

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 545 685**

21 Número de solicitud: 201430176

51 Int. Cl.:

B81B 1/00 (2006.01)

B81C 1/00 (2006.01)

H01J 47/02 (2006.01)

G01T 1/16 (2006.01)

12

PATENTE DE INVENCION

B1

22 Fecha de presentación:

11.02.2014

43 Fecha de publicación de la solicitud:

14.09.2015

Fecha de la concesión:

23.06.2016

45 Fecha de publicación de la concesión:

30.06.2016

56 Se remite a la solicitud internacional:

PCT/ES2015/070082

73 Titular/es:

CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES
CIENTIFICAS (CSIC) (50.0%)
Serrano nº 117
28006 MADRID (Madrid) ES y
CENTRO BRASILEÑO DE INVESTIGACIONES
FISICAS (50.0%)

72 Inventor/es:

CAMPANELLA PINEDA, Humberto;
LOZANO FANTOBA, Manuel;
CABRUJA CASAS, Enric;
ESTEVE TINTO, Jaume;
BRANT DE CAMPOS, Jose;
CERQUEIRA GOMES, Gabriela y
PESSOA LIMA JUNIOR, Herman

74 Agente/Representante:

UNGRÍA LÓPEZ, Javier

54 Título: **DISPOSITIVO MULTIPLICADOR DE ELECTRONES MICROMECHANIZADO Y PARA DETECCIÓN DE PARTÍCULAS IONIZANTES, SISTEMA DE DETECCIÓN DE PARTÍCULAS IONIZANTES Y MÉTODO DE FABRICACIÓN DEL DISPOSITIVO**

57 Resumen:

Dispositivo multiplicador de electrones micromechanizado para detección de partículas ionizantes, sistema de detección de partículas ionizantes y método de fabricación del dispositivo.

Dispositivo multiplicador (1) de electrones micromechanizado y apilable para la detección de partículas ionizantes que comprende un sustrato sólido con una cavidad central micromechanizada (14) en el centro de la cara inferior del sustrato definiendo un contorno perimétrico de soporte del sustrato (12) alrededor de la cavidad y una pluralidad de orificios pasantes micromechanizados (13) situados en correspondencia con la cavidad (14); una primera capa dieléctrica aislante (17) depositada sobre todas las superficies del sustrato sólido; un primer electrodo metálico de polarización (15) situado sobre la cara superior de la primera capa eléctrica aislante (17); y un segundo electrodo metálico de polarización (16) situado sobre la cara inferior de la primera capa eléctrica aislante (17).

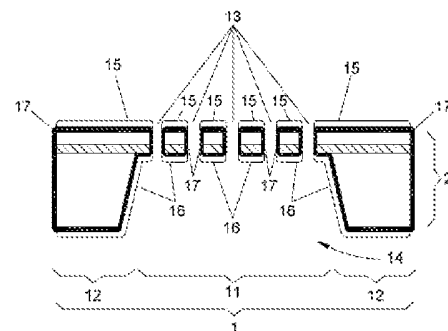


FIG. 1b

ES 2 545 685 B1

DESCRIPCIÓN

Dispositivo multiplicador de electrones micromecanizado para detección de partículas ionizantes, sistema de detección de partículas ionizantes y método de fabricación del dispositivo

5

OBJETO DE LA INVENCION

El objeto de la presente invención es un dispositivo multiplicador de electrones(GEM) micromecanizado y apilable para la detección de partículas ionizantes y un método para fabricarlo.

10 Además se describe en la presente invención un sistema de detección de partículas ionizantes que hace uso de una pluralidad de dispositivos multiplicadores apilados en un mismo plano vertical y que están conectados a un circuito de detección de partículas ionizantes.

La presente invención se enmarca en el sector de los sistemas microelectromecánicos (MEMS) y micromecanizados y en la tecnología de los dispositivos multiplicadores de electrones y su fabricación y, en particular, en detectores de partículas ionizantes e instrumentación para la investigación científica y aplicaciones médicas.

15

ANTECEDENTES DE LA INVENCION

El uso de un gas noble como medio activo para detectar partículas fundamentales se viene aplicando desde principios del siglo XX. La principal ventaja de utilizar un gas está relacionada con el hecho de que es más fácil de recoger la carga eléctrica en un gas de lo que es en medios sólidos o líquidos. Simplemente disponiendo de electrodos polarizados en el recipiente que contiene el gas, se consigue que los electrones sean conducidos al ánodo y los iones positivos al cátodo. La elección de la geometría de los electrodos sirve para ajustar el detector para funcionar como un contador de eventos, sensible a la energía de dichos eventos, o como un integrador de eventos. En este último caso el dispositivo se conoce como cámara de ionización. En cuanto al primer caso, los contadores de partículas basados en detectores gaseosos han evolucionado a lo largo de los años y para finales de los años sesenta, ya se propuso un instrumento para la detección de la posición de cada partícula ionizante incidiendo sobre una superficie determinada [G. Charpak, R. Bouclier, T. Bressani, J. Favier, C. Zupancic. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, 62, 235 (1968)]. Este fue un paso importante para los dispositivos de rayos X de imágenes electrónicas. El diseño se basa en el uso de alambres delgados colocados de lado a lado en un plano (contadores proporcionales multifilares), que impone limitaciones mecánicas y eléctricas en la separación entre alambres. Esto tiene un impacto en la resolución espacial, que

20

25

30

35

está típicamente en el rango de 1mm. Para mejorar la resolución apareció otra implementación a base de microtiras metálicas depositadas sobre una superficie sólida aislante [A. Oed. Nuc. Inst. & Meth., A263, 351 (1988)]. Posteriormente, se desarrollaron otras técnicas para reemplazar los cables en los contadores de partículas: El "Compteur a Trou" [F. Bartol, M. Bordessoule, G. Chaplier, M. Lemonnier, S. Megtert. Journal de Physique III, 6, 3, 337 (1996)] y el multiplicador de electrones en un Gas (GEM) [F. Sauli. Nuc. Inst. & Meth, A386, 531 (1997)]. En estos dispositivos, los orificios se realizan en un sustrato de plástico delgado que se metaliza por ambos lados. Se aplica una diferencia de tensión que establece un alto campo eléctrico en el interior de los orificios (miles de voltios por milímetro). Un electrón liberado por la ionización de las partículas del gas es conducido a la región de los agujeros, donde se somete a una aceleración intensa por el campo eléctrico, lo cual produce una multiplicación de carga muy similar a lo que sucede en la avalancha que tiene lugar en los detectores de alambre. Este tipo de detectores es más estable debido a que la carga eléctrica casi no cruza el sustrato, por lo que no hay carga espuria. Los detectores GEM se han estudiado y producido por muchos grupos de todo el mundo y pronto fueron probados en configuraciones que proporcionaban imágenes de partículas ionizantes. Se pueden identificar dos problemas en el desarrollo de detectores de imágenes GEM: en primer lugar, ya que el sustrato es muy delgado y flexible, la imagen obtenida es modulada por deformaciones en este sustrato. El estiramiento de la lámina de un GEM para obtener una superficie perfectamente plana no es fácil. En segundo lugar, la resolución de la energía es diferente de un agujero a otro en la malla de agujeros ya que la precisión del patrón obtenido es baja: en un campo eléctrico intenso, cada agujero puede tener un comportamiento diferente, estropeando así la calidad de la imagen.

El dispositivo micromecanizado propuesto en este documento evita las problemáticas expuestas mediante el uso de técnicas de microfabricación. Los agujeros se hacen con resolución micrométrica con tecnologías MEMS como por ejemplo el grabado profundo con iones reactivos (DRIE). Este aspecto del dispositivo dará lugar a detectores con mejor resolución en energía y mejor calidad de imagen. Al mismo tiempo, todo el GEM objeto de esta invención está fabricado sobre una superficie rígida y plana, lo que impide deformaciones.

Otros dispositivos GEM también han propuesto el uso de microfabricación y técnicas de microingeniería. El documento US 2011/0089042 propone un método para fabricar un GEM utilizando un sustrato de poliamida y el grabado fotolitográfico y húmedo, eludiendo los problemas de los sustratos no rígidos al usar su método. Sin embargo, tales GEM son dispositivos de multiplicación única, es decir, los sistemas de detección basados en estos GEM sólo pueden ser de un solo nivel, no apilables.

La estructura GEM que propone el documento US7,294,954 mejora la fiabilidad mediante el uso de silicio, óxidos y electrodos metálicos, en donde el silicio es anisotrópicamente grabado con ácido para formar los agujeros de GEM. El dispositivo está diseñado para funcionar produciendo la multiplicación de electrones en una dirección paralela al plano del sustrato. El apilamiento permite aumentar la superficie sensible, pero no el factor de multiplicación. La presente invención permite lograr un factor de multiplicación elevado mediante etapas individuales, lo que nunca puede lograrse con la patente citada.

DESCRIPCIÓN DE LA INVENCION

El objeto de la presente invención es un dispositivo multiplicador de electrones micromecanizado y apilable para la detección de partículas ionizantes, un método para fabricar dicho dispositivo y un sistema de detección de partículas ionizantes que hace uso de una pluralidad de dispositivos multiplicadores de electrones apilados.

Así un primer objeto de la invención es el dispositivo multiplicador de electrones micromecanizado y apilable para detección de partículas ionizantes, donde el material que se emplea para detectar las partículas estará en estado gaseoso. Este dispositivo al menos comprende:

- un sustrato sólido, rígido y plano que a su vez comprende: una cavidad central micromecanizada en el centro de la cara inferior del sustrato que define un contorno perimétrico de soporte del sustrato alrededor de la cavidad, donde se almacena el material en estado gaseoso empleado para detectar las partículas; y una pluralidad de orificios pasantes micromecanizados situados en correspondencia con la cavidad. Este sustrato será preferentemente de silicio para mejorar la robustez y fiabilidad estructural del dispositivo debido a la baja tensión mecánica residual del silicio, por lo que el dispositivo multiplicador no está sujeto a plegamiento u otras deformaciones que son típicas de los dispositivos multiplicadores fabricados sobre sustratos de plástico;
- una primera capa dieléctrica aislante depositada sobre todas las superficies del sustrato sólido, rígido y plano que reduce al mínimo las corrientes de fuga en el sustrato;
- un primer electrodo metálico de polarización situado sobre la cara superior de la primera capa dieléctrica aislante; y,
- un segundo electrodo metálico de polarización situado sobre la cara inferior de la primera capa dieléctrica aislante.

Los espesores, tamaños, cantidad y disposición de los orificios pasantes del sustrato serán diseñados dependiendo de las necesidades del momento y controlados durante la fabricación de los dispositivos. Preferentemente y dada la naturaleza de la invención estos orificios serán del orden de las micras. Además las dimensiones del sustrato se podrán de igual modo diseñar
5 dependiendo de las necesidades.

En una realización particular de la invención se ha previsto que el sustrato sólido y rígido del dispositivo multiplicador de electrones esté realizado en un material aislante o semiaislante que evite la conducción eléctrica y deriva electrónica hacia el propio sustrato y que evite que el
10 sustrato se cargue eléctricamente. Más específicamente se ha previsto que el sustrato este hecho de un material seleccionado entre vidrio y silicio de alta resistividad sobre aislante (SOI).

En otra realización particular de la invención el primer electrodo metálico de polarización cubre la totalidad de la cara superior de la primera capa dieléctrica aislante a excepción de los orificios
15 micromecanizados. Además, y de forma análoga, el segundo electrodo metálico de polarización estará depositado de forma que cubra la totalidad de la cara inferior de la primera capa dieléctrica aislante a excepción de los orificios.

En otra realización particular de la invención, tanto el primer electrodo metálico de polarización
20 como el segundo electrodo metálico de polarización del dispositivo están conectados a una fuente de alimentación para polarizar el dispositivo multiplicador de electrones. Concretamente cada uno de los electrodos del dispositivo se conecta al respectivo cátodo o ánodo de la fuente de alimentación. En el caso de haber una pluralidad de dispositivos multiplicadores de electrones apilados, todos ellos se conectarán a una misma fuente o a diferentes fuentes de alimentación
25 para polarizarlos.

En otra realización particular de la invención, el dispositivo presenta una segunda capa dieléctrica aislante depositada sobre todas las superficies del dispositivo multiplicador de electrones. Esta segunda capa se depositará sobre el primer y segundo electrodo metálico de polarización dejando
30 los puntos de contacto necesarios para la conexión dieléctrica de dichos electrodos.

Un segundo objeto de la presente invención es el sistema de detección de partículas ionizantes que comprende al menos dos dispositivos multiplicadores de electrones apilados en un plano normal a la superficie superior de los propios dispositivos multiplicadores de electrones, es decir,
35 apilados en un mismo plano vertical. Los orificios de los dispositivos multiplicadores, una vez apilados, no necesariamente deberán ser coincidentes, aunque dependiendo de la aplicación

especifica, sí que podría ser conveniente que lo fueran. Estos dispositivos multiplicadores de electrones son los definidos en cualquiera de las realizaciones anteriormente descritas. Dicho sistema al menos comprende:

- 5 • unos medios aislantes eléctricos situados entre la superficie inferior del contorno perimétrico de soporte del sustrato de cada dispositivo multiplicador de electrones y el segundo electrodo metálico de polarización de cada dispositivo multiplicador de electrones inmediatamente inferior y entre el segundo electrodo metálico de polarización del dispositivo multiplicador de electrones más inferior de la pila de dispositivos multiplicadores con un circuito de detección de partículas ionizantes; y,
- 10 • unos medios de sujeción dieléctrica entre los dispositivos multiplicadores de electrones adyacentes y entre el dispositivo multiplicador de electrones más inferior de la pila de dispositivos multiplicadores de electrones con el circuito de detección de partículas ionizantes.

15 En una realización del sistema, los medios de sujeción dieléctrica entre el dispositivo multiplicador de electrones más inferior de la pila de dispositivos multiplicadores de electrones con el circuito de detección de partículas ionizantes son puntos de contacto dieléctricos entre el segundo electrodo metálico de polarización del dispositivo multiplicador de electrones y el circuito de detección de partículas ionizantes.

20 El apilamiento de los dispositivos multiplicadores en sistemas de detección de partículas ionizantes aumenta la capacidad de detección de partículas debido a la mayor flexibilidad en el establecimiento del campo electrostático en el interior del propio sistema de detección. Dicho apilamiento se podrá realizar por medios mecánicos, eléctricos, o ambos.

25 El tercer objeto de la presente invención es el método de fabricación del dispositivo multiplicador de electrones descrito anteriormente. Partiendo del sustrato sólido, dicho método comprende al menos las siguientes fases:

- 30 • micromecanizar los orificios en la cara superior del sustrato sólido;
- micromecanizar la cavidad centrada en la cara inferior del sustrato, en correspondencia con los orificios micromecanizados hasta que los orificios sean pasantes, de manera que se define un contorno perimétrico de soporte del sustrato alrededor de la cavidad;
- depositar una primera capa dieléctrica aislante sobre todas las superficies del sustrato micromecanizado;

- depositar el primer electrodo metálico de polarización sobre la cara superior de la primera capa dieléctrica aislante mediante técnicas altamente no conformes/selectivas, asegurando la continuidad eléctrica en la cara superior de la primera capa dieléctrica aislante; y,
- depositar el segundo electrodo metálico de polarización sobre la cara inferior de la primera capa dieléctrica aislante mediante técnicas altamente no conformes/selectivas, asegurando la continuidad eléctrica en la cara inferior de la primera capa dieléctrica aislante.

5

10

No obstante, las fases de fabricación del dispositivo descritas no necesariamente deben realizarse en el orden anteriormente expuesto sino que preferentemente el orden de fabricación será el que se adecue a la obtención de las prestaciones del dispositivo final buscadas.

15

En una realización del método objeto de la invención, se aíslan las paredes interiores de los orificios micromecanizados. Esta fase del método se llevará a cabo cuando el sustrato sea de silicio. Si fuese de un material dieléctrico, por ejemplo vidrio, no sería estrictamente necesario aislar las paredes interiores.

20

En una realización del método objeto de la invención, adicionalmente se somete a los electrodos del dispositivo multiplicador de electrones a una fase de pasivación para protegerlos de contactos eléctricos no deseados evitando la aparición de cortocircuitos entre las diferentes capas del dispositivo.

25

En otra realización del método, las fases de micromecanizado de los orificios y de la cavidad se llevan a cabo mediante grabado químico.

30

En otra realización del método, las fases de depósito del primer y segundo electrodo metálico de polarización se realizan mediante el depósito de un metal evaporado sin máscara. Alternativamente, se ha previsto que en otra realización, las fases de depósito del primer y segundo electrodo metálico de polarización se hagan mediante el depósito de una combinación de máscaras de serigrafía con evaporación de metal.

35

En otra realización del método, y cuando el sustrato está realizado en silicio de alta resistividad sobre aislante, la fase de micromecanizado de los orificios se realiza mediante grabado químico de una capa de silicio superior y una capa de óxido enterrada del sustrato. Además, la fase de micromecanizado de la cavidad se realizará mediante grabado químico de una capa de silicio inferior del sustrato.

En otra realización del método, la primera capa dieléctrica aislante se deposita mediante técnicas conformes que evitan fugas de electrones hacia el sustrato sólido. Nótese que a lo largo de la presente descripción cuando se menciona el uso de técnicas de deposición conformes, se refiere a técnicas que aseguren la continuidad eléctrica del material depositado sobre toda la superficie sobre la que se deposita y que adicionalmente evite la fuga de corriente, aislando eléctricamente el material depositado.

En otra realización del método, el depósito del primer y segundo electrodo metálico de polarización se realizan mediante técnicas no conformes/selectivas que evitan el depósito de los electrodos en las paredes internas de los orificios y que garantizan el contacto eléctrico un área perimetral de los orificios y el contorno perimétrico de soporte del sustrato alrededor de la cavidad.

En otra realización del método, se lleva a cabo una fase adicional que consiste en estructurar el primer y segundo electrodo metálico de polarización. Así la estructuración del primer electrodo de polarización se realiza mediante un recubrimiento con resina y una posterior fotolitografía del primer electrodo metálico de polarización, y la estructuración del segundo electrodo metálico de polarización se realiza mediante un revestimiento por pulverización y posterior fotolitografía del segundo electrodo de polarización. Esta estructuración de los electrodos consiste en retirar el material metálico de los electrodos metálicos de polarización de los bordes de los orificios micromecanizados del sustrato.

En otra realización del método, la micromecanización de los orificios del sustrato se realiza mediante técnicas de grabado anisotrópico de elevada relación de aspecto.

En otra realización del método, se ha previsto que el método comprenda las siguientes fases adicionales:

- depositar una segunda capa aislante dieléctrica sobre todas las superficies del dispositivo multiplicador mediante técnicas conformes; y
- realizar aberturas en la segunda capa aislante dieléctrica para colocar unas conexiones eléctricas en el primer y segundo electrodo metálico de polarización.

La presente invención permite el apilado vertical de los dispositivos multiplicadores de electrones mejorando la fiabilidad y robustez en la detección de partículas. Aprovechando los procesos de micromecanizado y MEMS, una de las principales ventajas del dispositivo multiplicador de electrones de silicio es la producción en masa y de bajo coste, siendo además el rendimiento del detector de partículas adaptable así como su precisión geométrica. Además, el dispositivo

resuelve un problema conocido de los intentos anteriores para producir GEMs para la detección de partículas: en la presente invención, como que el sustrato es sólido, no hay ninguna deformación de los electrodos que capturan las partículas ionizantes, proporcionando así una mejor calidad de imagen.

5

La presente invención es aplicable a los detectores de rayos X y para todas aquellas aplicaciones que requieren la detección de partículas ionizantes, mejorada por el uso de multiplicadores de electrones de gas como la que se presenta aquí. En particular, esta invención tiene un gran potencial para producir dispositivos de imagen de rayos X para aplicaciones médicas.

10

La flexibilidad del método de fabricación aquí descrito permite la fabricación de dispositivos multiplicadores con dimensiones diversas y características de diseño heterogéneas. De forma simultánea y en consecuencia, permite también la producción de los dispositivos en grandes cantidades mediante su fabricación en lotes reduciendo sus costes de fabricación. Además proporciona plena integrabilidad de los dispositivos multiplicadores en CMOS, CCD, o circuitos de lectura de tecnología similar. Adicionalmente la solución aquí descrita provee una mayor tasa de conteo y resolución de energía en el dispositivo multiplicador de electrones ya que el proceso de recogida de carga en los electrodos es rápido y uniforme y que además el proceso de fabricación permite producir dispositivos con una elevada precisión en sus dimensiones geométricas.

20

Es un objeto adicional de la presente invención proporcionar un dispositivo multiplicador de electrones con un fotocátodo de tal manera que se haga sensible a la luz visible y/o ultravioleta. Así la fuente de electrones, que posteriormente se multiplicarían en el multiplicador de electrones, sería en una realización preferente dicho fotocátodo. De esta manera, el dispositivo multiplicador de electrones podría emplearse para detectar luz incluso cuando ésta es de muy baja intensidad. No obstante el dispositivo, sistema y método objeto de la presente invención puede emplearse con muy diferentes propósitos independientemente de qué dispositivo se emplea como fuente de electrones.

30

DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LAS FIGURAS

Figura 1a.- Muestra una vista en planta superior de un ejemplo de realización del dispositivo multiplicador de electrones micromecanizado y apilable objeto de la presente invención.

35

Figura 1b.- Muestra una vista en corte transversal del dispositivo de la figura 1a, a lo largo de la línea A-A.

Figura 2.- Muestra una vista en corte de una realización particular del sistema de detección de partículas ionizantes objeto de la presente invención, el cual está formado por una pluralidad de dispositivos multiplicadores apilados como los mostrados en las figuras 1a y 1b y que están
5 conectados a un circuito de detección de partículas ionizantes.

Figura 3.- Muestra una vista en sección transversal de un sustrato de silicio sobre aislante (SOI).

Figuras 4a-4e.- Muestran una serie de vistas en sección transversal de la realización del dispositivo mostrado en las figuras 1a y 1b que ilustran una realización preferida del método para
10 la fabricación del dispositivo objeto de la presente invención.

Figuras 5a-5h.- Muestran una vista en sección transversal detallada de las fases de fabricación de la sección agujereada del dispositivo mostrado en las figuras 4a a 4e. Esta sección agujerada es
15 la correspondiente a la referencia numérica 11 de las figuras 4a-4e.

Figuras 6a-6e.- Muestran los resultados de la simulación del dispositivo multiplicador de electrones objeto de la presente invención donde se muestra el efecto avalancha y la multiplicación de electrones alrededor de la sección agujereada.
20

Figura 7.- Muestra unas vistas superiores y en sección transversal de varios ejemplos de realización de dispositivos multiplicadores de electrones con diferentes dimensiones laterales y fabricados dentro del mismo proceso de fabricación de acuerdo con una forma de realización preferida de la presente invención.
25

DESCRIPCION DE EJEMPLOS DE REALIZACION DE LA INVENCION

Seguidamente se realizan, con carácter ilustrativo y no limitativo, una descripción de varios ejemplos de realización de la invención, haciendo referencia a la numeración adoptada en las
30 figuras.

Las figuras 1a y 1b muestran un ejemplo de realización del dispositivo multiplicador de electrones objeto de la presente invención. Concretamente muestran un dispositivo que consiste en una sección agujereada micromecanizada sobre un sustrato de silicio de soporte, electrodos metálicos para la polarización eléctrica, una sección de soporte de silicio y una cavidad también micromecanizada sobre dicho sustrato de silicio. Los espesores y tamaños de los orificios de la
35

sección agujerada son realizados en función de las necesidades del diseño y controlados durante la fabricación.

5 La figura 1a muestra una vista superior del dispositivo multiplicador de electrones (1), que tiene una sección agujereada o sección de membrana agujereada (11) y una sección de soporte de silicio (12). La sección agujereada (11) presenta orificios micromecanizados pasantes (13).

10 La figura 1b muestra una vista en corte transversal del dispositivo de la figura 1a lo largo de la línea A-A, en el que el dispositivo multiplicador de electrones (1) dispone de la sección agujereada (11) con orificios micromecanizados pasantes (13) y la sección de soporte (12). Debajo de la sección agujereada (11), el multiplicador de electrones (1) cuenta con una cavidad de separación micromecanizada (14). El dispositivo también cuenta con un primer electrodo metálico superior (15) y un segundo electrodo metálico inferior (16), que son necesarios para polarizar el dispositivo multiplicador de electrones (1) durante el funcionamiento del mismo. Los laterales de los orificios micromecanizados pasantes (13) en la sección agujereada (11) están recubiertos por una primera capa de material dieléctrico aislante (17). El espesor de los orificios micromecanizados pasantes (13) está delimitado por el espesor de dicho primer electrodo metálico superior (15), dicho segundo electrodo metálico inferior (16) y dicha primera capa de material dieléctrico aislante (17). El dispositivo multiplicador de electrones se fabrica sobre un sustrato de silicio de soporte (2), el cual, en una realización preferida de la presente invención, está hecho con una tecnología de silicio sobre aislante (SOI). Uno o más dispositivos multiplicadores de electrones se pueden apilar para magnificar la multiplicación de electrones a través del efecto avalancha del multiplicador de electrones localizado en la sección agujereada (11).

25 La primera capa de material dieléctrico aislante (17) cubre todas las superficies de apoyo de dicho sustrato de silicio que incluye dicha sección agujereada (11) y dicha sección de soporte de silicio (12). La superficie de contacto superior de dicha primera capa de material dieléctrico aislante (17) tiene contacto con el primer electrodo metálico superior (15) y su superficie de contacto inferior tiene contacto con el segundo electrodo metálico inferior (16). Las paredes laterales de los orificios micromecanizados pasantes (13) tienen superficies de contacto que también están recubiertas de dicha primera capa de material dieléctrico aislante (17). Esta deposición se puede llevar a cabo mediante la oxidación o una deposición conforme de un óxido, un nitruro, o cualquier otro material dieléctrico adecuado que prevenga las fugas hacia el sustrato (2).

35 El primer electrodo metálico superior (15) tiene contacto en una de sus superficies y en la orientación del eje vertical la primera capa de material dieléctrico aislante (17), que actúa a modo

de interfaz, que cubre dicho sustrato de soporte de silicio, incluyendo tanto la sección de soporte (12) como la sección agujereada (11) y su segunda superficie de contacto tiene contacto con el aire que está por encima de dicho dispositivo multiplicador de electrones y/o con un punto de contacto dieléctrico situado en la superficie inferior de otro dispositivo multiplicador de electrones que forma parte de una pila de dispositivos similares.

El segundo electrodo metálico inferior (16) tiene un contacto en una de sus superficies y en la orientación del eje vertical con la interfaz de la primera capa de material dieléctrico aislante (17) que cubre dicho sustrato, incluyendo tanto la sección de soporte (12) como dicha sección agujereada (11) y su segunda superficie de contacto tiene contacto con un punto del dieléctrico situado en la superficie superior de otro dispositivo multiplicador de electrones que forma parte de una pila de dispositivos similares o con un punto de contacto dieléctrico situado en la superficie superior de un circuito detector de rayos X o matriz XY o circuito de detección de partículas ionizantes similares.

La sección agujereada (11) está cubierta en todas las superficies por dicha primera capa de material dieléctrico aislante (17). Su superficie de contacto superior tiene contacto, en la orientación del eje vertical, con dicho primer electrodo metálico superior (15) y su superficie de contacto inferior tiene contacto con dicho segundo electrodo metálico inferior (16), permitiendo así la polarización del dispositivo multiplicador de electrones (1).

La cavidad (14) está micromecanizada en volumen dentro de dicho sustrato (2). Su espesor está determinado por los parámetros de diseño, como son los espesores de la sección de soporte (12) y la sección agujereada (11). La suma del espesor de la sección agujereada (11) y del espesor de la cavidad (14) es igual al espesor del sustrato (2). De tal manera, la sección agujereada (11) adopta la forma de una membrana suspendida sobre la cavidad (14).

En una realización particular, la primera capa de material dieléctrico aislante (17) está hecha de dióxido de silicio térmico (SiO_2) con un espesor de entre 4,000 y 8,000 Å. El primer electrodo metálico superior (15) y el segundo electrodo metálico inferior (16) están hechos de una capa de aluminio evaporado con un grosor de 150nm. Aunque no necesariamente, el primer electrodo metálico superior (15) y el segundo electrodo metálico inferior (16) pueden tener diferentes espesores, a criterio del diseñador. Las dimensiones laterales de los orificios micromecanizados pasantes (13) pueden oscilar entre las unidades y las decenas de micras.

La figura 2 muestra el apilamiento de múltiples dispositivos multiplicadores de electrones (1) como los que están siendo objeto de la presente invención. Esta característica aumenta la capacidad de detección de partículas debido a la mayor diferencia de potencial y a la mayor magnitud del efecto avalancha. Los dispositivos multiplicadores de electrones apilados (5, 6, y 7) están
5 interconectados entre si y también a un circuito de lectura X&Y (8) situado en la posición inferior de la pila, de acuerdo con una forma de realización preferida de la presente invención.

La pila se compone de un dispositivo multiplicador de electrones superior (5), uno o más dispositivos multiplicadores de electrones intermedios (6), y un dispositivo multiplicadores de
10 electrones inferior (7). Dicho dispositivo multiplicador de electrones superior (5) tiene contacto eléctrico en su superficie de contacto superior con el aire por encima de la pila, su superficie de contacto inferior tiene contacto mecánico con la superficie de contacto superior del segundo dispositivo multiplicador de electrones (6) de la pila, pero eléctricamente aislada de ella. Dicho
15 dispositivo multiplicador de electrones (6) intermedio tiene contacto mecánico en su superficie de contacto superior con la superficie inferior de contacto del dispositivo multiplicador de electrones precedente en la pila, su superficie de contacto inferior tiene contacto mecánico con la superficie de contacto superior del dispositivo multiplicador de electrones posterior en la pila, las superficies de las interfaces tanto superior como inferior están aisladas eléctricamente. El dispositivo
20 multiplicador de electrones inferior (7) es el dispositivo más inferior de la pila. Tiene contacto mecánico en su superficie de contacto superior con la superficie inferior de contacto del dispositivo multiplicador de electrones precedente en la pila, su superficie de contacto inferior tiene contacto mecánico con la superficie de contacto superior de un circuito matriz de lectura XY (8) o circuito de detección de partículas ionizantes similar. En una forma de realización de la presente invención se ha colocado una interfaz de pasivación entre dispositivos multiplicadores de electrones
25 consecutivos para evitar el contacto eléctrico entre sus electrodos correspondientes.

La polarización de cada dispositivo multiplicador de electrones en la pila se lleva a cabo a través de su primer electrodo metálico superior (15) y el segundo electrodo metálico inferior (16). Tales electrodos se ponen en contacto por soldadura, unión, o cualesquiera otros medios de contacto
30 eléctrico a través de pads de contacto. Dicho primer electrodo metálico superior (15) de cada dispositivo multiplicador de electrones (5,6,7) en la pila está conectado, para el propósito de su polarización y en la dirección del eje vertical, al primer nodo de una fuente de alimentación (3) y dicho segundo electrodo metálico inferior (16) de cada dispositivo multiplicador de electrones (5,6,7) en la pila está conectado al segundo nodo de dicha fuente de alimentación (3). No hay
35 contacto eléctrico entre los electrodos de los dispositivos multiplicadores de electrones apilados (5,6,7). Los dispositivos multiplicadores de electrones (5,6,7) y el circuito de lectura X&Y se apilan

mecánicamente mediante puntos de contacto dieléctrico (4), con el fin de evitar el contacto eléctrico entre ellos.

5 El apilamiento de los dispositivos multiplicadores de electrones (5,6,7) y el circuito de lectura X&Y se puede llevar a cabo a través de la alineación módulo multi-chip (MCM) y técnicas de integración o cualquier otro medio adecuado para la integración vertical de múltiples dispositivos de silicio. El aislamiento galvánico entre los dispositivos multiplicadores de electrones (5,6,7) y el circuito de lectura X&Y de la pila está garantizado a través de las capas dieléctricas que impiden el contacto entre los electrodos metálicos de los diferentes dispositivos multiplicadores de
10 electrones y el circuito de lectura X&Y.

La figura 3 muestra una vista en corte de sección transversal de un sustrato SOI (2) de acuerdo con una realización de la presente invención. Dicho sustrato SOI (2) sirve como el sustrato soporte y facilita en gran medida el control del proceso de micromecanizado durante la fabricación.
15 Independientemente del método de fabricación, los sustratos SOI disponen de tres capas: la capa de silicio dispositivo (DEV) (21), la capa de óxido enterrada (BOX) (22) y el silicio en volumen (23). Existen en el mercado una amplia variedad de sustratos de diversos espesores, silicio con dopaje tipo - n o p - y propiedades eléctricas y mecánicas diferentes. El uso de sustratos de diversas naturales, dimensiones y con diferentes propiedades entrarán dentro del ámbito de protección de
20 la presente invención.

La capa DEV (21) tiene espesores entre $1\mu\text{m}$ y $100\mu\text{m}$, la capa BOX (22) entre 500nm y $2,5\mu\text{m}$ y la capa de silicio en volumen (23) tiene un grosor de entre $300\mu\text{m}$ y $500\mu\text{m}$.

25 Las figuras 4a a 4e ilustran la secuencia de proceso para la fabricación del dispositivo multiplicador de electrones (1), de acuerdo con una realización de esta invención. De acuerdo a la figura 4a el micromecanizado en volumen se lleva a cabo primero desde el lado frontal de un sustrato SOI (2) de una manera selectiva para dar forma a la sección agujereada (11) con orificios micromecanizados pasantes (13) para producir simultáneamente múltiples dispositivos con
30 diferentes diseños en el mismo lote y oblea para una producción en masa. Después de los pasos de fotolitografía y de enmascaramiento, se lleva a cabo el grabado selectivo de la capa DEV del sustrato SOI (21) hasta que el agente reactivo de ataque alcanza la superficie superior de la capa BOX (22). A continuación, la capa BOX se graba hasta que el agente reactivo de ataque alcanza la superficie superior de la parte de silicio de volumen (23).

35

Entonces, y de acuerdo a la figura 4b, dicho micromecanizado en volumen se lleva a cabo desde el lado posterior del sustrato SOI mediante el grabado de toda la masa de silicio (23), el proceso se completa cuando el agente reactivo de ataque llega a la superficie inferior de la capa BOX (22), que está en contacto directo con el grueso de silicio (23). Cualquier tipo de grabado bien sea seco y/o húmedo son tecnologías adecuadas para completar el proceso de grabado. Así se consigue el micromecanizado de la cavidad (14).

En una realización preferida, la capa DEV (21) se graba usando un equipo de grabado iónico reactivo profundo (DRIE) y con una receta altamente anisotrópica, por lo general en ambiente de SF₆. Una modificación de la receta de grabado de silicio permite el grabado total de la capa BOX (22) con suficiente selectividad respecto de las recetas típicas de grabado de silicio con el fin de completar el proceso de grabado. En una otra realización de la presente invención, la capa BOX (22) se graba por ataque químico isotrópico en húmedo utilizando un líquido o un gas de ácido fluorhídrico (HF). Debido a las dimensiones laterales de los orificios micromecanizados pasantes (13), el grabado isotrópico es suficiente para garantizar la estabilidad mecánica de la estructura sin comprometer la presencia de óxido en la sección agujereada (11).

La capa de silicio en volumen (23) se graba usando grabado húmedo anisotrópico por hidróxido de potasio (KOH) o hidróxido de tetrametilamonio (TMAH). Debido a que es necesario grabar cientos de micrómetros de silicio para grabar completamente la mayor parte de la capa de silicio en volumen (23), una máscara selectiva al grabado se emplea para evitar el ataque químico en las zonas no deseadas. Se entiende que se elimina la máscara de grabado después de que se ha completado el proceso. En otra realización de la presente invención, se utiliza DRIE isotrópico para grabar la capa de silicio en volumen (23). La condición necesaria es proporcionar una inclinación de grabado para permitir la metalización continua a lo largo de la superficie inferior del sustrato (2), a fin de proporcionar un segundo electrodo metálico inferior (16) continuo entre la sección agujerada (11) y la sección de soporte (12).

De acuerdo con la figura 4c, una primera capa de material dieléctrico aislante (17) se crece térmicamente o se deposita conformemente mediante deposición en fase de vapor asistida por plasma (PECVD) o cualquier otra técnica de deposición adecuada con el fin de cubrir todas las superficies del sustrato micromecanizado. Adicionalmente, las paredes verticales de los orificios micromecanizados pasantes (13) se aíslan eléctricamente para evitar fugas de electrones al sustrato (2). La primera capa de material dieléctrico aislante (17) garantiza el aislamiento eléctrico del sustrato (2) y facilita la adherencia del metal de los electrodos.

En una realización concreta, la primera capa de material dieléctrico aislante (17) hecha de dióxido de silicio térmico (SiO_2) está térmicamente crecida por oxidación en húmedo o en seco del silicio interfacial del sustrato SOI (2).

5 La figura 4d muestra la metalización de la superficie superior del sustrato (2) que crea el primer electrodo metálico superior (15). La deposición de un metal evaporado sin máscara es un método adecuado para lograr el recubrimiento total de la superficie superior del dispositivo multiplicador de electrones (1), siempre que el espesor de la sección agujereada (11) sea suficiente y el proceso de deposición del metal sea altamente no conforme/selectiva. En otra realización de la presente
10 invención, una combinación de máscaras de serigrafía con evaporación de metal es suficiente para garantizar la metalización no conforme de la superficie superior del dispositivo multiplicador de electrones (1). La elección de la técnica de deposición de los electrodos dependerá de los metales disponibles y los recursos de fabricación. Una condición necesaria para lograr con éxito este paso es tener continuidad eléctrica en la superficie superior del dispositivo multiplicador de electrones (1) entre la sección de membrana agujereada (11) y la sección de soporte (12), con el
15 fin de permitir la polarización apropiada del dispositivo multiplicador de electrones (1).

De acuerdo a la figura 4e el siguiente paso es la metalización de la superficie inferior del sustrato (2) para crear el segundo electrodo metálico inferior (16). La deposición de un metal evaporado sin
20 máscara es un método adecuado para lograr el recubrimiento total de la superficie inferior del dispositivo multiplicador de electrones (1), siempre que el espesor de la sección agujereada (11) sea suficiente y el proceso de deposición del metal sea altamente no conforme/selectiva. Lo descrito en el párrafo anterior sirve de igual modo para la deposición de este segundo electrodo metálico inferior. Igualmente se debe tener continuidad eléctrica en la superficie inferior del
25 dispositivo multiplicador de electrones (1) entre la sección de la sección agujereada (11) y la sección de soporte (12), con el fin de permitir la polarización apropiada del dispositivo multiplicador de electrones (1).

De acuerdo con esta secuencia de proceso, la sección agujereada (11) resultante presenta un
30 espesor controlado igual al de la capa DEV (21) y la suma de los espesores de la primera capa de material dieléctrico aislante (17), el primer electrodo metálico superior (15) y el segundo electrodo metálico inferior (16). La cavidad (14) tiene una profundidad igual al espesor de la capa de silicio en volumen (23). Se pueden fabricar múltiples dispositivos con una variedad de diseño y dimensiones laterales en el mismo lote y oblea, aprovechando la ventaja de la microelectrónica y
35 las técnicas de microfabricación.

Haciendo referencia a las figuras 4d y 4e, tanto el primer electrodo metálico superior (15) como el segundo electrodo metálico inferior (16) se fabrican mediante evaporación física de metal, mediante técnicas no conformes/selectivas, para alcanzar espesores en el orden de 150nm.

5 Las figuras 5a a 5g muestran una descripción detallada de un método de fabricación de acuerdo con otra forma de realización preferida de la invención. En dichas figuras 5a a 5g se muestra únicamente la parte del sustrato correspondiente a la sección agujereada (11). Dicho método comprende en primer lugar la fabricación de la cavidad (14) micromecanizada en dicho sustrato (2), en la que el volumen mecanizado microscópicamente define la sección agujereada (11). La
10 figura 5a muestra la sección agujereada (sin los orificios) del sustrato (2) con la cavidad (14) ya mecanizada. Posteriormente, se procede a la deposición de una primera capa de material dieléctrico aislante (17), figura 5b, que cubre la parte superior e inferior del sustrato (2). Dicho aislante puede ser de óxido térmico, nitruro, nitruro rico en silicio o cualquier otro material o compuesto que cubre conformemente las superficies superior e inferior del sustrato (2). Luego se
15 deposita, figura 5c, un primer electrodo metálico superior (15) en la superficie superior del sustrato de soporte aislado, y un segundo electrodo metálico inferior (16) en la superficie inferior del sustrato de soporte aislado. Dicho primer electrodo metálico superior puede ser de aluminio o de otro metal que, o bien se puede depositar o evaporar sobre dicho sustrato y dicho segundo electrodo metálico inferior puede ser de aluminio o de otro metal que puede ser evaporado por haz
20 de electrones sobre la parte posterior micromecanizada del sustrato.

La siguiente fase, figuras 5d y 5e, es el grabado de dicho primer electrodo metálico superior (15) y el grabado de dicho segundo electrodo metálico inferior (16) junto con la primera capa de material dieléctrico aislante (17). Para el grabado del primer electrodo metálico superior (15) se pueden
25 emplear técnicas de recubrimiento por centrifugación estándar y técnicas fotolitográficas y para el grabado del segundo electrodo metálico inferior (16) se pueden emplear técnicas de pulverización y fotolitografía adecuadas. Luego, figura 5f, se graba el sustrato para la creación de los orificios micromecanizados pasantes mediante grabado iónico reactivo profundo (DRIE) o cualquier otra técnica de microfabricación por grabado anisotrópico con alta relación de aspecto.

30 El método comprende, figura 5g, la deposición de una segunda capa de material dieléctrico aislante (18), para pasivar el dispositivo (1), que cubre conformemente todas las superficies expuestas de dicho sustrato (2), la primera capa de material dieléctrico aislante (17) y el primer y segundo electrodo metálico (15,16). Dicha segunda capa de material dieléctrico aislante (18) se
35 fabrica utilizando la deposición en fase de vapor asistida por plasma (PECVD), la deposición por capas atómicas (ALD) o cualquier otra técnica adecuada para producir dieléctricos conformes que

cubran todas las superficies expuestas del sustrato y las capas ya fabricadas en el mismo. La deposición de esta segunda capa de material dieléctrico aislante es opcional.

5 Posteriormente se realizan aberturas (19), figura 5h, en dicha segunda capa de material dieléctrico aislante (18) en ambas superficies superior e inferior del sustrato (2) de soporte pasivado para contactar con el primer electrodo metálico superior (15) y con el segundo electrodo metálico inferior (16) y donde se colocan las conexiones eléctricas (20).

10 Fig. 6 muestra los resultados de simulación del efecto de avalancha en la estructura de los multiplicadores objeto de la presente invención en la proximidad de sus orificios. Todos los resultados de la simulación se han obtenido del software de modelado Garfield++.

15 La figura 6a muestra la vista superior de sección agujereada modelada. La figura 6b muestra la tendencia de los electrones en uno de los orificios del dispositivo viéndose como éstos se multiplican al pasar por dicho orificio facilitando su posterior detección. La figura 6c muestra las líneas equipotenciales en uno de los orificios. La figura 6d muestra una vista superior de la distribución hexagonal de la deriva de electrones en una sección agujerada de uno de los dispositivos objeto de la presente invención. La figura 6e muestra el proceso de multiplicación de electrones en uno de los orificios.

20 Haciendo referencia a la Fig. 7, múltiples dispositivos transductores pueden ser fabricados en lotes utilizando instalaciones de sala blanca para microelectrónica y/o MEMS. Los dispositivos pueden ser extraídos de su sustrato mediante el corte con sierra. Las obleas SOI comerciales están disponibles en diámetros a partir de 100mm.

25 La presente invención es aplicable a la construcción de sistemas de detección de partículas ionizantes o dispositivos similares que comprenden una pila de uno o más dispositivos GEM apilables y una matriz XY o circuito de detección similar, en los que al menos uno de los dispositivos GEM en la pila está conectado al circuito detector con el fin de proporcionar la
30 funcionalidad de detección de partículas ionizantes tales como la detección de rayos X o el sistema de detección de partículas ionizantes similar en el que dicho dispositivo GEM apilable es la tecnología fundamental para dotar al sistema de funcionamiento correcto. Una aplicación de la presente invención es para la construcción de instrumentación para la investigación científica y aplicaciones médicas.

35

Diversas modificaciones de la presente invención serán evidentes para los expertos en la técnica a partir de la descripción anterior y los dibujos que se acompañan.

REIVINDICACIONES

1. Dispositivo multiplicador de electrones (1) micromecanizado para detección de partículas ionizantes, donde se emplea un material gaseoso para la detección de las partículas ionizantes en estado gaseoso, caracterizado por que comprende:
- un sustrato sólido (2), rígido y plano que a su vez comprende:
 - una cavidad central (14) micromecanizada en el centro de la cara inferior del sustrato (2) que define un contorno perimétrico de soporte del sustrato (12) alrededor de la cavidad central (14) donde se almacena el material gaseoso; y,
 - una pluralidad de orificios pasantes micromecanizados (13) situados en correspondencia con la cavidad central (14);
 - una primera capa dieléctrica aislante (17) depositada sobre al menos las superficies superior e inferior del sustrato sólido (2);
 - un primer electrodo metálico de polarización (15) situado sobre la cara superior de la primera capa dieléctrica aislante (17); y,
 - un segundo electrodo metálico de polarización (16) situado sobre la cara inferior de la primera capa dieléctrica aislante (17).
2. Dispositivo multiplicador de electrones (1) micromecanizado, según la reivindicación 1, caracterizado por que el sustrato sólido (2) está realizado de un material aislante o semiaislante para evitar la conducción eléctrica y deriva electrónica hacia el propio sustrato y para evitar que el sustrato se cargue eléctricamente.
3. Dispositivo multiplicador de electrones micromecanizado, según la reivindicación 2, caracterizado por que el sustrato sólido (2) está realizado en un material seleccionado entre vidrio y silicio de alta resistividad sobre aislante.
4. Dispositivo multiplicador de electrones micromecanizado, según la reivindicación 1, caracterizado por que el primer electrodo metálico de polarización (15) cubre la totalidad de la cara superior del sustrato a excepción de los orificios pasantes micromecanizados (13).
5. Dispositivo multiplicador de electrones micromecanizado, según la reivindicación 4, caracterizado por que el segundo electrodo metálico de polarización (16) cubre la totalidad de la cara inferior del sustrato a excepción de los orificios pasantes micromecanizados (13).

6. Dispositivo multiplicador de electrones micromecanizado, según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque tanto el primer electrodo metálico de polarización (15) como el segundo electrodo metálico de polarización (16) están conectados a una fuente de alimentación para la polarizar el dispositivo multiplicador de electrones (1).

5

7. Dispositivo multiplicador de electrones micromecanizado, según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque comprende una segunda capa dieléctrica aislante (18) depositada sobre todas las superficies del dispositivo multiplicador de electrones (1).

10 8. Sistema de detección de partículas ionizantes caracterizado porque comprende al menos dos dispositivos multiplicadores de electrones (5,6,7) apilados en un plano normal a la superficie superior del los dispositivos multiplicadores de electrones, donde los dispositivos multiplicadores de electrones están definidos en una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, donde el sistema comprende:

- 15
- unos medios aislantes eléctricos situados entre la superficie inferior del contorno perimétrico de soporte del sustrato de cada dispositivo multiplicador de electrones (5,6,7) y el segundo electrodo metálico de polarización (16) de cada dispositivo inmediatamente inferior y entre el segundo electrodo metálico de polarización (16) del dispositivo multiplicador más inferior (7) de la pila de dispositivos multiplicadores con un circuito de
- 20
- detección de partículas ionizantes (8); y,
 - unos medios de sujeción dieléctrica entre los dispositivos multiplicadores adyacentes y entre el dispositivo multiplicador de electrones (7) más inferior de la pila de dispositivos multiplicadores (5,6,7) con el circuito de detección de partículas ionizantes (8).

25 9. Sistema de detección de partículas ionizantes, según la reivindicación 8, caracterizado porque los medios de interconexión dieléctrica entre el dispositivo multiplicador de electrones (7) más inferior de la pila de dispositivos multiplicadores de electrones (5,6,7) con el circuito de detección de partículas ionizantes (8) son puntos de contacto dieléctricos (4) entre el segundo electrodo metálico de polarización (16) del dispositivo multiplicador de electrones (7) y el circuito de

30

detección de partículas ionizantes (8).

10. Método de fabricación del dispositivo multiplicador de electrones descrito en una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, caracterizado por que partiendo de un sustrato sólido (2), el método comprende al menos las siguientes fases:

- 35
- micromecanizar los orificios (13) en la cara superior del sustrato sólido (2);

- micromecanizar la cavidad central (14) en la cara inferior del sustrato sólido (2), en correspondencia con los orificios micromecanizados (13) hasta que los orificios sean pasantes, de manera que se define un contorno perimétrico de soporte del sustrato (12) alrededor de la cavidad central (14);
- 5 • depositar una primera capa dieléctrica aislante (17) sobre al menos las superficies superior e inferior del sustrato sólido (2) micromecanizado;
- depositar el primer electrodo metálico de polarización (15) sobre la cara superior de la primera capa dieléctrica aislante (17), asegurando la continuidad eléctrica en la cara superior de la primera capa dieléctrica aislante (17); y,
- 10 • depositar el segundo electrodo metálico de polarización (16) sobre la cara inferior de la primera capa dieléctrica aislante (17) asegurando la continuidad eléctrica en la cara inferior de la primera capa dieléctrica aislante (17).

11.- Método de fabricación del dispositivo multiplicador de electrones, según la reivindicación 10,
15 caracterizado por que comprende aislar eléctricamente las paredes interiores de los orificios pasantes micromecanizados.

12. Método de fabricación del dispositivo multiplicador de electrones, según la reivindicación 10,
caracterizado por que adicionalmente comprende una fase de pasivación del dispositivo
20 multiplicador de electrones (1).

13. Método de fabricación del dispositivo multiplicador de electrones, según la reivindicación 10,
caracterizado por que las fases de micromecanizado se llevan a cabo mediante grabado químico.

25 14. Método de fabricación del dispositivo multiplicador de electrones, según la reivindicación 10,
caracterizado por que las fases de depósito del primer y segundo electrodo metálico de polarización (15,16) se realizan mediante el depósito de un metal evaporado sin máscara.

15. Método de fabricación del dispositivo multiplicador de electrones, según la reivindicación 10,
30 caracterizado por que las fases de depósito del primer y segundo electrodo metálico de polarización (15,16) se realizan mediante el depósito de una combinación de máscaras de serigrafía con evaporación de metal.

16. Método de fabricación del dispositivo multiplicador de electrones, según la reivindicación 10,
35 caracterizado por que cuando el sustrato sólido (2) está realizado en silicio de alta resistividad

sobre aislante, la fase de micromecanizado de los orificios (13) se realiza mediante grabado químico de una capa de silicio superior y una capa de oxido enterrada del sustrato.

5 17. Método de fabricación del dispositivo multiplicador de electrones, según la reivindicación 16, caracterizado por que cuando el sustrato sólido (2) está realizado en silicio de alta resistividad sobre aislante, la fase de micromecanizado de la cavidad (14) se realiza mediante grabado químico de una capa de silicio inferior del sustrato sólido (2).

10 18. Método de fabricación del dispositivo multiplicador de electrones, según la reivindicación 10, caracterizado por que la primera capa dieléctrica aislante (15) se deposita mediante técnicas conformes para asegurar que quede eléctricamente aislado el interior de los orificios pasantes micromecanizados (13).

15 19. Método de fabricación del dispositivo multiplicador de electrones, según la reivindicación 10, caracterizado por que el depósito del primer y segundo electrodo metálico de polarización (15,16) se realiza mediante técnicas no conformes/selectivas que evitan la penetración de metal en el interior de los orificios pasantes micromecanizados (13) y que evitan la aparición de cortocircuitos entre el primer y segundo electrodo metálico de polarización (15,16).

20 20. Método de fabricación del dispositivo multiplicador de electrones, según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que comprende estructurar el primer y segundo electrodo metálico de polarización (15,16) en los bordes de los orificios pasantes micromecanizados (13).

25 21. Método de fabricación del dispositivo multiplicador de electrones, según la reivindicación 20, caracterizado por que la estructuración del primer electrodo metálico de polarización (15) se realiza mediante un recubrimiento con resina y una posterior fotolitografía del primer electrodo metálico de polarización (15).

30 22. Método de fabricación del dispositivo multiplicador de electrones, según la reivindicación 20, caracterizado por que la estructuración del segundo electrodo metálico de polarización (16) se realiza mediante un revestimiento por pulverización y posterior fotolitografía del segundo electrodo metálico de polarización (16).

23. Método de fabricación del dispositivo multiplicador de electrones, según la reivindicación 10, caracterizado por que la micromecanización de los orificios (13) se realiza mediante técnicas de grabado anisotrópico de elevada relación de aspecto.

- 5 24. Método de fabricación del dispositivo multiplicador de electrones, según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que comprende las siguientes fases adicionales:
- depositar una segunda capa aislante dieléctrica (18) sobre todas las superficies del dispositivo multiplicador de electrones (1) mediante técnicas conformes; y
 - realizar aberturas (19) en la segunda capa aislante dieléctrica (18) para conectar unas
- 10 conexiones eléctricas (20) con el primer y segundo electrodo metálico de polarización (15,16).

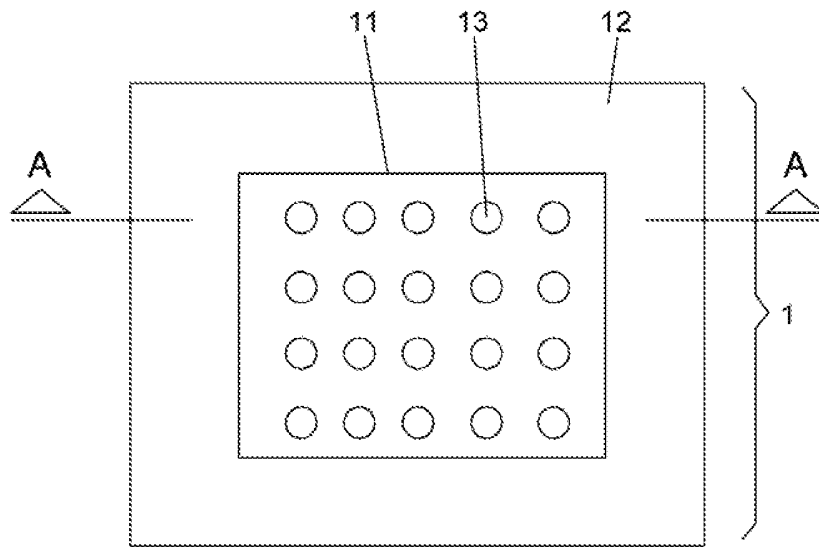


FIG. 1a

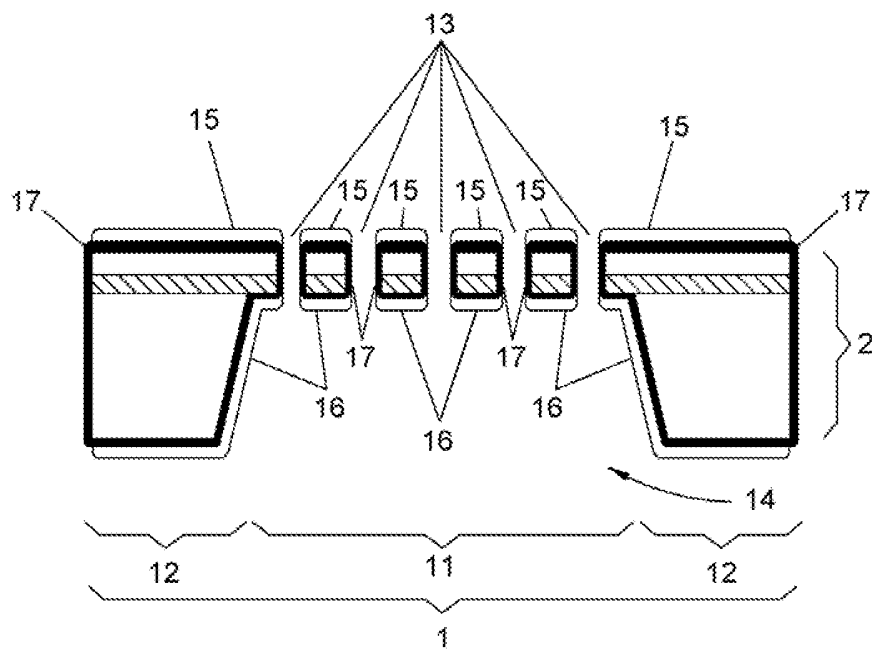


FIG. 1b

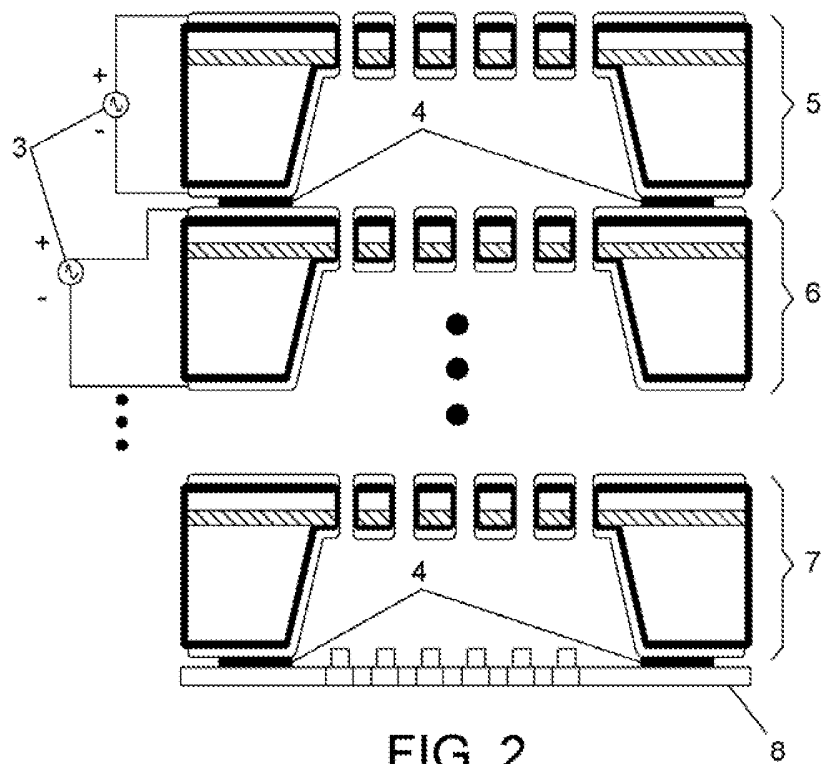


FIG. 2

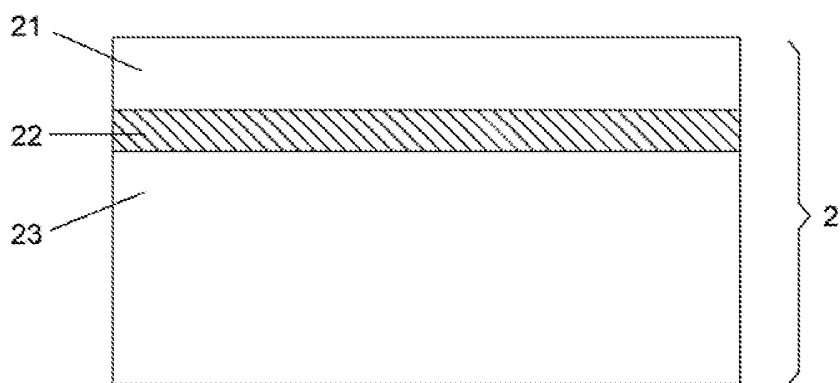


FIG. 3

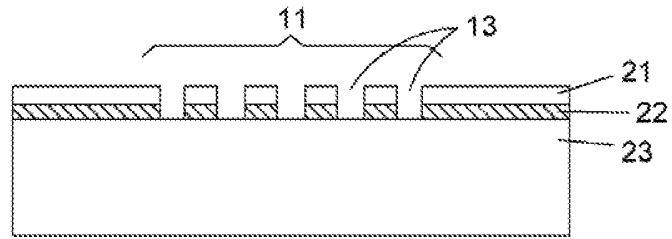


FIG. 4a

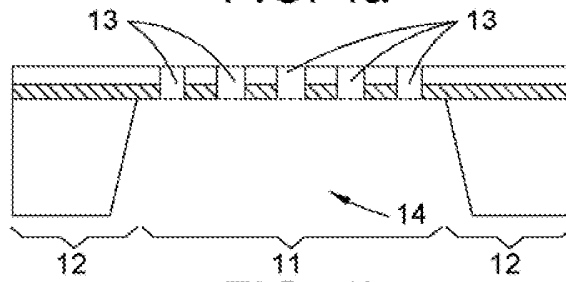


FIG. 4b

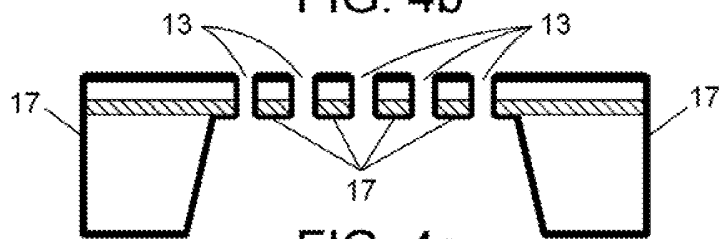


FIG. 4c

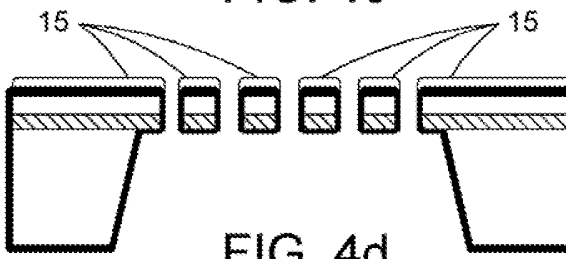


FIG. 4d

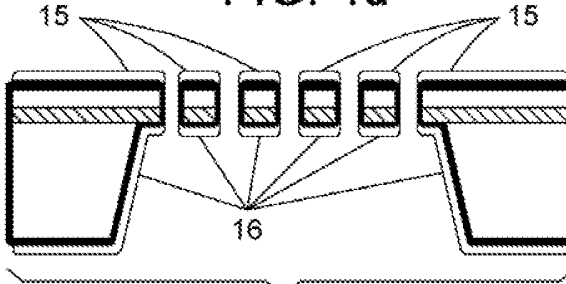
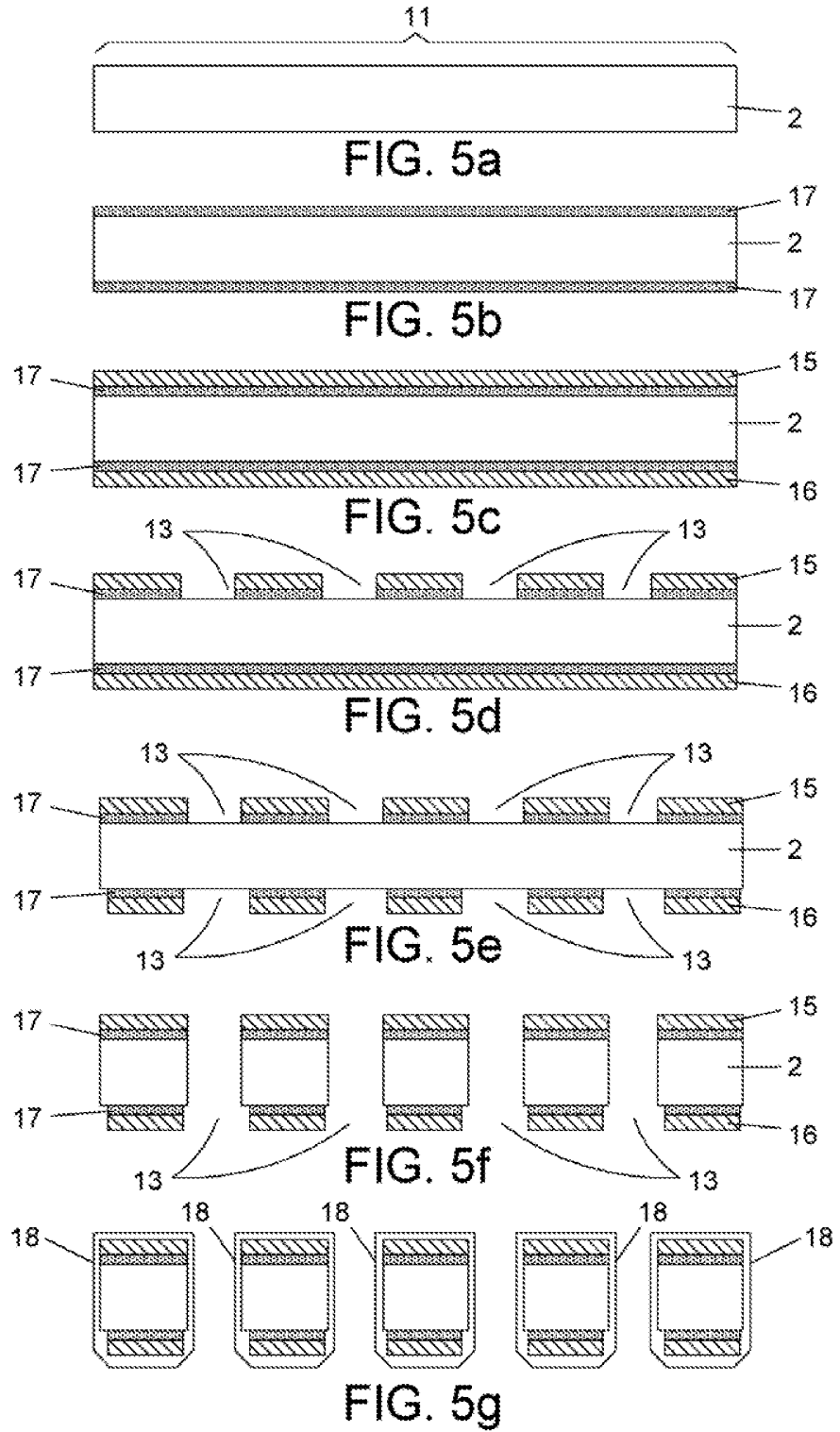


FIG. 4e



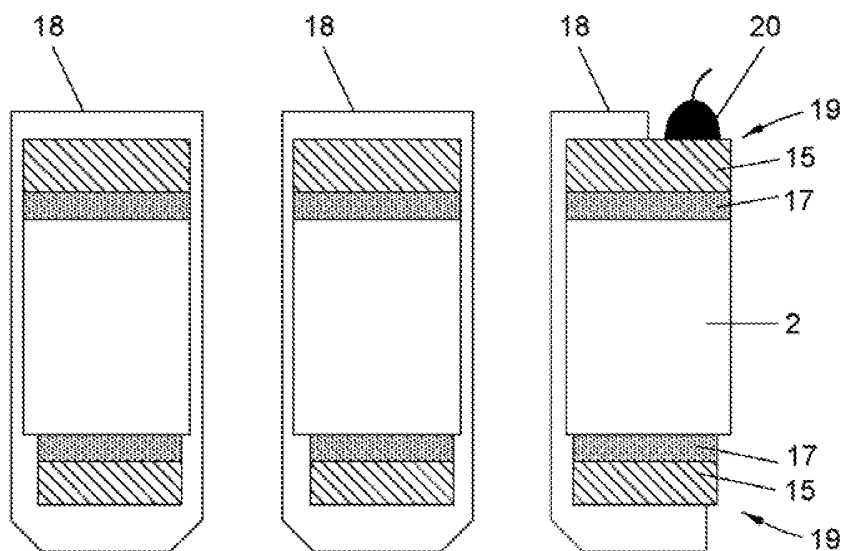


FIG. 5h

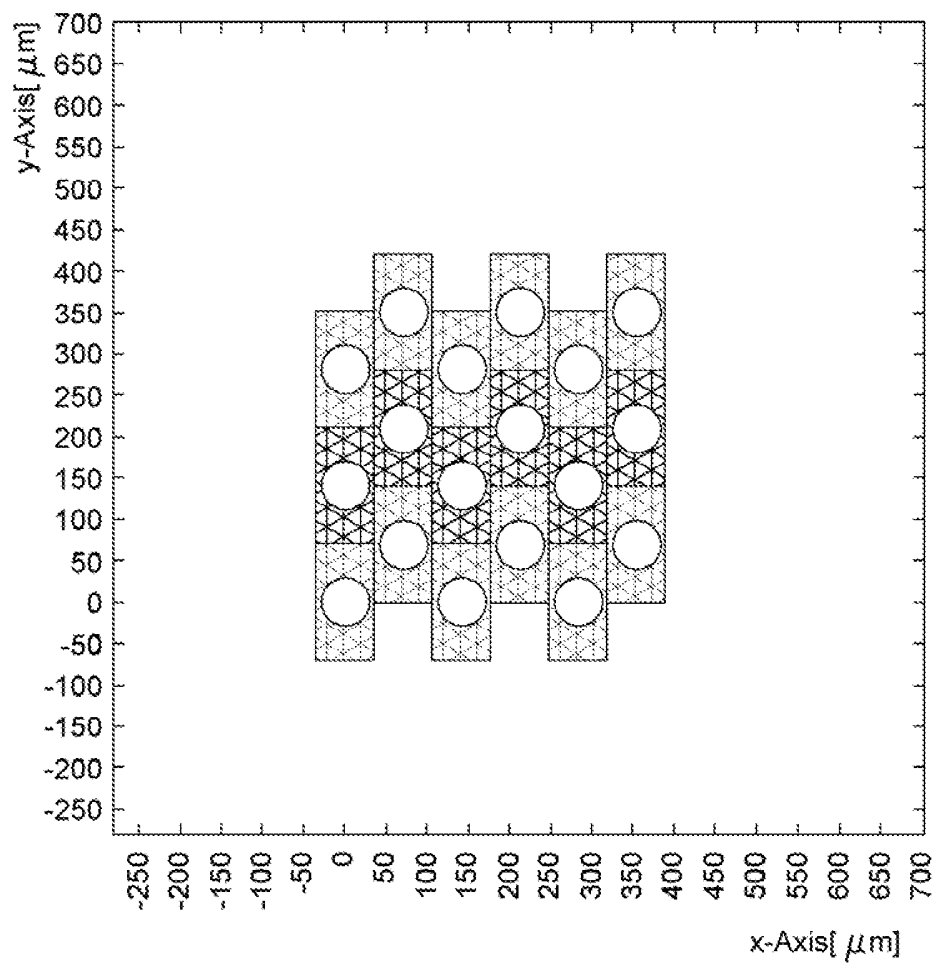


FIG. 6a

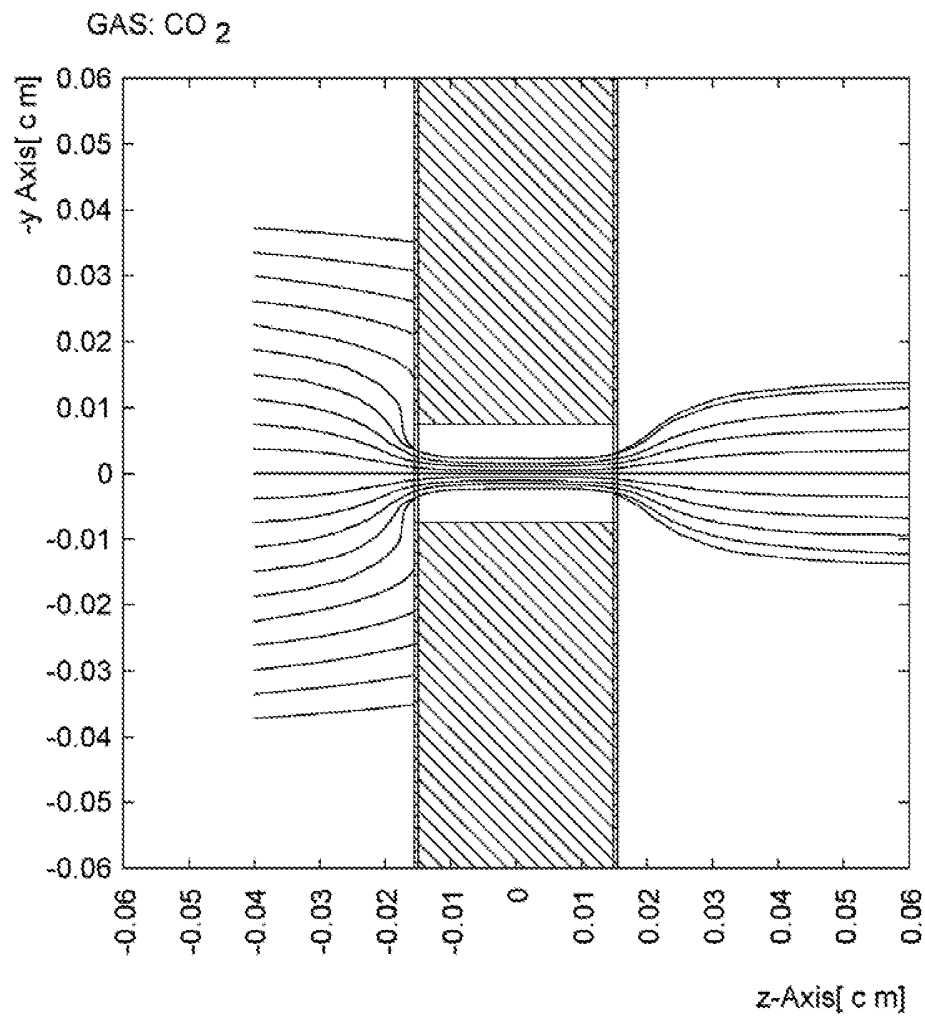


FIG. 6b

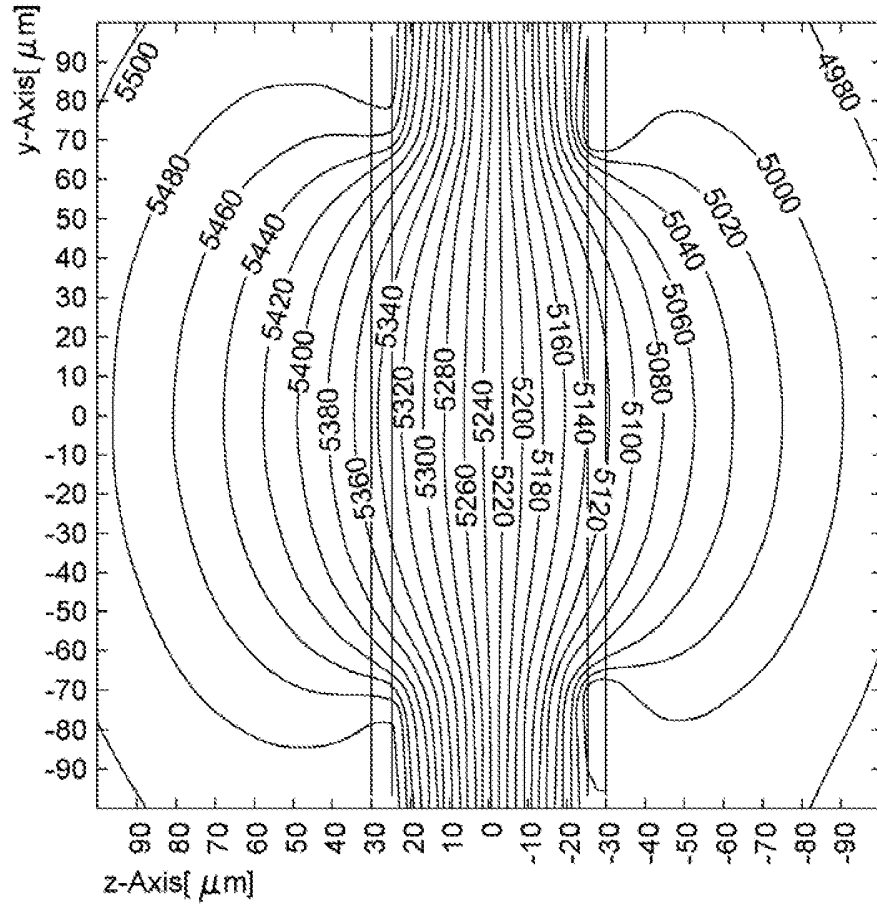


FIG. 6c

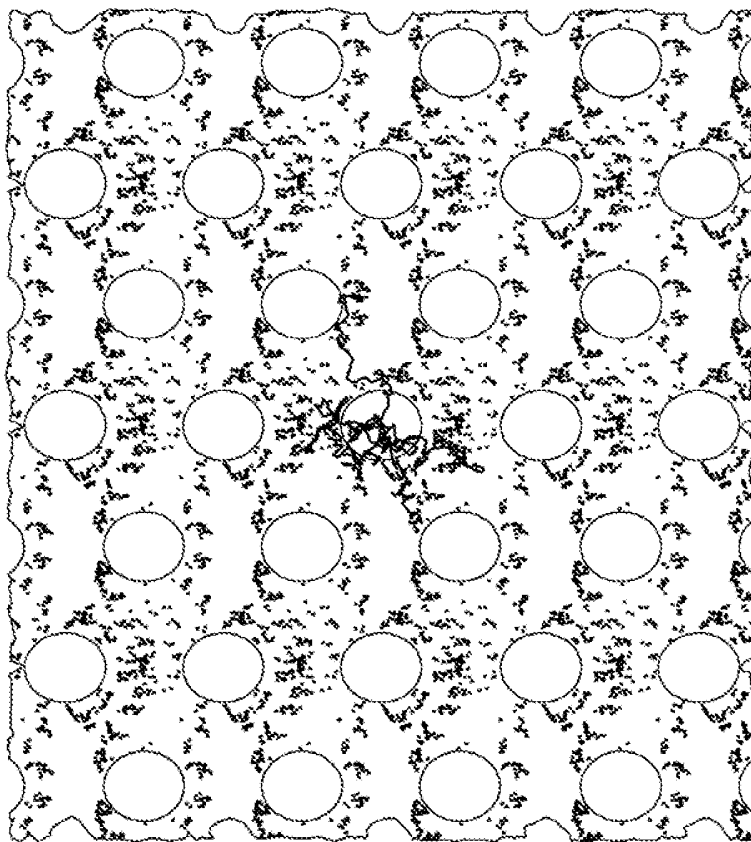


FIG. 6d

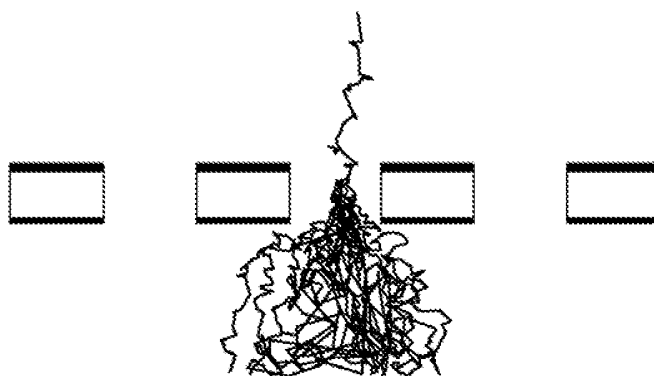


FIG. 6e

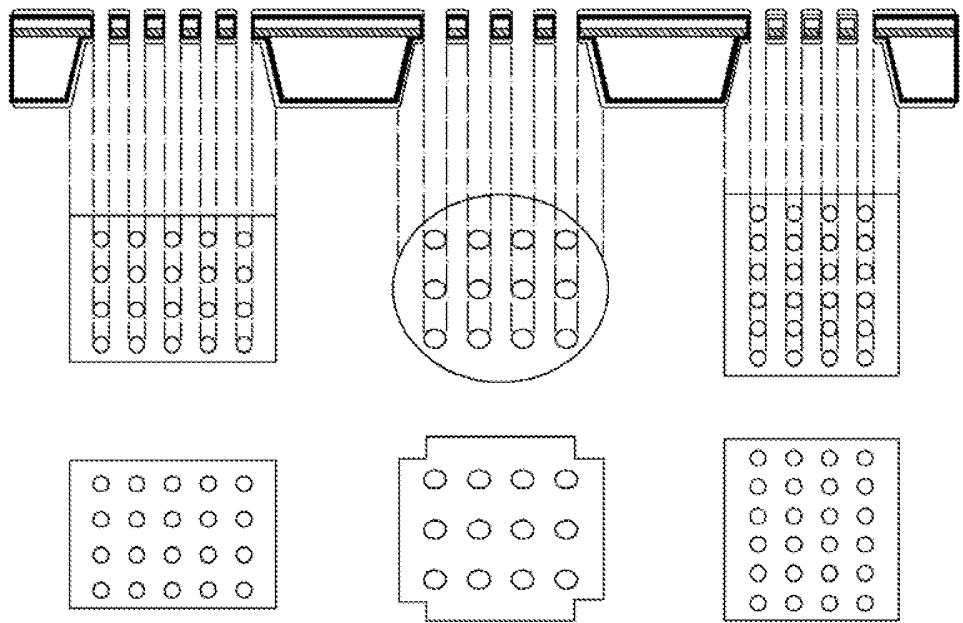


FIG. 7