

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 672 347**

51 Int. Cl.:

H01J 47/08 (2006.01)

G21C 17/108 (2006.01)

G01T 3/00 (2006.01)

H01J 47/12 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **14.08.2014 PCT/US2014/051041**

87 Fecha y número de publicación internacional: **26.02.2015 WO15026619**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **14.08.2014 E 14838642 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **04.04.2018 EP 3036745**

54 Título: **Detector de radiación de cámara de ionización**

30 Prioridad:

23.08.2013 US 201313974384

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

14.06.2018

73 Titular/es:

**WESTINGHOUSE ELECTRIC COMPANY LLC
(100.0%)**

**1000 Westinghouse Drive Suite 141
Cranberry Township, PA 16066, US**

72 Inventor/es:

HEIBEL, MICHAEL, D.

74 Agente/Representante:

CARPINTERO LÓPEZ, Mario

ES 2 672 347 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

Detector de radiación de cámara de ionización

Antecedentes**1. Campo**

- 5 La presente invención versa, en general, sobre un aparato para la monitorización de la distribución de potencia en el interior del núcleo de un reactor nuclear y, más en particular, sobre un detector de cámara de ionización que tiene una respuesta mejorada a la radiación gamma de fisión.

2. Técnica relacionada

10 En muchos de los reactores con años de servicio actualmente operativos se ha confiado en mediciones del flujo nuclear, según se utilizan en los sistemas de control y de protección del reactor, en detectores fuera del núcleo auxiliados por un sistema de correlaciones del flujo intranuclear, que lleva en uso ya desde 1967; estando este concebido originalmente para proporcionar pruebas del diseño del núcleo y algunas medidas de calibración.

15 Con la tendencia creciente hacia mayores núcleos de reactor, ha habido cierta inquietud en cuanto a los posibles efectos de distribuciones adversas de potencia del núcleo y si los detectores fuera de núcleo podrían detectar de forma adecuada tales distribuciones adversas posibles de potencia. Los datos de los ensayos mostraron que los detectores fuera del núcleo de sección dividida, actualmente en uso, respondieron a una inclinación axial, pero la precisión de las medidas de inclinación se vio afectada por la geometría y los materiales de construcción empleados en los pocetes y por la separación entre las vasijas y los detectores. Se han desarrollado factores de corrección para estos efectos, pero hubo algunas dudas de si los detectores fuera del núcleo proporcionarían, en todos los casos, una alarma adecuada de una distribución adversa de potencia.

20 Para obviar la anterior inquietud, se desarrolló un procedimiento para monitorizar de manera automática la distribución de potencia utilizando los detectores amovibles intranucleares proporcionando una lectura más precisa, detallada, automática, actualizada frecuentemente de datos de la distribución de potencia del núcleo del reactor. El procedimiento, expuesto en la patente estadounidense nº 3.932.211, expedida el 13 de enero de 1976, y cedida al cesionario de la presente invención, inserta los detectores amovibles en el interior de la región del núcleo del reactor durante una operación normal de potencia según un programa temporizado intermitente predeterminado. Normalmente, el sistema de medición que lleva a cabo las mediciones periódicas de distribución de potencia del núcleo controla la inserción y la retirada simultáneas de hasta seis detectores amovibles hasta que se obtienen mediciones de todas las ubicaciones radiales preestablecidas del núcleo. Se inserta cada detector utilizado a través de una ubicación radial común para garantizar que las sensibilidades del detector puedan normalizarse para permitir la producción de una distribución "relativa" precisa de la potencia del núcleo de los detectores que tienen distintas sensibilidades absolutas.

35 Preferentemente, se dispone una pluralidad de detectores amovibles en agrupaciones eléctricamente redundantes y se almacenan, normalmente, en el entorno térmico del reactor fuera de la región de reactividad del núcleo para minimizar el ciclado térmico. En operación, se introducen los detectores en el reactor, a través del cabezal inferior de las vasijas del reactor, a través de la placa soporte del núcleo y a través de las toberas inferiores del conjunto preestablecido de combustible hasta los tubos de instrumentación del conjunto de combustible a través de los cuales se extiende el detector hasta la elevación deseada del núcleo. Según dicta el programa predeterminado temporizado, se introducen agrupaciones alternantes de detectores a lo largo de recorridos lineales correspondientes en los tubos guía de instrumentación en el interior del núcleo en intervalos escalonados de tiempo gobernados por la física del núcleo del reactor. La secuencia programada de accionamiento del detector es reiniciada automáticamente tras un cambio dado controlado de reactividad para proporcionar la entrada de datos más significativos a la empresa explotadora del reactor.

45 Los detectores intranucleares amovibles son utilizados ahora tanto por reactores de agua en ebullición como por reactores de agua a presión para llevar a cabo mediciones periódicas detalladas de la distribución de potencia del núcleo. Los detectores amovibles utilizados son bien fundamentalmente sensibles a la radiación de neutrones o bien a la de gamma. El tipo de detector utilizado más comúnmente tanto en reactores de agua a presión como en reactores de agua en ebullición es un detector de tipo de cámara de fisión. En este diseño, la señal emitida desde el detector es directamente proporcional a la población neutrónica térmica que rodea el detector. La población neutrónica térmica es directamente proporcional a la tasa local de fisión y al nivel local de potencia del núcleo. Esta respuesta es generada por el uso de cantidades significativas de U_{235} altamente enriquecido en la construcción del detector. Dado que el U_{235} es un material nuclear especial, el coste de adquisición y de operación de las cámaras amovibles de fisión es bastante elevado. Las cámaras amovibles de fisión también son bastante delicadas, por lo que están sujetos a fallos mecánicos frecuentes. El beneficio técnico principal asociado con su uso es la relación directa entre la señal emitida y la población neutrónica térmica local y la relación directa que tiene la población neutrónica térmica con la tasa de producción de potencia local del núcleo. La Figura 1 proporciona una disposición esquemática de una cámara 10 de fisión en miniatura. La cámara de fisión en miniatura tiene una carcasa tubular 12

de acero inoxidable que está tapada en ambos extremos y forma un electrodo externo. Los aislantes cerámicos 16 de Al_2O_3 soportan un electrodo central 18 de salida coaxial lleno de mineral, que está aislado del electrodo externo 12. La carcasa 12 de acero inoxidable rodea una cámara central 14 que está llena de un gas argón 22 de relleno con las paredes de la cámara 14 revestidas con U_{235} y con U_3O_8 enriquecidos al 90%. Se mantiene una tensión 32 de polarización de un detector entre 20 y 150 voltios de CC entre los dos electrodos. En operación, un neutrón térmico incidente 28 provoca un evento 30 de fisión en el U_{235} enriquecido, lo que tiene como resultado fragmentos 26 de fisión de ionización de alta energía que crean moléculas 24 de gas ionizado en el gas argón. La polarización de la tensión en el electrodo central 18 acumula las partículas 24 de gas ionizado, lo que tiene como resultado una salida 34 del detector que es proporcional a los eventos 30 de fisión resultantes de los neutrones térmicos incidentes 28.

Un diseño de detector amovible que utiliza una cámara 10 de ionización en miniatura ha sido presentado recientemente para el uso en un reactor de agua en ebullición. Este tipo de detector también produce una señal proporcional a la potencia local del núcleo, pero se estimula la señal mediante interacciones de la radiación gamma en la región de la cámara de ionización del detector. Este tipo de detector no requiere U_{235} como estimulación para la señal emitida, de forma que el coste y el mantenimiento de este tipo de detector sean significativamente menores que para uno de tipo de cámara de fisión. Los detectores también tienden a ser más robustos que los detectores amovibles de cámara de fisión. El problema más limitante asociado con el uso de un detector de cámara de ionización es la emisión mucho menor de señal correspondiente a un nivel local dado de potencia del núcleo. El uso de este tipo de detector requiere el uso de electrónica de procesamiento de señales muy sensible y costosa. También existe cierta incertidumbre que es preciso incluir en la medición de la distribución de potencia del núcleo, incertidumbre al dar cuenta de la relación evaluada de forma no individual entre la señal emitida y la tasa local de fisión o de potencia del núcleo. Este mayor potencial de incertidumbre de la medición de la distribución de potencia puede reducir, realmente, la salida de potencia máxima que puede ser lograda por la empresa explotadora del reactor.

La Figura 2 proporciona una sección longitudinal de un esquema de distribución de una cámara 36 de ionización en miniatura, mostrando la Figura 2B una sección transversal tomada de manera ortogonal a la vista en sección mostrada en la Figura 2A. La cámara 36 de ionización en miniatura tiene una carcasa metálica externa 38 que forma el electrodo externo y cierres terminales aislados 40 y 42 que soportan un electrodo central 44. Similar a la construcción de la cámara 10 de fisión en miniatura, la carcasa 38 rodea una cámara central 50 que está llena de un gas 48 de relleno.

Además, se describen detectores neutrónicos de cámara de ionización en los documentos de patente estadounidense 4.501.988 y 4.623.508.

Cada tipo de detector amovible tiene características de rendimiento subóptimo que aumentan significativamente el coste de operación del sistema de detección. En consecuencia, se desea un detector mejorado que sea más robusto y menos costoso de operar que los utilizados en la actualidad.

Además, se desea tal diseño de detector que minimice la incertidumbre que tiene que ser considerada en las mediciones de potencia del núcleo.

Sumario

Se logran estos y otros objetos mediante un detector de radiación de cámara de ionización con una respuesta mejorada a la radiación gamma de fisión según la invención, que se define en la reivindicación 1. La cámara de ionización tiene un electrodo tubular externo que tiene un extremo superior y uno inferior cerrados mediante tapas terminales aisladas que aíslan de manera eléctrica el electrodo tubular externo de un electrodo central que se extiende sustancialmente desde la tapa terminal inferior ascendientemente y a través de la tapa terminal superior. Un radiador de electrones que produce una inmediata radiación gamma de captura de neutrones que es, sustancialmente, directamente proporcional a la población neutrónica local, está dispuesto entre el electrodo tubular externo y el electrodo central. Se construye el radiador de electrones de un material que tiene un valor Z alto con el que interactúa la inmediata radiación gamma de captura de neutrones mediante mecanismos de dispersión fotoeléctrica y Compton. Preferentemente, se construye el radiador de electrones de uno o más materiales seleccionados de metales que comprenden platino, oro, manganeso, tungsteno y cadmio y, más preferentemente, principalmente de un grupo de metales que comprende manganeso, tungsteno y cadmio.

Según la invención, el radiador de electrones comprende una pluralidad de radiadores de electrones que están separados en torno al electrodo central y, preferentemente, se extienden sustancialmente entre ciérrela tapa terminal inferior y ciérrela tapa terminal superior.

La invención también contempla un sistema de monitorización de la distribución de potencia del reactor nuclear que tiene una pluralidad de detectores intranucleares que monitorizan la potencia en distintas ubicaciones axiales y radiales en el interior de un núcleo del reactor nuclear. Al menos algunos de los detectores intranucleares comprenden el anterior diseño precedente de la cámara de ionización. En tal realización, las cámaras de ionización son detectores amovibles intranucleares que se desplazan, sustancialmente, una longitud axial del núcleo en distintas ubicaciones radiales del núcleo.

Breve descripción de los dibujos

Se puede lograr una mayor comprensión de la invención a partir de la siguiente descripción detallada de las realizaciones preferentes cuando sea leída junto con los dibujos adjuntos, en los que:

- 5 la Figura 1 es una sección transversal de una cámara de fisión utilizada como un detector amovible de neutrones;
 la Figura 2A es una representación esquemática de una sección longitudinal de una cámara de ionización en miniatura;
 la Figura 2B es una sección transversal esquemática de una cámara de ionización en miniatura tomada a lo largo de un plano ortogonal al plano de la sección transversal de la Figura 2A;
 10 la Figura 3 es un esquema simplificado de un reactor nuclear que tiene detectores intranucleares amovibles que pueden beneficiarse de la presente invención;
 la Figura 4A es una vista en sección longitudinal de una cámara de ionización construida según una realización de la presente invención; y
 15 la Figura 4B es una sección transversal de la cámara de ionización mostrada en la Figura 4A tomada a lo largo del plano ortogonal con respecto a la sección transversal mostrada en la Figura 4A.

Descripción de la realización preferente

El lado primario de los sistemas de generación de energía nuclear que son enfriados con agua a presión comprende un circuito cerrado que está aislado de la relación de intercambio térmico y en la misma con un lado secundario para la producción de energía útil. El lado primario comprende la vasija del reactor que encierra una estructura intranuclear del núcleo que soporta una pluralidad de conjuntos de combustible que contienen material fisible, el circuito primario en el interior de los generadores de vapor de intercambio térmico, el volumen interno de un presionador, bombas y tubos para hacer circular agua a presión; conectando los tubos cada uno de los generadores de vapor y de las bombas con la vasija del reactor de manera independiente. Cada una de las partes del lado primario que comprende un generador de vapor, una bomba y un sistema de tubos conectados con la vasija forma un bucle del lado primario.

Con un fin ilustrativo, la Figura 3 muestra un sistema principal simplificado de reactor nuclear, que incluye una vasija generalmente cilíndrica 52 de presión del reactor que tiene un cabezal 68 de cierre que encierra un núcleo nuclear 54. Se bombea un refrigerante líquido del reactor, tal como agua, al interior de la vasija 52 del reactor mediante la bomba 56 a través del núcleo 54, donde se absorbe energía térmica y se descarga a un intercambiador térmico 58, normalmente denominado generador de vapor, en el que se transfiere calor a un circuito (no mostrado) de utilización, tal como un turbo-generador accionado por vapor. Entonces, el refrigerante del reactor es devuelto a la bomba 56 completando el bucle primario. Normalmente, varios de los bucles descritos anteriormente están conectados con una única vasija 52 de presión del reactor mediante tuberías 60 de refrigerante del reactor. Aunque no se muestre, tal al menos un bucle incluye un presionador para mantener la presión en el sistema.

Según se ha mencionado anteriormente, los detectores intranucleares amovibles 62 son utilizados tanto por los reactores de agua en ebullición como por los reactores de agua a presión para llevar a cabo mediciones detalladas periódicas de la distribución de potencia del núcleo. Los detectores 62 son insertados en el interior del núcleo 54 del reactor durante una operación normal de potencia según un programa temporizado intermitente predeterminado. Tras la inserción, los detectores son introducidos de manera automática a través de la región del núcleo a lo largo de recorridos predeterminados fijos. Las salidas de los detectores son grabadas como una función de la ubicación del núcleo para proporcionar una representación gráfica de la distribución de potencia del reactor. Las salidas de los detectores son suministradas a través de una mesa 64 de sellado a un sistema 66 de control y de monitorización responsable de implementar el programa temporizado. Los detectores amovibles 62 utilizados son sensibles principalmente bien a la radiación de neutrones o bien a la de rayos gamma. Cada tipo de detector tiene características de rendimiento subóptimo que aumentan significativamente el coste de operación del sistema de detección. El dispositivo de detección de radiación gamma reivindicado a continuación utiliza una combinación de las ventajas de los detectores de tipo de cámara de fisión y de los detectores de tipo de cámara de ionización para proporcionar un detector capaz de medir la distribución relativa de potencia del núcleo tanto en reactores de agua a presión como en reactores de agua en ebullición que permite una reducción significativa del coste de adquisición y de operación el sistema de medición de la distribución de la potencia del núcleo.

Las Figuras 4A y 4B proporcionan un esquema de la realización preferente de la invención reivindicada a continuación. La diferencia fundamental entre las Figuras 2A y 2B y 4A y 4B es la inclusión de una estructura adicional 72 en el volumen de ionización del dispositivo, fabricada de un metal tal como manganeso, tungsteno o cadmio naturales, que sirve para producir una inmediata radiación gamma de captura de neutrones de alta energía que es directamente proporcional a la población neutrónica local. Esta inmediata radiación gamma de captura de neutrones adicional interactúa mediante mecanismos de dispersión fotoeléctrica y Compton con un material de Z alto, tal como el platino o el oro, que rodea el elemento radiador de rayos gamma para producir electrones de alta energía que también mejoran la ionización en el relleno 48 de gas del detector 70. Esta ionización adicional mejora enormemente la salida 46 de corriente de ionización del detector 70. Este planteamiento sirve para mejorar el nivel

de la señal emitida desde el dispositivo con respecto al diseño estándar 36 de la cámara de ionización sin el uso de un material nuclear especial. La puntuación "Z", en estadística, indica cuán lejos y en qué dirección, se desvía ese elemento de su media de distribución típica. Expresadas en unidades de su desviación típica de la distribución, las puntuaciones Z son denominadas a veces "puntuaciones típicas". La transformación de la puntuación Z es especialmente útil cuando se busca comparar los resultados relativos de los elementos de distribuciones con diferentes medias y/o diferentes desviaciones típicas.

La adición de un número de radiadores 72 de electrones, tal como los cuatro mostrados en la Figura 4B, separados en torno al electrodo central 44 entre el electrodo central 44 y el electrodo externo 38, sirve para mejorar el nivel de la señal emitida desde el dispositivo 70 con respecto al diseño estándar 36 de la cámara de ionización sin el uso de material nuclear especial. El uso de un radiador inmediato de rayos gamma relativamente económico tal como manganeso, tungsteno o cadmio permite que se contenga fácilmente la porción sensible del detector en un paquete físico muy robusto. Dado que se aumenta la sensibilidad inmediata a la población neutrónica local con respecto a la cámara estándar 36 de ionización, se reduce la incertidumbre en la relación entre la señal y el nivel verdadero de potencia local del núcleo. El aumento en la señal de salida a partir de la estimulación de la distribución local de potencia reduce o elimina la necesidad de electrónica de medición de señales sumamente sensible y costosa. El diseño optimizado del núcleo central de este dispositivo permitirá el uso de la electrónica existente de medición de las señales de los detectores amovibles, de forma que se minimice el coste de la implementación de este diseño de detector. Este dispositivo también puede ser utilizado como un detector estacionario en otras aplicaciones de cámara de ionización en las que la mayor sensibilidad a los neutrones es un beneficio, tales como en aplicaciones de monitorización del nivel de potencia del reactor.

Aunque se han descrito en detalle realizaciones específicas de la invención, los expertos en la técnica apreciarán que se podrían desarrollar diversas modificaciones y alternativas a las detalladas a tenor de todas las enseñanzas de la divulgación. En consecuencia, se pretende que las realizaciones particulares divulgadas sean solamente ilustrativas y no limitantes en cuanto al alcance de la invención que está definido en las reivindicaciones adjuntas.

25

REIVINDICACIONES

1. Un detector (70) de radiación de cámara de ionización con una respuesta mejorada a la radiación gamma de fisión que comprende:
- 5 una cámara (36) de ionización que tiene un electrodo tubular externo (38) que tiene un extremo superior y uno inferior; una tapa terminal inferior eléctricamente aislada (40) que cierra el extremo inferior del electrodo tubular externo (38); una tapa terminal superior eléctricamente aislada (42) que cierra el extremo superior del electrodo tubular externo (38);
- 10 un electrodo central (44) que se extiende sustancialmente desde la tapa terminal inferior (40) ascendientemente y a través de la tapa terminal superior (42), y un relleno (48) de gas,
- caracterizado porque** comprende, además,
- 15 una pluralidad de varillas cilíndricas (72) de radiador de electrones que están separadas en torno al electrodo central (44) y separadas del electrodo tubular externo (38), extendiéndose los radiadores (72) de electrones sustancialmente entre ciérrela tapa terminal inferior (40) y ciérrela tapa terminal superior (42), en el que los radiadores (72) de electrones están dispuestos entre el electrodo tubular externo (38) y el electrodo central (44),
- 20 estando configurados los radiadores (72) de electrones para producir una inmediata radiación gamma de captura de neutrones que es, sustancialmente, directamente proporcional a la población neutrónica local, en el que los radiadores (72) de electrones están contruidos de un material que tiene un valor Z alto con el cual interactúa la inmediata radiación gamma de captura de neutrones mediante mecanismos de dispersión fotoeléctrica y Compton y cada radiador (72) de electrones está revestido, al menos parcialmente, bien con platino o bien con oro o con ambos.
- 25 2. El detector (70) de radiación de cámara de ionización de la reivindicación 1, en el que el radiador (72) de electrones está contruido de uno o más materiales seleccionados de un grupo de metales que comprende platino, oro, manganeso, tungsteno y cadmio.
3. El detector (70) de radiación de cámara de ionización de la reivindicación 1, en el que el radiador (72) de electrones está contruido, principalmente, de un grupo de metales que comprende manganeso, tungsteno y cadmio.
- 30 4. Un sistema (66) de monitorización de la distribución de potencia en un reactor nuclear que tiene una pluralidad de detectores intranucleares (62) que están configurados para monitorizar la potencia en distintas ubicaciones axiales y radiales en el interior de un núcleo (54) del reactor nuclear (52), comprendiendo los detectores intranucleares detectores (70) de radiación de cámaras de ionización según se reivindica en cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3.
- 35 5. El sistema (66) de monitorización de la distribución de potencia del reactor nuclear de la reivindicación 4, en el que las cámaras (70) de ionización son detectores intranucleares amovibles que están configurados para desplazarse sustancialmente una longitud axial del núcleo (54) en distintas ubicaciones radiales en el interior del núcleo.

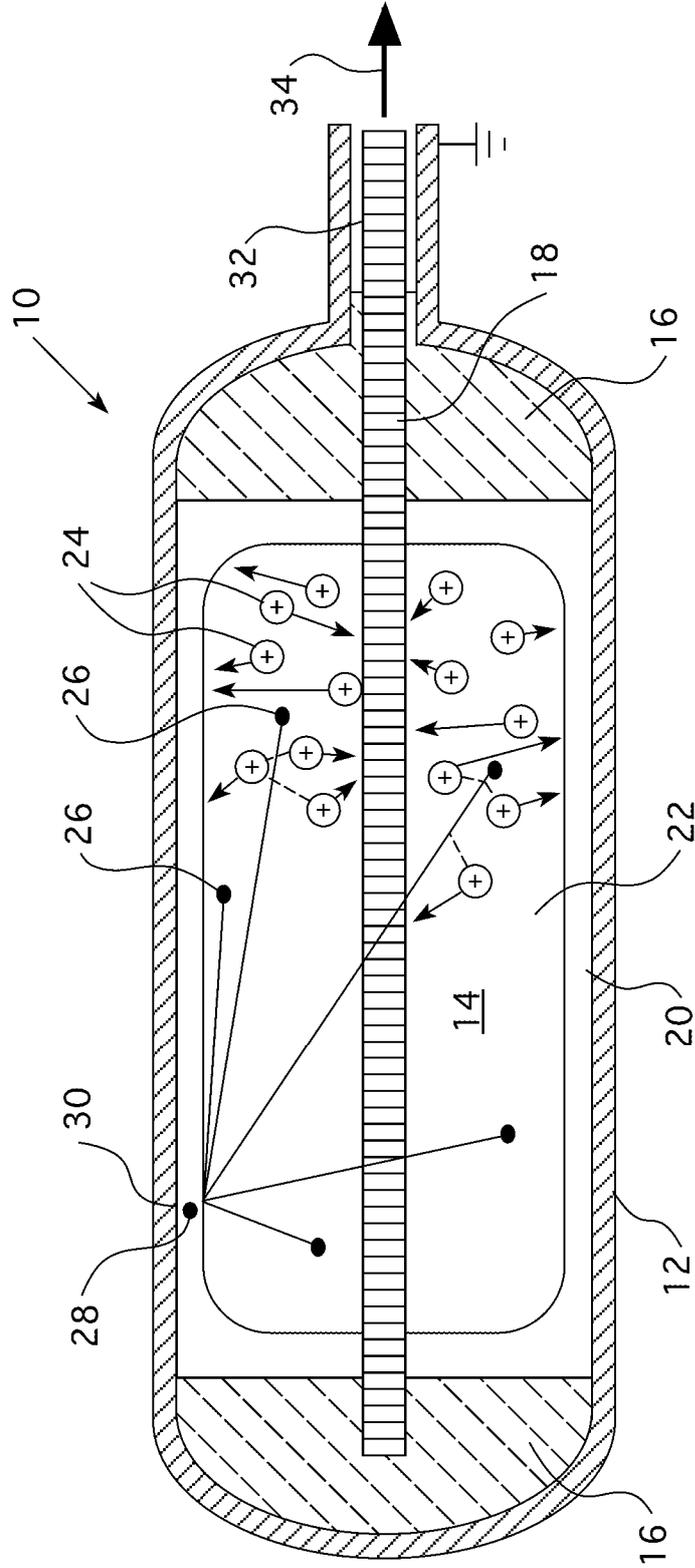


FIG. 1 (Técnica anterior)

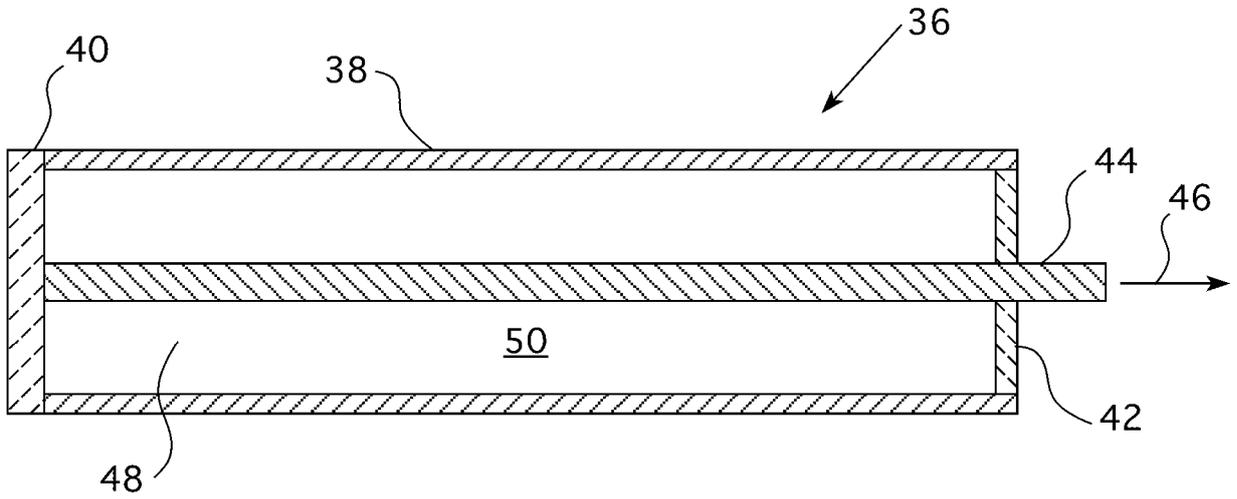


FIG. 2A (Técnica anterior)

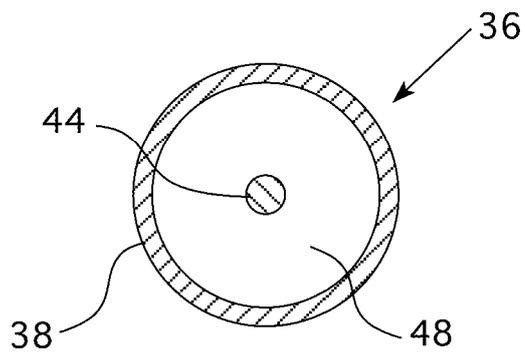


FIG. 2B (Técnica anterior)

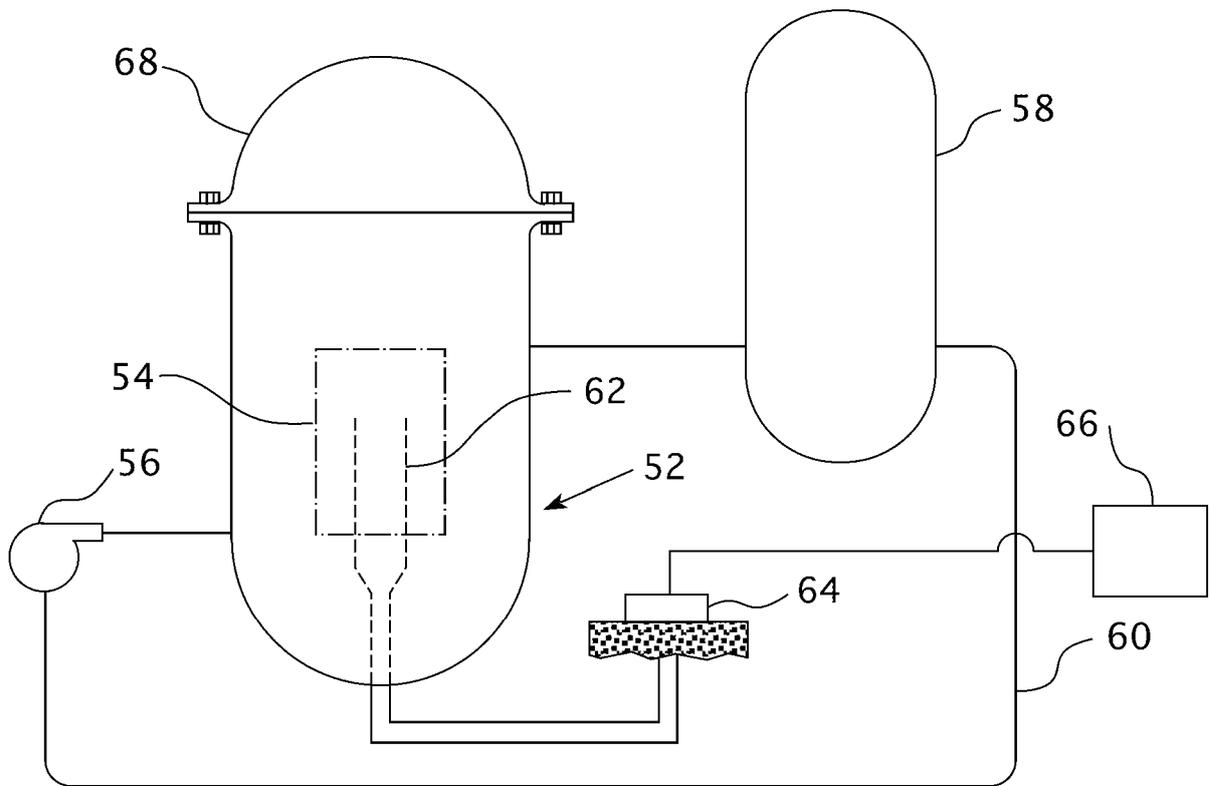


FIG. 3 Técnica anterior

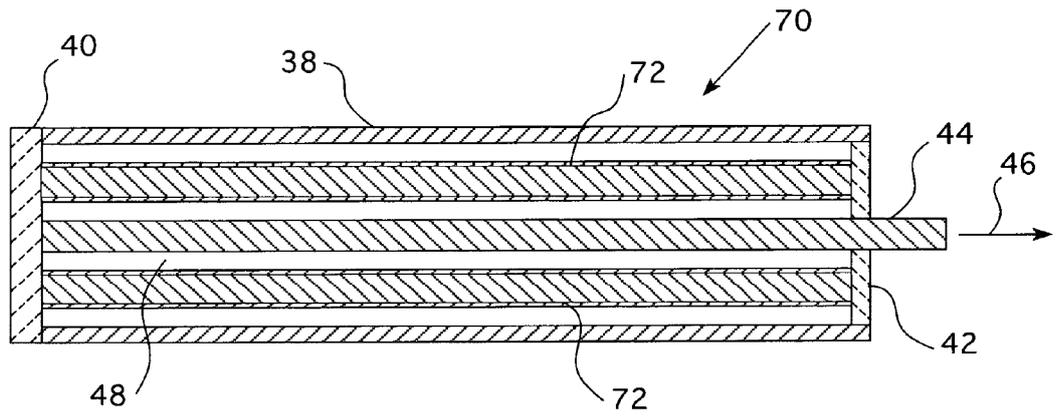


FIG. 4A

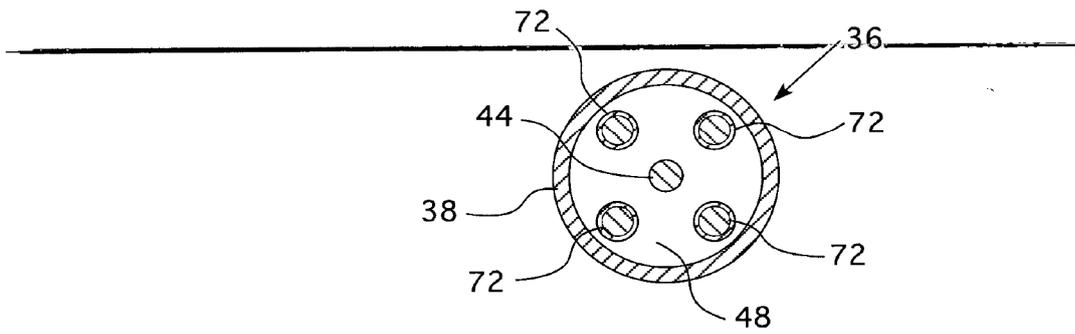


FIG. 4B