

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 531 431**

51 Int. Cl.:

H01L 21/768 (2006.01)

H01L 23/532 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **17.12.2010 E 10807619 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **11.02.2015 EP 2534678**

54 Título: **Estructura de interconexión basada en nanotubos de carbono redirigidos**

30 Prioridad:

11.02.2010 FR 1050986

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

16.03.2015

73 Titular/es:

**COMMISSARIAT À L'ÉNERGIE ATOMIQUE ET
AUX ÉNERGIES ALTERNATIVES (100.0%)
25, rue Leblanc, Bâtiment "Le Ponant D"
75015 Paris, FR**

72 Inventor/es:

DIJON, JEAN

74 Agente/Representante:

ISERN JARA, Jorge

ES 2 531 431 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

Estructura de interconexión basada en nanotubos de carbono redirigidos

5 ÁMBITO DE LA INVENCION

La presente invención se refiere a un dispositivo electrónico que comprende conexiones eléctricas realizadas por medio de nanotubos de carbono (CNT), como se reivindica en la reivindicación 1. Se refiere asimismo a procedimientos de elaboración de tales conexiones, como se reivindica en la reivindicación 6.

10 Esta invención presenta aplicaciones especialmente en los sistemas de conexionado térmicos, eléctricos y mecánicos.

15 ESTADO ANTERIOR DE LA TÉCNICA

Ya se ha propuesto el uso de nanotubos de carbono (CNT) o de haces de CNT para fabricar orificios metálicos pasantes o interconexiones de microprocesadores, especialmente con objeto de proporcionar un complemento, incluso una alternativa, al uso del cobre. En efecto, este último no es adecuado cuando las dimensiones resultan mínimas. Los CNT poseen, además, las propiedades necesarias, como una escasa resistencia eléctrica, que permiten garantizar de la mejor manera, la conductividad eléctrica entre los distintos niveles de microprocesadores.

20 El orificio metalizado es una cavidad que permite establecer una conexión entre placas conductoras. Las pistas eléctricas realizadas en las placas establecen la conexión entre orificios metalizados. Las placas conductoras están realizadas de metal, tal como el aluminio, y están separadas por una capa aislante en la que se realiza la cavidad que forma el orificio metalizado.

La miniaturización de los dispositivos electrónicos hace que el uso del cobre sea bastante problemático, ya que el cobre causa dificultades inherentes a la electromigración cuando las densidades de la corriente son demasiado importantes. Por ello, las arquitecturas realizadas con pistas y orificios metalizados de cobre muestran sus limitaciones en los circuitos integrados cuya resolución se aproxima a los 22 nanómetros.

30 Como se muestra en las figuras 1 y 2, se ha propuesto el uso de CNT para garantizar la conexión entre placas conductoras, sustituyendo los orificios metalizados de cobre o tungsteno por CNT (Katagiri *et al.*, Interconnect Technology Conference, 2009. IEEE International 1-3 junio 2009, págs. 44-46; Yokoyama *et al.* Japanese Journal of Applied Physics, Vol. 47, Nº 4, 2008, págs. 1985-1990). Sin embargo, este procedimiento no permite dejar de depender totalmente del cobre, ya que la conexión entre los orificios metalizados sigue garantizada por una pista de cobre. Por lo tanto, los problemas ligados a la electromigración no se eliminan del todo así.

40 El documento US 2008/0042287 describe un dispositivo electrónico en el que las conexiones están garantizadas, al menos en parte, por haces de CNT. El orificio metalizado está recubierto por una capa de material conductor en la que se puede depositar otro haz de CNT y dirigirlo según la dirección de la pista. Sin embargo, los orificios metalizados y las pistas no están formados a partir del mismo haz de CNT.

45 El documento US 2006/0212974 divulga un dispositivo electrónico que comprende haces de CNT preparados en el interior de orificios metalizados y, a continuación, redirigidos según otra dirección, de manera a unir dos capas conductoras de dos niveles distintos. No se trata de conexiones entre orificios metalizados.

50 El documento CN 101562148 se refiere a un procedimiento para elaborar conexiones verticales de CNT mediante depósito de una solución de CNT sobre una capa conductora. En este dispositivo, se unen dos capas conductoras de distintos niveles por medio de haces de CNT.

Otra tecnología se basa en el mismo concepto de orificio metalizado de CNT, pero consiste en utilizar bloques metálicos para cambiar la orientación de los CNT y formar de este modo las pistas horizontales (figura 3). Sin embargo, es técnicamente difícil controlar el depósito de un catalizador así como el crecimiento de CNT según dos direcciones perpendiculares en dos caras de un bloque metálico (figura 4). Otro inconveniente ligado a esta técnica reside en el paso repetido por numerosas interfaces CNT – metal para garantizar la conducción.

60 El documento US 2009/0294966 describe orificios metalizados verticales de CNT que garantizan la conexión eléctrica entre dos capas conductoras, pero también pistas horizontales de CNT que permiten la conexión eléctrica entre orificios metalizados. Se trata de dos haces distintos dirigidos según dos direcciones diferentes. Los haces de CNT procedentes del orificio metalizado no permiten formar la pista.

65 Estos distintos planteamientos implican el control del crecimiento de CNT en el interior de cavidades cada vez más pequeñas, planteando de este modo la problemática de la densidad del haz de CNT. En efecto, al igual que la homogeneidad de sus propiedades y de su orientación, el control de la densidad de los CNT es primordial para

garantizar buenas conexiones eléctricas en el ámbito de la nanoelectrónica. Por lo tanto, es indispensable obtener fuertes densidades de CNT.

El equipo de Hata (Hitamizu *et al.*, Nature nanotechnology, Vol. 3, 2008, 289-294) ha demostrado recientemente un efecto organizador y densificador que puede obtenerse mediante el paso de una película de CNT dispersos en una solución de alcohol. En efecto, cuando se sumerge la película de CNT en el baño de alcohol, perpendicularmente a la superficie del mismo, y a continuación se seca, los CNT se agrupan y se alinean. La tensión de superficie del líquido y las fuertes interacciones de Van der Waals aproximan los CNT hacia una estructura próxima a la del grafito. Tras la densificación, no se ha observado desensamblaje alguno de los CNT. Sin embargo, Hata solo obtiene estructuras compuestas por CNT dirigidos según la misma dirección, limitando de este modo las posibles aplicaciones.

La presente invención se inscribe en la búsqueda de soluciones técnicas que permitan especialmente dejar de depender del uso de metales, y que aplican procedimientos de elaboración poco complejos.

PRESENTACIÓN DE LA INVENCION

Por lo tanto, la presente invención ofrece una nueva arquitectura, que permite dejar de depender del uso de metales para garantizar el sistema de conexionado entre placas o para garantizar el cambio de dirección de un haz de CNT, que se basa en el crecimiento y la redirección de nanotubos de carbono (CNT).

De manera general, la presente invención consiste en garantizar las conexiones eléctricas, en un dispositivo electrónico, mediante haces de nanotubos de carbono (CNT) dirigidos según una primera dirección y contenidos en cavidades denominadas orificios metalizados. Estos haces de CNT están conectados lateralmente entre sí mediante pistas también constituidas por haces de CNT según una segunda dirección.

En la continuación de la presentación, los términos "orificio metalizado" y "pista" se emplean para designar los haces de CNT contenidos en las cavidades u orificios metalizados y que representan las pistas de conexión respectivamente.

Típicamente, un dispositivo electrónico según la invención incluye un encadenamiento de estructuras realizadas especialmente con una placa conductora (por ejemplo de aluminio) cubierta por una capa de aislante (sílice o material low K de la microelectrónica). Se realizan cavidades unidas entre sí mediante pistas en el bloque aislante para crear interconexiones entre placas (orificio metalizado) o entre orificios metalizados (pistas).

Más concretamente, la invención se refiere a un dispositivo electrónico que comprende conexiones eléctricas que se extienden según al menos dos direcciones distintas. De manera característica, dichas conexiones están realizadas básicamente con la ayuda de haces de nanotubos de carbono (CNT), de los que al menos dos haces de CNT incluyen una parte cuyo eje está dirigido según una primera dirección, y una parte cuyo eje está redirigido según una segunda dirección. Además, la conexión entre los haces de CNT está garantizada mediante solapado de las partes de dichos al menos dos haces de CNT de manera a formar una pista de conexión.

Por lo tanto, al menos dos haces que constituyen las conexiones eléctricas están acodados, estando una zona de estos haces de CNT dirigida según la primera dirección y otra zona según una segunda dirección distinta.

Conviene subrayar que el sistema de conexiones eléctricas objeto de la invención permite la realización de conexiones en al menos dos direcciones, ventajosamente vertical y horizontal, pero puede servir asimismo para el establecimiento de conexiones en más de dos direcciones, especialmente tres, en particular en el caso de dos conexiones distintas en el plano horizontal.

Según la invención, las conexiones eléctricas están esencialmente realizadas por medio de haces o mazos de CNT, es decir una pluralidad de nanotubos de carbono que presentan un eje de crecimiento sensiblemente paralelo y agrupados. El término "esencialmente" indica que las conexiones eléctricas pueden garantizarse únicamente mediante los CNT y, por lo tanto, en ausencia de pistas o de bloques metálicos, como era el caso en la técnica anterior. Sin embargo, como se describirá más adelante, el contacto eléctrico entre los haces puede mejorarse realizando, además, un depósito metálico.

En la práctica, tales conexiones eléctricas se establecen gracias a la aplicación del siguiente procedimiento:

- crecimiento de al menos un haz de CNT según la primera dirección;
- redirección de parte del haz de CNT según la segunda dirección, ventajosamente mediante el paso de un flujo de líquido.

Típicamente, el procedimiento de elaboración de las conexiones eléctricas en al menos dos direcciones dentro de un dispositivo electrónico según la invención comprende las siguientes etapas:

- crecimiento de al menos dos haces de CNT según una primera dirección en una cavidad de dicho dispositivo;
- redirección de parte de dichos dos haces de CNT según una segunda dirección, ventajosamente mediante paso de un flujo de líquido, de manera a formar la pista de conexión.

5 La elaboración de este dispositivo comprende, por lo tanto, el crecimiento controlado de haces de CNT según una primera dirección dentro de cavidades, según técnicas bien establecidas en la técnica anterior, especialmente por medio de catalizadores tales como el hierro.

10 Típicamente, el crecimiento de los haces de CNT se detiene cuando estos últimos poseen una altura al menos superior a la del orificio metalizado. Parte de estos haces de CNT se redirige, a continuación, según una segunda dirección, ventajosamente mediante paso de un flujo de líquido.

15 La redirección del haz de CNT puede garantizarse mediante la técnica descrita en el documento Hayamizu et al. (Nature nanotechnology, Vol. 3, 2008, 289-294). En la práctica, consiste en sumergir los CNT en una solución de isopropanol y en estirarlos paralelamente en el sentido de una ranura, siendo la ranura perpendicular al menisco del líquido. Esta operación permite asimismo densificar los haces de CNT.

20 Según un modo de realización privilegiado, la parte del haz de CNT que ha sido redirigida según la segunda dirección es sensiblemente perpendicular a la parte del haz de CNT según la primera dirección.

Típicamente, la primera dirección es sensiblemente vertical. Ventajosamente, la parte del haz de CNT según la primera dirección forma el orificio metalizado del dispositivo electrónico.

25 Preferiblemente, la segunda dirección es sensiblemente horizontal. Ventajosamente, la parte del haz de CNT según la segunda dirección forma la pista de conexión del dispositivo electrónico.
En un modo de realización privilegiado, orificios metalizados y pistas son por lo tanto sensiblemente perpendiculares.

30 Especialmente de manera a realizar conexiones entre orificios metalizados, el dispositivo electrónico según la invención comprende preferiblemente al menos dos haces de CNT cuyas partes según la segunda dirección, que pueden ser sensiblemente horizontales, forman la pista de conexión. La pista se realiza ventajosamente mediante solapado de las partes de los haces de CNT según la segunda dirección, es decir mediante superposición sucesiva de los extremos de los haces.

35 Este modo de realización se aplica gracias al siguiente procedimiento:

- crecimiento de una pluralidad de haces paralelos de CNT según la primera dirección, ventajosamente en el interior del orificio metalizado;
- redirección de parte de los haces de CNT según la segunda dirección;
- conexión, ventajosamente mediante solapado, de las partes de los haces de CNT según la segunda dirección, de manera a realizar la pista de conexión.

45 El solapado se consigue en realidad mediante recubrimiento de la parte superior de los haces de CNT, dejando solo la parte del haz de CNT contenida en la cavidad en la primera dirección, de manera privilegiada sensiblemente vertical. Ventajosamente, la segunda dirección, la del solapado, es la de una ranura previamente realizada en el bloque aislante para contener la pista de conexión.

50 Según una aplicación particular, el dispositivo según la invención incluye, además, una capa metálica. Ventajosamente, esta cubre al menos la parte de los haces de CNT según la segunda dirección y, aún más ventajosamente, cubre la pista de conexión.

Esta capa metálica puede permitir:

- uniformizar la superficie del dispositivo con objeto de una encapsulación o para servir de soporte para elaborar un nivel superior de conexión. En este último caso, conviene depositar un material metálico, por ejemplo aluminio, capaz de favorecer el crecimiento de un segundo nivel de CNT; y/o
- favorecer la conexión entre los orificios metalizados.

60 Esta capa metálica se deposita mediante cualquier técnica adecuada, conocida por el especialista en la materia.

Según otro modo de realización, el dispositivo electrónico puede incluir asimismo otro haz de CNT conectado lateralmente a al menos un haz de CNT del dispositivo, al nivel de su parte según la segunda dirección, para formar la pista. Este otro haz de CNT garantiza la conexión con un haz procedente de un orificio metalizado y, eventualmente, entre varios orificios metalizados. La conexión se garantiza tras el crecimiento de este otro haz de

CNT, bien directamente según la segunda dirección, bien tras su redirección según la segunda dirección, como se ha descrito anteriormente.

5 Preferiblemente, el otro haz de CNT se conecta lateralmente a al menos dos haces de CNT para garantizar la conexión entre los orificios metalizados.

Según el modo operativo elegido, el crecimiento de haces de CNT que forman bien los orificios metalizados, bien las pistas de conexión, puede ser simultáneo o separado.

10 Ventajosamente, el crecimiento del otro haz de CNT no se realiza en el interior de una cavidad sino dentro de una ranura. Por lo tanto, el otro haz de CNT no puede entrar directamente en contacto con la placa conductora, al estar materialmente separado por el bloque aislante. La redirección de este otro haz de CNT según la segunda dirección se efectúa eventualmente en la ranura.

15 En este modo de realización particular, la conexión lateral entre los haces de CNT está ventajosamente garantizada mediante el depósito de una capa metálica. En la práctica, está situada en la interfaz de los dos tipos de haces de CNT: al menos un haz de CNT, al nivel de su parte según la segunda dirección, procedente del o de los orificios metalizados y el otro haz que forma la pista. Esta capa está realizada ventajosamente por medio de un metal denominado de contacto, elegido entre el siguiente grupo: paladio, cobre, oro o titanio. Por lo tanto, el metal de
20 contacto garantiza la conexión entre los haces de CNT procedentes de los orificios metalizados y con el haz de CNT que forma la pista de conexión.

En el marco de la invención, con objeto de localizar los CNT en las zonas de crecimiento predeterminadas, se puede:

25

- bien depositar el catalizador de crecimiento en toda la placa y eliminarlo (mediante grabado, pulido, ...) en las zonas no predeterminadas;
- o bien depositar TiN en las zonas no predeterminadas, y depositar el catalizador en toda la placa, como se describe en Dijon et al. (Diam. Relat. Mater., 2009, doi: 10.1016/j.diamond.2009.11.017).

30

Según un modo de realización preferido, el procedimiento de elaboración de las conexiones eléctricas en al menos dos direcciones dentro de un dispositivo electrónico según la invención, comprende asimismo una etapa de depósito de al menos una capa metálica en la parte de los haces de CNT según la segunda dirección.

35 Puede comprender asimismo una etapa de crecimiento y, eventualmente, de redirección según la segunda dirección, de otro haz de CNT destinado a conectar lateralmente al menos un haz de CNT al nivel de su parte según la segunda dirección, para formar la pista de conexión. En este caso particular, el procedimiento puede comprender eventualmente una etapa de depósito de una capa metálica en el otro haz de CNT.

40 Además, el procedimiento de elaboración del dispositivo de la invención puede comprender al menos una etapa de depósito de TiN en las zonas donde no deben crecer los CNT.

Se desprende que en los dispositivos electrónicos según la invención, la corriente eléctrica pasa esencialmente por los nanotubos de carbono, reduciendo considerablemente los problemas de electromigración. Además, los
45 procedimientos de elaboración de tales dispositivos emplean técnicas relativamente controladas.

Ejemplos de realización de la invención

50 La manera en que puede realizarse la invención y las ventajas que se derivan de la misma aparecerán con mayor claridad mediante los siguientes ejemplos de realización, proporcionados a modo indicativo y no limitativo, en apoyo de las figuras adjuntas.

La figura 1 representa un esquema que ilustra la integración de nanotubos de carbono (CNT) en interconexiones ULSI ("Ultra Large Scale Integration") según la técnica anterior. La figura 2 es un esquema que ilustra la técnica anterior, es decir el crecimiento de nanotubos de carbono (CNT) en orificios metalizados, estableciendo un contacto con los cables de cobre. La figura 3 es una vista tridimensional y al microscopio de un sistema de interconexión pista/orificio metalizado según la técnica anterior, que implica un bloque de contacto metálico. La figura 4 es un esquema de un sistema de interconexión pista/orificio metalizado según la técnica anterior, que implica un bloque de contacto metálico. La figura 5 es un esquema del dispositivo de interconexión según la invención, mediante solapado de CNT redirigidos procedentes del orificio metalizado (A) o mediante conexión entre CNTs distintos (B) respectivamente. La flecha indica la circulación de la corriente, y los círculos las interfaces por superar. La figura 6 es un esquema de dos dispositivos de interconexión según la invención (A, B), en los que el contacto entre los haces de CNT se mejora por medio de un metal. La figura 7 es un esquema de principio de un modo de realización de la invención según el cual se realizan los orificios metalizados y las pistas simultáneamente. Vistos de la izquierda: vistas en corte; vistas de la derecha: vistas desde arriba. La figura 8 es un esquema que ilustra un
55
60
65

5 procedimiento de elaboración de un dispositivo de interconexión según la invención mediante solapado de los CNT: A/ a F/: vistas en extremo, perpendiculares a la ranura; G/ y H/: vistas paralelas al sentido de la ranura. La figura 9 es un esquema que ilustra un procedimiento de elaboración de un dispositivo de interconexión alternativo de la invención, mediante crecimiento simultáneo de los orificios metalizados y de la pista. La figura 10 es un esquema que ilustra un procedimiento de elaboración de un dispositivo de interconexión alternativo de la invención, mediante crecimiento independiente de los orificios metalizados y la pista, e inserción de un metal de contacto.

DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA INVENCIÓN

10 Los distintos modos de realización descritos a continuación se refieren a un dispositivo electrónico que requiere interconexiones a la vez verticales y horizontales y, por lo tanto, en dos direcciones distintas perpendiculares. El conjunto de estas conexiones se realiza por medio de nanotubos de carbono (CNT):

- 15
- las conexiones verticales están formadas por haces verticales de CNT que crecen en el interior de orificios metalizados, dispuestos en una capa de material aislante;
 - las conexiones horizontales se garantizan asimismo mediante CNTs y forman las pistas de conexión. Pueden resultar del solapado de los haces procedentes de los orificios metalizados, redirigidos (primer modo de realización; fig. 5A) o resultar del crecimiento de un haz independiente en contacto lateral con los haces procedentes de los orificios metalizados, redirigidos (segundo modo de realización; fig. 5B).
- 20

Según una aplicación particular, una capa metálica **2, 10** está asimismo en contacto con los haces de CNT, especialmente en las porciones **8b** de los haces de CNT (fig. 6A y fig. 6B).

25 Dicha capa puede estar constituida ventajosamente por:

- una capa **10**, por ejemplo de Pd o Ti, que mejoran el contacto de los CNT; y/o
- una capa **2**, por ejemplo de Al, que permite el crecimiento de un nuevo nivel de CNT y, por lo tanto, de interconexión.

30 Alternativamente, puede tratarse de un bicapa que asocia los dos tipos de capas **10** y **2**.

I/ PRIMER MODO DE REALIZACIÓN DE LA INVENCIÓN

35 Como ya se ha dicho, este primer modo de realización mediante solapado de los haces de CNT verticales se ilustra en las figuras 5A y 6A respectivamente.

Más concretamente, su procedimiento de elaboración se ilustra en la figura 8. Cabe subrayar que las etapas A a F están esquematizadas por medio de vistas en extremo, es decir perpendiculares a la ranura 3; las figuras 8G y 8H corresponden a vistas paralelas en el sentido de la ranura 3.

40

A/ Elaboración de la estructura base

45 Se deposita en la capa conductora **2** una capa aislante **1** de sílice o de material low K de la microelectrónica. El conductor **2** es típicamente aluminio.

B/ Grabado de la ranura

50 Se realiza, dentro del aislante **1**, la ranura **3** que se convertirá en la futura pista **4**, mediante procedimientos de litografía convencionales.

C/ Depósito de TiN

55 Se deposita en la ranura **3** una capa de TiN **5**, de alrededor de 50 nanómetros de grosor, por medio de un procedimiento de depósito conforme. El TiN tiene como función inhibir el crecimiento de los nanotubos de carbono cuando se deposita el catalizador **6**, en este caso el hierro, sobre el TiN.

D/ Apertura de los orificios metalizados

60 Se abren unos orificios metalizados **7** en la ranura **3**, deteniéndose el grabado a través del aislante **1** en el conductor **2**.

E/ Depósito del catalizador

El depósito del catalizador **6** se realiza a temperatura ambiente. Se trata típicamente de una capa de 1 nanómetro de hierro, depositada mediante evaporación o "Ion Beam Sputtering". El depósito se efectúa en incidencia normal, para minimizar la cobertura de los flancos.

5 F/ Crecimiento selectivo de los nanotubos

De manera clásica, se hacen crecer los nanotubos de carbono (CNT) **8** a 600°C, por medio de una mezcla $C_2H_2+H_2+He$ (10 sccm, 50sccm, 50sccm), tras haber previamente oxidado el hierro por medio de un plasma RF de aire realizado a temperatura ambiente. Las condiciones del plasma son las siguientes:

10

- P = 0.3Torr;
- Potencia 70W durante 30 minutos.

15 Este procedimiento permite el crecimiento de los nanotubos **8** en el hierro **6**, salvo si se deposita este último sobre TiN **5**. En este caso, no habrá crecimiento.

La presión durante el crecimiento a 600°C es de 1 Torr. Los gases reactivos se introducen después del plasma en frío y la subida de temperatura se efectúa en 15 minutos, con una presión de 0,3 Torr.

20 La altura de los nanotubos **8** se ajusta mediante el tiempo de crecimiento.

G/ Redirección de los nanotubos

25 Después del crecimiento, se sumerge el dispositivo en alcohol isopropílico y se estira perpendicularmente en el sentido de la ranura **3**: el menisco del líquido es perpendicular a la ranura **3**. El líquido que circula en la ranura tumba los tubos **8** procedentes de los orificios metalizados **7**. Tras esta operación, los tubos se densifican fuertemente. Además, los tubos **8** presentan dos partes distintas

30

- una parte **8a**, cuyo eje es paralelo al de los orificios metalizados **7**, y
- una parte **8b**, cuyo eje es paralelo al de la ranura **3**.

Los haces de nanotubos **8**, procedentes de los distintos orificios metalizados **7**, se tumban de este modo en la ranura **3** y entran en contacto. Por lo tanto, es posible realizar una conexión de pista **4** mediante solapado de al menos dos haces de nanotubos procedentes de distintos orificios metalizados.

35

Al término de esta etapa, se obtiene un sistema de interconexión tal como el que se ilustra en la figura 5A. La pista **4** se realiza mediante solapado de los haces de nanotubos **8b** procedentes de los orificios metalizados **7**. En este modo de realización, la resistencia de la pista **R** está compuesta por una serie de resistencias de interfaces añadida a la resistencia de los nanotubos.

40

Sin embargo, en una etapa posterior (fig. 8H), se puede recomendar la realización de un depósito metálico **2**, de nuevo de aluminio, en la superficie de la pista **4** de manera a allanar la estructura y poder empezar de nuevo la operación (creación de interconexiones) en el siguiente nivel (encapsulación). Al término de esta etapa, se obtiene un sistema de interconexión como el ilustrado en la figura 6A.

45

II/ Segundo modo de realización de la invención

Este segundo modo de realización se ilustra al mismo tiempo en las figuras 5B, 6B, 7, 9 y 10.

50 La figura 5B ilustra el hecho de que la resistencia de la pista es más débil que en el primer modo de realización, ya que solo existe una resistencia de interfaz.

La figura 7 es una figura que ilustra el principio de este segundo modo de realización según el cual las interconexiones sensiblemente perpendiculares, orificios metalizados **7** y pistas **4** respectivamente, proceden de al menos dos haces distintos de nanotubos, ventajosamente realizados de manera simultánea. Conviene subrayar que los esquemas de la parte izquierda representan vistas en corte, mientras que los de la parte derecha son vistas desde arriba.

55

Además, el modo de realización que implica el crecimiento simultáneo de los nanotubos **8** y **8'** a partir de la pista **4** y de los orificios metalizados **7** se ilustra en la figura 9, que deriva de la figura 8.

60

Las etapas A a C son similares a las de la figura 8.

Por el contrario, antes de la abertura de los orificios metalizados **7**, se realiza una etapa adicional (fig. 9D'): se dispone una abertura **9** del TiN **5** en la ranura **3**, de manera a obtener el crecimiento de los nanotubos de carbono **8'**

65

en esta zona, después de depositar el catalizador **6**. Esto corresponde a la disposición de la zona de crecimiento **9** de la pista.

5 La siguiente etapa consiste en realizar la abertura de las orificios metalizados **7** tras haber protegido las aberturas **9** mediante una capa de resina (fig. 9E').

10 Después de depositar el catalizador **6** (fig. 9F') y durante la etapa de crecimiento (fig. 9G'), los tubos **8** y **8'** crecen en los orificios metalizados **7** y en la zona de crecimiento **9** dispuesta al nivel de la pista respectivamente. La longitud de los haces procedentes de CNT **8** y **8'** puede ser distinta, jugando con el grosor del catalizador y con las condiciones de plasma distintas en los orificios metalizados y en la pista.

15 Tras la redirección de ambos haces de nanotubos (**8**, **8'**) procedentes de los orificios metalizados **7** y de la zona de crecimiento **9** respectivamente, el sistema de interconexión obtenido corresponde al ilustrado en la figura 5B. Se observa que la pista **4** de conexión está realizada por medio de un haz de nanotubos **8'** que no procede de los orificios metalizados **7**.

20 En lo que se refiere a la figura 10, deriva de la figura **8**, pero en un modo de realización en que el crecimiento de los nanotubos **8** y **8'** se realiza por separado a partir de la pista **4** y de los orificios metalizados **7**, y en que se inserta un metal de interfaz **10** entre ambos haces de nanotubos (entre los CNT de los orificios metalizados **8b** y los CNT de las pistas **8'** respectivamente).

El procedimiento se inicia como en las etapas A a G de la figura 8.

25 Por el contrario, en lugar de la etapa H, se desarrollan las etapas H' a M' de la figura 10:

H'/ Depósito de un metal de contacto

30 Tras la redirección de los nanotubos **8** procedentes de los orificios metalizados **7 (8a, 8b)**, se deposita el metal de contacto **10**, tal como paladio, cobre, oro o titanio.

I'/ Apertura de metal de contacto

35 Se abre entonces el metal de contacto **10** en el extremo de la ranura **3**, hasta el aislante **1** mediante grabado. Se forma así la zona de crecimiento **9** de los futuros nanotubos **8'** procedentes de la pista **4**.

J'/ Depósito del catalizador

Se deposita el catalizador mediante evaporación o pulverización.

40 K'/ Allanamiento del metal de contacto

45 Se allana el dispositivo mediante CMP ("*Chemical and Mechanical Polishing*") de manera a eliminar el depósito de catalizador **6** del metal de contacto **10**, al mismo tiempo que se conserva el catalizador **6** en la zona de crecimiento **9**.

L'/ Segundo crecimiento de nanotubos

50 Se realiza un segundo crecimiento en las mismas condiciones que en la etapa F de la figura 8. Se obtiene así el haz de nanotubos **8'** procedentes de la zona de crecimiento **9** y destinados a formar la pista **4**.

M'/ Redirección de la pista

55 Tras el crecimiento, se redirige el haz de nanotubos de manera similar a la etapa G de la figura 8. Se obtiene así una pista de conexión **4** en contacto por medio del metal **10** con los nanotubos **8** procedentes del orificio metalizado **7**.

Al término de tal procedimiento, se obtiene un sistema de interconexión como se ilustra en la figura 6B.

REIVINDICACIONES

- 5 1. Dispositivo electrónico que comprende conexiones eléctricas que se extienden según al menos dos direcciones distintas, estando dichas conexiones realizadas por medio de haces de nanotubos de carbono (CNT) (8), de los que al menos dos haces de CNT incluyen una parte (8a) cuyo eje está dirigido según una primera dirección, y una parte (8b) cuyo eje está redirigido según una segunda dirección, caracterizado porque la conexión entre los haces de CNT está garantizada mediante superposición sucesiva de los extremos de dichos al menos dos haces de manera a formar una pista de conexión (4), incluyendo al menos uno de dichos haces de CNT una parte (8a) dentro de un orificio metalizado.
- 10 2. Dispositivo electrónico según la reivindicación 1, caracterizado porque las dos direcciones distintas son sensiblemente perpendiculares.
- 15 3. Dispositivo electrónico según la reivindicación 1 o 2, caracterizado porque la primera dirección es sensiblemente vertical y porque la parte del haz de CNT (8a) según esta dirección forma un orificio metalizado (7).
- 20 4. Dispositivo electrónico según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque la segunda dirección es sensiblemente horizontal y porque la parte del haz de CNT (8b) según esta dirección forma una pista de conexión (4).
5. Dispositivo electrónico según la reivindicación 4, caracterizado porque incluye una capa metálica (10, 2) en la pista de conexión (4).
- 25 6. Procedimiento de elaboración de las conexiones eléctricas en al menos dos direcciones dentro de un dispositivo electrónico que comprende conexiones eléctricas que se extienden según al menos dos direcciones distintas, estando dichas conexiones realizadas por medio de haces de nanotubos de carbono (CNT) (8) y de los que al menos dos haces de CNT incluyen una parte (8a) cuyo eje está dirigido según una primera dirección, y una parte (8b) cuyo eje está redirigido según una segunda dirección, estando la conexión entre los haces de CNT garantizada mediante superposición sucesiva de los extremos de dichos al menos dos haces, de manera a formar una pista de conexión (4), incluyendo al menos uno de dichos haces de CNT una parte (8a) dentro de un orificio metalizado;
- 30 incluyendo dicho procedimiento las siguientes etapas:
- 35 – crecimiento de al menos dos haces de CNT (8) según una primera dirección (8a) de dicho dispositivo, realizándose el crecimiento de al menos uno de ambos haces de CNT dentro de un orificio metalizado y a una altura superior a la del orificio metalizado;
- 40 – formación de una pista de conexión (4) mediante redirección de una parte de dichos dos haces de CNT (8) según una segunda dirección (8b), mediante paso de un flujo de líquido.
7. Procedimiento según la reivindicación 6, caracterizado porque comprende además el crecimiento de al menos un haz de CNT (8') dentro de una ranura.
- 45 8. Procedimiento según la reivindicación 6, caracterizado porque comprende además una etapa de depósito de al menos una capa metálica (10, 2) en la parte de los haces de CNT según la segunda dirección (8b).
9. Procedimiento según una de las reivindicaciones 6 a 8, caracterizado porque comprende además al menos una etapa de depósito de TiN en las zonas en las que los CNT no deben crecer.
- 50

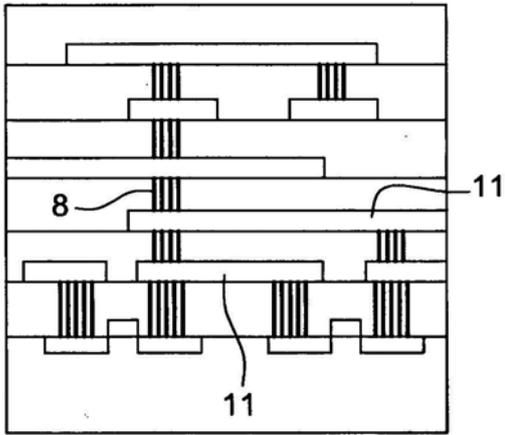


Fig. 1

TÉCNICA ANTERIOR

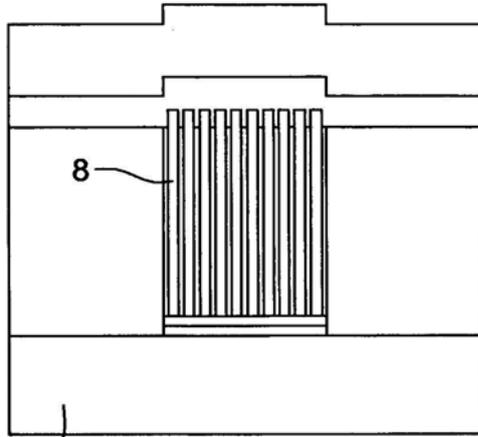


Fig. 2

TÉCNICA ANTERIOR

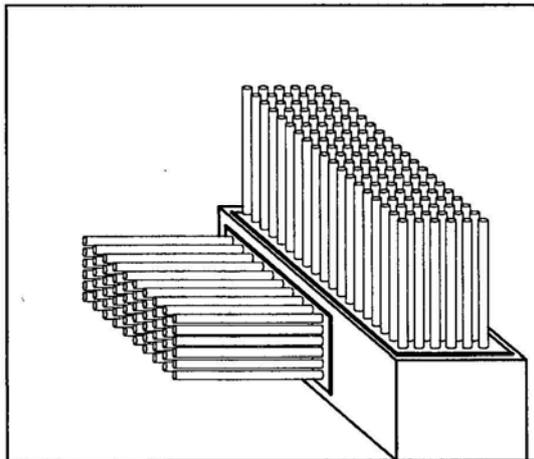


Fig. 3

TÉCNICA ANTERIOR

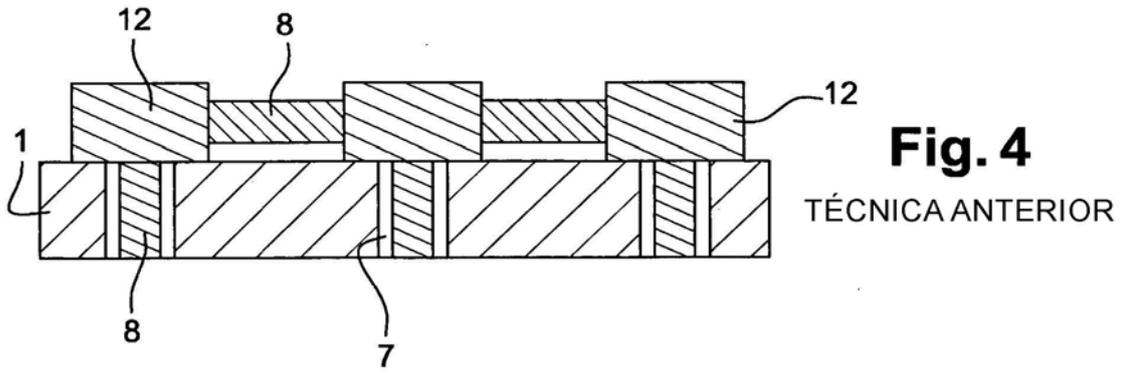


Fig. 5A

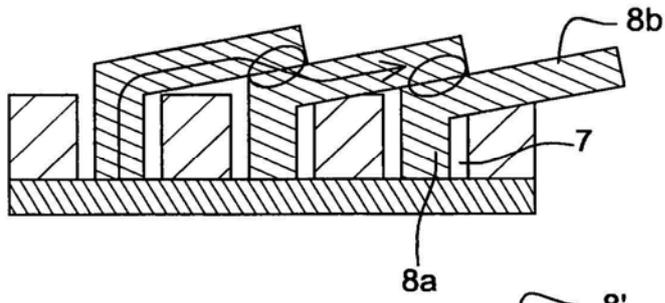


Fig. 5B

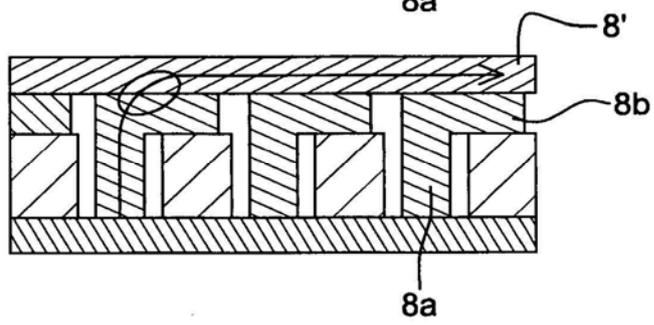


Fig. 6A

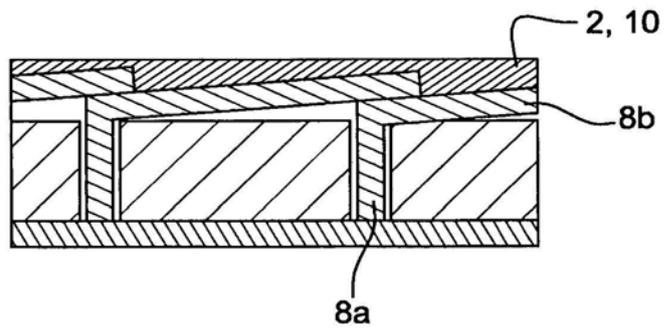
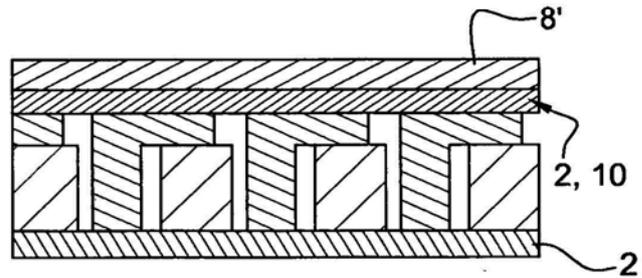


Fig. 6B



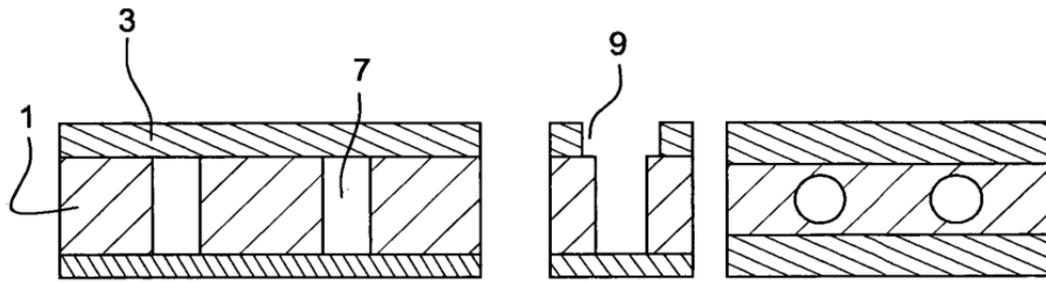


Fig. 7A

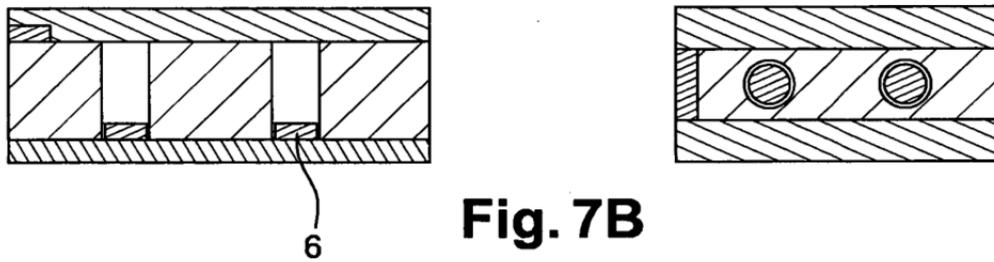


Fig. 7B

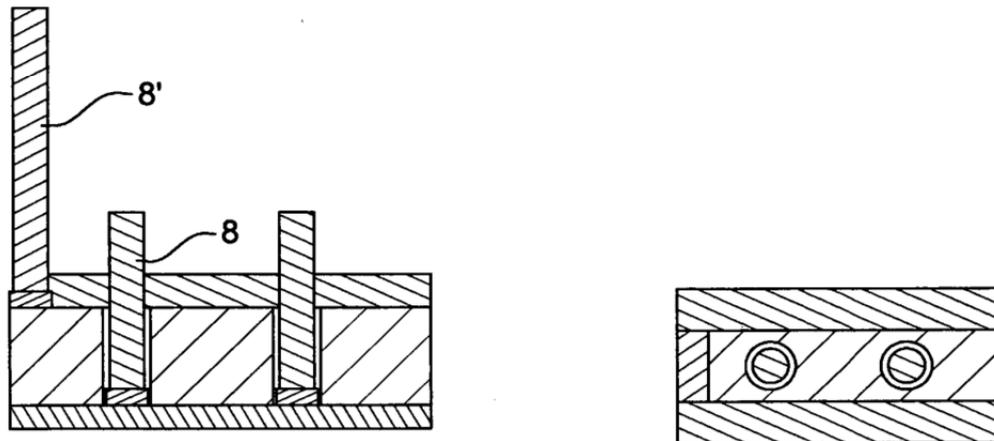


Fig. 7C

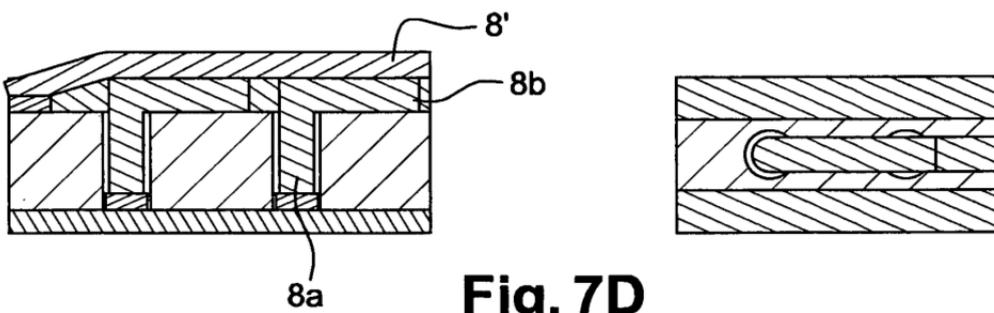


Fig. 7D

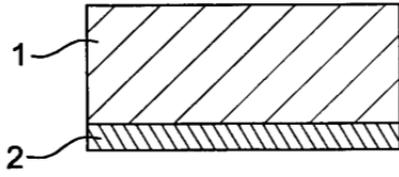


Fig. 8A

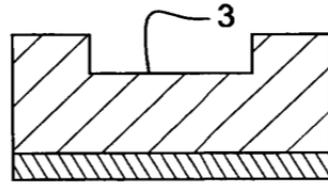


Fig. 8B

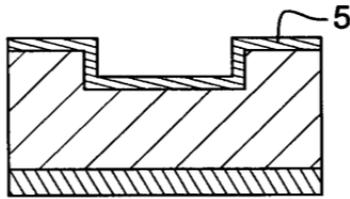


Fig. 8C

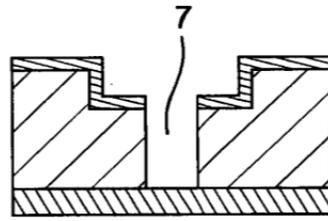


Fig. 8D

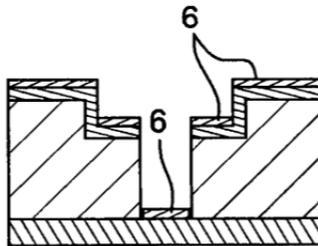


Fig. 8E

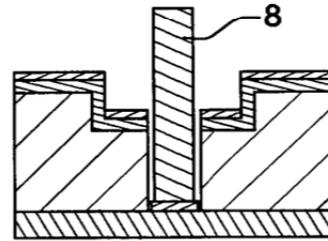


Fig. 8F

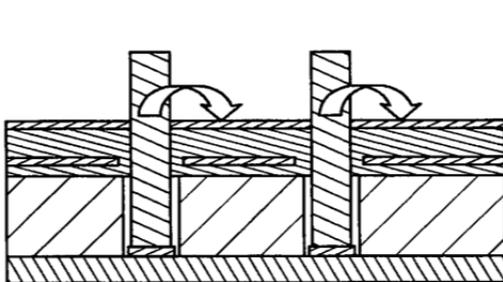


Fig. 8G

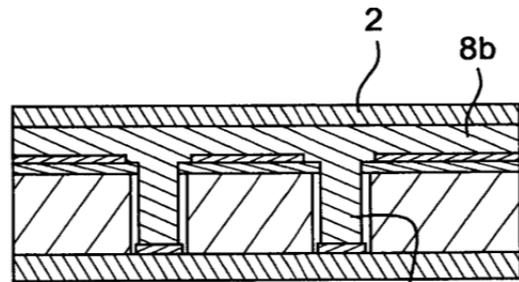


Fig. 8H

Fig. 9D'

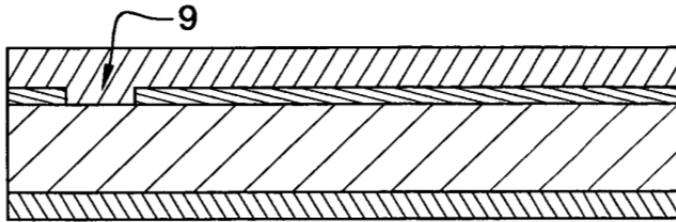


Fig. 9E'

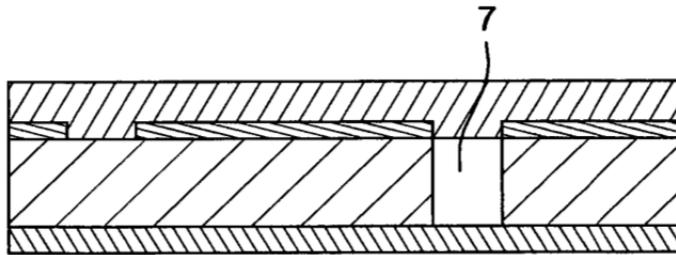


Fig. 9F'

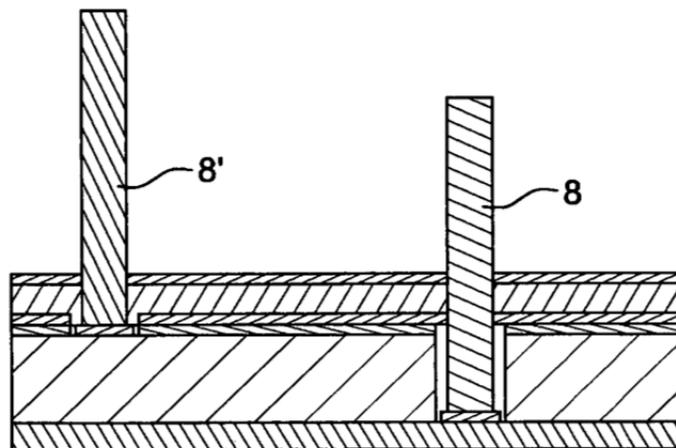
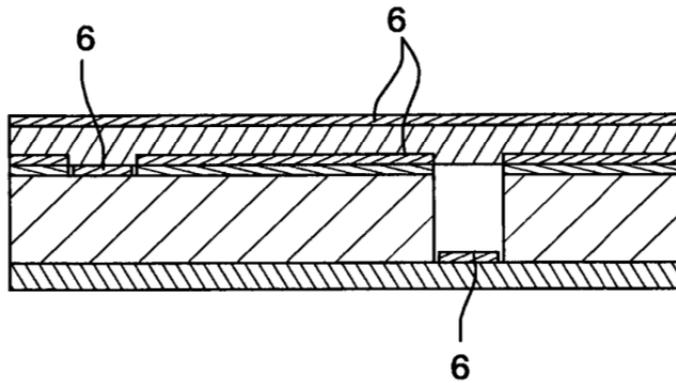


Fig. 9G'

Fig. 10H'

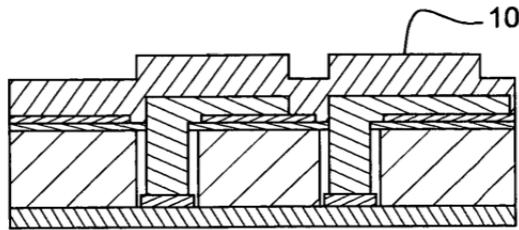


Fig. 10I'

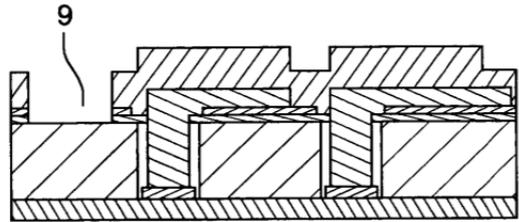


Fig. 10J'

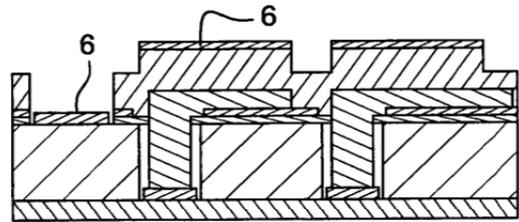


Fig. 10K'

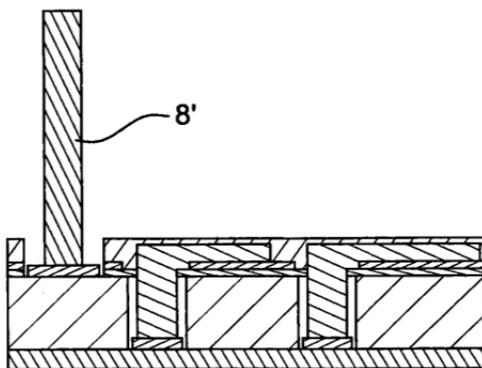
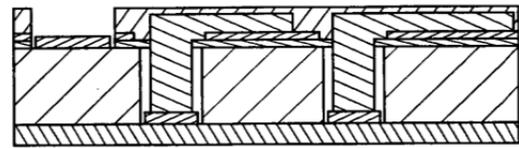


Fig. 10L'

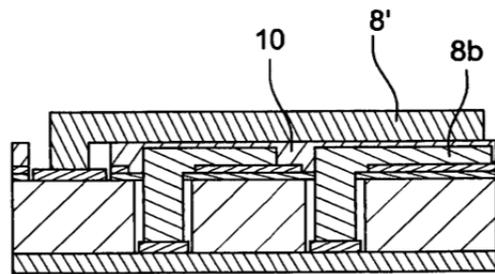


Fig. 10M'