

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 958 723**

21 Número de solicitud: 202230660

51 Int. Cl.:

G01T 1/24

(2006.01)

12

PATENTE DE INVENCION CON EXAMEN

B2

22 Fecha de presentación:

18.07.2022

43 Fecha de publicación de la solicitud:

13.02.2024

Fecha de concesión:

10.09.2024

45 Fecha de publicación de la concesión:

17.09.2024

73 Titular/es:

**CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES
CIENTÍFICAS (CSIC) (40.0%)**

C/ Serrano, 117

28006 Madrid (Madrid) ES;

UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE

COMPOSTELA (40.0%) y

ALIBAVA SYSTEMS, S.L. (20.0%)

72 Inventor/es:

LOZANO FANTOBA, Manuel;

FLETA CORRAL, María Celeste;

HIDALGO VILLENA, Salvador;

HERRANZ ÁLVAREZ, Juan Francisco;

VIZCAINO DE JULIÁN, Álvaro;

BENLLIURE ANAYA, José Fernando;

CORTINA GIL, María Dolores y

LLERENA CRISTOBO, Juan José

74 Agente/Representante:

PONS ARIÑO, Ángel

54 Título: **DISPOSITIVO Y PROCEDIMIENTO DE MONITORIZACIÓN DE RADÓN EN AIRE EN TIEMPO REAL**

57 Resumen:

Dispositivo y procedimiento de monitorización de radón en aire en tiempo real.

El dispositivo comprende una cámara de medida (1), en forma de cilindro hueco de material conductor, por la que circula una corriente de aire a monitorizar por difusión natural o forzada; un elemento sensor (2), con tres o más diodos (3) planares de semiconductor, dispuestos coplanares con el eje axial de la cámara de medida (1), en una sección de eje axial de forma poligonal; una primera fuente de polarización (41) que polariza la cámara de medida (1); una segunda fuente de polarización (42), que polariza el ánodo con respecto al cátodo; un amplificador de señal (5), un discriminador (6) y un procesador (7), sobre el que se implementa un procedimiento con modo de funcionamiento inmediato y/o continuo, que proporciona valores de la concentración de radón en tiempos de medida que oscilan entre 5 y 10 min.

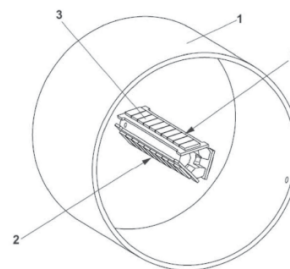


FIG. 5

Aviso: Se puede realizar consulta prevista por el art. 41 LP 24/2015.
Dentro de los seis meses siguientes a la publicación de la concesión en el Boletín Oficial de la Propiedad Industrial cualquier persona podrá oponerse a la concesión. La oposición deberá dirigirse a la OEPM en escrito motivado y previo pago de la tasa correspondiente (art. 43 LP 24/2015).

ES 2 958 723 B2

DESCRIPCIÓN**DISPOSITIVO Y PROCEDIMIENTO DE MONITORIZACIÓN DE RADÓN EN AIRE EN
TIEMPO REAL**

5

OBJETO DE LA INVENCION

10

La presente invención se enmarca en el campo técnico de los equipos de monitorización ambiental y medida de radiaciones utilizando dispositivos semiconductores. Se trata de un dispositivo y procedimiento de monitorización del radón en aire en tiempo real, con una geometría optimizada para maximizar la eficiencia con pequeñas superficies sensoras y bajas tensiones de polarización.

ANTECEDENTES DE LA INVENCION

15

20

El Radón (Símbolo = Rn; número atómico $Z=86$) es un gas radiactivo de origen natural. Es el gas monoatómico más pesado que existe en la naturaleza. Este gas es incoloro, inodoro e insípido, y al ser un gas noble, carece prácticamente de actividad química frente a otros elementos de la tabla periódica. Por su naturaleza gaseosa, se difunde fácilmente a través de diferentes medios, siendo su coeficiente de difusión para el aire de $D = 1 \times 10^{-1} \text{ cm}^2/\text{s}$ frente a $D = 1.13 \times 10^{-5} \text{ cm}^2/\text{s}$ para el agua, medio en el que además es soluble.

25

Se conocen tres isótopos naturales del radón: ^{222}Rn , ^{220}Rn y ^{219}Rn , denominados respectivamente radón, torón y actinón, por razones históricas. Los tres son radiactivos, lo que significa que se transforman en otros elementos emitiendo en ese proceso radiación ionizante. Cada uno de ellos forma parte de una cadena radiactiva natural diferente. Así, el ^{222}Rn es un eslabón de la cadena radiactiva del ^{238}U , el ^{220}Rn de la de ^{232}Th y el ^{219}Rn de la de ^{235}U . Estos isótopos del radón constituyen los únicos elementos gaseosos de sus respectivas cadenas radiactivas, lo que les confiere una movilidad extraordinaria y facilita su transferencia de la matriz tierra en la que se originan al aire.

30

35

El isótopo más estable del radón es el ^{222}Rn , con una vida media un poco inferior a cuatro días ($T_{1/2} = 3,82 \text{ días}$), y es el que genéricamente se denomina radón. El radón es hijo directo del ^{226}Ra a través de una desintegración α . Sus productos de desintegración forman una serie de radionucleidos, de vida media corta, que se desintegran en cuestión de horas a ^{210}Pb , el cual

tiene una vida media de veintidós años. Debido a sus cortas vidas medias, los hijos del radón se aproximan rápidamente al equilibrio con su padre.

El actinón (^{219}Rn), con un periodo de semidesintegración corto ($T_{1/2} = 3.96\text{s}$), presenta una limitada capacidad de migración. Este hecho, unido a la escasa abundancia isotópica de ^{235}U en el uranio natural (0,711%), hace que su presencia en la atmósfera sea despreciable. Por otra parte, el ^{232}Th es más abundante que el ^{238}U en la corteza terrestre, pero su probabilidad de desintegrarse es bastante menor, con lo que la cantidad de ^{222}Rn en el suelo será similar a la de ^{220}Rn . Pero el torón tiene una vida media apenas 55.6s, lo que limita su movilidad. Por lo tanto, en cualquier atmósfera, el isótopo dominante del radón será el ^{222}Rn .

Partiendo de la hipótesis que la concentración inicial de todos los hijos de un núcleo es nula, se puede determinar la concentración de cualquier núcleo de una cadena de desintegración a través de una serie de ecuaciones que se conocen como Ecuaciones de Bateman, según las cuales el ^{226}Ra necesita tan sólo unos treinta días para alcanzar el equilibrio secular con el ^{222}Rn , que a su vez emplea apenas 3,5 horas en alcanzarlo con sus hijos de periodo corto.

En condiciones normales, el ^{222}Rn constituye la mayor fuente de exposición a la radiación natural en humanos (50% del total de radiación natural recibida y el 43% de la dosis anual según Naciones Unidas).

La peligrosidad de la exposición a altas concentraciones de radón, no se le atribuye a este gas en sí, sino a su progenie, que son elementos emisores de partículas α en estado sólido, que se fijan al tejido pulmonar, radiándolo.

Los productos de desintegración del ^{222}Rn se pueden dividir en dos grupos: los de vida media corta, que incluye el ^{218}P , ^{214}Pb , ^{214}Bi y ^{214}Po , y los de vida media larga, entre los que están el ^{210}Po , ^{210}Pb y ^{210}Bi . Dado que el elemento de mayor vida media del primer grupo tiene una vida media de veintisiete minutos, toda la secuencia de desintegraciones se puede completar antes de que los diferentes mecanismos de regeneración presentes en el cuerpo humano los puedan eliminar.

Así, la energía cinética de las partículas alfa emitidas en estas desintegraciones se disipa en el seno de la materia celular, bien mediante la creación de iones y radicales libres, o bien rompiendo

directamente moléculas clave (como la de ADN), circunstancia que puede acarrear problemas graves de salud.

5 Por otra parte, el grupo de vida media larga contribuye poco a la exposición a la que se ven sometidos los pulmones, puesto que el primer nucleído, el ^{210}Pb , tiene una vida media de 22,3 años, con lo que tendrá una alta probabilidad de ser eliminado por el propio organismo antes de su desintegración.

10 La principal exposición al radón se produce por inhalación en recintos deficientemente ventilados. También puede asimilarse radón y sus descendientes, vía la ingestión del mismo, por ejemplo disuelto en agua (en balnearios e incluso edificios particulares, las concentraciones de este gas en ambos medios están relacionadas entre sí).

15 Hasta hace unos años el término protección radiológica se restringía a la radiactividad artificial, resultado de la manipulación del núcleo atómico por el ser humano. Los niveles de radiación en un lugar concreto se referían a niveles por encima del fondo natural de ese mismo lugar. Actualmente, esta concepción ha cambiado, y el problema de salud pública que genera la concentración de radón y sus descendientes particularmente en el interior de las viviendas, ha hecho tomar conciencia de que lo que hasta ahora se consideraba un fondo despreciable.

20 Desde hace décadas la OMS (Organización Mundial de la Salud) alerta ante los riesgos que entraña la exposición residencial de este gas. El radón se identifica como la segunda causa responsable del cáncer de pulmón, después del tabaquismo.

25 La mayoría de las mediciones de concentraciones de gas radón en interiores se realiza con sensores pasivos (detectores de trazas, electretes o cajas de carbono activo). En estos casos los sensores se exponen durante un intervalo de tiempo que puede variar desde dos días a un año en el volumen que se quiere estudiar (p. ej. una estancia en un edificio). Tras la exposición, el sensor se recupera, se analiza en un laboratorio especializado y se obtienen las
30 concentraciones de radón correspondientes. Se trata de medidas integradas, útiles de cara a evaluar la dosis promedio a las que ha estado expuesta la población. Este proceso impide obviamente la posibilidad de ejecutar acciones de remedio con carácter inmediato.

35 El empleo de monitores de radón en continuo es mucho más atractivo, ya que permiten la obtención de concentraciones de radón in situ, pero el precio asociado a los equipos o la relativa baja eficiencia de detección que poseen son algunas de las razones que explican su uso

minoritario. Entre los sensores activos más utilizados distinguimos dos técnicas de detección: cámaras de ionización y sensores semiconductores.

5 Los sensores activos que incluyen cámaras de ionización recogen una señal procedente de la ionización de un gas (volumen activo del detector) formada al paso por este de radiación ionizante (desintegración alfa del radón y sus descendientes). Las cámaras pueden trabajar en modo difusión o en modo de paso de aire forzado, lo que aumenta la velocidad de respuesta en un factor importante.

10 Estos dispositivos se pueden encontrar comercialmente y proporcionan resultados muy valiosos, ya que son sistemas con una gran eficiencia de detección, y presentan un rango de actividades de radón detectables muy alto. Como contrapartida, son equipos muy caros y que necesitan una recalibración externa periódica. Están, por lo tanto, pensados para su empleo en laboratorios y se aconseja que su manejo lo realice personal especializado.

15 El empleo de sensores de semiconductores para detección de radón está mucho menos extendido y es habitual en sensores de bajo coste y baja eficiencia para su uso doméstico. Estos sensores son sensibles igualmente a la radiación alfa del radón y de sus descendientes.

20 Estos sensores son diodos planares de silicio de geometría cuadrada o circular que se sitúan en el fondo de una cámara de detección. Esta cámara de detección tiene una polarización elevada (en torno a 400V) respecto al diodo para atraer los iones radioactivos a la superficie del mismo, y permitir la detección de la desintegración alfa. La cámara puede tener forma de prisma recto o de cilindro.

25 Esta geometría no es óptima, ya que el campo eléctrico no es uniforme, existen zonas de muy bajo campo, no hay simetría en la disposición del diodo y la atracción de iones y posterior detección no es la misma en todo el volumen.

30 Esto, junto con el reducido tamaño de estos detectores comerciales y con el límite impuesto por sus geometrías esencialmente circulares o cuadradas, hace que la eficiencia de detección sea pequeña.

35 Además, debido a la naturaleza de las partículas alfa (y a las energías típicas con que se producen en el caso de esta cadena de desintegración radiactiva) solo son sensibles a la

detección de partículas cuya desintegración se produce a distancias menores a 1 cm del material semiconductor.

Es posible también encontrar en la literatura referencias a su empleo en detección de radón en suelos. En estos equipos se utilizan detectores de silicio comerciales cuya geometría viene fijada por el fabricante, por lo que no está optimizada para esta aplicación. Por otra parte, su coste no es despreciable.

DESCRIPCIÓN DE LA INVENCION

En la presente invención se describe un dispositivo y procedimiento de monitorización de radón y sus descendientes en aire en tiempo real, que comprende una nueva geometría de sensor de silicio y de cámara de detección polarizada, que soluciona los problemas mencionados anteriormente, permite tensiones de polarización menores, aumenta la eficiencia y no encarece el coste.

Como se ha explicado anteriormente, la peligrosidad de la exposición a altas concentraciones de radón no se le atribuye a este gas en sí, sino a su progenie, que son elementos emisores de partículas α en estado sólido, que se fijan al tejido pulmonar, radiándolo.

Para poder detectar estas partículas, se presenta el dispositivo de la invención, que comprende los elementos convencionales de un detector de radón de semiconductor, de medida en continuo, con significativas mejoras en su geometría.

En primer lugar, el dispositivo comprende una cámara de medida en forma de cilindro hueco, siendo el cilindro de un material conductor, por cuyo interior circula aire que se quiere analizar en busca de radón.

En segundo lugar, el dispositivo comprende un elemento sensor, que comprende a su vez unos diodos planares de un material semiconductor con un ánodo y un cátodo, estando los diodos planares situados en el eje axial de la cámara de medida. La sección de eje axial sobre la que se disponen los diodos es poligonal, y el número de lados mínimo es de tres. De esta forma, la distancia de la superficie sensible de los diodos y la pared conductora de la cámara de medida es aproximadamente constante, igual al radio del cilindro.

La cámara de medida se conecta a una primera fuente de polarización, que la polariza con una tensión positiva con respecto al ánodo de los diodos, de forma que los iones positivos se mueven hacia estos últimos. Con respecto a la configuración convencional de los detectores de radón del estado de la técnica, esta geometría permite tener un campo mucho más uniforme y utilizar una
5 tensión de polarización bastante menor.

Además, los diodos se conectan a una segunda fuente de polarización, que polariza el ánodo respecto al cátodo.

Los diodos se conectan en paralelo y sus salidas se llevan a un amplificador de señal, que emite pulsos cada vez que se produce una desintegración en la proximidad del diodo y la partícula alfa emitida impacta en el mismo. Este pulso de salida se lleva a un discriminador que, en función de la energía, emite una señal digital indicando que se ha producido una desintegración.

Es posible unir todos los diodos en un mismo amplificador de señal o utilizar diferentes canales, para minimizar el ruido eléctrico captado por el amplificador. En el caso de disponer de varios canales, las salidas analógicas o digitales han de sumarse en una única salida.

El discriminador de señal puede ser de un único nivel, o disponer de diferentes niveles de energía, de forma que se puede discriminar el tipo de isótopo que ha producido la desintegración, aumentando la precisión de la conversión de tasa de desintegraciones en concentración.

Finalmente, el dispositivo comprende un procesador, configurado para convertir la cuenta de pulsos que emite el discriminador en concentración de radón mediante un procedimiento de decisión rápida que aprovecha tanto la desintegración alfa del isótopo de vida media corta ^{218}Po , como la desintegración alfa del isótopo de vida media más larga ^{214}Po .

El procedimiento, ejecutado en el procesador para determinar la concentración de radón, se basa tanto en la separación que hace el discriminador de partículas alfa emitidas por los descendientes del radón y del torón, como en la identificación de las dos partículas alfa que emiten los descendientes del radón (Polonio 218 y Polonio 214).

Por lo tanto, en una primera etapa del procedimiento, se recogen las señales generadas en el discriminador, separando las generadas por las partículas alfa emitidas por los descendientes del torón y las emitidas por los descendientes del radón (Polonio 218 y Polonio 214).

Una vez obtenidos los datos, el procedimiento comprende dos segundas etapas alternativas. En una primera alternativa, se utiliza un modo de funcionamiento inmediato, que consiste en la medida de la variación temporal del conteo de pulsos generados por las partículas alfa emitidas por el Polonio 218 para determinar la concentración del Radón en el aire.

5

En una segunda alternativa, se utiliza un modo de funcionamiento continuo, en el que se espera hasta alcanzar el equilibrio secular entre ^{222}Rn , ^{218}Po y ^{214}Po , para después determinar la concentración de Radón en el aire en función de los pulsos generados por estas partículas.

10

Tanto en el modo de funcionamiento inmediato como en el modo de funcionamiento continuo, el procesado de las señales de interés y cuenta de pulsos puede realizarse durante un periodo de tiempo ajustable de manera dinámica.

15

Adicionalmente, el dispositivo puede comprender un módulo de ventilación forzada, vinculado a la cámara de medida, que permite maximizar la cantidad de aire muestreado por unidad de tiempo, aumentando el tiempo de respuesta ante variaciones rápidas en la concentración de gas radón.

DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

20

Para complementar la descripción que se está realizando y con objeto de ayudar a una mejor comprensión de las características de la invención, de acuerdo con un ejemplo preferente de realización práctica de la misma, se acompaña como parte integrante de dicha descripción, un juego de dibujos en donde con carácter ilustrativo y no limitativo, se ha representado lo siguiente:

25

Figura 1.- Muestra una sección de la cámara de medida con los diodos del elemento sensor configurados en distintas geometrías (triangular, cuadrada y hexagonal).

30

Figura 2.- Muestra la estructura interna de un diodo planar de semiconductor, en el eje axial rodeado por la cámara de medida.

Figura 3.- Muestra una sección de la cámara de medida con el módulo de ventilación forzada.

35

Figura 4.- Muestra una gráfica con la energía de las partículas alfa generadas en las desintegraciones del Polonio 218 y Polonio 214.

Figura 5.- Muestra una sección de la cámara de medida con los concentradores de campo.

REALIZACIÓN PREFERENTE DE LA INVENCION

5 Se describe a continuación, con ayuda de las figuras 1 a 5, una realización preferente del dispositivo y procedimiento de monitorización de radón en aire en tiempo real, objeto de la presente invención.

10 El dispositivo, que se muestra en detalle en la figura 3, comprende una cámara de medida (1), en forma de cilindro hueco de un material conductor, de forma que el aire que se quiere analizar en busca de radón circula por un espacio interior de la cámara de medida (1). En una realización de la invención, la cámara de medida (1) es un cilindro metálico de aluminio de 8 cm de diámetro y una longitud de 10 cm.

15 Dispuesto en el hueco interior de la cámara de medida (1), el dispositivo comprende un elemento sensor (2), que comprende a su vez unos diodos (3) planares de semiconductor. Como se muestra en la sección de la figura 1, los diodos (3) se disponen coplanares con en el eje axial de la cámara de medida (1). Concretamente, los diodos (3) se posicionan sobre una sección de eje axial poligonal, con un mínimo de tres lados. En la figura 1 se muestran tres realizaciones
20 posibles de dicha sección: triangular, cuadrada y hexagonal.

Preferentemente, los diodos (3) del elemento sensor (2) serán diodos fabricados en silicio mediante un proceso convencional, que comprende las etapas de:

- disposición de una oblea de silicio tipo N,
- 25 - oxidación de la superficie,
- apertura de aberturas en la cara superior mediante una fotolitografía y eliminación del óxido de la cara posterior,
- implantación de impurezas tipo P en la cara superior, a través de la abertura y de tipo N en la cara posterior,
- 30 - metalización de las caras superior e inferior,
- fotolitografía del metal en la cara superior,
- depósito de una capa de pasivación en la cara superior,
- apertura de ventanas en la capa de pasivación, y
- corte de los diodos (3) individuales.

35

En un aspecto de la invención, el elemento sensor (2) comprende diodos de tipo “P sobre N” tipo PiN, con un diseño cuadrado, un área activa de 0.25cm^2 (rodeada por un anillo de extracción) y una capa de metal que cubre completamente la difusión de ánodo, con una capa de detección tipo P muy superficial y baja corriente de fuga en inversa.

5

El tamaño se elige para que los diodos (3) sean lo bastante grandes para tener una sensibilidad individual aceptable, pero al mismo tiempo puedan formar parte de una estructura modular con flexibilidad de diseño para aumentar dicha sensibilidad.

10 Para fabricar los diodos (3) se usa obleas de silicio tipo n de alta resistividad y 285 micras de espesor. El proceso tecnológico consta de 47 etapas de fabricación y 4 niveles fotolitográficos.

La forma óptima de distribuir estos diodos (3) es en tres placas lineales unidas formando una estructura de prisma triangular, como se muestra en la primera realización (izquierda) de la figura 1, rodeadas por la cámara de medida (1). Los diodos (3) están conectados en paralelo de manera que es posible desconectar cada uno de ellos individualmente si hay algún fallo de funcionamiento sin que esto afecte a la funcionalidad de los otros.

15

La zona ocupada por los diodos (3) idealmente debería ser cilíndrica, pero en la práctica se aproxima por un prisma de sección triangular. En esta disposición hay zonas en los vértices que no son sensibles a los iones. Para minimizar el número de iones que lleguen a estas zonas “ciegas” el dispositivo incorpora unos concentradores de campo (9), que pueden ser unas barras metálicas, tal como se muestra en la figura 5.

20

Como aparece en detalle en la figura 2, se conecta una primera fuente de polarización (41) de 200V, entre la cámara de medida (1) y el ánodo de los diodos (3), que polariza la cámara de medida (1) con una tensión positiva con respecto al ánodo de los diodos (3), de forma que los iones positivos de la corriente de aire a analizar se mueven hacia estos últimos. Además, una segunda fuente de polarización (42) de 20V se conecta entre el ánodo y el cátodo de los diodos (3), que polariza el ánodo con respecto al cátodo.

30

Los diodos (3) se conectan en paralelo y sus salidas (ánodo y cátodo) se llevan a un amplificador de señal (5), representado en la figura 2. Cuando las partículas alfa generadas por los descendientes del radón en la proximidad de los diodos (3) impactan sobre estos, se emiten unos pulsos que pasan al amplificador de señal (5). Este genera un pulso de salida amplificado,

35

consistente en una señal gaussiana de 2 μ s de tiempo por cada partícula alfa detectada. El área de la gaussiana depende de la energía de la partícula detectada.

En resumen, la salida eléctrica de los diodos (3) toma la forma de pequeños pulsos de corriente cuya intensidad es proporcional a la energía depositada por la partícula dentro del volumen activo del diodo (3).

Esta señal amplificada se lleva a un discriminador (6) de tensión que, en función de la energía, emite una señal digital indicando que se ha producido una desintegración. El discriminador (6) permite seleccionar solamente las cuentas del espectro con las energías de interés correspondientes a las desintegraciones alfa del Polonio 218 y Polonio 214 y no otras contribuciones como el ruido electrónico.

El amplificador de señal (5) y el discriminador (6) se ocupan, por tanto, de convertir las señales de corriente a tensión, amplificarlas, y acondicionarlas para que sean eléctricamente compatibles con los niveles de funcionamiento de un contador de pulsos. La señal de salida del discriminador (6) será una señal analógica equivalente a la integración en energía de la zona del espectro alfa de interés. Esta señal se convertirá a unidades de actividad de gas radón.

En la Figura 4 se muestra el espectro de energía de las partículas alfas emitidas por la progenie de los principales isótopos de radón presentes en el aire (Rn 222 - radón, Rn 220 - torón). El discriminador (6) permitirá identificar los diferentes pulsos de corriente enviados por los diodos (3) asociados a cada una de las desintegraciones alfa que se muestran en la figura. Esta discriminación permitirá identificar posibles interferencias así como optimizar el procedimiento de determinación de concentración de radón, detallado a continuación.

Cada señal detectada dentro de los límites de interés genera un pulso con la duración suficiente como para poder ser muestreado por un procesador (7) que comprende un contador de pulsos, conectado al discriminador (6), cuyos tiempos de muestreo son de algunos milisegundos. En el procesador (7), además de la cuenta de pulsos, se controla también la fuente de polarización (4) y está configurado para convertir la cuenta de pulsos que emite el discriminador (6) en concentración de radón.

El procedimiento, ejecutado en el procesador (7) para determinar la concentración de radón, se basa tanto en la separación que hace el discriminador (6) de partículas alfa emitidas por los

descendientes del radón y del torón, como en la identificación de las dos partículas alfa que emiten los descendientes del radón (Polonio 218 y Polonio 214).

5 Por lo tanto, en una primera etapa del procedimiento, se recogen las señales generadas en el discriminador (6), separando las generadas por las partículas alfa emitidas por los descendientes del torón y las emitidas por los descendientes del radón (Polonio 218 y Polonio 214).

10 Una vez obtenidos los datos, el procedimiento comprende dos segundas etapas alternativas. En una primera alternativa, se utiliza un modo de funcionamiento inmediato, basado en la variación temporal del conteo de los pulsos generados por las partículas alfa emitidas por el Polonio 218 con una vida media de 3,1 min en un tiempo de medida corto (inferior a 10 min) y sin necesidad de que alcance el equilibrio secular con el ^{222}Rn (27 min).

15 En una segunda alternativa, se utiliza un modo de funcionamiento continuo, en el que tras alcanzar el equilibrio secular entre ^{222}Rn , ^{218}Po y ^{214}Po (3.5 h), se consigue una medida más precisa de la variación de la concentración de radón en un tiempo de medida corto (similar al del modo inmediato).

20 Tanto en el modo de funcionamiento inmediato como en el modo de funcionamiento continuo, el procesado de las señales de interés y cuenta de pulsos puede realizarse durante un periodo de tiempo ajustable de manera dinámica.

25 Finalmente, el dispositivo comprende un módulo de ventilación forzada (8), vinculado a la cámara de medida (1), que permita maximizar la cantidad de aire muestreado por unidad de tiempo, mejorando la capacidad de respuesta del detector ante cambios rápidos en la concentración de Rn-222, frente a la alternativa de esperar que el radón entre en la cámara de medida (1) por difusión.

REIVINDICACIONES

1.- Dispositivo de monitorización de Radón en aire en tiempo real, que comprende:

- una cámara de medida (1), en forma de cilindro hueco de un material conductor, destinada a ser rellena mediante difusión natural y/o una corriente forzada, por aire que puede contener Radón-222 (padre) y/o Polonio 218 y Polonio 214, descendientes del Radón, desintegrándose a su vez los hijos en partículas alfa,
- un elemento sensor (2), que comprende a su vez tres o más diodos (3) planares de semiconductor conectados en paralelo, comprendiendo los diodos (3) un ánodo y un cátodo, estando los diodos (3) situados de manera coplanar con el eje axial de la cámara de medida (1), y estando dispuestos los diodos (3) en una sección de eje axial de forma poligonal,
- una primera fuente de polarización (41) conectada entre la cámara de medida (1) y el ánodo de los diodos (3), que polariza la cámara de medida (1) con una tensión positiva con respecto a los ánodos de los diodos (3),
- una segunda fuente de polarización (42), conectada entre el ánodo y el cátodo de los diodos (3), que polariza el ánodo con respecto al cátodo,
- un amplificador de señal (5), conectado a los diodos (3) que genera un pulso de una cierta energía cada vez que se produce una desintegración y una partícula alfa emitida impacta sobre los diodos (3), variando la energía en función del elemento que haya generado la partícula alfa,
- un discriminador (6) conectado al amplificador de señal (5) que, en función de la energía del pulso, detecta qué elemento ha generado la partícula alfa, generando unas señales de interés,
- un procesador (7), conectado a las fuentes de polarización (41, 42) que comprende un contador de pulsos que genera una cuenta de pulsos a partir de las señales de interés del discriminador (6), estando el procesador (7) configurado para convertir la cuenta de pulsos junto con las señales de interés en un dato de concentración de radón.

2.- El dispositivo de la reivindicación 1, que comprende adicionalmente un módulo de ventilación forzada (8), vinculado a la cámara de medida (1), que permite maximizar la corriente de aire muestreado por unidad de tiempo.

3.- El dispositivo de la reivindicación 1, en el que los diodos (3) están dispuestos en una sección axial de la cámara de medida (1) según una forma poligonal seleccionada entre: triangular, cuadrada y hexagonal.

4.- El dispositivo de la reivindicación 1, en el que los diodos (3) son tres placas lineales unidas formando una estructura de prisma triangular.

5 5.- El dispositivo de la reivindicación 1, en el que los diodos (3) son diodos de silicio.

6.- El dispositivo de la reivindicación 1, que comprende adicionalmente unos concentradores de campo (9) dispuestos entre los diodos (3).

10 7.- Procedimiento de monitorización de Radón en aire en tiempo real, que hace uso del dispositivo de cualquier de las reivindicaciones anteriores, que comprende las etapas de:

- recogida de las señales de interés del discriminador (6), y recogida de la cuenta de pulsos del procesador (7),
- procesado de las señales de interés y la cuenta de pulsos:

- 15 o de manera inmediata, determinando una variación temporal de la cuenta de pulsos generados por las partículas alfa emitidas por el Polonio 218 para determinar la concentración del Radón en el aire, y/o
- o de manera continua, esperando hasta alcanzar un equilibrio secular entre Polonio 218 y Polonio 214, y combinando la cuenta de pulsos junto con las señales de
- 20 interés para determinar la concentración de Radón en el aire.

8.- El procedimiento de la reivindicación 7, en el que la etapa de procesado de las señales de interés y cuenta de pulsos se realiza durante un periodo de tiempo ajustable de manera dinámica.

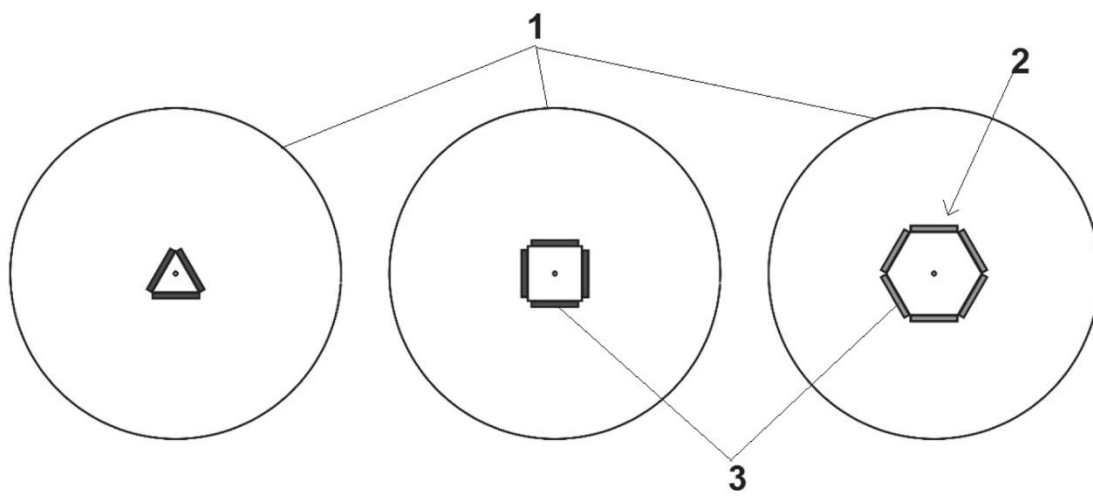


FIG. 1

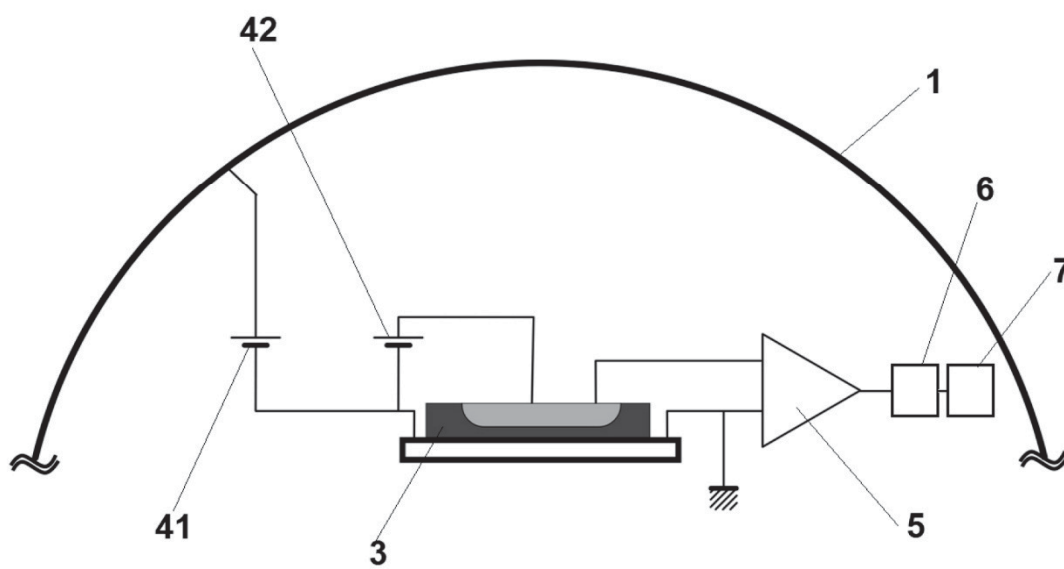


FIG. 2

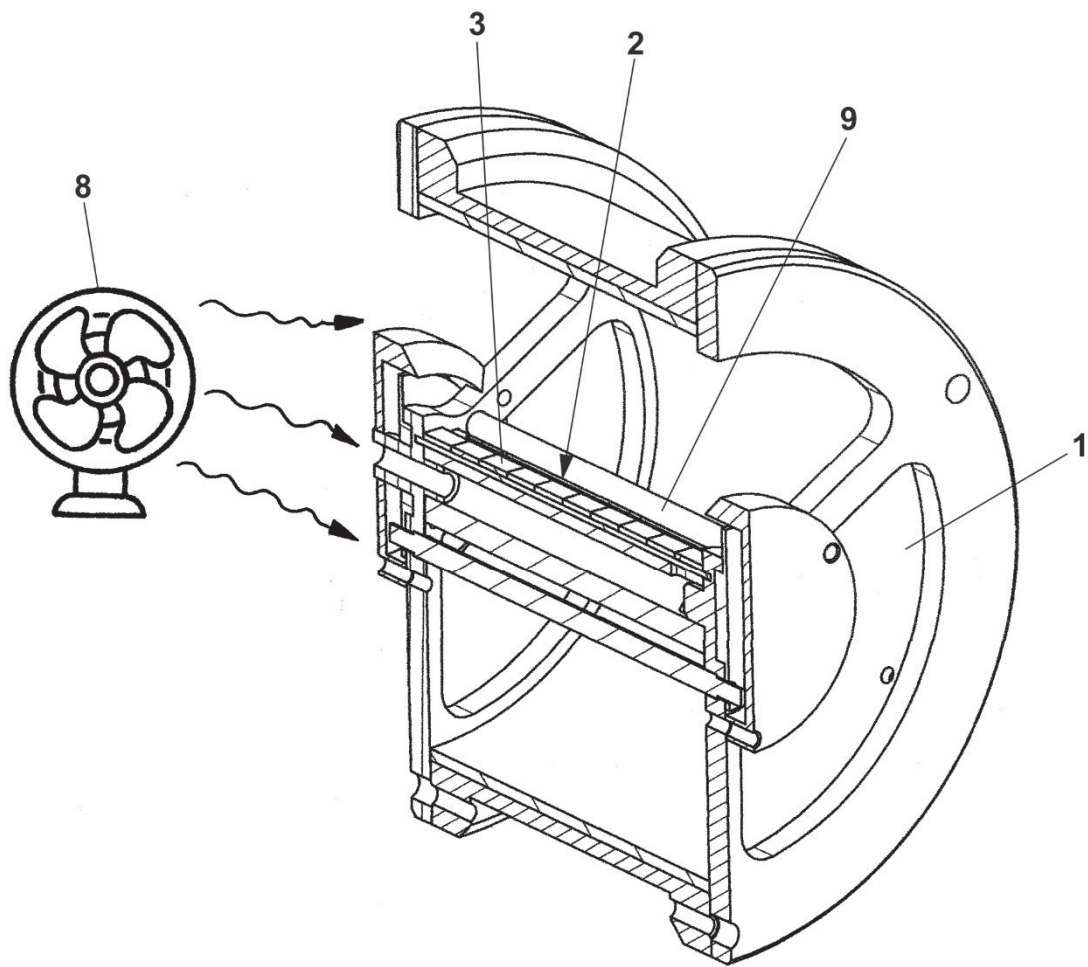


FIG. 3

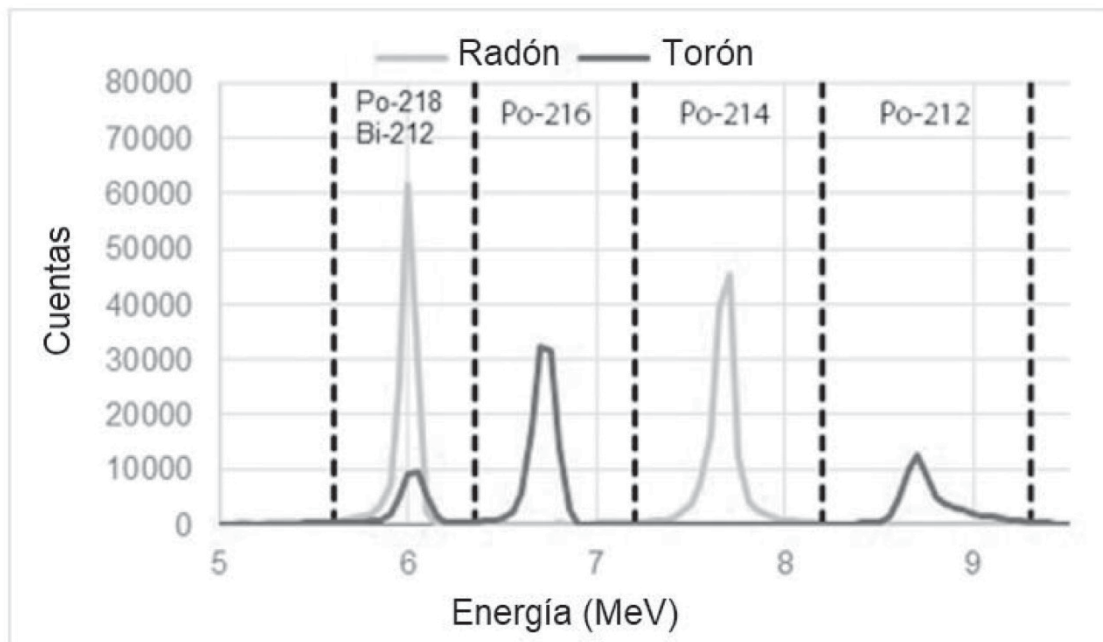


FIG. 4

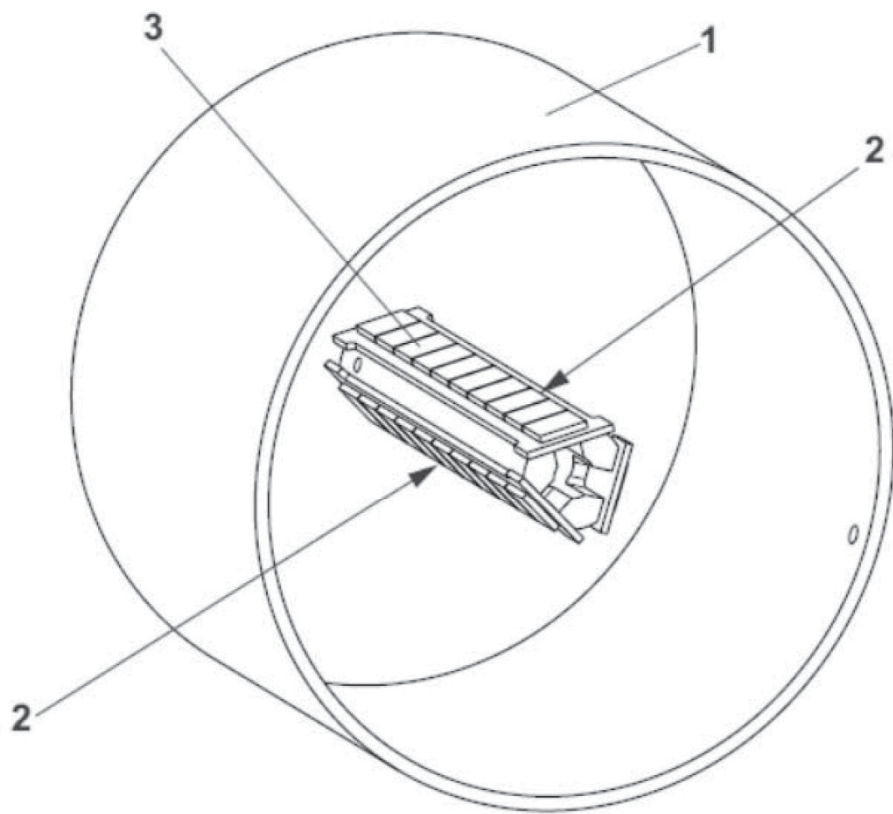


FIG. 5