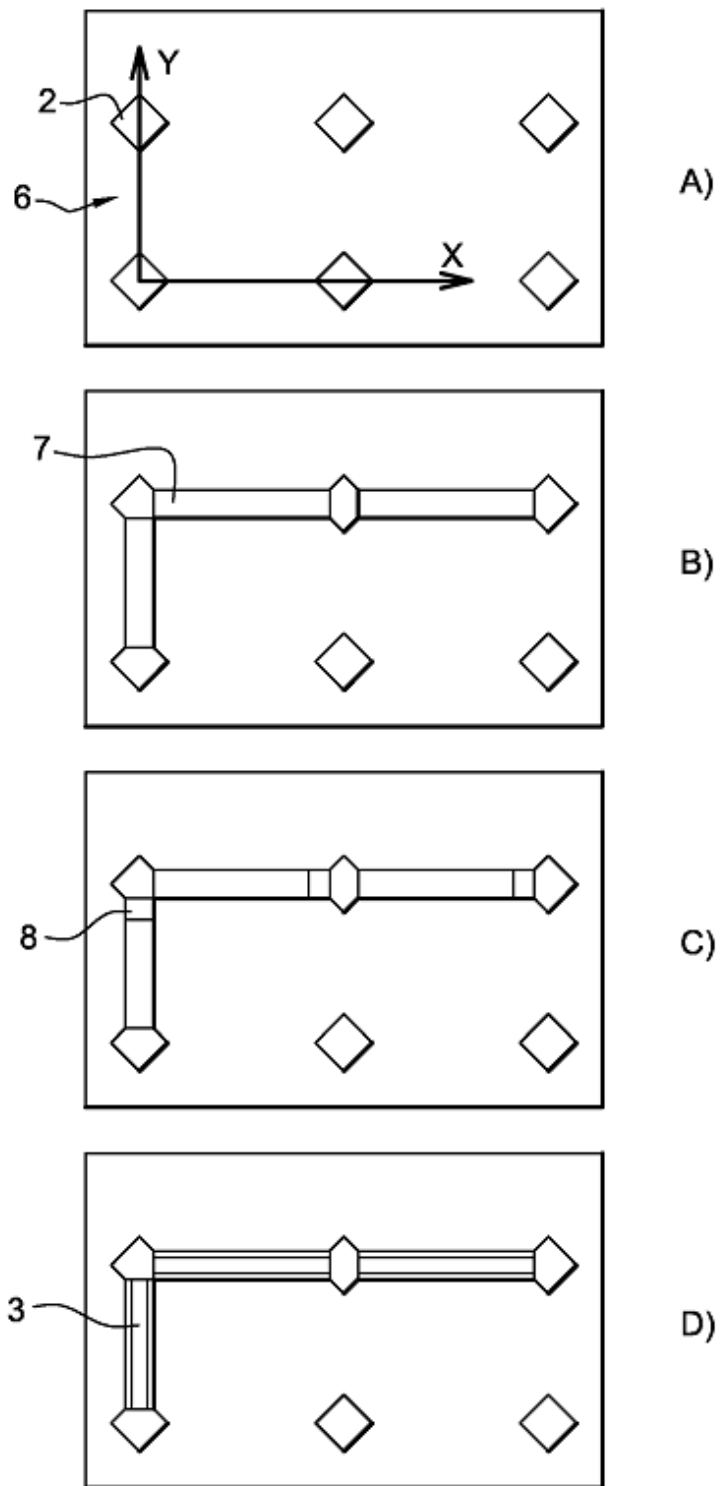


Fig. 3

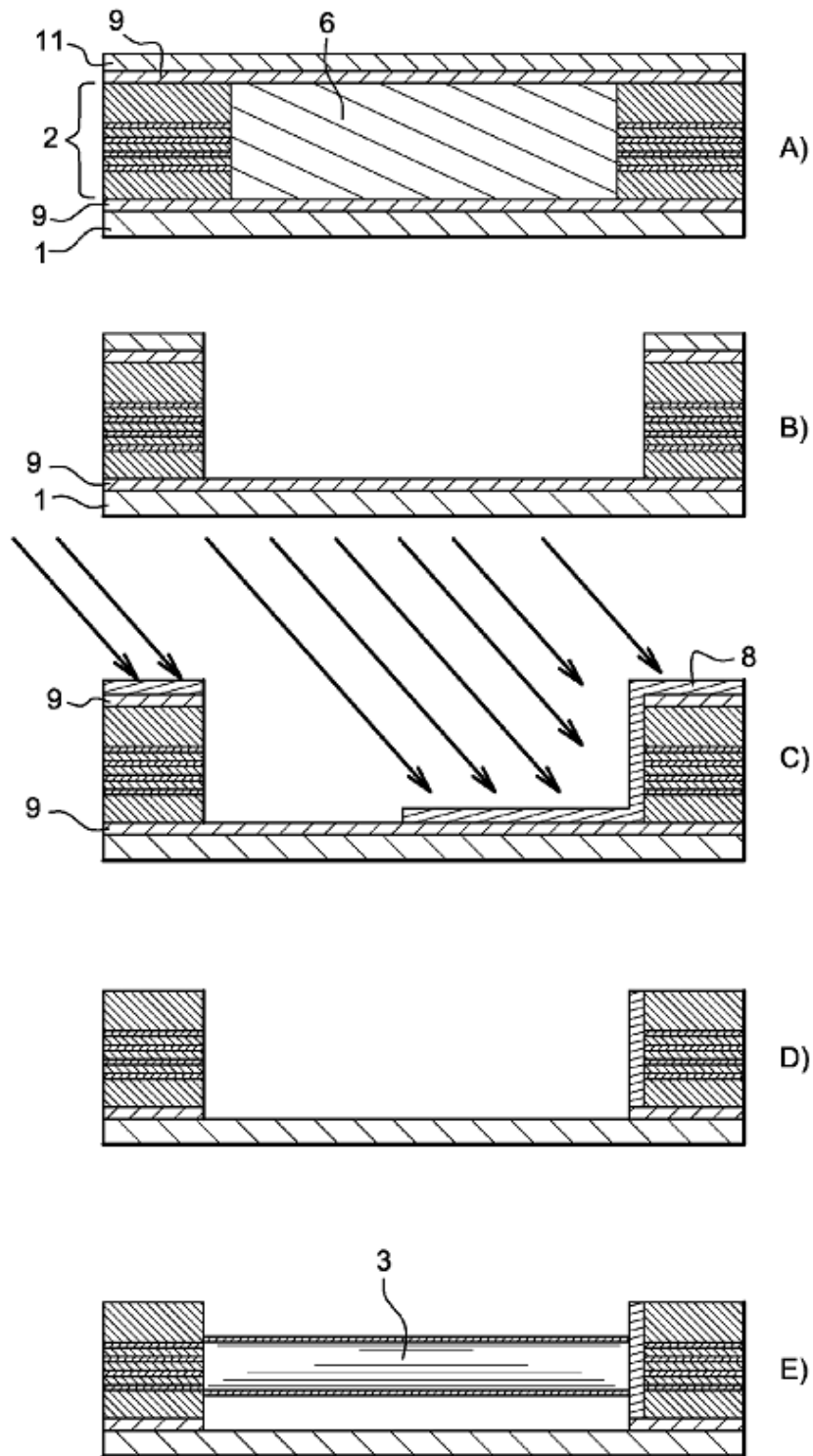


Fig. 4

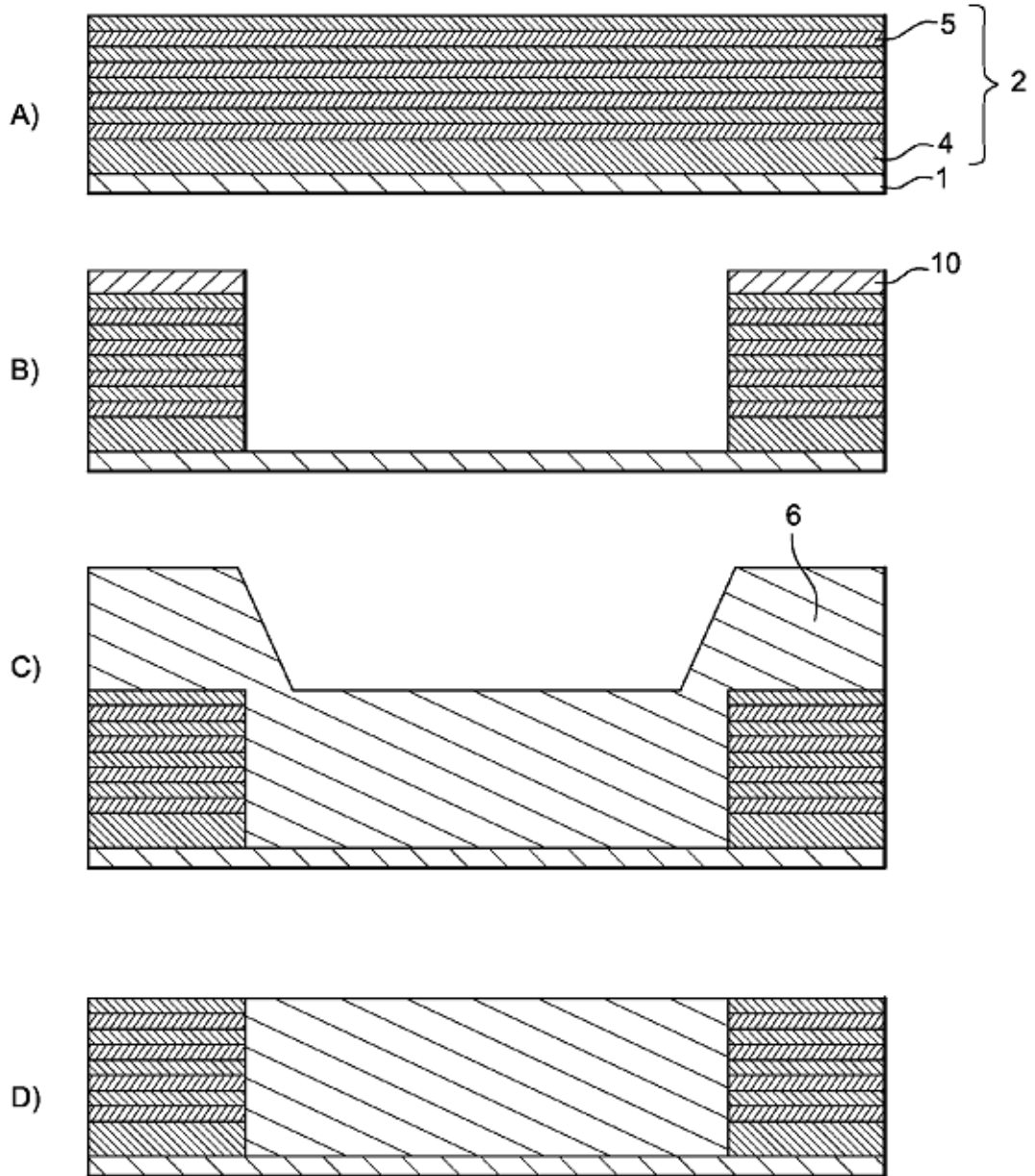


Fig. 5

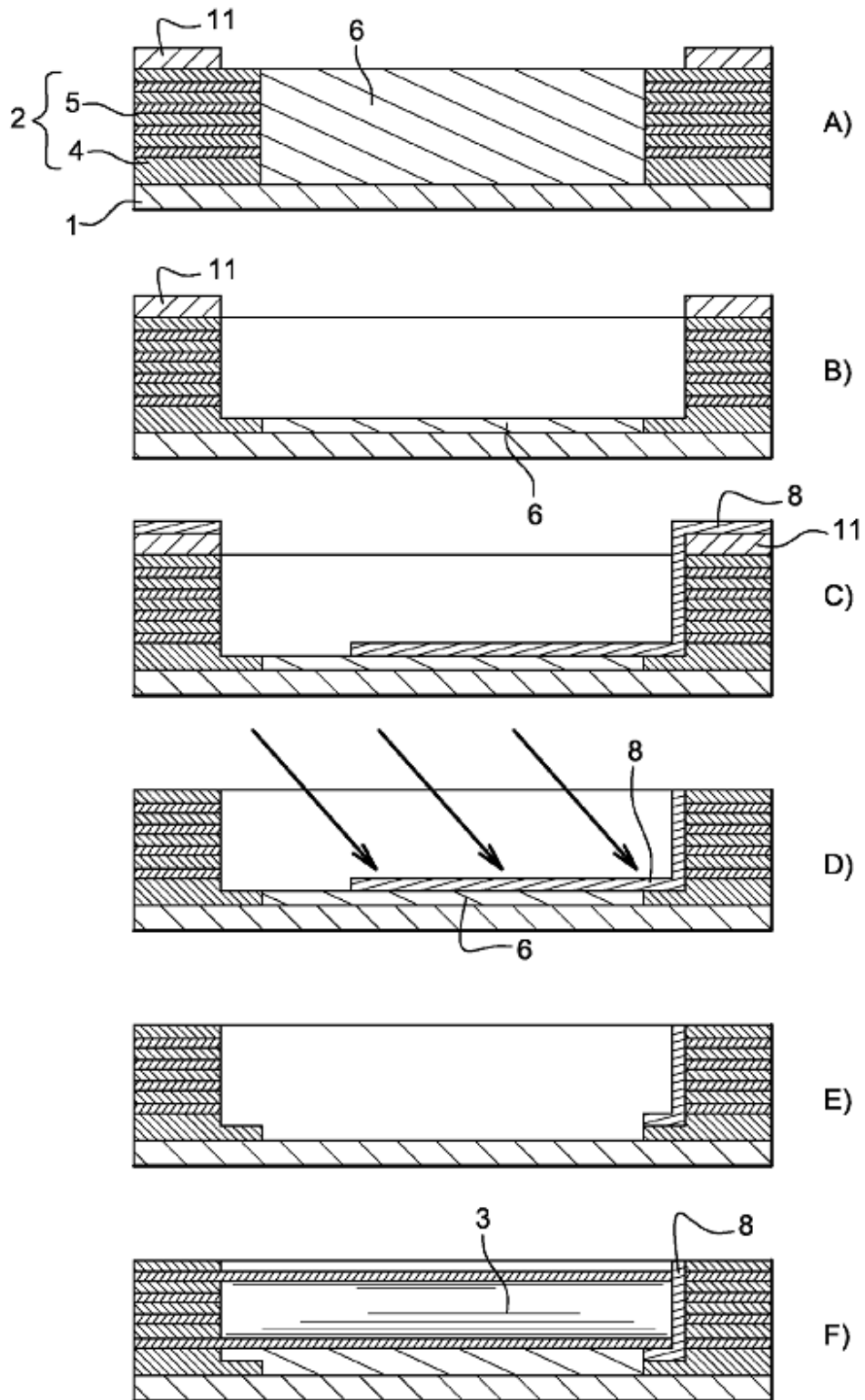


Fig. 6

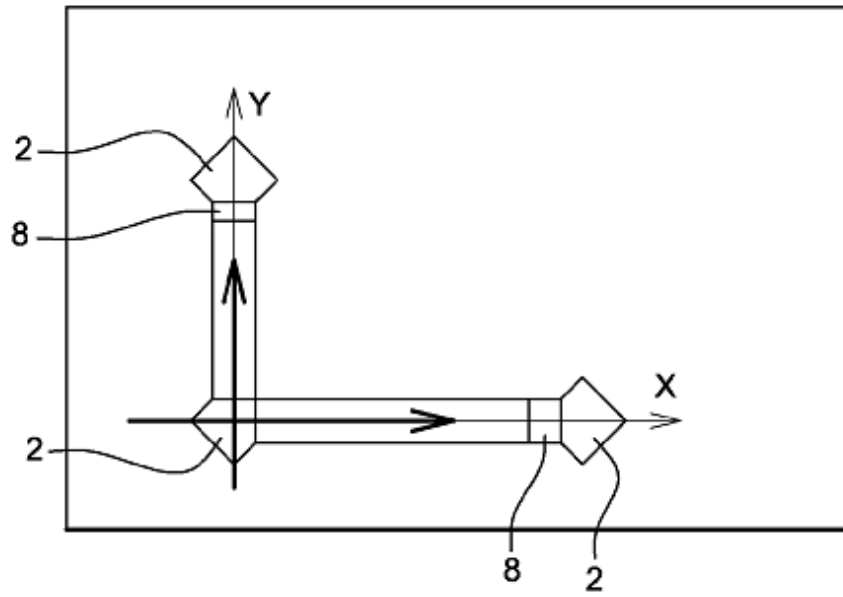


Fig. 7

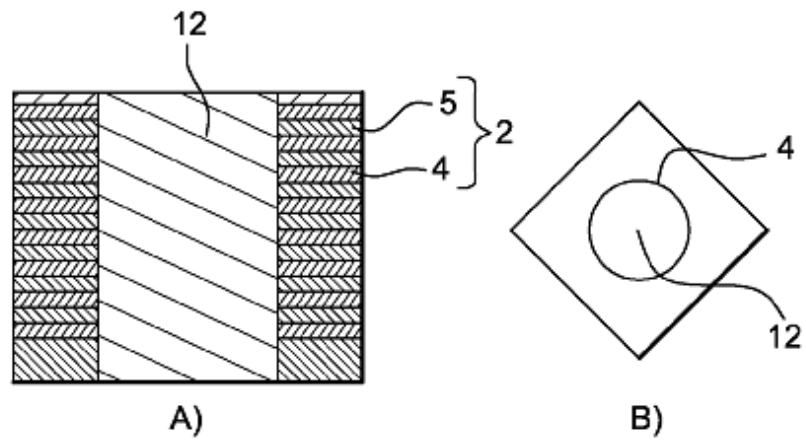


Fig. 8