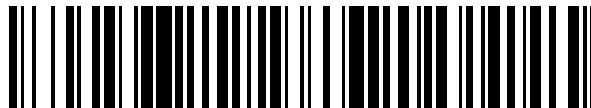


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 751 332**

51 Int. Cl.:

**H01J 43/24** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **22.03.2013 PCT/EP2013/000887**

87 Fecha y número de publicación internacional: **25.09.2014 WO14146673**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **22.03.2013 E 13711836 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **18.09.2019 EP 2976778**

54 Título: **Un conjunto multiplicador de electrones sin pared**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**31.03.2020**

73 Titular/es:

**CERN - EUROPEAN ORGANIZATION FOR  
NUCLEAR RESEARCH (100.0%)  
1211 Geneva 23, CH**

72 Inventor/es:

**PESKOV, VLADIMIR;  
DI MAURO, ANTONIO;  
DE OLIVEIRA, RUI y  
BREUIL, PHILIPPE**

74 Agente/Representante:

**ELZABURU, S.L.P**

**ES 2 751 332 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

Un conjunto multiplicador de electrones sin pared

**Campo de la invención**

5 La invención se refiere a un conjunto multiplicador de electrones para la multiplicación de electrones por avalancha entre placas de electrodos y a un detector de partículas en avalancha que comprende dicho multiplicador de electrones, así como a un método para multiplicar electrones en un entrehierro de amplificación.

**Antecedentes y estado de la técnica**

10 Los detectores de partículas de avalanchas son ampliamente utilizados en física de partículas para la detección, seguimiento e identificación de radiación o de partículas. Estos detectores han encontrado además amplias aplicaciones en biología y en la tecnología médica.

15 Los detectores de avalanchas captan típicamente electrones primarios liberados por el impacto de partículas o radiación y los guían a un entrehierro de amplificación, que es una región con un fuerte campo eléctrico. En el entrehierro de amplificación, los electrones primarios inician una avalancha de electrones por ionización de impacto. La avalancha genera suficientes electrones para crear una corriente de impulsos lo suficientemente grande para ser captada por un dispositivo de lectura y analizada por la electrónica de lectura. La carga electrónica captada puede indicar la presencia y las propiedades físicas de las partículas o radiación incidentes, tales como carga, energía, momento, dirección de la trayectoria u otros atributos.

20 En algunos detectores convencionales, el fuerte campo de amplificación que es necesario para iniciar una avalancha de Townsend proviene de un cable delgado con un potencial positivo de alto voltaje. Este mismo cable delgado capta también los electrones de la avalancha y los guía hacia la electrónica de lectura. Más recientemente, la atención se ha centrado en los denominados detectores de gas de micropauta (MPGD), que pueden ser fabricados empleando técnicas de fabricación de semiconductores y, por tanto, pueden ser producidos en masa a bajo costo y con una impresionante variedad de geometrías.

25 Uno de esos detectores que ha encontrado amplias aplicaciones es el detector del multiplicador de electrones de gas (GEM) descrito en la patente europea EP 0 948 803 B1 y en "Gas Electron Multiplier (GEM) Detectors: Principles of Operation and applications", Cem Report RD51-NOTE-2012-007 de Fabio Sauli. La Figura 1 es un diagrama esquemático tomado del documento de Sauli que muestra la estructura general y la operación de un GEM 100. El detector 100 comprende una cámara de detección llena de un gas, por ejemplo una mezcla de argón y metano. En la cámara de detección, una placa GEM 110 está situada entre un electrodo de deriva 112 y un electrodo colector 114 que comprende una pluralidad de almohadillas de lectura 116. La placa GEM 110 consiste en una lámina aislante dieléctrica 118 intercalada entre una capa de cátodo metálica 120 y una capa de ánodo metálica 122. En la placa GEM 110, una pluralidad de orificios pasantes 124 están dispuestos en una matriz o en una pauta matricial. Los orificios pasantes 124 se extienden a través de toda la placa GEM 110, es decir, a través de la capa de cátodo 120, lámina aislante dieléctrica 118 y capa anódica 122.

35 En el diseño GEM original descrito en la patente europea EP '803 y por Sauli, los orificios pasantes 124 tienen en general un diámetro de 20 a 100  $\mu\text{m}$  y están dispuestos con una separación de 50 a 300  $\mu\text{m}$ . El grosor de la lámina aislante 118 puede ser de aproximadamente 50  $\mu\text{m}$ , y la capa de cátodo 120 y la capa de ánodo 122 tienen típicamente un grosor de aproximadamente 5  $\mu\text{m}$ . En la publicación de la patente internacional WO 2009/127220 A1, se describe un método para fabricar un multiplicador de electrones de gas mediante fotolitografía y técnicas de grabado.

40 Más recientemente, los denominados detectores Thick-GEM (TGEM) fueron introducidos como un diseño más simple y robusto en el que se pueden perforar orificios en placas de circuito impreso estándar. Los TGEM pueden ser considerados versiones ampliadas de los detectores GEM originales, con un diámetro del orificio típicamente dentro del intervalo de 0,3 a 1 mm, una separación entre los orificios cercanos de típicamente entre 0,7 y 2 mm, y un grosor dentro del intervalo de 0,4 a 3 mm. Se puede encontrar una descripción más detallada de los TGEM en V. Peskov y otros, Nucl. Instrum. Methods A 478 (2002) 377.

45 Los llamados TGEM resistivos (RETGEM) emplean electrodos resistivos en lugar de electrodos metálicos, lo que proporciona una protección superior contra chispas y descargas. Los RETGEM están descritos con más detalle en V. Peskov y otros, Nucl. Instrum. Métodos A 576 (2007) 362.

50 La operación del detector GEM original, el Thick-GEM (TGEM) y el resistivo TGEM (RETGEM) son básicamente iguales, y serán brevemente resumidas con una referencia adicional a la Figura 1. Se aplica un primer voltaje entre el electrodo de deriva 112 y el electrodo colector 114. Se aplica un segundo voltaje entre la capa de cátodo 120 y la capa de ánodo 122. Cada uno de los orificios pasantes 124 se comporta entonces como un dipolo eléctrico. El campo del dipolo eléctrico es superpuesto al campo eléctrico entre el electrodo de deriva 112 y la placa GEM 110 y el campo eléctrico entre la placa GEM 110 y el electrodo colector 114. La superposición de estos tres campos eléctricos conduce a un campo eléctrico resultante con la estructura de la línea de campo que se indica esquemáticamente en la Figura

1. Los orificios pasantes 124 conducen a una fuerte concentración local del campo eléctrico y, por tanto, a una mejora de la amplitud del campo eléctrico en un denominado tubo de campo.

5 Si un electrón primario es generado en algún lugar entre el electrodo de deriva 112 y la placa GEM 110, el electrón se desplaza hacia la placa GEM 110 debido al campo eléctrico E, y es arrastrado hacia uno de los orificios pasantes 124 por el campo del dipolo. En el orificio pasante 124, la amplitud del campo eléctrico es mejorada localmente, y los electrones primarios son acelerados a velocidades suficientemente grandes para inducir una multiplicación por avalancha ionizando más moléculas de gas dentro del orificio pasante 124. Los orificios pasantes 124 sirven por tanto como un entrehierro de amplificación del conjunto del detector.

10 Parte de los iones positivos creados por el proceso de ionización de impacto son arrastrados hacia el electrodo de deriva 112, mientras que parte de la nube de electrones resultante del proceso de avalancha es acelerada en la dirección opuesta y hacia el electrodo colector 114, donde induce una señal en las almohadillas de lectura 116.

15 Se ha descubierto que los detectores tipo GEM funcionan de manera muy fiable con varios gases detectores y cuando son empleados en laboratorios de física de alta energía, donde las condiciones ambientales pueden ser cuidadosamente controladas. Sin embargo, los inventores han descubierto que cuando se opera con algunos vapores fotosensibles, como el tetrakis-dimetilamina-etileno (TMAE), o cuando se opera en el aire ambiente, pueden aparecer fuertes corrientes de fuga a través de la lámina aislante dieléctrica 118 a lo largo de las paredes de los orificios pasantes 124. Las corrientes de fuga pueden causar impulsos parásitos y una fuerte degradación del rendimiento del detector, y limitan el voltaje que puede ser aplicado a través del entrehierro de amplificación entre la capa de cátodo 120 y la capa de ánodo 122. Las corrientes de fuga son particularmente pronunciadas cuando el detector es operado en aire ambiente a humedades superiores al 30%. Hasta ahora, estos problemas han limitado las aplicaciones de los detectores de avalanchas en condiciones atmosféricas, en gases fotosensibles o en entornos hostiles.

Lo que se necesita es un conjunto de detector más robusto que pueda ser operado de manera fiable con una gran variedad de gases detectores, incluido el aire ambiente y en entornos operativos difíciles.

25 El documento WO2007/061235 es un ejemplo de un multiplicador de electrones de gas convencional de un fotodetector de imagen digital

"New array type electron multiplier as a two dimensional position sensitive detector", Kawarabayashi y otros, XP004005850; las patentes de los E.E. U.U. US4649314 y US 2010/0225221 son ejemplos de detectores de partículas que usan dinodos.

### Compendio de la invención

30 Este objetivo es conseguido con un conjunto multiplicador de electrones para ser usado en un detector multiplicador de electrones de gas según la reivindicación independiente 1. Las reivindicaciones dependientes se refieren a realizaciones preferidas.

35 Un conjunto multiplicador de electrones según la invención presente comprende una primera placa de electrodo, dicha primera placa de electrodo comprende una primera capa de electrodo y una primera pluralidad de orificios pasantes que se extienden a través de dicha primera placa de electrodo, y una segunda placa de electrodo, dicha segunda capa de electrodo comprende una segunda capa de electrodo y una segunda pluralidad de orificios pasantes que se extienden a través de dicha segunda placa de electrodo, en donde dicha segunda pluralidad de orificios pasantes están alineados con dicha primera pluralidad de orificios pasantes. Según la invención, un entrehierro se extiende entre dicha primera placa de electrodo y dicha segunda placa de electrodo, y en una región de dicho entrehierro, dicha primera placa de electrodo está apoyada sobre dicha segunda placa de electrodo solo por medio de una pluralidad de elementos de separación.

45 Los inventores han descubierto que las corrientes de fuga en el detector pueden ser suficientemente eliminadas reemplazando la lámina aislante dieléctrica 118 de un detector de tipo GEM convencional según se muestra en la Figura 1 con una estructura del detector en la que se extiende un entrehierro o espacio entre la capa de cátodo y la capa de ánodo, y en la que la capa de cátodo se apoya sobre la capa de ánodo solo por medio de una pluralidad de elementos de separación. En comparación con el diseño del detector convencional, los orificios pasantes del conjunto multiplicador de electrones de la invención presente no tienen paredes, evitando las corrientes de fuga que se forman a lo largo de las paredes de los orificios pasantes de los diseños de detectores convencionales.

50 Al presentar un espacio entre un primer orificio pasante formado en dicha primera placa de electrodo y un segundo orificio pasante alineado con dicho primer orificio pasante de dicha segunda placa de electrodo un canal de amplificación de dicho espacio entre dicha primera placa de electrodo y dicha segunda placa de electrodo, según la invención, una pluralidad de canales de amplificación cercanos en dicho espacio no está separados por paredes. En ausencia de paredes entre los canales de amplificación cercanos, se suprimen las corrientes de fuga entre la primera capa de electrodo y la segunda capa de electrodo.

55 Dichos elementos de separación pueden comprender elementos de separación individuales o aislados formados en dicha primera placa de electrodo y/o en dicha segunda placa de electrodo en la separación entre orificios pasantes

cercanos. Dichos elementos de separación pueden comprender también porciones de pared que se extienden sobre dicha primera placa de electrodo y/o dicha segunda placa de electrodo a lo largo de una distancia que comprende una pluralidad de longitudes de separación entre orificios pasantes cercanos.

5 Opcionalmente, dichos elementos de separación pueden comprender además paredes limítrofes o un soporte delimitador que se extiende a lo largo de parte o de toda la longitud y/o anchura de la primera placa de electrodo y/o la segunda placa de electrodo a lo largo de un límite de la primera placa de electrodo o de la segunda placa de electrodo, respectivamente. Dichas paredes limítrofes pueden proporcionar soporte adicional a la primera placa de electrodo sobre la segunda placa de electrodo y viceversa, y también pueden servir para sellar la cámara de detección contra el medio ambiente.

10 Sin embargo, según la invención, dicha primera placa de electrodo puede no estar apoyada de manera continua o en todas partes sobre dicha segunda placa de electrodo.

El número de elementos de separación puede ser al menos 10 veces menor, de preferencia al menos 20 veces menor y particularmente de preferencia al menos 50 veces menor que el número de orificios pasantes de dicha primera placa de electrodo o del número de orificios pasantes de dicha segunda placa de electrodo.

15 Los inventores han descubierto que dicha primera placa de electrodo puede estar apoyada sobre dicha segunda placa de electrodo solo por relativamente pocos elementos de separación aislados sin comprometer la estabilidad e integridad del conjunto detector. Al reducir el número de elementos de separación, las corrientes de fuga pueden ser eliminadas en mayor medida.

20 En una realización preferida, al menos parte de dichos elementos de separación son elementos de separación no conductores. De preferencia, dichos elementos de separación comprenden un material de plástico, un material de vidrio o un material de placa de circuito impreso.

Los inventores han descubierto que estos materiales son muy adecuados para aislar eficazmente la primera capa de electrodo contra la segunda capa de electrodo.

25 Al menos parte de dichos elementos de separación comprenden por lo menos una ranura dirigida hacia el interior formada en una superficie lateral de dicho elemento de separación.

Una pluralidad de ranuras puede estar formada en dicha superficie lateral de dicho elemento de separación.

30 Los inventores han descubierto que las ranuras dirigidas hacia el interior a lo largo de las superficies laterales de los elementos de separación proporcionan una singularidad efectiva para la ruta de corriente en el entrehierro de amplificación y pueden ayudar en gran medida a bloquear la formación de corrientes de fuga a lo largo de las paredes laterales de los elementos de separación.

De preferencia, dicha ranura se extiende dentro de dicho elemento de separación en una dirección perpendicular a una dirección normal de dicha primera capa de electrodo y/o de dicha segunda capa de electrodo, o perpendicular a un eje del elemento de separación, o perpendicular a la conexión más corta entre la primera capa de electrodo y la segunda capa de electrodo.

35 En una realización preferida, una profundidad de dicha ranura equivale al menos al 10% de la altura de dicho elemento de separación, de preferencia al menos al 20% de la altura de dicho elemento de separación.

Al disponer ranuras de suficiente profundidad y forma apropiada, la formación de corrientes de fuga a lo largo de las paredes de separación puede ser reducida considerablemente.

40 En una realización preferida, dicha ranura puede ser una ranura rectangular. Una ranura rectangular, en el contexto de la invención presente, puede ser una ranura con una sección transversal rectangular o cuadrada.

Un ancho de dicha ranura puede alcanzar igualmente al menos el 10% de la altura de dicho elemento de separación, y particularmente al menos el 20% de la altura de dicho elemento de separación.

45 En el contexto de la invención presente, una anchura de dicha ranura puede ser una dimensión de dicha ranura a lo largo de una dirección normal de dicha primera capa de electrodo y/o de dicha segunda capa de electrodo, o a lo largo de un eje de dicho elemento de separación, o a lo largo de la dirección más corta que conecta dicha primera capa de electrodo a dicha segunda capa de electrodo.

Dicha ranura puede rodear todo el elemento de separación.

En una realización preferida, al menos parte de dichos elementos de separación puede comprender un revestimiento de protección.

50 Dicho recubrimiento de protección puede ser aplicado a lo largo de las paredes laterales de dichos elementos de separación. El recubrimiento de protección puede proteger los elementos de separación contra los gases o la humedad

que pueden difundirse en el material de separación. Los inventores han descubierto un recubrimiento de protección particularmente adecuado para espaciadores formados de material de fibra de vidrio. Los espaciadores pueden estar recubiertos de Parileno depositado al vacío o de cualquier otro recubrimiento hidrófobo.

5 En una realización preferida, dicha primera capa de electrodo y/o dicha segunda capa de electrodo comprenden un material resistivo.

Los inventores han descubierto que una primera capa de electrodo resistiva y/o una segunda capa de electrodo permite proteger mejor el conjunto multiplicador de electrones contra chispas y descargas, lo que lo hace más robusto y adecuado para ser usado en condiciones difíciles donde las chispas y descargas son inevitables.

10 De preferencia, dicha primera placa de electrodo y/o dicha segunda placa de electrodo comprenden una pluralidad de elementos de almohadilla, en donde dichos elementos de almohadilla comprenden cada uno un material dieléctrico y un elemento de separación subyacente.

Los elementos de la almohadilla pueden servir como almohadillas dieléctricas protectoras que aíslan eléctricamente los elementos de separación contra las capas del electrodo y, por tanto, reducen aún más la formación de corrientes de fuga a lo largo de las paredes de separación.

15 De preferencia, un diámetro de dichos elementos de almohadilla no es mayor que una separación entre orificios pasantes cercanos de dicha primera placa de electrodo o de dicha segunda placa de electrodo, respectivamente.

Cada uno de los elementos de la almohadilla puede tener subyacente un único elemento de separación, es decir, solamente un elemento de separación.

20 En una realización preferida, dicha primera placa de electrodo comprende una capa dieléctrica encarada a dicha segunda placa de electrodo. Alternativa o adicionalmente, dicha segunda placa de electrodo puede comprender una capa dieléctrica encarada a dicha primera placa de electrodo.

Dicha capa dieléctrica puede estar formada sobre y en contacto directo con dicha primera capa de electrodo y con la segunda capa de electrodo, respectivamente.

25 En una realización preferida, dicha capa dieléctrica se extiende sobre toda la longitud y/o anchura de dicha primera capa de electrodo y de dicha segunda capa de electrodo, respectivamente.

30 Los inventores han descubierto que una capa dieléctrica permite la reducción del campo eléctrico formado entre los orificios pasantes cercanos formados en una misma placa y, por tanto, contribuye a un mejor enfoque del campo eléctrico en el entrehierro de amplificación entre la primera placa de electrodo y la segunda placa de electrodo. Al mismo tiempo, la capa dieléctrica proporciona estabilidad mecánica y rigidez adicionales al conjunto multiplicador de electrones.

En una realización de la invención, dicha primera placa de electrodo puede comprender una tercera capa en el electrodo, en donde dicha primera capa de electrodo y dicha tercera capa de electrodo están formadas en lados en oposición a dicha primera capa dieléctrica. En otras palabras, dicha primera capa de electrodo y dicha tercera capa de electrodo pueden formar un sándwich con dicha primera capa dieléctrica.

35 Alternativa o adicionalmente, dicha segunda placa de electrodo puede comprender una cuarta capa de electrodo en donde dicha segunda capa de electrodo y dicha cuarta capa de electrodo están formadas en lados en oposición de dicha segunda capa dieléctrica. Por tanto, dicha segunda capa de electrodo y dicha cuarta capa de electrodo pueden formar un sándwich con dicha segunda capa dieléctrica.

40 La tercera capa de electrodo y la cuarta capa de electrodo pueden ser capas con algunas o todas las propiedades descritas anteriormente para la primera capa de electrodo y para la segunda capa de electrodo, respectivamente. En particular, la tercera capa de electrodo y/o la cuarta capa de electrodo pueden ser capas resistivas.

En una realización preferida, dicha primera placa de electrodo y/o dicha segunda placa de electrodo comprenden una pluralidad de separaciones o elementos de separación que dividen o particionan eléctricamente dicha primera placa de electrodo y dicha segunda placa de electrodo, respectivamente, en una pluralidad de subplacas.

45 Una subdivisión de las placas de electrodos permite la variación de la intensidad del campo eléctrico en porciones separadas del conjunto multiplicador de electrones. Al mismo tiempo, la subdivisión permite resolver espacialmente con gran precisión una señal del detector en una configuración en la que los medios de lectura están integrados en el conjunto multiplicador de electrones.

50 En una realización preferida, dicha primera capa de electrodo y/o dicha segunda capa de electrodo pueden estar formadas a partir de una pluralidad de capas del electrodo sectoriales, en donde las capas del electrodo sectoriales cercanas están separadas de manera que tienen formada una separación entre ellas

Esta estructura puede ser formada utilizando técnicas de fabricación de semiconductores, por ejemplo, depositando selectivamente material sobre una capa dieléctrica subyacente.

En otra realización, puede haber formadas ranuras en dicha primera capa de electrodo y/o segunda capa de electrodo después de formar la capa de electrodo respectiva.

5 En otra realización, dichos elementos de separación comprenden una pluralidad de bandas dieléctricas.

Dichas separaciones o elementos de separación pueden comprender un material resistivo cuya resistividad es mayor que una resistividad de dicha primera capa de electrodo o de dicha segunda capa de electrodo, respectivamente.

En una realización preferida, dicho entrehierro entre dicha primera placa de electrodo y dicha segunda placa de electrodo tiene una anchura constante.

10 De preferencia, dicha primera placa de electrodo y dicha segunda placa de electrodo están separadas por una distancia que equivale a no más de dos veces el diámetro de dichos orificios pasantes de dicha primera placa de electrodo o de dicha segunda placa de electrodo, y en particular a no más de 1,5 veces dicho diámetro.

De preferencia, dicha primera placa de electrodo y dicha segunda placa de electrodo están separadas por una distancia que equivale al menos a 0,5 veces un diámetro de dichos orificios pasantes de dicha primera placa de electrodo o de dicha segunda placa de electrodo, y en particular al menos 0,7 veces dicho diámetro.

15

Los inventores han descubierto que estos intervalos de parámetros son particularmente adecuados para la formación de avalanchas de electrones con un elevado rendimiento.

De preferencia, un diámetro de dichos orificios pasantes de dicha primera placa de electrodo y/o de dicha segunda placa de electrodo es de al menos 0,1 mm, y particularmente de al menos 0,3 mm.

20 En una realización preferida, un diámetro de dichos orificios pasantes de dicha primera placa de electrodo y/o de dicha segunda placa de electrodo equivale a no más de 2 mm, y de preferencia no más de 1 mm.

En una realización preferida, una separación entre orificios pasantes cercanos de dicha primera placa de electrodo y/o de dicha segunda placa de electrodo equivale al menos a 0,7 mm, y de preferencia al menos a 1 mm.

25 En una realización preferida, una separación entre orificios pasantes cercanos de dicha primera placa de electrodo y/o de dicha segunda placa de electrodo equivale al menos a 1,5 veces el diámetro de dichos orificios pasantes.

En otra realización preferida, una separación entre los orificios pasantes cercanos de dicha primera placa de electrodo y/o de dicha segunda placa de electrodo equivale a no más de 3 veces un diámetro de dichos orificios pasantes.

En una realización preferida, una separación entre orificios pasantes cercanos de dicha primera placa de electrodo y/o de dicha segunda placa de electrodo equivale a no más de 3 mm, y de preferencia no más de 2 mm.

30 En una realización preferida, dicho conjunto multiplicador de electrones comprende primeros medios de polarización acoplados a dicha primera capa de electrodo y adaptados para elevar dicha primera capa de electrodo a un primer potencial, y segundos medios de polarización acoplados a dicha segunda capa de electrodo y adaptados para elevar dicha segunda capa de electrodo a un segundo potencial mayor que dicho primer potencial.

35 En una realización preferida, dicha primera placa de electrodo y/o dicha segunda placa de electrodo comprenden una capa de lectura acoplada a dicha primera capa de electrodo o a dicha segunda capa de electrodo, respectivamente.

De preferencia, dicha capa de lectura puede comprender una pluralidad de bandas de lectura o almohadillas de lectura.

Al incorporar la lectura del detector al conjunto multiplicador de electrones, se puede conseguir una configuración del detector particularmente pequeña y compacta.

40 En una realización preferida, dicha capa de lectura puede estar integrada en una capa dieléctrica conectada a dicha primera capa de electrodo o a dicha segunda capa de electrodo, respectivamente.

La invención se refiere también a un detector que comprende una cámara de detección, un electrodo de deriva dispuesto en dicha cámara de detección, un electrodo colector dispuesto en dicha cámara de detección, en donde dicho electrodo colector está separado de dicho electrodo de deriva y al menos un conjunto multiplicador de electrones con algunas o todas las características descritas anteriormente, en donde dicho conjunto multiplicador de electrones está dispuesto en dicha cámara de detección entre dicho electrodo de deriva y dicho electrodo colector.

45

En una realización preferida, dicho conjunto multiplicador de electrones es un conjunto que comprende una capa de lectura conectada a dicha primera capa de electrodo o a dicha segunda capa de electrodo, respectivamente, según se ha descrito anteriormente. Dicho electrodo colector puede incorporar dicha capa de lectura de dicho conjunto multiplicador de electrones.

- 5 El electrodo colector puede estar integrado o coincidir con una de las capas del electrodo o capas de lectura del conjunto multiplicador de electrones. De esta manera, la lectura de las cargas resultantes de la multiplicación de electrones puede ser convenientemente incorporada al conjunto multiplicador de electrones. Esta configuración da como resultado un diseño muy compacto del detector, que es particularmente adecuado para aplicaciones en todas las industrias que requieren detectores pequeños y ligeros.
- 10 En una realización preferida, el detector comprende una pluralidad de conjuntos multiplicadores de electrones apilados en dicha cámara de detección entre dicho electrodo de deriva y dicho electrodo colector, en donde cada conjunto multiplicador de electrones es un conjunto con algunas o todas las características descritas anteriormente. Los conjuntos de multiplicadores de electrones cercanos pueden estar dispuestos en dicha cámara de detección de tal manera que sus orificios pasantes están mutuamente alineados.
- 15 El conjunto multiplicador de electrones según la invención puede estar dispuesto como un módulo que permite un apilamiento fácil. Al alinear los orificios pasantes y elegir adecuadamente los voltajes que se aplican a la primera y a la segunda capa de electrodo de los módulos apilados, se puede conseguir una operación del detector en cascada. El número de conjuntos de multiplicadores de electrones de la pila puede ser seleccionado según los requisitos de la aplicación. El conjunto multiplicador de electrones según la invención es, por tanto, muy versátil, puede ser producido en masa y puede ser empleado en una variedad de aplicaciones.
- 20 En una realización preferida, el detector comprende medios de polarización de deriva adaptados para elevar dicho electrodo de deriva a un potencial de deriva, primeros medios de polarización acoplados a dicha primera capa de electrodo y adaptados para elevar dicha primera capa de electrodo a un primer potencial mayor que dicho potencial de deriva, segundos medios de polarización acoplados a dicha segunda capa de electrodo y adaptados para elevar dicha segunda capa de electrodo a un segundo potencial mayor que dicho primer potencial, y medios de polarización de captación adaptados para elevar dicho electrodo colector a un potencial de captación mayor que dicho segundo potencial.
- 25 En una realización de la invención, dicha cámara de detección puede comprender una pared de la cámara adaptada a sellar dicha cámara de detección contra un entorno exterior.
- Dicha cámara de detección puede estar adaptada para ser llenada con un gas de detección, tal como un gas adaptado para convertir la radiación ultravioleta incidente u otros tipos de radiación incidente en electrones.
- En una realización preferida, dicha pared de detección comprende una ventana que es al menos parcialmente transparente a la luz ultravioleta.
- 30 Esta configuración es particularmente ventajosa para aplicaciones para la detección de luz ultravioleta, o para la detección de variaciones de la luz ultravioleta incidente, tal como para detectores de fuego o detectores de humo.
- En otra realización, dicha cámara de detección está en comunicación fluida con un entorno exterior y está llena de aire ambiente.
- 35 Una ventaja particular de la invención presente es que permite que el detector de partículas en avalancha sea operado en el aire ambiente, e incluso en aire húmedo.
- La posibilidad de operar el detector de partículas en el aire ambiente permite hacer uso de la invención en aplicaciones relacionadas con la detección de gases peligrosos o de radiactividad.
- En una realización preferida, dicho electrodo de deriva es desmontable o está montado de forma desmontable en dicha cámara de detección.
- 40 En particular, dicho detector de partículas puede comprender medios de montaje que permiten desmontar el electrodo de deriva de dicha cámara de detección y ser reemplazado con un electrodo de deriva diferente.
- Esta configuración es particularmente ventajosa para la detección de partículas radiactivas, donde los productos de desintegración radiactiva pueden ser reunidos en el electrodo de deriva y pueden causar señales persistentes del detector que pueden interferir con nuevas mediciones. Al intercambiar el electrodo de deriva, estos restos pueden ser eliminados del detector y, por tanto, el detector puede ser reiniciado rápidamente para nuevas mediciones.
- 45 Como ventaja particular, el detector según la invención presente es insensible a la luz solar y, por tanto, puede ser operado para detectar luz ultravioleta sin un filtro adicional.
- El detector de partículas en avalancha según la invención presente permite diversas aplicaciones que van desde la detección de gases y/o la radiactividad hasta la detección de humo y/o de fuego.
- 50 En una realización preferida, la invención se refiere a un detector que comprende un detector de partículas en avalancha con algunas o todas las características descritas anteriormente, así como al menos una fuente de luz ultravioleta, en donde dicha fuente de luz ultravioleta está adaptada para hacer que brille luz ultravioleta en dicha

cámara de detección. El detector de gas comprende además medios de análisis de señales acoplados a dicho electrodo colector, en donde dichos medios de análisis están adaptados a leer la señal de carga captada de dicho electrodo colector y deducir de dicha señal de carga la presencia y/o cantidad de dicha luz ultravioleta incidente en dicha cámara de detección.

- 5 El detector puede comprender medios de enfoque para enfocar dicha luz ultravioleta hacia dicha cámara de detección. Los medios de enfoque pueden comprender al menos una lente óptica. Mediante los medios de enfoque, se puede captar selectivamente la luz UV a partir de direcciones espaciales predefinidas.

10 La invención se refiere también a un detector de gas que comprende un detector de partículas en avalancha con algunas o todas las características descritas anteriormente, así como al menos una fuente de luz ultravioleta, en donde dicha fuente de luz ultravioleta puede estar dispuesta en el exterior de dicha cámara de detección y está adaptada para hacer que brille la luz ultravioleta en dicha cámara de detección. El detector de gas comprende además medios de análisis de señal acoplados a dicho electrodo colector, en donde dicho medio de análisis de señal está adaptado para leer una señal de carga captada de dicho electrodo colector y deducir a partir de dicha señal de carga una presencia y/o una concentración de un gas predeterminado presente en dicha cámara de detección.

- 15 En particular, dicha cámara de detección puede estar en contacto fluido con un entorno exterior, y dicho gas puede ser un gas presente en un aire ambiente para el que existen umbrales de seguridad.

Dicho gas puede ser un gas que genera electrones cuando es irradiado con luz ultravioleta. Estos electrones pueden servir como electrones primarios que activan una señal en el detector de partículas en avalancha y permiten la detección de una presencia y/o concentración de dicho gas en dicha cámara de detección.

- 20 Por otra parte, la invención se refiere a un detector de humo que comprende un detector de partículas en avalancha con algunas o todas las características descritas anteriormente, y con al menos una fuente de luz ultravioleta adaptada para hacer que la luz ultravioleta brille en dicha cámara de detección. El detector de humo comprende además medios de análisis de señal acoplados a dicho electrodo colector, en donde dichos medios de análisis de señal están adaptados para leer una señal de carga captada de dicho electrodo colector y para detectar a partir de dicha señal de carga una atenuación de dicha luz ultravioleta.

25 En este caso, la cámara de detección puede estar llena de un gas de detección que genera electrones después de la radiación con luz ultravioleta. Estos electrones pueden servir como electrones primarios para el detector de partículas en avalancha y, por tanto, la señal de carga captada puede ser indicativa de variaciones de la cantidad de luz ultravioleta incidente.

- 30 Dicha fuente de luz ultravioleta puede estar dispuesta en el exterior de dicha cámara de detección.

El humo en un entrehierro entre una fuente de luz ultravioleta y la cámara de detección conduce usualmente a una atenuación de dicha luz ultravioleta y, por tanto, puede ser detectado basándose en la señal de carga captada.

- 35 La invención se refiere además a un método para multiplicar electrones en un entrehierro de amplificación, dicho método comprende los pasos de proporcionar un conjunto multiplicador de electrones en una cámara de detección, siendo dicho conjunto multiplicador de electrones un conjunto con algunas o todas las características descritas anteriormente, en donde un espacio entre un primer orificio pasante formado en dicha primera placa de electrodo y un segundo orificio pasante alineado con dicho primer orificio pasante de dicha segunda placa de electrodo define un canal de amplificación en dicho entrehierro. El método comprende además una etapa de elevar dicha primera capa de electrodo a un primer potencial, y elevar dicha segunda capa de electrodo a un segundo potencial de tal manera que se forma un campo eléctrico en dicho canal de amplificación.

40 Según se ha descrito anteriormente, el conjunto multiplicador de electrones según la invención presente puede ser usado tanto en la detección de gases como en la detección de variaciones de la luz ultravioleta, tales como para detectar llamas o humo.

- 45 Por tanto, en un aspecto, la invención se refiere a un método para detectar un gas, que comprende los pasos de proporcionar un detector de partículas en avalancha con algunas o todas las características descritas anteriormente, y proporcionar al menos una fuente de luz ultravioleta y luz ultravioleta brillante en dicha cámara de detección. El método comprende además el paso de captar una señal de carga de dicho electrodo colector, y deducir de dicha señal de carga una presencia y/o concentración de un gas en dicha cámara de detección.

Dicha fuente de luz ultravioleta puede estar dispuesta en el exterior de dicha cámara de detección.

- 50 Por otra parte, la invención se refiere a un método para detectar luz ultravioleta, que comprende los pasos de disponer un detector de partículas en avalancha con algunas o todas las características descritas anteriormente, en donde dicha cámara de detección está llena de un gas sensible a la luz ultravioleta. El método comprende además un paso de captar una señal de carga de dicho electrodo colector y deducir de dicha señal de carga una presencia y/o cantidad de dicha luz ultravioleta incidente en dicha cámara de detección.



Las aplicaciones de la detección de luz ultravioleta pueden ser la detección de llamas o humo.

5 En particular, en un aspecto, la invención se refiere a un método para detectar humo, que comprende los pasos de disponer un detector de partículas en avalancha con algunas o todas las características descritas anteriormente, y proporcionar al menos una fuente de luz ultravioleta y luz ultravioleta brillante en dicha cámara de detección. El método comprende además el paso de captar una señal de carga de dicho electrodo colector y deducir a partir de dicha señal de carga una atenuación de dicha luz ultravioleta incidente en dicha cámara de detección.

Dicha fuente de luz puede estar dispuesta en el exterior de dicha cámara de detección.

En una realización preferida, dicha fuente de luz puede ser una fuente de luz de impulsos.

10 En otra realización, el método puede comprender un paso de deducir a partir de dicha señal de carga una presencia y/o cantidad de luz ultravioleta incidente en dicha cámara de detección (52) de una fuente diferente de dicha una o varias fuentes de luz ultravioleta, en particular, diferente de una fuente de luz de impulsos.

Esta configuración permite que el detector detecte humo a partir de una atenuación de señal y llamas o de fuego por la aparición de señales de otra fuente. Por tanto, el humo y la llama pueden ser detectados simultáneamente.

15 La invención proporciona un conjunto multiplicador de electrones compacto y robusto o un detector de partículas de avalancha, respectivamente, que puede ser operado de manera fiable con una gran cantidad de gases, incluido el aire ambiente. El dispositivo puede ser hecho ligero y pequeño, y es muy versátil y particularmente adecuado para aplicaciones en condiciones difíciles. Las posibles aplicaciones fuera del campo de la física de alta energía son numerosas y comprenden la detección de radiactividad, la detección de radón para la predicción de terremotos, la detección de gases peligrosos o la detección de fuego o de humo.

## 20 Descripción detallada de realizaciones preferidas

Las características y numerosas ventajas de la invención presente se entienden mejor a partir de una descripción detallada de realizaciones preferidas haciendo referencia a los dibujos adjuntos, en los que:

La Figura 1 muestra una vista esquemática en sección transversal de un detector GEM convencional según se ha descrito anteriormente;

25 La Figura 2 es una vista en perspectiva esquemática de un conjunto multiplicador de electrones según una realización de la invención presente;

La Figura 3 es una vista esquemática en sección transversal de un elemento de separación con ranuras, como puede ser empleado en un conjunto multiplicador de electrones según la invención presente;

30 La Figura 4 es una vista en perspectiva esquemática de un conjunto multiplicador de electrones según otra realización de la invención presente, en el que las placas de electrodos comprenden capas resistivas y capas dieléctricas;

La Figura 5 es una vista esquemática en perspectiva de un conjunto multiplicador de electrones según otra realización de la invención presente, en el que hay formadas bandas resistivas en una de las placas de electrodo;

La Figura 6 es una vista esquemática en perspectiva de un conjunto multiplicador de electrones según otra realización de la invención presente, en el que una capa de lectura es enteriza con un conjunto de lámina multicapa dieléctrica;

35 La Figura 7a es una vista esquemática en sección transversal de un detector de partículas en avalancha que comprende un conjunto multiplicador de electrones según una realización de la invención presente;

La Figura 7b es una sección transversal que muestra la estructura de la Figura 7a junto con una configuración de campo eléctrico que puede presentarse al operar el dispositivo según una realización de la invención presente;

40 La Figura 8a es una vista esquemática en sección transversal de un detector de partículas en avalancha según la invención presente con un montaje apilado de dos conjuntos multiplicadores de electrones.

La Figura 8b es una sección transversal esquemática de la estructura de la Figura 8a a la que se le ha añadido la configuración del campo eléctrico;

La Figura 9 es una sección transversal esquemática de un detector de luz UV según una realización de la invención presente;

45 La Figura 10a es un dibujo esquemático que ilustra un método para la detección de humo que emplea un detector de partículas en avalancha según una realización de la invención presente;

La Figura 10b muestra señales que pueden ser captadas cuando un detector es operado con una combinación de humo y llamas según una realización de la invención presente;

La Figura 11 es un diagrama esquemático que ilustra un método para detectar gases peligrosos según una realización de la invención presente.

La Figura 12 es una sección transversal esquemática de un detector de partículas en avalancha que puede ser usado en un método para detectar gases peligrosos según otra realización de la invención presente; y

- 5 La Figura 13 es una sección transversal esquemática de un detector de partículas en avalancha empleado en un método para detectar gases radiactivos según una realización de la invención presente.

#### **Estructura de un conjunto multiplicador de electrones según una realización de la invención presente**

La Figura 2 es un dibujo esquemático en perspectiva que muestra una sección de un conjunto multiplicador de electrones 10 que puede estar dispuesto en la cámara de detección entre un electrodo de deriva (no mostrado) y un electrodo colector (no mostrado) de un detector de multiplicador de electrones de gas. Por ejemplo, el conjunto multiplicador de electrones 10 puede reemplazar a la placa GEM convencional 110 en la configuración del detector que se muestra en la Figura 1, o cualquier otro detector del tipo GEM, tal como un Thick-GEM (TGEM) o un TGEM resistivo (RETGEM). Con respecto al diseño general del detector y la lectura del detector, se hace referencia a la Figura 1 y la descripción de la técnica anterior en las referencias de patentes e investigación citadas en la introducción. Para mayor simplicidad y concisión, la descripción siguiente se centra únicamente en el diseño y en la operación del conjunto multiplicador de electrones 10 según las realizaciones de la invención presente.

El conjunto multiplicador de electrones 10 comprende una primera capa de electrodo o capa de cátodo 12 y además comprende una segunda capa de electrodo o capa de ánodo 14 separada de dicha capa de cátodo 12 de tal manera que está formado un entrehierro G entre la capa de cátodo 12 y la capa de ánodo 14. En la configuración mostrada en la Figura 2, la capa de cátodo 12 y la capa de ánodo 14 se extienden paralelamente, de tal manera que la distancia t entre estas capas es constante. La distancia t entre la capa de cátodo 12 y la capa de ánodo 14 puede estar comprendida entre 0,4 mm y 3 mm en un diseño TGEM o RETGEM, pero puede ser elegida menor o mayor, dependiendo de la aplicación específica. En la configuración mostrada en la Figura 2, la capa de cátodo 12 y la capa de ánodo 14 pueden ser capas planas. Sin embargo, en otras aplicaciones, puede ser más deseable tener una capa de cátodo 12 y/o una capa de ánodo 14 curvadas o dobladas, según se ha descrito con más detalle en la patente europea EP 0 948 803 B1. La Figura 2 muestra únicamente una pequeña parte de las capas del electrodo y, por tanto, la estructura representada debe ser imaginada como que se extiende tanto a lo largo como a lo ancho.

Hay formada una pluralidad de orificios pasantes circulares 16 en una matriz en dicha capa 12 de cátodo. Los orificios pasantes 16 pueden tener un diámetro comprendido entre 0,3 mm y 1 mm, con una separación comprendida entre 0,7 mm y 7 mm entre dos orificios pasantes cercanos cualquiera 16. El diámetro de los orificios pasantes 16 puede ser elegido aproximadamente igual al espacio t entre la capa de cátodo 12 y la capa de ánodo 14. Los orificios pasantes 16 pueden ser formados en la capa de cátodo 12 mediante perforación de precisión como en los detectores convencionales TGEM o RETGEM. Sin embargo, los orificios 16 pueden ser formados también en la capa de cátodo 12 empleando fotolitografía y grabado, dependiendo del tamaño deseado de los orificios 16 y de la precisión requerida.

Según se deduce de la Figura 2, la capa de ánodo 14 subyacente a la capa de cátodo 12 comprende una pluralidad correspondiente de orificios pasantes 18 de un tamaño y separación idénticos. La capa de cátodo 12 y la capa de ánodo 14 están dispuestas en la cámara de detección una respecto a otra de manera que los orificios pasantes 16 de la primera capa de electrodo 12 están alineados con los orificios pasantes 18 de la segunda capa de electrodo 14. La alineación de los orificios pasantes 16, 18 crea un efecto de enfoque para las líneas de campo eléctrico, según se ha descrito en la parte introductoria de la especificación con referencia a los detectores GEM convencionales.

Mientras que la Figura 1 muestra una configuración con orificios pasantes circulares 16, 18, de la misma manera pueden ser empleados orificios pasantes de diferentes formas, tales como orificios pasantes rectangulares o cuadrados, en un detector según la invención presente.

La capa de cátodo 12 y la capa de ánodo 14 pueden ser capas metálicas, tales como capas formadas con cobre u otro material conductor.

Sin embargo, pueden ser empleadas también capas de alta resistividad, tales como una poliimida de alta resistencia, electropolímeros o carbonita Kapton, como la capa de cátodo 12 y/o la capa de ánodo 14. La resistividad laminar de las capas de alta resistividad puede estar comprendida dentro del intervalo de 100 k $\Omega$  y 1 M $\Omega$  por cuadrado. El grosor de las capas resistivas 12, 14 puede estar comprendido entre 0,1 mm a 0,3 mm.

Los inventores han descubierto que las capas de alta resistividad son particularmente adecuadas para proteger el detector y la electrónica de lectura de posibles chispas y descargas. Las capas resistivas limitan también la evaporación del metal que puede producirse cerca de los orificios debido a fuertes chispas, y puede provocar corrientes de fuga y degradación del detector.

La capa de cátodo 12 está conectada eléctricamente a los primeros medios de polarización 20 adaptados para elevar la capa de cátodo 12 a un primer potencial  $V_1$ . La capa de ánodo 14 está conectada eléctricamente a unos segundos medios de polarización 22 adaptados para elevar la capa de ánodo 14 a un segundo potencial  $V_2$  mayor que el primer

potencial  $V_1$ , de manera que los electrones son arrastrados hacia el entrehierro de amplificación G y desde la capa de cátodo 12 hacia la capa de ánodo 14 cuando se aplican los voltajes respectivos  $V_1$ ,  $V_2$ .

5 Pero, a diferencia de un electrodo GEM convencional, como la placa GEM 110 que se muestra en la Figura 1, el conjunto multiplicador de electrones 10 según la invención presente no comprende una lámina aislante o capa aislante entre la capa de cátodo 12 y la capa de ánodo 14. Más bien, la capa de cátodo 12 está apoyada sobre la capa de ánodo 14 simplemente por una pluralidad de elementos de separación 24 que pueden estar formados en la capa de ánodo 14 y en la capa de cátodo 12 a intervalos regulares. El espacio entre el primer orificio pasante 16 formado en la capa de cátodo 12 y el segundo orificio pasante 18 que está alineado con el primer orificio pasante 16 en la capa de ánodo 14 define un canal de amplificación en el entrehierro G entre la primera placa de electrodo y la segunda placa de electrodo. A diferencia de los detectores de tipo GEM convencionales, los canales de amplificación no tienen paredes en el entrehierro de amplificación G, en el sentido de que dos canales de amplificación cercanos no están separados por paredes, sino simplemente separados por el gas detector.

15 Los elementos de separación 24 pueden estar formados de un material de plástico o de un material de placa de circuito impreso, pero también pueden estar formados de vidrio. El número de elementos de separación 24 puede ser veinte veces o incluso cincuenta veces menor que el número de orificios pasantes 16, 18, y pueden estar dispuestos a intervalos regulares a lo largo y a lo ancho de la capa de cátodo 12 y de la capa de ánodo 14. Los elementos de separación 24 y las almohadillas protectoras 26 están de preferencia dispuestos lo más lejos posible de los orificios pasantes 16, 18 en la capa de cátodo 12 y en la capa de ánodo 14, para evitar cualquier interferencia de los elementos de separación 24 con los campos de dipolos eléctricos formados en el entrehierro de amplificación G entre la capa de cátodo 12 y la capa de ánodo 14.

20 Al fabricar el conjunto multiplicador de electrones 10, la capa de cátodo 12 y la capa de ánodo 14 pueden ser formadas primero por separado, y los orificios pasantes 16, 18 pueden ser perforados o ser grabados. Los elementos de separación 24 pueden ser pegados entonces a la capa de ánodo 14, y la capa de cátodo 12 puede estar pegada a los extremos en oposición de los elementos de separación 24 y alineada de manera que los orificios pasantes 16 de la capa de cátodo 12 y los orificios pasantes 18 de la capa de ánodo 14 están en correspondencia unívoca y con una alineación perfecta.

25 Los espaciadores 24 pueden ser de forma cilíndrica o rectangular, pero también puede ser empleada cualquier otra forma y puede ser seleccionada dependiendo de la aplicación y de las demandas del proceso de fabricación.

30 Además de los elementos de separación 24, las paredes limítrofes o los espaciadores limítrofes (no mostrados) pueden extenderse a lo largo de toda o de parte de la circunferencia exterior de la capa de cátodo 12 y de la capa de ánodo 14 para dar soporte a la capa de cátodo 12 en la capa de ánodo 14.

35 Según se muestra en la Figura 2, las almohadillas dieléctricas protectoras 26 están además dispuestas en la capa de ánodo 14 de manera que son subyacentes a los elementos de separación 24 en un extremo de éstos. Puede haber almohadillas protectoras similares 26 formadas en la parte inferior de la capa de cátodo 12, y pueden separar los elementos de separación 24 de la capa de cátodo 12 en el extremo en oposición de los elementos de separación 24. No son visibles en la vista en perspectiva de la Figura 2. Las almohadillas protectoras 26 pueden estar hechas de Kapton o de Teflón. Asimismo, se puede emplear cualquier otro material muy resistivo adecuado, de preferencia con una resistividad laminar de al menos  $10^{12} \Omega/\text{cuadrado}$ .

40 Las almohadillas protectoras 26 pueden estar extendidas sobre una superficie de la capa de cátodo 12 y de la capa de ánodo 14, respectivamente, que es solo ligeramente mayor que una superficie de base de los elementos de separación 24. Por tanto, en la configuración mostrada en la Figura 2 cada elemento de almohadilla 26 subyace a un elemento y solo a un elemento de separación 24. Las almohadillas protectoras 26 aíslan eléctricamente los elementos de separación 24 de la capa de cátodo 12 y de la capa de ánodo 14, respectivamente, y por tanto evitan la formación de corrientes de fuga a lo largo de las paredes laterales de los elementos de separación 24.

45 La Figura 3 muestra una sección transversal de un elemento de separación circular 24 según una realización de la invención presente. Como resultará evidente por la Figura 3, el elemento de separación 24 comprende una ranura rectangular 28 que se extiende alrededor de toda la circunferencia del elemento de separación aproximadamente a la mitad de la altura del elemento de separación 24, es decir, a medio camino entre un extremo superior 30 del elemento de separación 24 (conectado a la capa de cátodo 12) y un extremo inferior 32 del elemento de separación 24 (en oposición al extremo superior 30 y conectado a la capa de ánodo 14). La profundidad de la ranura (en una dirección perpendicular a la superficie del elemento de separación 24) puede llegar aproximadamente a 1/5 o 1/4 de la altura del elemento de separación y la anchura de la ranura 28 (a lo largo del eje del cilindro, es decir, a lo largo de una dirección que proporciona la conexión más corta entre la capa de cátodo 12 y la capa de ánodo 14) puede tener aproximadamente las mismas dimensiones. Por ejemplo, suponiendo el caso de un espaciador 24 con una altura de 1 mm, la ranura 28 puede ser elegida para que tenga una profundidad y una anchura de aproximadamente 200  $\mu\text{m}$ .

55 Los inventores han descubierto que la ranura 28 proporciona una singularidad que impide efectivamente la formación de campos eléctricos y corrientes de fuga a lo largo de la superficie de los elementos de separación 24. La Figura 3 muestra una ranura rectangular 28, pero la invención no está limitada de esta manera y otras ranuras pueden ser

empleadas también con otras formas geométricas. Los inventores han descubierto que las ranuras rectangulares o angulares 28 son preferibles a las ranuras con bordes redondeados, ya que las primeras proporcionan una singularidad más pronunciada para las corrientes de fuga y los campos eléctricos que pueden formarse a lo largo de las paredes de los espaciadores 24.

5 Algunos materiales que pueden ser empleados para formar los elementos de separación 24, tal como la placa de circuito impreso o el G-10, son conocidos por absorber agua o vapor. Por tanto, su resistividad puede cambiar con el tiempo, y esto puede afectar a la estabilidad de la operación del detector. Estos efectos pueden ser contrarrestados proporcionando un revestimiento de protección 34 que cubre la superficie exterior de los elementos de separación 24, y que se extiende también hacia la ranura rectangular 28. El parileno depositado al vacío es un revestimiento  
10 adecuado, pero también pueden emplearse otros revestimientos hidrófobos.

La Figura 4 es una vista esquemática en perspectiva de un conjunto multiplicador de electrones 10 según otra realización de la invención presente. El conjunto multiplicador de electrones 10 mostrado en la Figura 4 es muy similar en general al conjunto multiplicador de electrones descrito en detalle con referencia a las Figuras 2 y 3 anteriores, y las partes correspondientes están indicadas con los mismos números de referencia. Por tanto, se puede omitir una descripción detallada, y en lo que sigue a continuación solo se explican las diferencias respecto a la realización de la  
15 Figura 2.

El conjunto multiplicador de electrones 10 según se muestra en la Figura 4 difiere de la estructura mostrada en la Figura 2 en que la primera placa de electrodo comprende una capa dieléctrica adicional 36 formada sobre y conectada a la parte inferior de la capa de cátodo 12. De manera similar, la segunda placa de electrodo comprende una capa  
20 dieléctrica 38 formada y conectada a un lado superior de la capa de ánodo 14. La primera capa dieléctrica 36 y la segunda capa dieléctrica 38 están por tanto enfrentadas entre sí y delimitan el entrehierro de amplificación G entre la primera placa de electrodo y la segunda placa de electrodo. Los elementos de separación 24 se extienden entonces entre la primera capa dieléctrica 36 y la segunda capa dieléctrica 38, que también sirven para aislar los elementos de separación 24 de la capa de cátodo subyacente 12 y de la capa de ánodo 14, respectivamente. Por tanto, ya no se  
25 requieren almohadillas dieléctricas protectoras adicionales 26.

Las capas dieléctricas pueden estar formadas de FR4 (retardante de llama 4), y pueden tener un espesor dentro del intervalo de 0,4 mm a 1 mm.

Los orificios pasantes 16 de la primera placa de electrodo están formados para extenderse a través de la capa de cátodo 12 y de la primera capa dieléctrica 36. De manera similar, los orificios pasantes 18 se extienden a través de la  
30 capa de ánodo 14 y de la segunda capa dieléctrica 38.

Las capas dieléctricas 36, 38 proporcionan rigidez y estabilidad adicionales al conjunto multiplicador de electrones. Además, las capas dieléctricas 36, 38 reducen los campos parásitos eléctricos que pueden formarse entre los canales de amplificación cercanos y, por tanto, contribuyen a un mejor enfoque de las líneas de campo en el entrehierro de amplificación G.

35 La Figura 5 muestra una vista esquemática en perspectiva de un conjunto multiplicador de electrones 10 según otra realización de la invención. La realización mostrada en la Figura 5 es generalmente similar a la realización de la Figura 4, y los componentes correspondientes están indicados con números de referencia similares. El conjunto multiplicador de electrones 10 mostrado en la Figura 5 solo difiere de la estructura mostrada en la Figura 4 en que la capa de cátodo 12 está subdividida o particionada en una pluralidad de subplacas 40a, 40b, 40c por medio de ranuras de separación  
40 42a, 42b. Las ranuras de separación 42a, 42b se extienden a través de la primera capa de electrodo 12 hasta la primera capa dieléctrica subyacente 36. Por ejemplo, las ranuras de separación 42a, 42b pueden estar grabadas en la capa de cátodo resistivo 12. Las ranuras resistivas 42a, 42b aíslan, por tanto, eléctricamente las diferentes subplacas de la capa de cátodo 40a, 40b, 40c. Dependiendo de la aplicación, la separación puede ser usada para aplicar campos eléctricos de diferente intensidad a diferentes partes del conjunto multiplicador de electrones 10, o para proporcionar una resolución espacial, tal como cuando una estructura de lectura puede estar incorporada en el  
45 conjunto multiplicador de electrones 10.

Una placa de cátodo que incorpora bandas de lectura interior 44 se muestra esquemáticamente en el dibujo en perspectiva de la Figura 6. La placa de la Figura 6 se corresponde en general a una de las placas del conjunto multiplicador de electrones 10 descrito anteriormente con referencia a la Figura 5, pero las bandas de lectura 44 en la  
50 dirección x y en la dirección y (perpendicular a la dirección x) están integradas en la capa dieléctrica 36. Esta placa puede ser empleada como una placa de cátodo o como una placa de ánodo de un conjunto multiplicador de electrones 10.

Los electrodos de lectura (no mostrados) están conectados a las bandas de lectura 44 y dirigen las cargas eléctricas captadas por las bandas de lectura 44 a los circuitos de lectura (no mostrados) para su posterior análisis. Las bandas  
55 de lectura 44 pueden estar dispuestas con una variedad de geometrías, dependiendo de la aplicación. Se pueden emplear técnicas de fabricación de semiconductores, tal como la tecnología de circuito impreso multicapa para formar las bandas de lectura 44.

Como resultará evidente por las Figuras 2 a 7, el conjunto multiplicador de electrones 10 según la invención presente combina un diseño de detector simple y robusto con una detección altamente fiable. El conjunto multiplicador de electrones 10 según la invención es pequeño, robusto y ligero.

### Operación del conjunto multiplicador

5 La operación del detector de un conjunto multiplicador de electrones según una realización de la invención se describe ahora haciendo referencia a las Figuras 7a y 7b.

10 El conjunto multiplicador de electrones 10 puede ser operado de la misma manera que un electrodo GEM convencional. Comenzando por el detector GEM convencional que se muestra en la Figura 1, la placa GEM 110 con la lámina aislante dieléctrica 118 puede ser reemplazada por el conjunto multiplicador 10. Por tanto, el conjunto multiplicador de electrones 10 está dispuesto entre un electrodo de deriva y un electrodo colector.

15 La Figura 7a muestra un detector de partículas en avalancha 48 según la invención con un conjunto multiplicador de electrones 10 y un electrodo de deriva 50 separados en una cámara de detección 52. En la configuración mostrada en la Figura 7a, el conjunto multiplicador de electrones 10 comprende una placa de cátodo con una capa de cátodo 12 y una primera capa dieléctrica 36 formada debajo. Los orificios pasantes 16 se extienden a través de la capa de cátodo 12 y de la primera capa dieléctrica 36. La placa de ánodo comprende una capa de ánodo 14 con una segunda capa dieléctrica 38 formada en la parte superior, de manera que está encarada a la primera capa dieléctrica 36. Los orificios pasantes 18 se extienden a través de la capa de ánodo 14 y de la segunda capa dieléctrica 38. Hay dispuestos unos primeros medios de polarización 20 para elevar la capa de cátodo 12 a un primer potencial  $V_1$ , y hay dispuestos unos segundos medios de polarización 22 para elevar la capa de ánodo 14 a un segundo potencial  $V_2$  mayor que el primer potencial  $V_1$ . El voltaje  $V_2 - V_1$  puede estar comprendido entre 1 kV en aplicaciones selladas, y típicamente 3-4 kV en aplicaciones de aire ambiente.

25 En el detector de partículas en avalancha 48 que se muestra en la Figura 7a, la placa del ánodo puede comprender bandas de lectura, según se ha descrito anteriormente con referencia a la Figura 6. Las bandas de lectura pueden estar conectadas a la electrónica de lectura 54 para lectura y análisis. En esta configuración, no se requiere un electrodo colector separado 114, lo que permite lograr un diseño de detector particularmente compacto.

30 Sin embargo, en lugar del conjunto multiplicador de electrones según la realización de la Figura 6, pueden emplearse también conjuntos según las realizaciones descritas previamente haciendo referencia a las Figuras 2 a 5. En este caso, el detector de partículas en avalancha 48 comprende un electrodo colector adicional 114 que tiene dispuestas almohadillas de lectura 116, que pueden estar situadas en la cámara de detección 52 debajo del conjunto multiplicador de electrones 10, es decir, en oposición al electrodo de deriva 50 con respecto al conjunto multiplicador de electrones 10. La configuración se corresponde entonces con la configuración descrita en la Figura 1 con referencia a la técnica anterior.

35 El electrodo de deriva 50 se corresponde con el electrodo de deriva 112 descrito con referencia a la Figura 1 anterior. Los medios de polarización de deriva 56 están conectados al electrodo de deriva 50 para elevar el electrodo de deriva 50 a un potencial de deriva  $V_{dr}$  menor que el primer potencial  $V_1$  y menor que el segundo potencial  $V_2$ .

40 La Figura 7b muestra el mismo detector de partículas en avalancha 48 descrito anteriormente con referencia a la Figura 7a, pero además ilustra la configuración del campo eléctrico que surge cuando se aplican potenciales eléctricos  $V_{dr} < V_1 < V_2$  al electrodo de deriva 50, a la capa del cátodo 12 y a la capa del ánodo 14, respectivamente. Según resulta evidente de una comparación de la Figura 7b con la Figura 1, la configuración del campo se corresponde en gran medida a la configuración del campo en un detector GEM convencional, y de nuevo se forman fuertes campos dipolares en los orificios pasantes 16, 18.

45 La región de detección 52 puede estar llena de un gas detector tal como una mezcla de neón y metano, o de un vapor fotosensible para la detección de fotones incidentes. Estos vapores convierten los fotones en electrones primarios. Los vapores fotosensibles adecuados comprenden etil-ferroceno (EF) y tetraquis-dimetilamina-etileno (TMAE). Sin embargo, dependiendo de la aplicación, la cámara de detección 52 puede estar llena de aire ambiente también. Los electrones primarios generados en la zona de deriva entre el electrodo de deriva y el conjunto multiplicador de electrones 10 son arrastrados hacia la capa de cátodo 12 y hacia los canales de amplificación formados entre los orificios pasantes 16, 18. Debido al fuerte gradiente de campo eléctrico en los canales de amplificación, los electrones primarios son acelerados a velocidades suficientemente grandes para inducir una multiplicación de avalanchas dentro de los canales de amplificación.

50 Las cargas positivas creadas por el proceso de ionización de impacto en los canales de amplificación son arrastradas hacia el electrodo de deriva 50, mientras que la nube de avalancha de electrones es acelerada en la dirección opuesta y es captada por el electrodo colector para su posterior lectura. La electrónica de lectura 54 y el análisis de datos pueden corresponderse completamente con los de un detector de tipo GEM convencional.

55 Dado que los canales de amplificación no tienen paredes, y los elementos de separación 24 están dispuestos remotamente desde los orificios pasantes 16, 18 y están bien aislados, el riesgo de que se formen corrientes de fuga

entre la capa 12 del cátodo y la capa 14 del ánodo es significativamente reducido. Los inventores han descubierto que las corrientes de fuga son eficientemente suprimidas incluso después de días de operación continua del dispositivo detector, e incluso cuando el detector es operado en el aire ambiente con una humedad significativa. La supresión eficiente de las corrientes de fuga permite conseguir ganancias de gas mucho más altas que los detectores GEM convencionales y permite una detección fiable y reproducible incluso en entornos operativos hostiles.

#### Modo en cascada

Dependiendo de la aplicación, varios de los conjuntos multiplicadores de electrones 10 según se muestra en las Figuras 2, 4 y 5 pueden ser apilados de manera que los orificios pasantes 16, 18 de los conjuntos multiplicadores de electrones cercanos 10 estén todos alineados. Esto permite operar un detector de electrones en un modo en cascada y conseguir ganancias de amplificación particularmente elevadas.

La Figura 8a ilustra un detector de partículas en avalancha 48' que comprende dos conjuntos multiplicadores de electrones 10, 10' en una configuración alineada y separados en la cámara de detección 52. El conjunto multiplicador de electrones inferior 10 puede corresponderse con el conjunto descrito anteriormente con referencia a las Figuras 7a y 7b, y la capa de ánodo 14 puede comprender de nuevo bandas de lectura acopladas a la electrónica de lectura 54.

El conjunto multiplicador de electrones superior 10' es en gran medida idéntico al conjunto multiplicador de electrones 10 y comprende una primera placa de electrodo o placa de cátodo con una primera capa de cátodo 12' y una primera capa dieléctrica 36' formada debajo de la capa de cátodo 12'. La segunda placa de electrodo o placa de ánodo comprende una capa de ánodo 14' y una segunda capa dieléctrica 38' formada en la parte superior de la capa de ánodo 14' para estar encarada a la primera capa dieléctrica 36'. Los orificios pasantes 16', 18' están formados en las placas de electrodo primera y segunda del conjunto multiplicador de electrones 10' para estar alineados con los orificios pasantes 16, 18 formados por debajo del conjunto multiplicador de electrones 10.

La Figura 8a muestra una configuración con dos conjuntos multiplicadores de electrones apilados 10, 10'. Sin embargo, como resultará evidente para una persona experta en la materia, cualquier número de conjuntos multiplicadores de electrones puede ser apilado en la cámara de detección 52, dependiendo de la ganancia de amplificación deseada.

A diferencia del conjunto multiplicador de electrones más bajo 10, el conjunto multiplicador de electrones 10' no comprende medios de lectura, pero puede ser elegido según la realización descrita anteriormente con referencia a la Figura 4. Sin embargo, en una configuración alternativa, el conjunto multiplicador de electrones 10' puede tener dispuestos medios de lectura también, además de o en lugar de los medios de lectura dispuestos en el conjunto multiplicador de electrones 10.

Durante la operación, es aplicado un potencial de deriva  $V_{dr}$  al electrodo de deriva 50, y los voltajes  $V_1, V_2$  son aplicados a la capa de cátodo 12 y a la capa de ánodo 14 del conjunto multiplicador de electrones 10, mientras que los voltajes  $V'_1$  y  $V'_2$  son aplicados a la capa de cátodo 12' y a la capa de ánodo 14' del conjunto multiplicador de electrones 10' de manera que  $V_{dr} < V'_1; < V'_2; < V_1 < V_2$ . La configuración de campo resultante está ilustrada esquemáticamente en la Figura 8b. De nuevo, se forman fuertes campos dipolares en los orificios pasantes 16, 18 y 16' que forman el entrehierro de amplificación.

La distancia entre los conjuntos de multiplicadores de electrones cercanos 10, 10' puede estar comprendida entre 2 mm y 3 mm, de preferencia medida entre un lado inferior de la capa de ánodo 14' y un lado superior de la capa de cátodo 12. La diferencia de voltaje  $V'_2 - V_1$  puede llegar a 200 V en aplicaciones selladas y a 1 kV en el aire ambiente.

#### Diversas aplicaciones ejemplares

Varias aplicaciones del conjunto multiplicador de electrones 10 según la invención presente se describen a continuación haciendo referencia a las Figuras 9 a 13.

La Figura 9 ilustra un detector de partículas en avalancha 48 que emplea una cascada de dos etapas de conjuntos multiplicadores de electrones 10, 10' según se ha descrito con referencia a las Figuras 7 y 8 anteriores para la detección de llamas o de fuego. El detector 48 comprende una pared de la cámara 58 que define la cámara de detección 52 en la que están dispuestos el electrodo de deriva 50 y los conjuntos multiplicadores de electrones 10, 10', y sella la cámara de detección 52 contra el entorno exterior. Según se ha explicado anteriormente con referencia a las Figuras 7 y 8, la cámara de detección 52 puede estar llena de un gas sensible a los rayos UV tal como TMAE, y se puede disponer una ventana transparente a los rayos UV 60 en un lado de la pared de la cámara 58 para permitir que pase radiación ultravioleta incidente a través de la ventana transparente a los rayos UV 60 y dentro de la cámara de detección 52.

Se sabe que las llamas que se producen en el aire emiten luz ultravioleta, y esto puede ser utilizado para su detección. Una llama cerca del detector de partículas en avalancha 48 envía luz UV a través de la ventana 60 y genera electrones primarios en el vapor fotosensible TMAE. Los electrones primarios desencadenan una avalancha de electrones secundarios en los conjuntos multiplicadores de electrones en cascada 10, 10', que luego son detectados por la electrónica de lectura 54 y generan una señal de lectura indicativa de la luz ultravioleta incidente. El detector de partículas en avalancha 48 sirve, por tanto, como detector de llamas o de fuego.

Debido a la alta eficiencia cuántica de los vapores de TMAE (generalmente por encima del 30%), se pueden detectar llamas con una gran sensibilidad. Además, el vapor fotosensible puede ser proporcionado a la presión atmosférica y, por tanto, no existe una restricción mecánica sobre el tamaño de la ventana transparente a los rayos UV 60. La sensibilidad aumenta con el cuadrado del diámetro de la ventana. Los inventores han descubierto que incluso con un diámetro de ventana de solo unos 4 cm, la sensibilidad de la configuración del detector que se muestra en la Figura 9 es hasta tres órdenes de magnitud mayor que los sensores de llama UV convencionales.

Como ventaja adicional, la configuración del detector según la invención presente no es sensible a la luz solar ultravioleta. Por tanto, puede ser operado sin filtros adicionales.

Para evitar la dependencia de la temperatura a la sensibilidad y a los voltajes aplicados, el vapor de TMAE puede ser enfriado de 5° C a 10° C. Los inventores han descubierto que este intervalo garantiza la estabilidad en el intervalo de temperatura comprendido entre 3° C y 60° C, que es suficiente para todas las aplicaciones de interiores.

La misma estructura del detector 48 puede ser aplicada también para detectar humo cuando es operado junto con una o varias fuentes de UV de impulsos dispuestas en las proximidades del dispositivo detector. Un método para detectar humo está ilustrado esquemáticamente en la Figura 10a, y está basado en la constatación de que el humo atenúa la luz UV de manera que el humo puede ser detectado basándose en una disminución del número de fotones UV incidentes.

Según se muestra en la Figura 10a, el detector 48 puede estar dispuesto en el centro de una zona de monitorización 62, tal como un espacio de oficina o una sala de reuniones. Una pluralidad de fuentes de UV de impulsos 64a, 64b, 64c puede estar dispuesta a lo largo de los límites de la zona de monitorización de humo 62, y puede dirigir luz UV de impulsos en la dirección del detector 48. La luz UV de las fuentes de impulsos 64a a 64c es por tanto detectada por el detector de partículas en avalancha 48 de la misma manera que se ha descrito anteriormente junto con la detección de llamas, y proporciona señales de impulsos en la electrónica de lectura 54.

Suponiendo ahora que se forma una bolsa de humo 66 en alguna parte de la zona de monitorización 62, como indica la zona sombreada de la Figura 10a. El humo 66 atenúa la señal UV de al menos una de las fuentes de UV de impulsos, tal como la fuente de UV 64a, y esta atenuación es detectada por el detector 48. Si esto sucede, el detector 48 puede enviar una señal, tal como una señal de alarma inalámbrica 68, a una unidad de vigilancia de humo, y se pueden iniciar contramedidas.

Por lo general, un fuego involucra tanto humo como llamas, y el detector 48 puede detectar ambos debido a la diferente naturaleza de las señales asociadas a estos efectos. Esto está ilustrado en el diagrama esquemático de la Figura 10b, que muestra los impulsos UV 70 generados por una fuente de UV de impulsos 64a en comparación con los impulsos UV atenuados 72 y las señales 74, según pueden ser producidas por fuego abierto. Como resultará evidente por la Figura 10b, los impulsos 70 de UV se producen a intervalos regulares, y son típicamente mucho mayores en amplitud que las señales 74 generadas por las llamas. Una atenuación debida al humo conduce generalmente a una disminución de la amplitud de las señales de impulsos según se ilustra para las señales 72, pero su periodicidad no cambia. Esto permite atribuir claramente los impulsos regulares a las fuentes de UV 64a a 64c, incluso si los impulsos son atenuados por el humo. Se puede disparar una alarma de humo si la amplitud de los impulsos UV 70 cae por debajo de un umbral predeterminado.

Por otro lado, se puede disparar una alarma de fuego si se detectan señales UV adicionales 74 que carecen de la periodicidad de los impulsos UV 70. Por tanto, el detector 48 según la invención presente puede detectar tanto humo como fuego con una gran fiabilidad

También se puede aplicar un principio similar para la detección de gases peligrosos en el aire, según se describe a continuación con referencia a la Figura 11. De nuevo, esto puede involucrar la estructura del detector 48 descrita anteriormente con referencia a las Figuras 7 y 8. El detector de gas comprende además una fuente de UV 76, que puede ser una fuente de UV de impulsos según se ha descrito anteriormente con referencia a la Figura 10a en el contexto de la detección de humo, pero también puede ser una lámpara de UV de baja potencia continua. La aparición de gases peligrosos (según indican las flechas en la Figura 11) cambia la transparencia del aire en el camino desde la fuente de UV 76 a la ventana transparente a los rayos UV 60 del detector 48, que a continuación puede ser detectada de nuevo como una disminución del número de fotones incidentes. Los inventores han descubierto que las mediciones de absorción o de transmisión de UV pueden proporcionar un indicador fiable de la aparición de gases peligrosos en el aire, y se puede disparar una alarma si la cantidad de fotones incidentes cae por debajo de un umbral predeterminado.

Los gases con una fuerte absorción dentro del intervalo de UV y que, por tanto, pueden ser detectados de manera fiable incluyen gasolina, acetona, alcohol y una amplia gama de otros gases tóxicos.

Las aplicaciones descritas anteriormente con referencia a las Figuras 9 a 11 se basan en detectores sellados. Sin embargo, según se ha explicado anteriormente, es una ventaja decisiva de la invención presente que el conjunto multiplicador de electrones pueda operar también en el aire, y esta configuración puede ser empleada también tanto

para la detección de gases peligrosos como para la detección de radiactividad, según se describe a continuación con referencia a las Figuras 12 y 13.

La Figura 12 ilustra una configuración de la invención para la detección de gases peligrosos en el aire mediante fotoionización. La configuración de la estructura del detector 48 se corresponde en gran medida con la estructura del detector explicada anteriormente con referencia a la Figura 9, y comprende un electrodo de deriva 50 y un grupo en cascada de conjuntos multiplicadores de electrones 10, 10' en una cámara de detección 52. Se hace referencia a la descripción de las Figuras 7a a 9 para una descripción detallada de la estructura del detector. Sin embargo, a diferencia de las realizaciones descritas anteriormente con referencia a las Figuras 9 a 11, el detector 48 que se muestra en la Figura 12 no comprende una cámara de detección sellada 52 definida por las paredes de la cámara 58. Más bien, la cámara de detección 52 está limitada solo por una malla de protección 78 con una pluralidad de aberturas, y por tanto está en comunicación fluida con el entorno exterior. La cámara de detección 52 está por tanto llena de aire ambiente. La luz de una fuente de UV exterior 76 penetra a través de la malla de protección 78 y dentro de la cámara de detección 52.

Se sabe que muchos gases peligrosos, tales como los vapores de benceno, son ionizados fácilmente por la luz ultravioleta. Cuando dichos gases están presentes en el aire ambiente, se generan electrones primarios en la cámara de detección 52, y son amplificados por el conjunto multiplicador de electrones 10, 10' y generan una corriente detectable en la electrónica de lectura 54. Se puede activar una alarma si la corriente detectada excede un umbral predeterminado.

Los inventores han descubierto que un detector 48 que emplea un conjunto multiplicador de electrones 10 según la invención presente puede permitir que aumente la sensibilidad en uno o dos órdenes de magnitud respecto a lo que se puede conseguir con detectores de gas convencionales, como los que dependen de cámaras de ionización.

Otra aplicación importante de la configuración de un detector de aire ambiente según la invención presente radica en el campo de la detección de partículas radiactivas, tales como el radón (Rn). La Figura 13 muestra un detector 48 que básicamente se corresponde con el detector explicado anteriormente con referencia a la Figura 12, con la excepción de que la distancia entre el electrodo de deriva 50 y el conjunto multiplicador de electrones 10' aumenta desde aproximadamente 2 cm hasta 4 cm o más.

De nuevo, la cámara de detección 52 está en contacto fluido con el entorno exterior a través de una malla de protección 78 (no mostrada en la Figura 13), y por tanto está llena de aire ambiente. La presencia de radón en el aire ambiente puede ser detectada por medio de la aparición de iones negativos asociados con la descomposición del radón, así como por sus progenies Po214 y Po218. Las partículas alfa de la cadena de desintegración del radón ionizan las moléculas de agua u oxígeno en su camino a través de la cámara de detección 52. Las partículas cargadas negativamente son arrastradas hacia el fuerte campo dipolar del conjunto multiplicador de electrones 10'. En el fuerte campo eléctrico, los electrones de la capa exterior se desprenden y sirven como electrones primarios que inician una avalancha en el entrehierro de amplificación de los conjuntos multiplicadores de electrones 10', 10.

Los productos de desintegración cargados positivamente se acumulan en el electrodo de deriva 50, según se indica esquemáticamente en la Figura 13. A su vez, se pueden producir más productos de desintegración, que pueden generar más señales en el dispositivo detector. Los inventores han descubierto que resulta útil disponer en el detector un electrodo de deriva intercambiable y extraíble 50, que permita deshacerse de las progenies rápidamente para que se pueda iniciar una nueva serie de mediciones inmediatamente después de que el electrodo de deriva 50 haya sido cambiado.

Al ajustar el campo de deriva entre el electrodo de deriva 50 y los conjuntos multiplicadores de electrones 10, 10', se puede detectar selectivamente Rn solo o la progenie Rn<sup>+</sup>. En un campo eléctrico débil solo se detectan partículas alfa de Rn, mientras que en campos más fuertes se detectan tanto partículas alfa de Rn como de su progenie.

La invención presente permite proporcionar un detector de Rn robusto y económico. El radón se conoce como un posible precursor de terremotos y, por tanto, la invención puede ser empleada en una red de detectores que pueden ser instalados en pozos y operar en modo de en línea para una predicción de terremotos más fiable.

Otras aplicaciones de la invención, tanto la configuración del detector cerrado como la configuración al aire libre, residen en la detección de partículas cargadas por medio de su espectro de centelleo de UV. Se sabe que las partículas cargadas, incluidas las partículas alfa, producen luz de centelleo de UV en varios medios diferentes, incluidos aire, gases nobles y líquidos nobles. Dado que el detector de la invención presente es insensible a la luz visible, pero es muy sensible dentro de la región del UV, puede ser empleado en la detección de partículas cargadas, incluidas las partículas alfa. Las ventajas particulares que distinguen la invención respecto a los diseños convencionales son una alta eficiencia en la región del UV y la insensibilidad a la luz visible, así como a la insensibilidad a los campos magnéticos.

Las realizaciones descritas anteriormente y las Figuras adjuntas han servido simplemente para ilustrar la invención y las numerosas ventajas que ésta conlleva, pero no debe entenderse que implican ninguna limitación. El alcance de la invención debe ser determinado únicamente por las reivindicaciones adjuntas.



**Signos de referencia**

	10, 10'	ensamblaje multiplicador de electrones
	12, 12'	primera capa de electrodo/capa de cátodo
	14, 14'	segunda capa de electrodo/capa de ánodo
5	16, 16'	orificios pasantes de la primera capa de electrodo 12
	18, 18'	orificios pasantes de la segunda capa de electrodo 14
	20, 20'	primeros medios de polarización
	22, 22'	segundos medios de polarización
	24	elementos de separación
10	26	almohadillas dieléctricas protectoras
	28	ranura rectangular en el elemento de separación 24
	30	extremo superior del elemento de separación 24
	32	extremo inferior del elemento de separación 24
	34	revestimiento de protección del elemento de separación 24
15	36, 36'	primera capa dieléctrica
	38, 38'	segunda capa dieléctrica
	40a, 40b, 40c	subplacas de la capa de cátodo
	42a, 42b	Bandas resistivas
	44	bandas de lectura
20	46	lámina de placa de circuito impreso multicapa
	48, 48'	detector de partículas en avalancha
	50	electrodo de deriva
	52	cámara de detección
	54	electrónica de lectura
25	56	medios de polarización de deriva
	58	pared de la cámara
	60	ventana transparente a los rayos UV
	62	zona de monitorización de humo
	64a, 64b, 64c	fuentes de UV de impulsos
30	66	bolsa de humo
	68	señal de alarma
	70	impulsos de UV
	72	impulsos de UV atenuados
	74	señales generadas por llamas
35	76	fuentes de UV
	78	mallado de blindaje

## ES 2 751 332 T3

	100	detector GEM convencional
	110	electrodo GEM
	112	electrodo de deriva
	114	electrodo colector
5	116	almohadilla de lectura
	118	lámina aislante dieléctrica
	120	capa de cátodo
	122	capa de ánodo
	124	orificio pasante

REIVINDICACIONES

1. Un conjunto multiplicador de electrones (10, 10') para usar en un detector multiplicador de electrones de gas, comprendiendo:
- 5 una primera placa de electrodo, comprendiendo dicha primera placa de electrodo una primera capa de electrodo (12, 12') y una primera pluralidad de orificios pasantes (16, 16') que se extiende a través de dicha primera placa de electrodo; y
- 10 una segunda placa de electrodo, comprendiendo dicha segunda placa de electrodo una segunda capa de electrodo (14, 14') y una segunda pluralidad de orificios pasantes (18, 18') que se extiende a través de dicha segunda placa de electrodo, en donde dicha segunda pluralidad de orificios pasantes (18, 18') está alineada con dicha primera pluralidad de orificios pasantes (16, 16');
- 15 en donde un entrehierro (G) se extiende entre dicha primera placa de electrodo y dicha segunda placa de electrodo, y en donde el conjunto multiplicador de electrones **se caracteriza por que** en una región de dicho entrehierro (G) dicha primera placa de electrodo está apoyada sobre dicha segunda placa de electrodo únicamente por medio de una pluralidad de elementos de separación (24), en donde al menos parte de dichos elementos de separación (24)
- 20 comprenden una ranura dirigida hacia el interior (28) formada en una superficie lateral de dichos elementos de separación (24).
2. El conjunto multiplicador de electrones (10, 10') según la reivindicación 1, en donde el número de elementos de separación (24) es al menos 10 veces menor, y de preferencia al menos 50 veces menor que el número de orificios pasantes (16, 16') de dicha primera placa de electrodo o que el número de orificios pasantes (18, 18') de dicha segunda placa de electrodo.
3. El conjunto multiplicador de electrones (10, 10') según la reivindicación 1 o 2, en donde la profundidad de dicha ranura (28) es al menos 1/10 de la altura de dicho elemento de separación (24), de preferencia al menos 1/5 de una altura de dicho elemento de separación (24).
4. El conjunto multiplicador de electrones (10, 10') según una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en donde dicha ranura es una ranura rectangular (28).
5. El conjunto multiplicador de electrones (10, 10') según una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en donde dicha primera capa de electrodo (12, 12') y/o dicha segunda capa de electrodo (14, 14') comprende un material resistivo.
6. El conjunto multiplicador de electrones (10, 10') según una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en donde dicha primera placa de electrodo y/o dicha segunda placa de electrodo comprenden una pluralidad de elementos de almohadilla (26), en donde dichos elementos de almohadilla (26) comprenden cada uno un material dieléctrico y subyacentes a un elemento de separación (24).
7. El conjunto multiplicador de electrones (10, 10') según una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en donde dicha primera placa de electrodo y dicha segunda placa de electrodo están separadas por una distancia (t) que equivale a no más de 2 veces un diámetro de dichos orificios pasantes (16, 16'; 18, 18') de dicha primera placa de electrodo o de dicha segunda placa de electrodo, y de preferencia no más de 1,5 veces dicho diámetro, y/o en donde dicha primera placa de electrodo y dicha segunda placa de electrodo están separadas por una distancia (t) que equivale al menos a 0,5 veces un diámetro de dichos orificios pasantes (16, 16'; 18, 18') de dicha primera placa de electrodo o de dicha segunda placa de electrodo, y de preferencia al menos 0,7 veces dicho diámetro y de preferencia
- 40 en donde un diámetro de dichos orificios pasantes (16, 16'; 18, 18') de dicha primera placa de electrodo y/o de dicha segunda placa de electrodo está comprendido entre 0,3 mm y 1 mm.
8. El conjunto multiplicador de electrones (10, 10') según una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, comprendiendo primeros medios de polarización (20, 20') acoplados a dicha primera capa de electrodo (12, 12') y adaptados para elevar dicha primera capa de electrodo (12, 12') a un primer potencial ( $V_1$ ,  $V'_1$ ) y comprendiendo además segundos medios de polarización (22, 22') acoplados a dicha segunda capa de electrodo (14, 14') y adaptados para elevar dicha segunda capa de electrodo (14, 14') a un segundo potencial ( $V_2$ ,  $V'_2$ ) mayor que dicho primer potencial ( $V_1$ ,  $V'_1$ ).
9. Un detector de partículas en avalancha (48, 48'), comprendiendo:
- 50 una cámara de detección (52);
- un electrodo de deriva (50) dispuesto en dicha cámara de detección (52);
- un electrodo colector dispuesto en dicha cámara de detección (52), en donde dicho electrodo colector está separado de dicho electrodo de deriva (50);

al menos un conjunto multiplicador de electrones (10, 10') según una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en donde dicho conjunto multiplicador de electrones (10, 10') está dispuesto en dicha cámara de detección (52) entre dicho electrodo de deriva (50) y dicho electrodo colector.

- 5 10. El detector de partículas en avalancha (48, 48') según la reivindicación 9, comprendiendo una pluralidad de conjuntos multiplicadores de electrones (10, 10') apilados entre dicho electrodo de deriva (50) y dicho electrodo colector, en donde cada conjunto multiplicador de electrones (10, 10') es un conjunto según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 17, y en donde los conjuntos de multiplicadores de electrones cercanos (10, 10') están dispuestos en dicha cámara de detección (52) de tal manera que sus orificios pasantes (16, 16'; 18, 18') están mutuamente alineados.
- 10 11. El detector de partículas en avalancha (48, 48') según la reivindicación 9 o 10, que comprende además medios de polarización de deriva (56) adaptados para elevar dicho electrodo de deriva (50) a un potencial de deriva ( $V_{dr}$ ), primeros medios de polarización (20, 20') acoplados a dicha primera capa de electrodo (12, 12') y adaptados para elevar dicha primera capa de electrodo (12, 12') a un primer potencial ( $V_1, V'_1$ ) mayor que dicho potencial de deriva ( $V_{dr}$ ), segundos medios de polarización (22, 22') acoplados a dicha segunda capa de electrodo (14) y adaptados para elevar dicha segunda capa de electrodo (14) a un segundo potencial ( $V_2, V'_2$ ) mayor que dicho primer potencial ( $V_1, V'_1$ ), y medios de polarización de captación adaptados para elevar dicho electrodo colector a un potencial de captación mayor que dicho segundo potencial ( $V_2, V'_2$ ).
- 15 12. El detector de partículas en avalancha (48, 48') según una cualquiera de las reivindicaciones 9 a 11, en donde dicha cámara de detección (52) comprende una pared de la cámara (58) adaptada para sellar dicha cámara de detección (52) contra un entorno exterior.
- 20 13. El detector de partículas en avalancha (48, 48') según la reivindicación 12, en donde dicha pared de la cámara (58) comprende una ventana (60) que es al menos parcialmente transparente a la luz ultravioleta.
14. Un método para multiplicar electrones en un entrehierro de amplificación (G), comprendiendo dicho método los pasos de:
- 25 disponer un conjunto multiplicador de electrones (10, 10') en una cámara de detección (52), siendo dicho conjunto multiplicador de electrones (10, 10') un conjunto según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8, en donde un espacio entre un primer orificio pasante (16, 16') formado en dicha primera placa de electrodo y un segundo orificio pasante (18, 18') alineado con dicho primer orificio pasante (16, 16') de dicha segunda placa de electrodo define un canal de amplificación en dicho entrehierro (G); y
- 30 elevar dicha primera capa de electrodo (12, 12') a un primer potencial ( $V_1, V'_1$ ), y elevar dicha segunda capa de electrodo (14, 14') a un segundo potencial ( $V_2, V'_2$ ) de manera que se forma un campo en dicho canal de amplificación.
15. Un método para detectar la luz ultravioleta, comprendiendo los pasos de:
- disponer un detector de partículas en avalancha (48, 48') según una cualquiera de las reivindicaciones 9 a 13, en donde dicha cámara de detección (52) está llena de un gas sensible a la luz ultravioleta;
- 35 captar una señal de carga de dicho electrodo colector y deducir de dicha señal de carga una presencia y/o cantidad de dicha luz ultravioleta incidente en dicha cámara de detección (52).

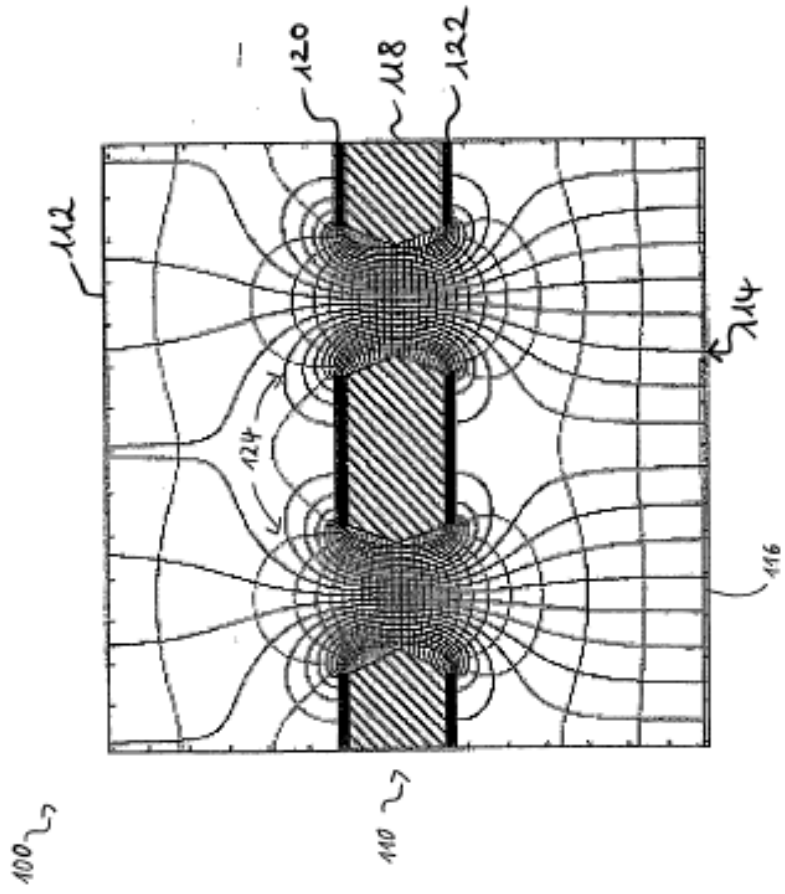


Fig. 1 (Técnica anterior)

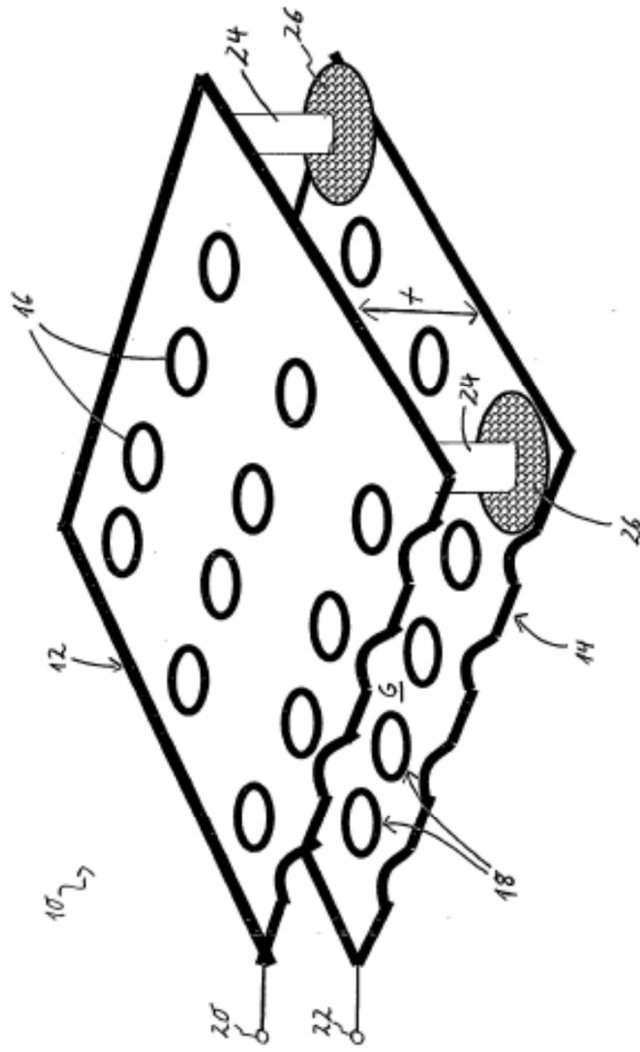


Fig. 2

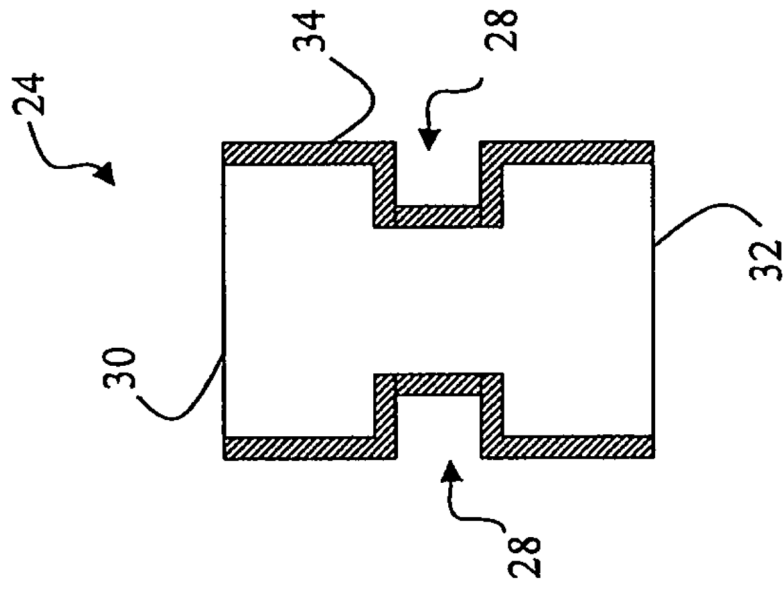


Fig. 3

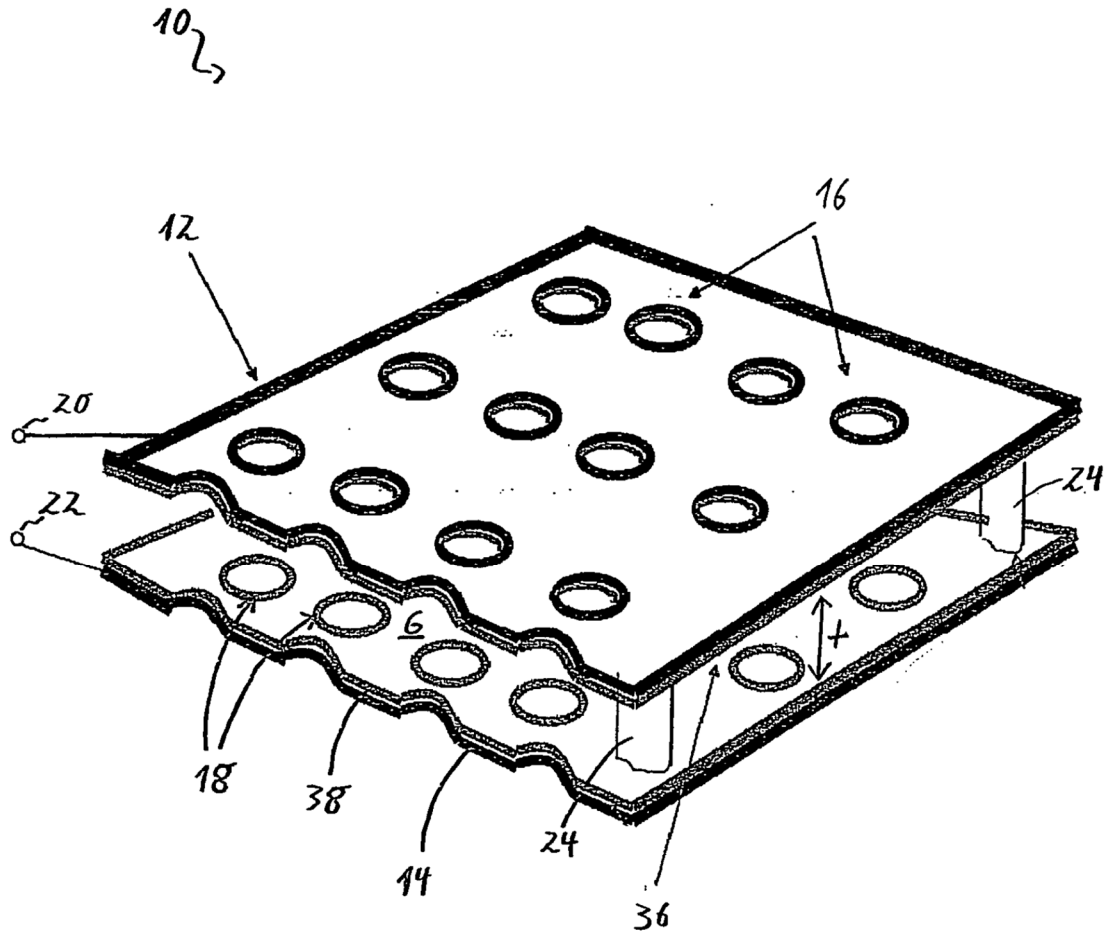


Fig. 4



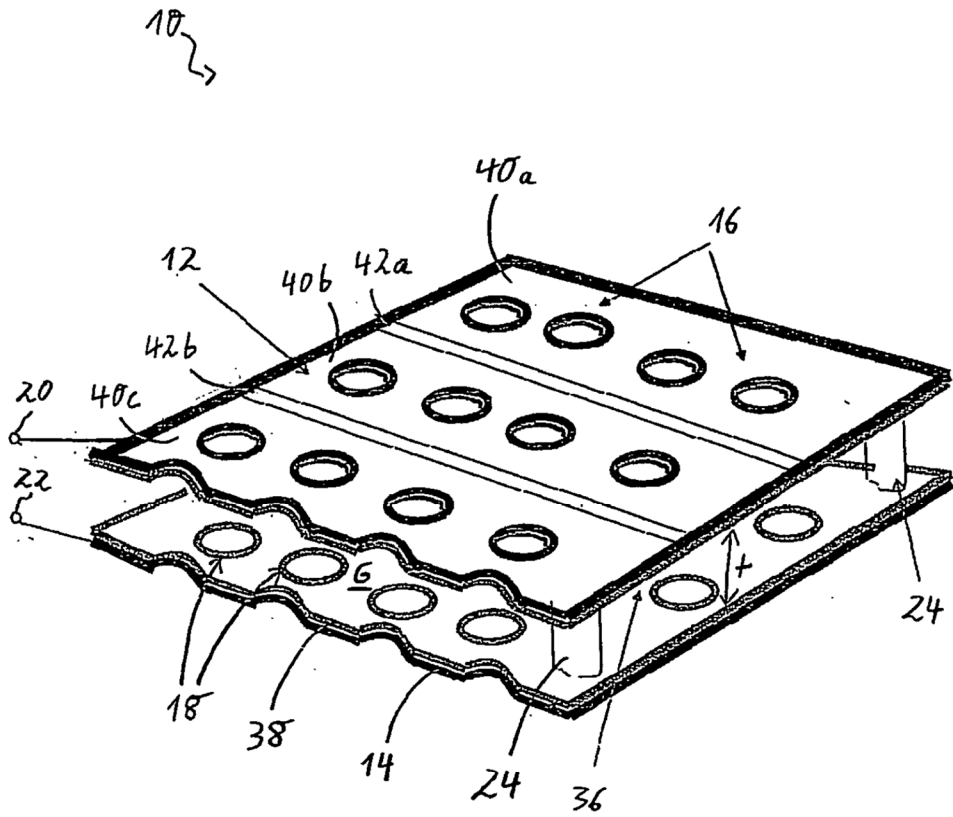


Fig. 5

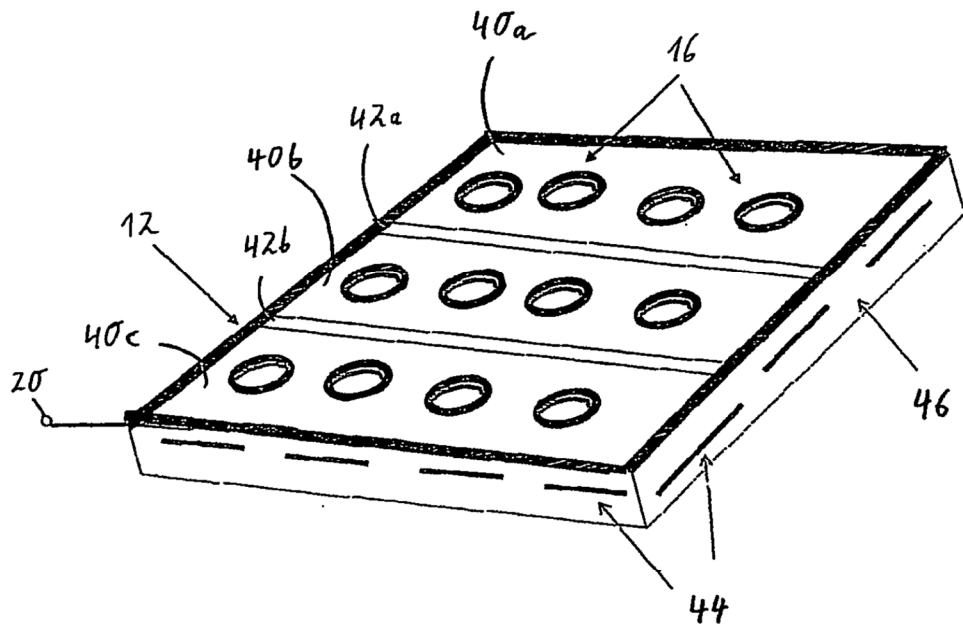


Fig. 6

Fig. 7a

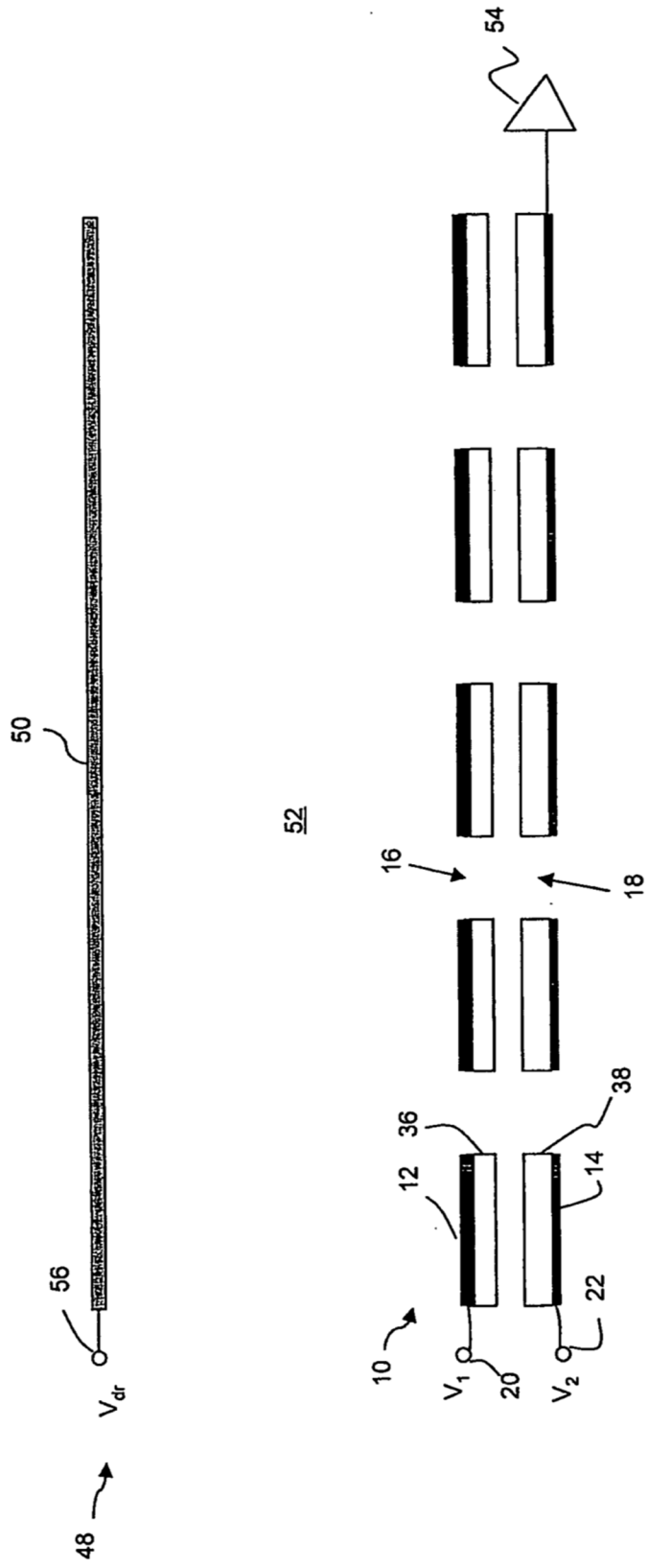
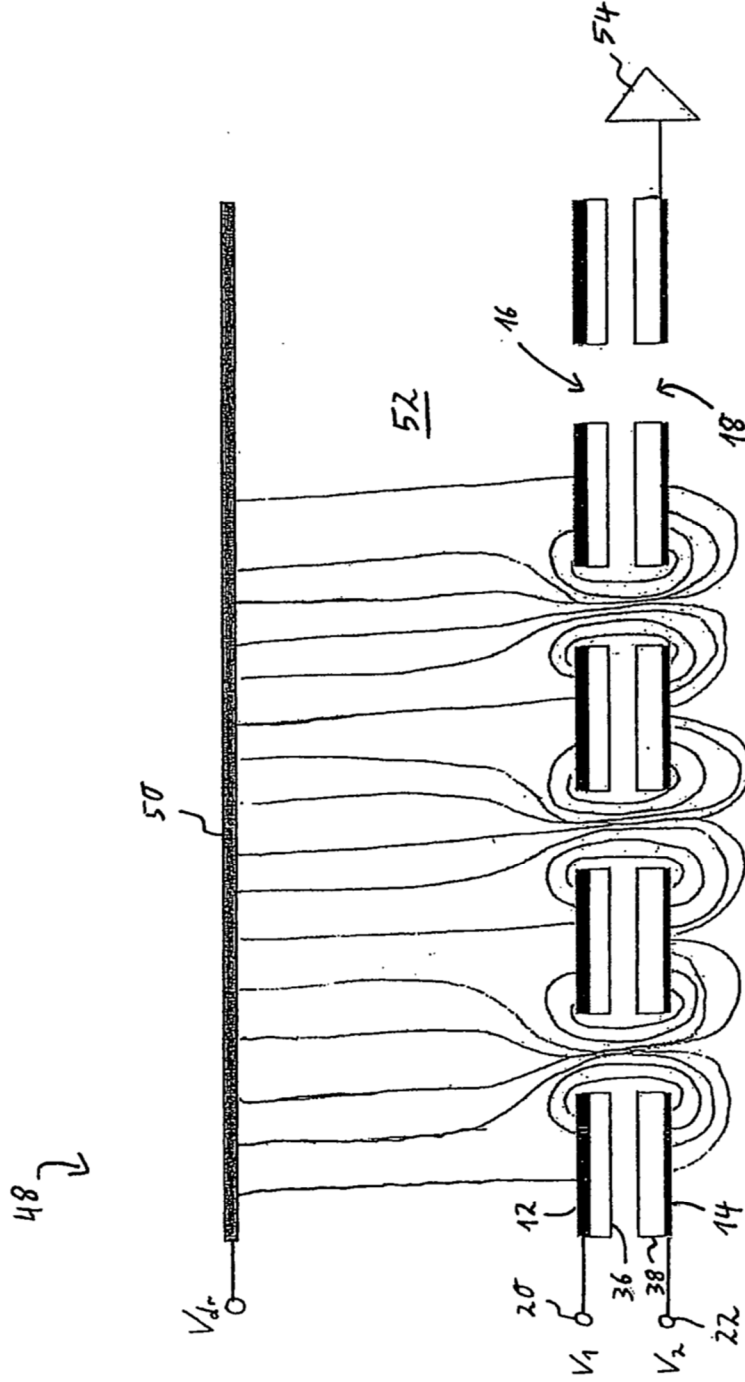


Fig. 7b



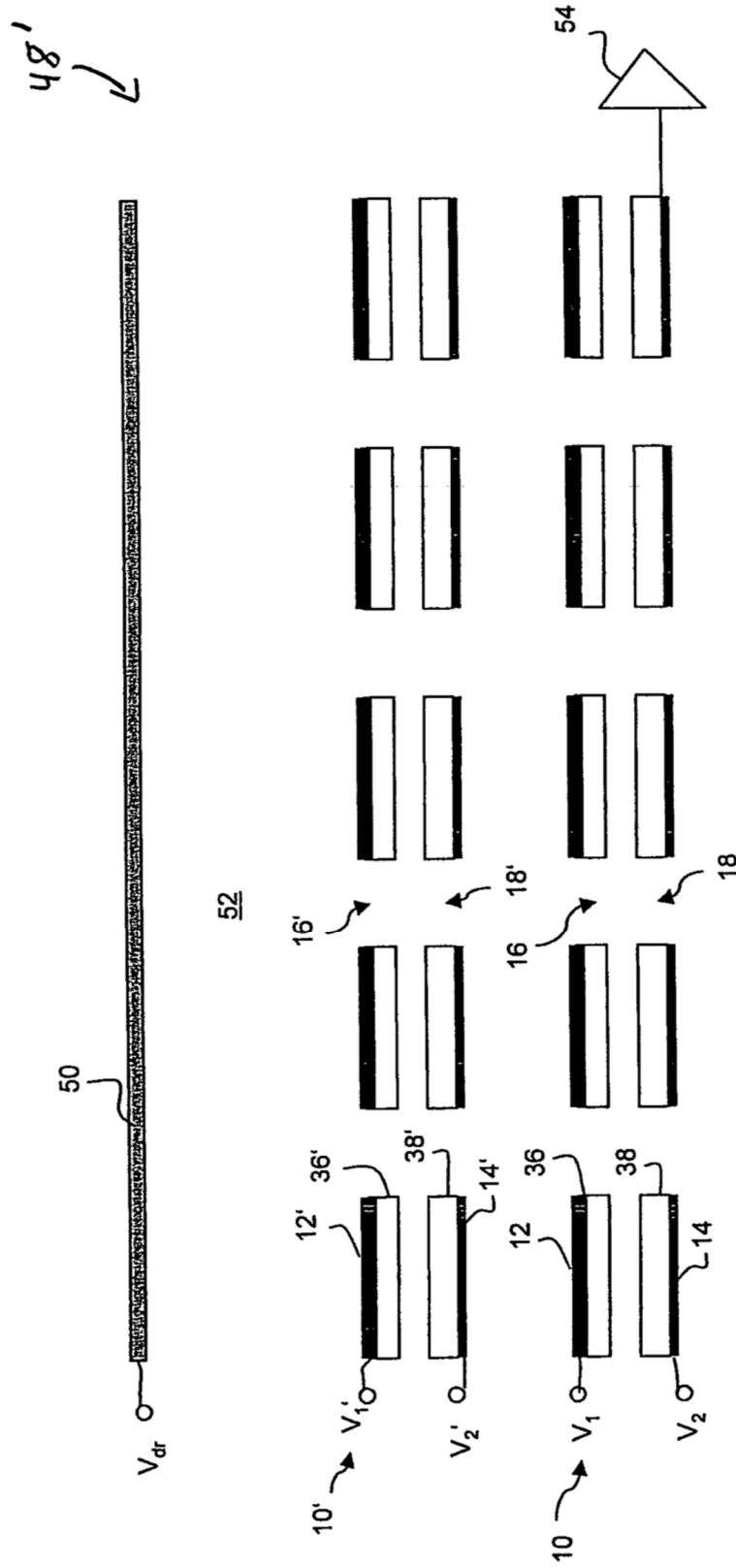


Fig. 8a

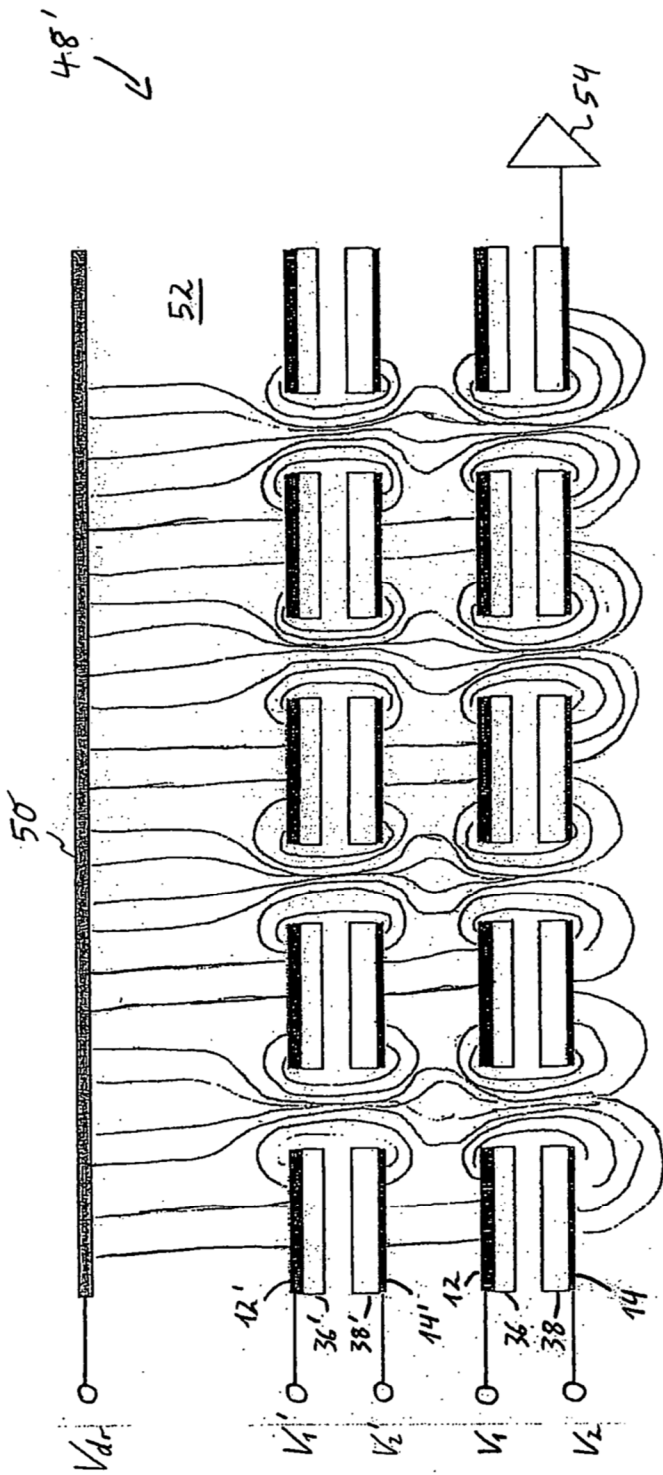
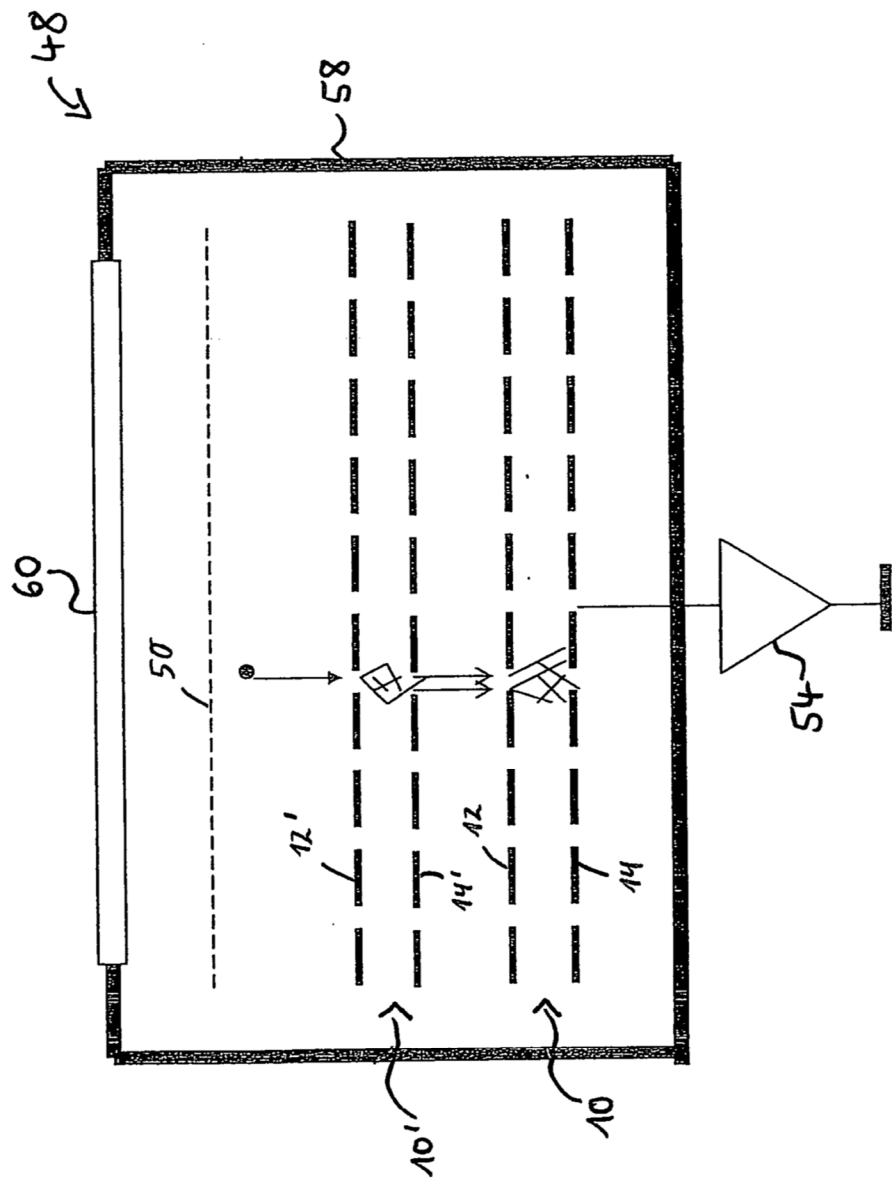


Fig. 8b

Fig. 9



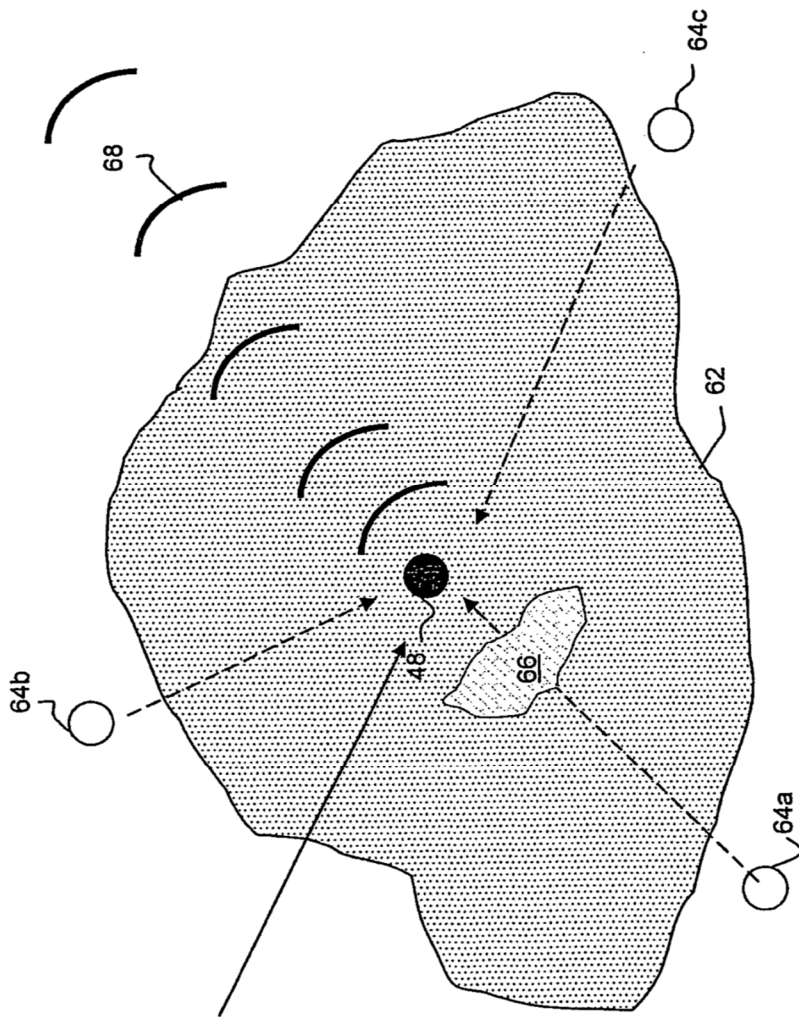
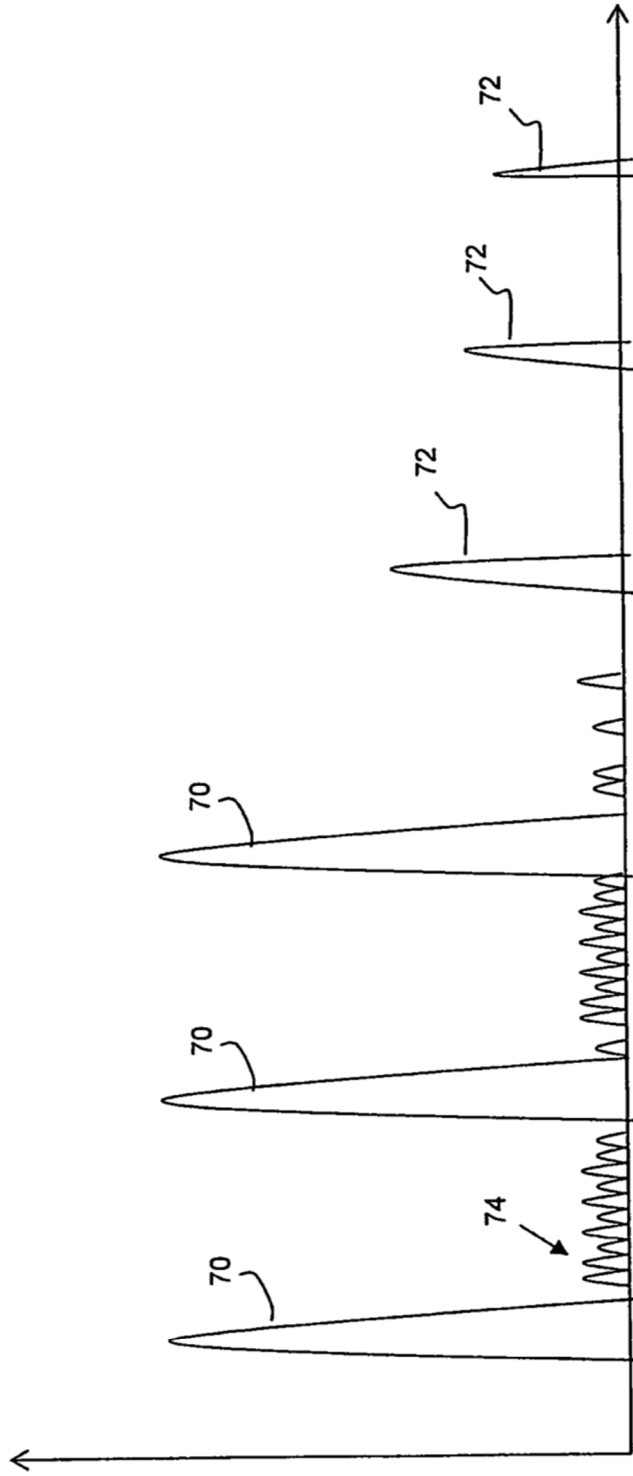


Fig. 10a



Fig. 10b



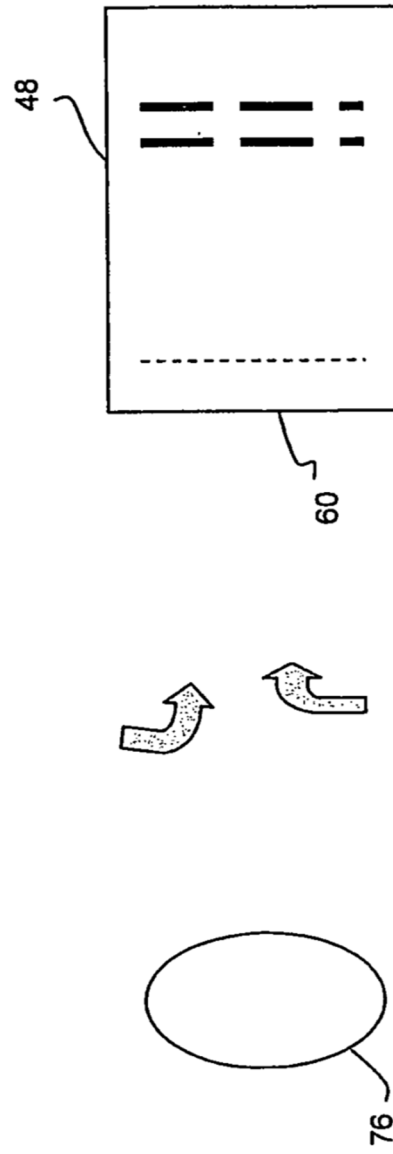
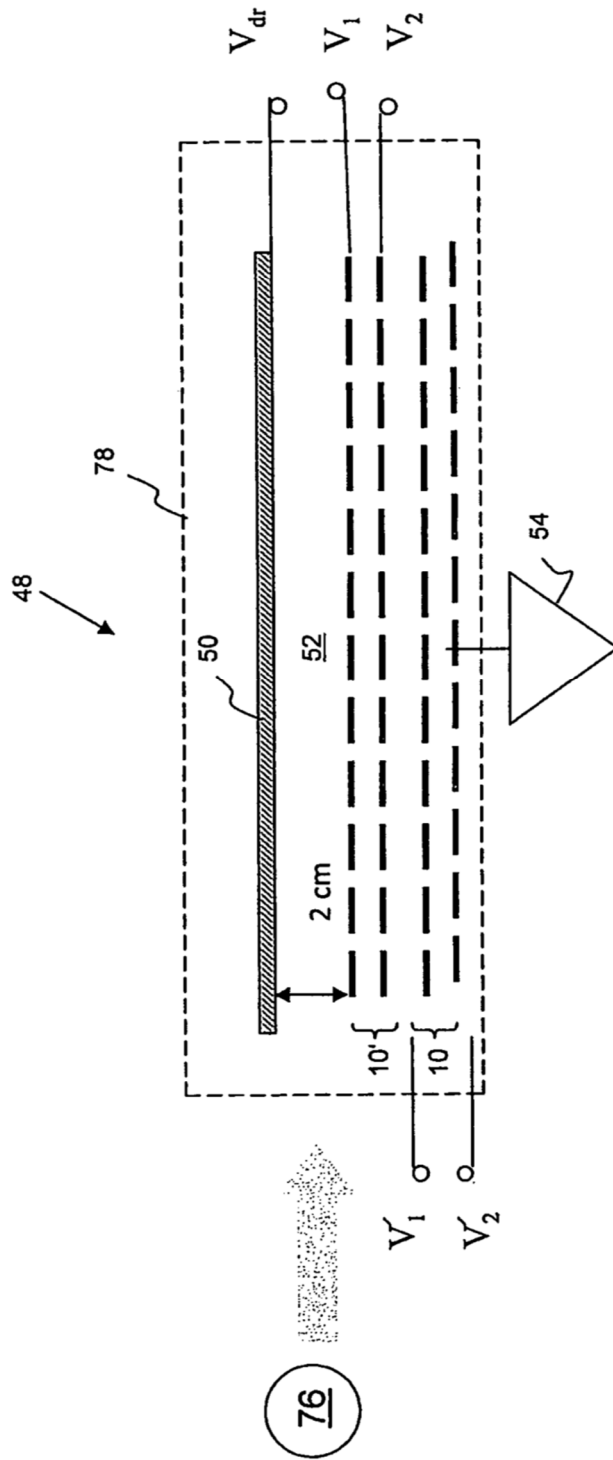


Fig. 11

Fig. 12



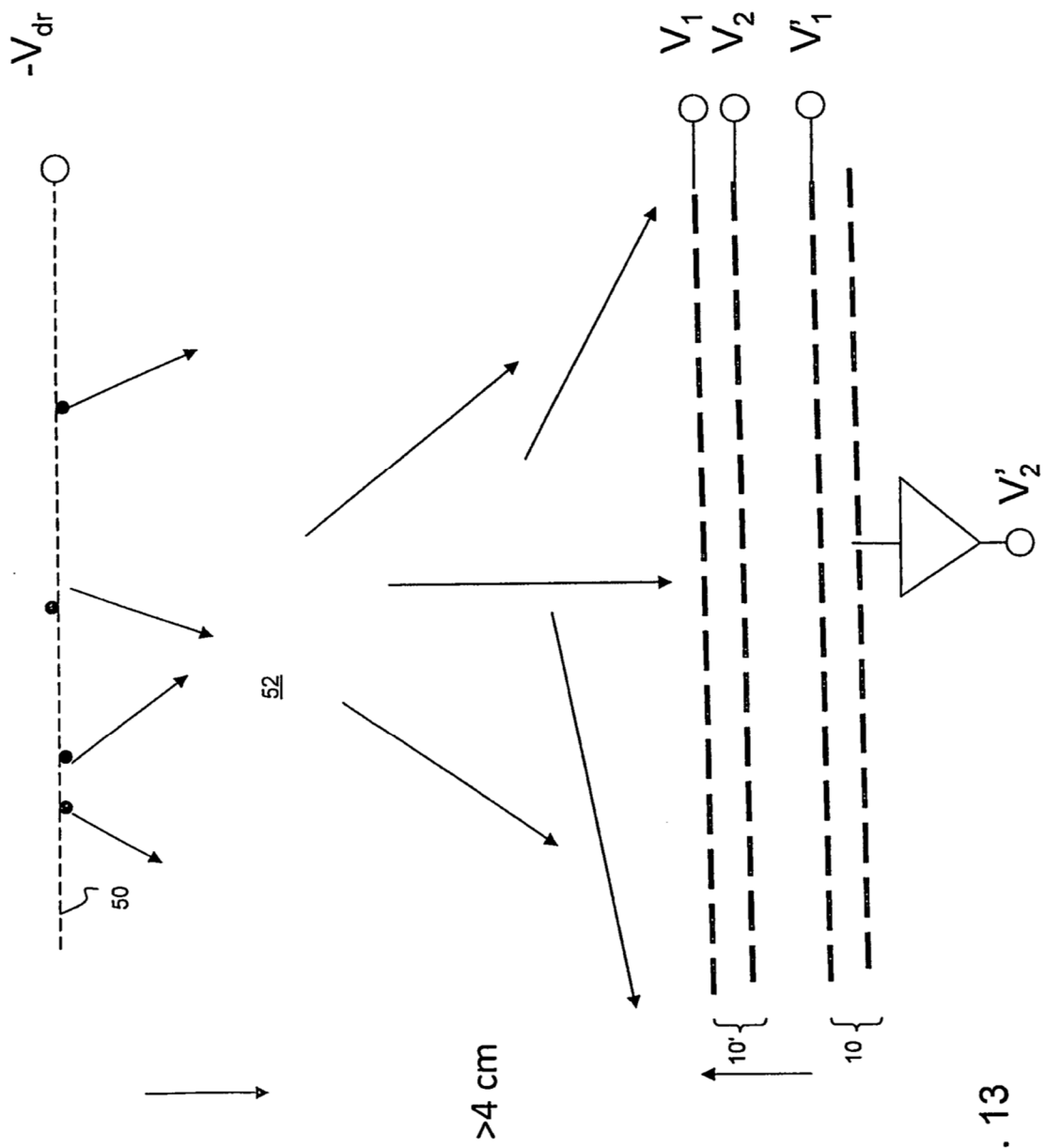


Fig. 13