

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 581 390**

51 Int. Cl.:

A61L 2/08 (2006.01)
A23L 3/26 (2006.01)
H05G 1/24 (2006.01)
C02F 1/30 (2006.01)
A61L 11/00 (2006.01)
B09C 1/00 (2006.01)
H01J 35/22 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **18.05.2009 E 09747778 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **13.04.2016 EP 2501437**

54 Título: **Irradiador de flash de rayos X**

30 Prioridad:

16.05.2008 US 127845

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

05.09.2016

73 Titular/es:

ADVANCED FUSION SYSTEMS LLC (100.0%)
11 Edmond Road
Newtown, CT 06470, US

72 Inventor/es:

BIRNBACH, CURTIS, A.

74 Agente/Representante:

DE ELZABURU MÁRQUEZ, Alberto

ES 2 581 390 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

Irradiador de flash de rayos X

Campo del invento

5 El presente invento se refiere a un aparato para irradiación de materiales. El invento se refiere más particularmente a un aparato que produce un impulso o impulsos de rayos X de alta velocidad para irradiación de materiales.

Antecedentes del invento

10 La esterilización de distintos materiales por irradiación con radiación de elevada energía (rayos gamma y rayos X) es una tecnología bien establecida. La irradiación de elevada energía puede romper los enlaces moleculares en distintos materiales y descomponer los compuestos tóxicos en componentes más benignos. La esterilización por rayos gamma ha sido considerada la norma hasta ahora debido a la elevada energía y fluencia (cantidad de radiación entregada por

15 Para esterilización con radiación gamma, el ⁶⁰Cobalto ha sido el radioisótopo estándar de elección. El ⁶⁰Cobalto emite rayos gamma a energías de 1,17 MeV y 1,33 MeV. La eficacia de radiación a estas energías ha sido establecida hace tiempo para estas aplicaciones. Uno de los inconvenientes al uso de ⁶⁰Cobalto es que su línea de energía más elevada (1,33 MeV) está por encima del nivel de energía al que es inducida la radioactividad. Existe una necesidad de un aparato de irradiación cuya salida de energía máxima esté por debajo del umbral del ⁶⁰Cobalto, de modo que se evite el problema de inducir radioactividad en el material que es irradiado. Sería además deseable proporcionar un aparato para irradiación que en general evite el uso de radioisótopos, de modo que simplifique la operación y la autorización, y elimine la

20 posibilidad de desvío de tales radioisótopos con propósitos ilegales.

25 Las fuentes de rayos X anteriores no han conseguido una posición de dominio debido al hecho de que aunque pueden conseguir fácilmente energías elevadas, han sido hasta ahora incapaces de conseguir económicamente la fluencia de las fuentes de rayos gamma. Existe una necesidad, por ello, de un aparato de irradiación que pueda conseguir simultáneamente tanto la elevada energía como la fluencia necesaria para aplicaciones de esterilización práctica, descontaminación, y recuperación medioambiental.

Breve resumen del invento

El invento proporciona un aparato para irradiación de Flash de rayos X de material, denominado en esta descripción como un Irradiador de Flash de rayos X (FXI) como se ha definido en la reivindicación 1.

30 El Irradiador de Flash de rayos X tiene una salida de energía máxima por debajo del umbral del ⁶⁰Cobalto, de modo que evita el problema de inducir radioactividad en el material que es irradiado. El Irradiador de Flash de rayos X también evita el uso de radioisótopos, como en el uso de ⁶⁰Cobalto para irradiación de la técnica anterior, de modo que simplifica la operación y autorización, y elimina la posibilidad de desvío de tales radioisótopos con propósitos ilegales.

35 De modo diferente a las fuentes de rayos X convencionales, el Irradiador de Flash de rayos X puede conseguir simultáneamente tanto la elevada energía y fluencia necesarias para aplicaciones de esterilización, descontaminación y recuperación medioambientales. Puede también ser usado para distintos procesos de fabricación.

Breve descripción del dibujo

En las figuras del dibujo, en las que números de referencia similares se refieren a partes similares:

La fig. 1 muestra una vista en sección transversal de la versión cilíndrica del Irradiador de Flash de Rayos X, con un sombreado omitido para distintas partes tales como el ánodo.

40 La fig. 1A muestra una vista de detalle de la región 117 rodeada con un círculo en la fig. 1 que muestra la interacción de electrones con el ánodo para crear rayos X en el modo de transmisión.

La fig. 2 muestra una vista en sección transversal de la versión plana del Irradiador de Flash de rayos X.

La fig. 2A muestra una vista de detalle de la región 125 rodeada con un círculo de la fig. 2 que es modificada para incluir un condensador de almacenamiento de energía suplementaria.

45 La fig. 3 muestra un diagrama esquemático de un amplificador de tensión en cascada utilizado como una fuente de alimentación de impulsos de alta tensión.

La fig. 4A muestra un diagrama esquemático de un modulador de impulsos asíncrono de dos etapas utilizado como una fuente de alimentación de impulsos de alta tensión.

50 La fig. 4B muestra un diagrama esquemático de un modulador de impulsos asíncrono de tres etapas utilizado como una fuente de alimentación de impulsos de alta tensión.

La fig. 5 muestra una vista en planta superior en forma diagramática de un Irradiador de Flash de rayos X cilíndrico montado en un recipiente de transporte estándar e integrado con un generador accionado por un motor turborreactor y una fuente de alimentación de alta tensión.

5 La fig. 6 muestra una vista en sección transversal desde el lado izquierdo de un Irradiador de Flash de rayos X plano integrado en un buzón de correos, con distintas partes delgadas mostradas como líneas únicas y con sombreado omitido en distintas superficies.

La fig. 7 muestra una vista en planta lateral en forma diagramática de un Irradiador de Flash de rayos X plano montado en la parte inferior de un camión, con equipo asociado también montado en el camión.

10 La fig. 8 muestra una vista en planta lateral en forma diagramática de una versión subacuática del Irradiador de Flash de rayos X plano suspendido desde una grúa en un barco, con equipo asociado también montado en el barco.

La fig. 9 muestra una vista en sección transversal de una versión esférica del Irradiador de flash de rayos X, con rayado omitido para distintas partes tales como el ánodo.

Descripción detallada del invento

15 Por conveniencia, una lista de números del dibujo y partes asociadas para las figs. 1-9 puede ser encontrada cerca del final de esta descripción detallada del invento.

Proceso de Generación de rayos X

20 Las figs. 1 y 2 muestran dos realizaciones diferentes de un Irradiador de Flash de rayos X (FXI). Un FXI es generalmente un tubo de rayos X del tipo de transmisión. Está diferenciado de la técnica anterior por varias características. La primera es su cañón de electrones, que, en la fig. 1, comprende un cátodo 111 y una rejilla 113, y en la fig. 2 comprende un cátodo 112 y una rejilla 114. Estos cañones de electrones pueden conseguir densidades de corriente de hasta 80.000 Amperios/cm² en el modo de impulso, lo que da como resultado en último término elevados niveles de irradiación. Por ejemplo, el FXI puede conseguir energía elevada típicamente de 0,1 - 5 MeV, una corriente de haz elevada de impulsos típicamente de 50 Kilo Amperios - 1 Mega Amperio, una elevada fluencia típicamente de 16 Kilo Grey/impulso, y una tasa de repetición típicamente de hasta 100 Hz.

25 El Irradiador de Flash de rayos X 109 de la fig. 1, puede incluir ventajosamente un condensador 124a de almacenamiento de energía suplementaria que podría estar enrollado coaxialmente alrededor del cátodo 111. Esto permite el almacenamiento local de cantidades de energía sustancialmente mayores sin cambiar el tamaño físico del Irradiador de Flash de rayos X 109. De manera similar, una implementación plana de un condensador de almacenamiento de energía suplementaria puede ser incorporada ventajosamente en el Irradiador de Flash de rayos X plano 110. Con referencia a la fig. 2A, que está modificada para incluir un condensador 124b de almacenamiento suplementario entre el soporte 144 del cátodo y el cátodo 112, con el mismo propósito que el condensador 124a de almacenamiento suplementario de la fig. 1.

35 Con referencia tanto a la fig. 1 como a la fig. 2, en funcionamiento, el cátodo 111 o 112 es cargado por la fuente de alimentación 130a o 130b o 130c de las figs. 3 o 4A o 4B, respectivamente. Una resistencia de polarización (no mostrada) está conectada entre el cátodo 111 o 112 y la rejilla 113 o 114 y es utilizada para crear una tensión en la rejilla de modo que el tubo esté normalmente en un estado de espera (sin conducir). Cuando se aplica una señal de control del potencial de tierra a la rejilla, libera el control del cátodo y el cátodo se descarga. Los electrones se desplazan entonces desde el cátodo al ánodo 115 o 116. Cuando chocan con el ánodo crean la radiación X de Bremsstrahlung. Bremsstrahlung es en alemán "radiación de frenado" y es creada cuando los electrones 134 con un potencial de más de 40 23 kV son detenidos repentinamente, en este caso al chocar con el ánodo. Cuando golpean el ánodo, una mezcla de radiación X 136 y de electrones secundarios (no mostrados) es liberada desde una superficie emisora de rayos X del ánodo de una manera isotrópica. Como el ánodo es delgado en comparación a la profundidad de penetración de los electrones incidentes, hay una preponderancia de radiación X transmitida desde una superficie receptora de electrones del ánodo, a través del ánodo, a un volumen de irradiación más allá.

45 Con referencia tanto a la fig. 1 como a la fig. 2, el grosor del ánodo del tubo de rayos X 109 o 110 es elegido para permitir la generación de un nivel deseado de radiación X. En particular, el grosor del ánodo depende de una combinación de factores, incluyendo la tensión de salida deseada, la tensión de electrones incidentes, y el número atómico del material a partir del cual es fabricado, cuyo número es típicamente superior a 50.

50 Además, el cátodo y la rejilla son fabricadas con tolerancias extremadamente pequeñas, típicamente del orden de 25 micrones o cualquier dimensión, incluso si la estructura es de varios metros de larga. El tubo de rayos X 109 o 110 es bombeado a un vacío extremadamente elevado, típicamente del orden de 1×10^{-9} Torr (es decir $1,33 \times 10^{-7}$ Pa).

Aunque no se ha mostrado en las figs. 1 y 2, el tubo de rayos X 109 o 110 incorpora protección contra la radiación para la protección de personas en la proximidad del dispositivo. El material y grosor de la protección contra la radiación es una función de la tensión aplicada al tubo.

5 En la figura 2, el ánodo 116 es preferiblemente plano. Sin embargo, el ánodo 116 puede ser formado en distintas formas, tal como arqueado en sección transversal siempre y cuando la superficie emisora de rayos X del ánodo 116 esté conformada de modo que no encierre el volumen de irradiación. Preferiblemente, el ánodo es delgado lo que quiere decir que una dimensión es mucho menor que las otras dos dimensiones ortogonales, y recibe electrones procedentes del cátodo sobre una superficie principal y emite rayos X desde una segunda superficie principal enfrentada.

10 Para irradiar un material 148, tal material debe pasar a través del volumen de irradiación mencionado anteriormente. Esto puede ocurrir de tres maneras en general: (1) el material puede ser movido a través de un volumen de irradiación estacionario, (2) el volumen de irradiación puede ser movido más allá del material estacionario; o (3) tanto el volumen de irradiación como el material pueden moverse simultáneamente. La realización de la fig. 1 está particularmente adaptada a la primera manera (1), mientras que la realización de la fig. 2 está particularmente adaptada a la primera (1) y a la segunda (2) maneras. En esta conexión, como se ha mencionado anteriormente, en la realización de la fig. 2, la superficie emisora de rayos X del ánodo 116 está conformada de modo que no encierre el volumen de irradiación. En contraste, tanto en la fig. 1 como en la 9, el volumen de irradiación está encerrado.

15 La fig. 1A muestra diagramáticamente electrones 134 que chocan con el ánodo 117 en una superficie receptora de electrones del ánodo. Esto da como resultado una superficie principal emisora de rayos X del ánodo 117 que emite radiación X 136 dentro del volumen cilíndrico interior del ánodo. De manera similar, en la fig. 2, los electrones 134 que chocan con el ánodo 116 hacen que una superficie emisora de rayos X del ánodo, mostrada más abajo, emita rayos X 136 que se extienden, típicamente por debajo de la profundidad mostrada, a través de un volumen de irradiación de material 148.

20 La superficie emisora de rayos X del ánodo 115 (fig. 1), 116 (fig. 2) tiene preferiblemente una primera y segunda dimensiones orientadas ortogonalmente de más de 2 mm cada una. Para conseguir esto, en el caso de la fig. 1, las dimensiones lineales de las partes activas del cátodo, rejilla y ánodo son las mismas; y en el caso de la fig. 2, la longitud y anchura de las partes activas del cátodo, rejilla y ánodo son las mismas.

25 El cañón de electrones 111, 113 (fig. 1) o 112, 114 (fig. 2), ánodo 115 (fig. 1) o 116 (fig. 2) y la fuente de alimentación 130 de impulsos de alta tensión son así construidos de modo que creen suficiente radiación X en el volumen de irradiación mencionado anteriormente para conseguir un nivel deseado de irradiación de material 148 en ese volumen.

30 Con referencia tanto a la fig. 1 como a la fig. 2, para facilitar la introducción de señales eléctricas de alta tensión a través de una pared conductora 137 al cátodo 111 o 112 y a la rejilla 113 o 114, se utilizan pasos de alimentación 118 y 120 aislados cerrados herméticamente al vacío. El ánodo 115 o 116 es conectado a tierra para completar el circuito. Si fuera necesario, un conductor eléctrico del cátodo (no mostrado) y un conductor eléctrico de rejilla (no mostrado) pueden ser utilizados para interconectar los pasos de alimentación 118 y 120 aislados cerrados herméticamente al vacío al cátodo 111 o 112 y a la rejilla 113 o 114, respectivamente.

35 Con referencia tanto a la fig. 1 como a la fig. 2, así como a otras figuras que muestran aquí realizaciones del FXI, el material que ha de ser irradiado 148 tiene un movimiento relativo al volumen de irradiación y constituye material 128 que circula a través del volumen de irradiación.

Hay varias condiciones críticas que deben ser satisfechas cuando se diseña una rejilla para un FXI. Son:

(1) La separación rejilla-cátodo debe ser constante a través de la longitud de la rejilla, Esto se consigue usualmente colocando la rejilla bajo alta tensión o construyéndola con una estructura rígida.

40 (2) El número de elementos en la rejilla debe ser lo bastante elevado para asegurar un campo eléctrico constante y uniforme en la región rejilla-cátodo.

(3) No debe haber bordes afilados de rebabas en ningún sitio en la estructura de rejilla, los elementos individuales pueden ser redondos, planos o con formas elípticas de relación de aspecto elevada. Todos los bordes deben ser redondeados. En este contexto, redondeados significa que el borde en cuestión tiene un radio igual a la mitad del grosor del material.

45 La implementación real de estas reglas de diseño es determinada por el tamaño de la rejilla que es construida.

Amplificador de Tensión en Cascada

50 El Amplificador de Tensión en Cascada 130a de la fig. 3 proporciona una nueva manera de obtener impulsos de alta tensión para hacer funcionar los Irradiadores Flash de Rayos X descritos aquí, y es más fiable y compacto que el circuito generador de Marx tradicionalmente utilizado para generar impulsos de alta tensión. El circuito de 130a es la realización preferida para generar impulsos de alta tensión para el sistema FXI.

En la primera etapa 135a, una fuente de alimentación (no mostrada) de alta tensión negativa está conectada al terminal de entrada 162 y es utilizada para cargar el condensador 152 de almacenamiento de energía. El Triodo 150a de Emisión de Campo de Cátodo Frío es combinación con la inductancia 156a, la resistencia 158a, el condensador 154a y la resistencia variable 160a tienen dobles funciones. Son utilizados tanto para formar el impulso como para amplificarlo en

cualquier lugar desde 3 dB a 10 dB dependiendo de la ganancia de como se haya fabricado el tubo 150a. La resistencia variable 160a es utilizada para ajustar la tensión de polarización de espera del tubo 150a. La inductancia 156a es utilizada para bloquear los componentes de CC para que no alcancen la rejilla del tubo 150a. La red RC de 158a y 154a es utilizada para crear una constante de tiempo para retardar la conducción del tubo 150a.

5 Las etapas subsiguientes 135b, 135c y 135d son idénticas en función y operan como amplificadores de Clase A. Las únicas diferencias son las tensiones nominales. Es obvio que las tensiones nominales de los componentes deben ser conmensuradas con las tensiones anticipadas en esa etapa del circuito. De manera similar, los tubos 150b, 150c y 150d son progresivamente mayores de tamaño para acomodar la tensión creciente.

10 Todas las etapas del circuito están conectadas a una tierra 164 de RF común de acuerdo con la buena práctica de diseño de RF. Una derivación de corriente 168 hace posible un retorno a tierra 164a vigilado.

La inductancia 156e es utilizada para impedir que la tensión inversa alcance la fuente de alimentación de carga. Esto puede ser aumentado por un diodo en serie (no mostrado) de tensión apropiada para protección adicional.

15 La derivación de corriente 168 es una resistencia de bajo valor de inductancia extremadamente baja, típicamente del orden de 50 a 100 micro-ohmios. Es necesario aplicar un cálculo de superficialidad a la salida de esta derivación presente en el conector 171a para obtener una lectura de corriente corregida y exacta. El conector 171a es de un tipo que soporta el ancho de banda anticipado de la señal generada por la derivación de corriente 168 basado en el tiempo de subida de tal señal. La señal de salida de la derivación de corriente 168 es típicamente acoplada a una impedancia de 50 Ohmios.

20 Se ha observado que es posible alcanzar una tensión mayor sumando etapas adicionales en serie con el circuito principal. Debe tenerse cuidado de asegurar que las tensiones nominales y los diseños de aislamiento están conmensurados con las tensiones encontradas. No es infrecuente poner un circuito de este tipo en un depósito de aceite aislante para una mayor fiabilidad.

Diseño de Modulador de Impulsos Asíncrono

25 Una alternativa al Amplificador de Tensión en Cascada 130a de la fig. 3 es el Modulador de Impulsos Asíncrono 130b o 130c de las figs. 4A y 4B. La siguiente descripción del Modulador de Impulsos Asíncrono se refiere tanto a la fig. 4A como a la 4B. En estas figuras, en la primera etapa, una fuente de alimentación (no mostrada) de alta tensión negativa está conectada al terminal 162. Esta fuente de alimentación carga el condensador 152 de almacenamiento de energía. Un circuito de vigilancia de tensión que consiste de una resistencia 158e, un condensador 154e, una resistencia 158f, un condensador 154f, un condensador variable 172a y un triodo 150f de emisión de campo de cátodo frío es utilizado para
30 detectar el estado de carga del condensador 152 de almacenamiento de energía. Esta medición es hecha utilizando un divisor de tensión capacitivo que consiste de 154e, 154f, y 172a. Cuando la tensión a través del divisor alcanza un límite preestablecido (determinado por el ajuste del condensador variable 172a), el triodo 150f de Emisión de Campo de Cátodo Frío conduce y atrae la rejilla del triodo 150e de emisión de campo de cátodo frío a tierra. Esto hace que el Triodo 150e de Emisión de Campo de Cátodo Frío pase a conducir lo que, a su vez, descarga el condensador 152 de
35 almacenamiento de energía para descargar en el primario del transformador de impulsos 174a.

La segunda etapa comienza en el secundario del transformador de impulsos 174a, que típicamente tiene una relación de vueltas de 1:10. Este transformador escalona la tensión hacia arriba a un valor deseado. Este es detectado por un segundo divisor de tensión capacitivo que consiste de un condensador 154g y un condensador variable 172b. Como sucede con la etapa primaria, cuando la red consiste del condensador 154g, la resistencia variable 172b, la resistencia
40 158h, el condensador 154i, el condensador 154h, y el Triodo 150h de Emisión de Campo de Cátodo Frío alcanza una tensión predeterminada, el tubo 150h conduce, atrayendo la rejilla del Triodo 150g de Emisión de Campo de Cátodo Frío a tierra y hace que el triodo pase a conducir, permitiendo que el impulso presente procedente del secundario del transformador de impulsos 174 alcance el terminal de salida.

45 Se ha observado que las resistencias 158e y 158g son resistencias de polarización utilizadas para mantener sus Triodos 150e y 150g de Emisión de Campo de Cátodo Frío en un estado estacionario hasta que es disparado por los Triodos 158f y 158h de Emisión de Campo de Cátodo Frío respectivamente.

La derivación de corriente 168c es una resistencia de valor bajo de inductancia extremadamente baja, típicamente en el intervalo de 50 a 100 micro-ohmios. Es necesario aplicar un cálculo de superficialidad a la salida de esta derivación o derivaciones presentes en el conector o conectores 171b o 171c para obtener una lectura de corriente corregida y
50 exacta.

Es posible alcanzar una tensión más elevada añadiendo etapas secundarias adicionales en serie con el circuito principal como se ha mostrado en la fig. 4B. En el Modulador de Impulsos Asíncrono de la fig. 4B, las etapas están separadas por transformadores de impulsos 174a y 174b. La etapa adicional que sigue al transformador 174b es la misma que la etapa entre transformadores 174a y 174b distintas de las tensiones nominales de componentes. Debe tenerse cuidado para
55 asegurar que las tensiones nominales y los diseños de aislamiento están conmensurados con las tensiones encontradas. No es infrecuente poner un circuito de este tipo en un depósito de aceite aislante para una mayor fiabilidad.

Sistema Irradiador Cilíndrico Móvil

Como se ha ilustrado en la fig. 5, una configuración práctica 176 del Irradiador de Flash de Rayos X coloca un FXI 109 cilíndrico en un recipiente de transporte estándar 192 con todo su equipo de soporte integrado.

5 En la realización preferida, un pequeño motor turborreactor 188 está montado en el piso del recipiente 192. El árbol giratorio del motor 188 está conectado a un generador eléctrico 190 que tiene un reductor de velocidad de caja de engranajes interna. Esta configuración es bien conocida en la industria de instalaciones eléctricas como un medio para generar potencia para compensar aumentos repentinos de potencia de pico. El escape del motor 188 de turborreactor está conectado a una bomba de vacío 180 de Venturi, que a su vez está conectada al puerto u orificio de entrada del FXI 109. La configuración del motor 188, la bomba 180 y el generador 190 hacen uso tanto de la potencia motriz de la bomba para hacer funcionar el generador como del escape de la bomba para alimentar una bomba de vacío de Venturi. Los depósitos de combustible 186 proporcionan una fuente local de combustible para permitir el funcionamiento independiente durante un cierto número de horas, que depende del tamaño del motor reactor y de los depósitos de combustible.

15 El material que ha de ser irradiado 148 es aspirado por succión al puerto de entrada del Venturi 182. El material 128 que fluye pasa a través del dispositivo 109 y es expuesto a rayos X 136 de alta intensidad en el espacio interior del FXI 109 y a continuación evacuado a través del puerto de salida 194. El material 148 puede ser de cualquier forma que fluya a través de un tubo. Una fuente de alimentación 130a, 130b o 130c, etc., de alta tensión proporciona la energía operativa necesaria para el FXI 109. La fuente de alimentación de alta tensión es alimentada por la salida del generador eléctrico 190.

20 La entrada de aire 198 aspira el aire exterior y lo hace circular sobre el generador 190 para enfriar dicho generador 190 antes de que este aire entre en la entrada de aire 198 del motor turborreactor 188. Esta disposición promueve la eficiencia de energía en el funcionamiento del FXI. Hay un filtro de aire 199 situado en la entrada de aire 198 para impedir que la suciedad aérea entre en el motor turborreactor 188 y en el generador 190.

25 Debido a que la configuración 176 está montada en un recipiente de transporte estándar 192, puede ser transportado por un remolque con cabeza tractora, barco o aire con gran facilidad.

Irradiador para Dispositivo Receptor de Correo

30 Como se ha ilustrado en la fig. 6, una configuración práctica 200 del Irradiador de Flash de Rayos X coloca un FXI 110 de la fig. 2 en un dispositivo receptor de correo. En uso, una persona abre la puerta 226 como se ha mostrado por la flecha 226a de línea discontinua y coloca algún correo u otros artículos 137 en la rampa de entrada 204. Cuando la puerta de entrada 226 se cierra, la puerta superior 208 a la cámara 205 de irradiación se abre como se ha mostrado por la flecha 208a de línea discontinua y el correo 137 cae a la cámara de irradiación 205, y a continuación la puerta 208 se cierra. El tubo 110 de rayos X se activa y satura el correo 137 con radiación de rayos X de alta energía tal como lo que se ha rodeado con un círculo en 136. Un monitor de dosificación 218 embebido en la pared posterior de la cámara detecta la irradiación 136, y cuando la irradiación ha alcanzado un nivel satisfactorio desactiva el tubo 110 de rayos X. La puerta inferior 210 a la cámara de irradiación 205 se abre entonces como se ha mostrado por la flecha 210a de línea discontinua y el correo 137 esterilizado cae al contenedor de almacenamiento 220 situado debajo para esperar la recogida por el cartero. La puerta inferior 210 se cierra entonces, y la configuración 200 se reinicia para el siguiente uso.

40 La puerta superior 208 está articulada y se abre hacia arriba, mientras que la puerta inferior 210 está articulada y se abre hacia abajo mediante accionadores (no mostrados). Hay cierres herméticos tanto en la puerta superior 208 como en la puerta inferior 210 que aseguran un cierre hermético al aire cuando la puerta está cerrada, para impedir que contaminantes biológicos entren en el contenedor de almacenamiento 220. El contenedor de almacenamiento puede opcionalmente estar a una ligera presión positiva proporcionada por el dispositivo de presurización 224 para impedir además la contaminación secundaria del correo. El correo esterilizado es retirado desde la gran puerta de acceso frontal 222.

45 Una fuente de alimentación 130a de alta presión etc., proporciona las tensiones operativas para el tubo 110 de rayos X. El tubo 110 de rayos X y la cámara de irradiación 205 están rodeados con apantallamientos de radiación, un apantallamiento frontal 212, apantallamiento posterior 216, apantallamientos izquierdo y derecho (no mostrados) y una puerta superior 208 y una puerta inferior 210, que contienen apantallamiento.

50 Los circuitos de control llevarán a cabo la cuarentena del correo u otros artículos 137 en la cámara de irradiación 205 si no se consigue una dosificación mínima preestablecida de rayos X 136, para impedir la contaminación de correo previamente esterilizado por cualquiera de varias razones. Una de tales razones sería el fallo del sistema de irradiación, por cualquier razón. Otra razón es para impedir que las toxinas biológicas contenidas en un envase apantallado entren en el contenedor de almacenamiento.

55 El sistema completo puede estar alojado en un recinto que se parece a un buzón de correo estándar, rampas de correo verticales como se encuentran en una oficina y en edificios residenciales, o ranuras para el correo como se encuentran en las oficinas postales y en otros lugares.

FXI Montado en un Camión

Una configuración práctica 290 del FXI es montarlo en la parte inferior de un camión como se ha mostrado en la fig. 7. Esta configuración permite una rápida descontaminación de contaminación subterránea en material 148 con rayos X 136. Esto es particularmente útil para la restauración de fugas de gasolina y de depósitos de petróleo en estaciones de servicio de gasolina o gasolineras, refinerías y áreas de almacenamiento.

5 En la fig. 7, un FXI 110 preferiblemente plano tal como se ha descrito en conexión con la fig. 2 anterior, está montado en la parte inferior de un camión 292 de suficiente capacidad para soportar carga. El FXI 110 está montado para permitir suficiente holgura hasta el suelo cuando el camión es conducido. Los rayos X 136 procedentes de una superficie emisora de rayos X del ánodo (no mostrado) se extienden, típicamente por debajo de la profundidad mostrada, a través de un volumen de irradiación de material 148.

10 Para impedir que la radiación parásita escape del FXI 110, un apantallamiento 234 de radiación flexible de múltiples capas puede ser montado alrededor de la periferia del FXI. Este apantallamiento de radiación está hecho de tiras que se solapan de un material a base de caucho que tiene un elevado contenido de plomo, tungsteno, molibdeno o bismuto. Hay una pluralidad de capas de tales tiras dispuestas de tal manera que una capa cubre los ligeros intersticios entre tiras sobre la capa adyacente. Un apantallamiento de radiación de este diseño es suficientemente flexible para permitir que el apantallamiento se adapte a obstáculos sin comprometer la integridad de radiación del sistema. La fuente de alimentación 130 de alta tensión, el generador 190 y el depósito de combustible 186 están montados en el lecho del camión 292.

Sistema de Irradiación Subacuático

20 Como se ha mostrado en la fig. 8, una implementación práctica del FXI es una configuración sumergible 240 diseñada para su funcionamiento sumergida en agua. Esta versión es particularmente útil en descontaminación y recuperación de fondos de ríos y aguas costeras haciendo pasar rayos X al material 148 que ha de ser irradiado. La fig. 8 muestra los rayos X 136 procedentes de una superficie emisora de rayos X del ánodo (no mostrado) que se extienden, típicamente por debajo de la profundidad mostrada, a través de un volumen de irradiación de material 148.

25 La radiación de alta intensidad degrada los contaminantes de hidrocarburos orgánicos a compuestos más benignos.

Un barco 242 contiene un generador 190, un depósito de combustible 186, y una fuente de alimentación 130 de alta tensión. Hay una grúa y un cabestrante 246 montados en el barco para permitir subir y bajar el FXI sumergible 310. Un cable 244 está conectado entre el cabestrante y la grúa 246 y el FXI 310 para subir y bajar el FXI 310, incluyendo subirlo totalmente fuera del agua. El cabestrante y la grúa son capaces de colocar el FXI 310 en la cubierta del barco 242. El FXI sumergible 310 puede ser casi idéntico al FXI plano estándar 110, excepto en que tiene conexiones eléctricas sumergibles (no mostradas).

30 Para impedir que la radiación parásita escape, hay un apantallamiento 234 de radiación flexible de múltiples capas montado alrededor de la periferia del FXI. Este apantallamiento de radiación está hecho de tiras que se solapan de un material de caucho que tiene un elevado contenido de plomo, tungsteno, molibdeno, o bismuto. Hay una pluralidad de capas de tales tiras dispuestas de tal manera que una capa cubre los ligeros intersticios entre tiras de la capa adyacente. Un apantallamiento de radiación de este diseño es suficientemente flexible para permitir que el apantallamiento se adapte a obstáculos sin comprometer la integridad de radiación del sistema. El material a base de caucho no resulta dañado por exposición al agua.

FXI Esférico

40 Es posible construir el FXI en una geometría esférica como se ha mostrado en la fig. 9. Es similar en construcción a la versión de geometría cilíndrica del tubo de rayos X 109 de la fig. 1 excepto en que está curvado en dos dimensiones en lugar de estarlo en una. El funcionamiento es el mismo que el del FXI cilíndrico.

45 Con referencia a la fig. 9, el FXI esférico 250 está contenido dentro de un alojamiento 252. Hay un cátodo esférico 258 que rodea concéntricamente una rejilla esférica 256, que a su vez rodea concéntricamente un ánodo esférico 254. El volumen interior del ánodo esférico 254 es el volumen de irradiación 278. Una conexión eléctrica al cátodo 258 es provista mediante el paso de alimentación 270 que contiene el terminal de cátodo 272 que proporciona una conexión al cátodo 258. Una conexión eléctrica es proporcionada a través del paso de alimentación 266 para la rejilla 256 que contiene el terminal de rejilla 268 que proporciona una conexión a la rejilla 256. Una conexión eléctrica es proporcionada a través del paso de alimentación 262 para el ánodo 254 que contiene el terminal de ánodo 264 que proporciona una conexión al ánodo 254 a través del conductor 260 del ánodo interno. Un tubo de entrada 274 proporciona un medio para introducir material 148 que ha de ser irradiado al volumen de irradiación 278, y un tubo exterior 276 proporciona un medio de salida para materiales que han sido irradiados.

55 En funcionamiento, el cátodo 268 es cargado por una fuente de alimentación 130a, 130b o 130c, etc., de alta tensión. La rejilla 256 es conectada al cátodo 258 por una resistencia de polarización (no mostrada) para establecer una condición de espera. Cuando el terminal de rejilla 264 es puesto a tierra, los electrones 134 fluyen al ánodo 154. Cuando los electrones chocan con el ánodo 254, producen un flujo 136 de rayos X en el volumen de irradiación 278. El ánodo 154

es conectado a tierra 164 por un conductor de ánodo interno 260 y un terminal de ánodo 264 contenido dentro del paso de alimentación 262 de ánodo. El volumen interior completo del alojamiento 252 es mantenido en un vacío 132 de típicamente 1×10^{-9} Torr (es decir, $1,33 \times 10^{-7}$ pascales).

Otras Aplicaciones del Irradiador de Flash de rayos X

- 5 En el caso de descontaminación biológica, ninguna forma de vida puede resistir a la exposición a la radiación a las energías y fluencias consideradas por el irradiador de Flash de rayos X. Un ejemplo de esto es la bacteria Antrax (Bacillus Anthracia). En los últimos años, como resultado de los ataques con Antrax de 2001 a los Estados Unidos de Norteamérica, el uso de radiación de alta energía ha resultado la norma para erradicar estas bacterias. La bacteria del Antrax es matada con un 100% de fiabilidad a una dosis de 16 Kilo Greys. La radiación de alta energía rompe los enlaces de la bacteria dando como resultado su destrucción. Estas bacterias son consideradas como las más resistente de todas las bacterias conocidas, así cualquier tratamiento que sea efectivo contra ellas también será efectivo contra cualquier otra.

15 El Irradiador de Flash de rayos X utiliza este principio en la descomposición de compuestos orgánicos. Rompiendo los enlaces que mantienen los complejos orgánicos juntos, estos compuestos pueden ser reducidos a compuestos más simples, menos peligrosos y mucho más benignos. Un ejemplo de esto es encontrado en la descomposición de la dioxina, que junto con otros compuestos orgánicos mayores, provoca la contaminación de las vías acuáticas. La dioxina es un compuesto orgánico heterocíclico con la fórmula química $C_{12}H_{10}O_2$. La exposición a radiación de alta energía rompe ésta en H_2O , CO_2 y HCl . El Irradiador de Flash de rayos X puede también ser implementado en un alojamiento subacuático y utilizado para descontaminar los fondos de los ríos in situ (sin dragado). La calidad de la recuperación es significativamente más elevada como resultado de la eliminación de la liberación de manchas de material contaminado por el proceso de dragado.

Esterilización y Recuperación Medioambiental

25 El Irradiador de Flash de Rayos X puede ser utilizado en distintas configuraciones en las áreas de Descontaminación y Recuperación en aplicaciones tales como la esterilización de agua, recuperación in situ de suelos contaminados con hidrocarburos (tales como gasolinas), descomposición segura de todos los compuestos de hidrocarburos conocidos, compuestos orgánicos volátiles (VOC), bifenilos policlorados (PCB), dioxinas, tratamiento de desagües de aguas residuales, tratamiento de escorrentías de agua de tormentas, recuperación in situ de contaminación del lecho del río, tratamiento de flujo de residuos médicos, limpieza de manchas de petróleo y productos químicos, vertido contaminado de colorantes orgánicos, flujos de residuos gaseosos contaminados biológicamente tales como aire emitido desde instalaciones de investigación de riesgo biológico y hospitales que pueden contener especies muy virulentas, descontaminación de manchas de piscifactorías, descontaminación de correo postal, descontaminación de flujos de residuos de granjas de animales, esterilización de agua potable, tratamiento de residuos de procesamiento de alimentos, esterilización de agua de la sentina de embarcaciones de navegación oceánica para impedir la migración de especies biológicas extrañas, esterilización de productos médicos, esterilización de productos farmacéuticos, esterilización de grandes piscinas, esterilización de productos alimenticios, irradiación de plásticos y elastómeros para electrónica, mejora de productos residuales.

Las aplicaciones pueden ser además clasificadas en las cuatro secciones principales de: 1. Recuperación de Hidrocarburos, 2. Descontaminación, 3. Esterilización y 4. Fabricación.

1. Recuperación de Hidrocarburos

40 Tierras contaminadas con hidrocarburos (tales como debajo de estaciones de servicio y refinerías): Uno de los mayores problemas medioambientales a los que la comunidad global se enfrenta es la contaminación de la tierra bajo estaciones de servicio, terminales petrolíferas, o cualquier instalación de manipulación de petróleo debido a depósitos con fugas. Cientos de millones de dólares son tanto gastados como desperdiciados en los Estados Unidos de Norteamérica debido a las técnicas de recuperación insuficientes actualmente disponibles. Un sistema portátil basado en la tecnología del Irradiador de Flash de rayos X se espera que sea capaz de descomponer todos los hidrocarburos en el suelo bien in situ o bien excavados desde una estación de servicio media en un día. Esto se compara favorablemente a la cantidad de tiempo, a menudo meses a años, que requiere actualmente conseguir el mismo resultado final. Esta reducción en el tiempo de recuperación conduce a ahorros dramáticos en costes efectivos para las estaciones de servicio, terminales petrolíferas o cualquier instalación de manipulación. Una situación similar existe con la recuperación in situ de lechos de ríos contaminados, o el lecho del mar o el lecho de un lago de aguas costeras.

Descomposición Segura de Hidrocarburos y Compuestos Orgánicos: La misma tecnología y máquinas utilizadas para los suelos contaminados por hidrocarburos pueden ser utilizadas para descomponer todos los compuestos de hidrocarburos.

55 Componentes Orgánicos Volátiles: Los Compuestos Orgánicos Volátiles (VOC) representan una gran clase regulada de contaminantes medioambientales. El Irradiador de Flash de rayos X descompone de modo seguro los VOC rápida y económicamente. Esta clase de contaminantes medioambientales es muy grande ya que la Agencia de Protección Medioambiental de los Estados Unidos de Norteamérica ha informado al menos de 487 contaminantes.

Bifenilos policlorados: Los bifenilos policlorados (PCB) son otro contaminante medioambiental que es difícil de gestionar.

Aunque ha existido un esfuerzo desde hace mucho tiempo para eliminar estos materiales del medioambiente, los procedimientos son caros y consumen tiempo. En muchos casos, la decisión ha sido dejar los PCB en su sitio ya que no ha habido previamente ningún método rentable de eliminarlos y destruirlos. En ciertos casos, la tecnología del Irradiador de Flash de rayos X puede destruir los PCB in situ, una capacidad que nunca había estado disponible hasta ahora.

5 Dioxinas: La dioxina es un compuesto orgánico heterocíclico con la fórmula química $C_4H_4O_2$. Las dioxinas son una serie de compuestos particularmente nocivos y tóxicos. Son generalmente productos derivados de otros procesos orgánicos. Los intentos previos de destruir las dioxinas por incineración han producido su propio conjunto de productos de derivación que son dañinos para el ambiente. La literatura científica actual utiliza el nombre de "dioxinas" comúnmente por simplificación para indicar los derivados clorados de dibenzo-*p*-dioxina, más precisamente las dibenzodioxinas policloradas (PCDD). Las dibenzodioxinas policloradas que pueden también ser clasificadas en la familia de compuestos orgánicos halogenados (halocarburos), se ha demostrado que se acumulan biológicamente en los seres humanos y en la vida animal debido a sus propiedades lipofílicas (la capacidad de un compuesto químico para disolverse en grasas, aceites, lípidos, y disolventes no polares), y son teratógenos, mutágenos, y carcinógenos conocidos. El proceso de Irradiación Flash de rayos X descompondrá eficientemente estas dioxinas en compuestos y gases inocuos.

15 2. Descontaminación

Tratamiento del desagüe de aguas residuales: Las plantas de tratamiento de aguas residuales no son completamente efectivas en la eliminación de contaminantes orgánicos y biológicos. La mayor parte de las plantas de tratamiento de aguas residuales tienen alguna forma de proceso de tratamiento al final del ciclo del proceso para abordar este problema. Muchas tecnologías conocidas tales como el corrientemente usado tratamiento por ultravioletas son ineficientes en energía y de mantenimiento intensivo y ninguna consigue una descontaminación total. El lodo (desagüe de aguas residuales) contamina el área en la que es descargada. El Irradiador de Flash de rayos X tiene la capacidad de resolver estos problemas esterilizando completamente el lodo, mitigando por ello los problemas asociados con su eliminación.

25 Tratamiento de Escorrentía de Aguas de Tormenta: La Agencia de Protección Medioambiental de los Estados Unidos de Norteamérica ha obligado recientemente a que todas las escorrentías de aguas de tormentas sean tratadas para eliminar toda la contaminación biológica. No hay actualmente tecnología disponible para realizar eficientemente esta tarea. El Irradiador de Flash de rayos X puede ser producido en grandes cantidades a un coste suficientemente bajo para permitir a las municipalidades instalar esta tecnología para remediar este problema.

30 Tratamiento de Flujo de Residuos Médicos: Debido a la capacidad del irradiador de Flash de rayos X para generar flujos de radiación en el orden de 16 Kilo Greys por impulso, es práctico considerar el uso de esta tecnología para esterilizar flujos de residuos procedentes de hospitales para eliminar completamente cualquier patógeno. Se ha anticipado que el uso de esta tecnología eliminaría la necesidad de una manipulación y desecho especiales de residuos médicos.

35 Limpieza de Manchas de Petróleo y Productos Químicos: Las aproximaciones tradicionales a la limpieza de manchas de petróleo son relativamente toscas. Consisten en utilizar barreras flotantes para contener la mancha y utilizar barcos que se mueven lentamente con sistemas de recogida especializados (separadores de manchas flotantes "skimmers") para eliminar el petróleo de la superficie del agua. Sin embargo, estos sistemas son solamente satisfactorios si se aplican pronto y se utilizan con el agua en calma. Con velocidades de bombeo de 25.000 galones por minuto que permiten la limpieza, la capacidad de tratamiento de volumen elevado del irradiador de Flash de rayos X cilíndrico cambia el paradigma de la mitigación de las manchas de petróleo y productos químicos.

40 Tratamiento de Vertido Contaminado con Colorante Orgánicos: Las fábricas que o bien producen o bien utilizan colorantes con base orgánica representan otra fuente de contaminación, que en algunas aéreas del mundo constituyen la fuente predominante de contaminación. Debido a que estos colorantes (la mayor parte utilizados en la coloración de tejidos y tintas de impresión) son hidrocarburos complejos, pueden ser fácilmente descompuestos en compuestos seguros para su eliminación.

45 Tratamiento de Flujo de Residuos Gaseosos Contaminado Biológicamente: El aire emitido desde instalaciones de investigación de riesgo biológico y plantas o salas infecciosas en hospitales contienen especies muy virulentas que deben ser matadas antes de que el aire sea evacuado a la atmósfera. La versión cilíndrica de los Irradiadores Flash de rayos X cuando son acoplados con un sistema de manipulación de aire de alta velocidad es muy adecuada para esta aplicación. El mismo sistema utilizado para el tratamiento de escorrentías de agua de tormentas y similares aplicaciones pueden ser utilizados efectivamente para esta aplicación.

50 Descontaminación de Jaulas de Piscifactorías: Una nueva aplicación para el Irradiador de Flash de rayos X es en la esterilización del agua de las jaulas de las piscifactorías. El elevado rendimiento del Irradiador de Flash de rayos X acoplado con su elevada eficiencia de esterilización ofrece un medio para rescatar esta industria. Noruega había tenido que cortar su producción de salmón en piscifactorías debido a la contaminación del pescado. El Irradiador de Flash de rayos X acoplado con un sistema de bombeo eficiente del agua será efectivo para eliminar los contaminantes biológicos, permitiendo a los responsables producir una mayor cosecha de pescado sano.

55 Descontaminación del Correo Postal: Después de los casos de Ántrax en los Estados Unidos de Norteamérica en 2001 y 2002, se comprobó que el correo postal era extremadamente vulnerable a la contaminación biológica. Muchas instituciones en los Estados Unidos de Norteamérica han instalado ya sistemas de irradiación para descontaminar su

correo postal entrante. Para conseguir la descontaminación del correo, la configuración del Irradiador de Flash de rayos X plano, un irradiador de panel plano montado sobre una cinta transportadora, funciona bien. El panel puede ser de varios metros de ancho y la velocidad de la cinta es elevada. Esta aplicación es similar a la aplicación de irradiación de alimentos, porque la corriente de haz significativamente más elevada de la tecnología de Irradiación de Flash de rayos X permitirá un rendimiento sustancialmente mayor y menores costes operativos. Hay muchas más instituciones que se beneficiarían de añadir esta tecnología tales como bancos, compañías de tarjetas de crédito, compañías de seguros, u otras organizaciones que manejan grandes volúmenes de correo entrante.

Descontaminación de Flujos de Residuos de Granjas de Animales: Una sola granja grande de cerdos con 500.000 cerdos produce más residuos sobre una base diaria que la población de 10 millones de la isla completa de Manhattan en Nueva York. Hace un tiempo, las granjas factoría estaban situadas en áreas alejadas y los residuos eran o bien almacenados en grandes estanques de retención o inyectados en el terreno. la expansión de las áreas urbanas ha comenzado a invadir las áreas en las que están situadas las granjas factorías. Los olores asociados con estas granjas son considerables y los riesgos para la salud son enormes. El potencial de la contaminación de las aguas freáticas por patógenos moribundos que son introducidos en el agua freática es una amenaza real. Muchas corrientes de agua contaminadas por fosfatos pueden ser tratadas utilizando el Irradiador de Flash de rayos X. Ambos tipos del sistema de Irradiación Flash de rayos X, cilíndrico y plano, serán útiles en este campo. El irradiador cilíndrico será utilizado en instalaciones permanentes y portátiles.

3. Esterilización

Esterilización de Agua Potable: Proporcionar agua limpia, fresca es un problema crítico en todos los países. La tecnología de Irradiación de Flash de rayos X puede esterilizar el agua mucho más efectivamente que las tecnologías de recuperación con cloro y ultravioleta actualmente utilizadas. Su capacidad para procesar grandes volúmenes de agua y sus bajos requisitos de mantenimiento hacen de ella la tecnología preferida para el tratamiento del agua potable. El tubo por el que el agua circula a través durante el ciclo de irradiación es una envoltura de acero inoxidable cumpliendo así con todos los requisitos normativos para sistemas de agua potable. El Irradiador de Flash de rayos X está disponible en tamaños estándar de hasta 1 metro de diámetro interno. Mayores tamaños pueden ser acomodados.

Procesado de Alimentos: La irradiación comercial de productos alimenticios es ya un proceso bien establecido. El Irradiador de Flash de rayos X puede penetrar efectivamente en este mercado debido a su menor coste operativo y a su elevado rendimiento, Por ejemplo, los sistemas actuales que utilizan haces de electrones o rayos X pueden generar una corriente de haz de aproximadamente 2 Amperios. Por comparación, el sistema Irradiador de Flash de rayos X similarmente dimensionado producirá una corriente de haz de más de 20.000 Amperios. Esto significa que el tiempo requerido para conseguir el mismo nivel de procesado es acortado en un factor de 10.000. Este factor, cuando es combinado con la fiabilidad significativamente más elevada, resolverá el problema a un coste muy reducido.

Esterilización del Agua de Sentina de Embarcaciones de Navegación Oceánica: Con el fin de impedir y tratar los efectos de migración de especies biológicas extrañas a las aguas territoriales de cualquier otro país, el Irradiador de Flash de rayos X puede ser instalado en cargueros. Esta es un área que ha recibido mucha atención en la comunidad medioambiental. Los cargueros que utilizan agua de mar para lastre son exigidos, en los Estados Unidos de Norteamérica y en muchos otros países, a descontaminar el agua de lastre antes del vertido en el puerto de destino. El vertido de lastre contaminado se ha demostrado que introduce especies extrañas perjudiciales para la flora y fauna en las aguas de destino, con resultados devastadores. Así, hay una gran necesidad de la tecnología de FXI.

Esterilización de Productos Médicos: Los instrumentos quirúrgicos, vendajes, suturas, conjuntos de procedimiento médico y una amplia agrupación de otros productos médicos que son rutinariamente esterilizados por exposición a ⁶⁰Cobalto pueden ser tratados con el Irradiador de Flash de rayos X. Los sistemas para esterilización con ⁶⁰Cobalto son caros y voluminosos. El Irradiador de Flash de rayos X puede reemplazar estos sistemas tanto con costes de instalación y funcionamiento menores como con una eficiencia igual de esterilización.

Esterilización de Productos Farmacéuticos: Las mismas técnicas para esterilización de productos médicos y otras aplicaciones de descontaminación biológica pueden ser aplicadas a la producción farmacéutica. Una amplia agrupación de productos farmacéuticos es actualmente esterilizada utilizando distintas fuentes de radiación y de haz de electrones. En esta aplicación, el Irradiador de Flash de rayos X ofrece un mayor rendimiento y menores costes operativos y de instalación que las tecnologías existentes.

Esterilización de Grandes Piscinas: Las piscinas están sujetas a un gran número de contaminantes biológicos, incluyendo pero no limitados a orina, heces, sangre, otros fluidos corporales y otros contaminantes aleatorios. Aunque el cloro es utilizado tradicionalmente para descontaminación de piscinas, es caro, emite un olor desagradable y los sistemas de dispensación de cloro requieren un mantenimiento constante. Los nadadores frecuentemente encuentran el olor del cloro ofensivo, y los trajes de baño pueden descomponerse debido a la naturaleza ácida del agua de la piscina. Además, el ojo humano es susceptible de una irritación extrema con el cloro. Todos estos problemas pueden ser mitigados mediante el uso de un Irradiador de Flash de rayos X de elevado rendimiento.

Esterilización de Productos Alimenticios: Los mismos argumentos para esterilización de productos médicos, y otras aplicaciones de descontaminación biológica pueden ser aplicados al procesado de productos alimenticios. La irradiación

ha demostrado que aumenta la vida en estantería de productos, elimina la necesidad de refrigeración en algunos productos (matando las bacterias que causan putrefacción), y aumenta la seguridad de los alimentos envasados en general. El mismo conjunto de ventajas se aplica aquí como en otras aplicaciones: rendimiento más elevado, menor coste operativo y de instalación.

5 4. Fabricación

Irradiación de Plásticos y Elastómeros para Electrónica: Hay muchas aplicaciones de plásticos irradiados en la fabricación de electrónica. La mayor aplicación es la producción de tubería "termorretráctil" por polimerización reticulada inducida por radiación de rayos X. La tecnología del Irradiador de Flash de rayos X puede permitir tasas de producción significativamente más elevadas al tiempo que reduce simultáneamente los costes de fabricación.

10 Reforma de Productos Residuales: El Irradiador de Flash de rayos X puede combatir la contaminación del aire causada por los gases de combustión procedentes de plantas industriales. Los productos derivados típicos de la descomposición de gases de combustión son el dióxido de azufre (SO₂) y los óxidos nitrosos (NO_x). El Irradiador de Flash de rayos X es capaz de una reforma de ciertos productos residuales, por ejemplo residuos celulósicos, un producto derivado de la fabricación de papel, en hidrocarburos de orden más elevado.

15 Necesidades Sentidas desde Hace Tiempo pero Resueltas Inadecuadamente

Muchas de las aplicaciones anteriores del Irradiador de rayos X se refieren a áreas de necesidad sentida desde hace tiempo y sustanciales que carecen de una solución comparable a la del Irradiador de rayos X. Por ejemplo, los problemas asociados con la utilización del radioisótopo ⁶⁰Cobalto para irradiación, como se ha mencionado antes, persisten; y las fuentes de rayos X convencionales carecen de la fluencia necesaria para esterilización, descontaminación, recuperación medioambiental y aplicaciones de fabricación prácticas.

20

Números de Referencia del Dibujo

La siguiente es una lista de referencias del dibujo y partes asociadas para cada figura, por conveniencia de referencia:

Figuras 1 y 2	Fig. 1	Fig. 2
Irradiador de Flash de rayos X	109	110
Cátodo	111	112
Rejilla	113	114
Conductor eléctrico de rejilla	114a	
Ánodo	115	116
Región de Sección Delgada del Ánodo	117	
Paso de Alimentación del Cátodo	118	
Paso de Alimentación de rejilla	120	
Apantallamiento de radiación	122	
Condensador de Almacenamiento de Energía Suplementaria	124a	124b
Región rodeada con un círculo en la fig. 2		125
Brida de Tubo	126	
Material que circula	128	128
Fuente de alimentación	130	
Región de Vacío	132	
Electrones	134	
Rayos X	136	
Alojamiento	137	138
Conductor eléctrico de cátodo	140	
Conductor eléctrico de Rejilla		142
Soporte del cátodo		144
Tubo	146	

Figuras 1 y 2

Material que Ha de Ser Irradiado

Fig. 1

148

Fig. 2

Figura 1	Fig. 1A
Ánodo	117
Electrones	134
Rayos X	136

Figura 2A

Modificación de región rodeada con un círculo en la fig. 2

Cátodo

Condensador de Almacenamiento de Energía Suplementaria

Electrones

Soporte de cátodo

Fig. 2A

125

112

124b

134

144

Figura 3

Amplificador de Tensión en Cascada

Triodo de Emisión de Campo de Cátodo Frío

Condensador de Almacenamiento de Energía

Condensador de Circuito

Inductancia

Resistencia Fija

Resistencia Variable

Terminal de entrada

Tierra

Tierra vigilada

Derivación de Medición de Corriente

Terminal de Salida de HV

Conector de Salida de Derivación de Corriente

Fig. 3

130a

150 (a, b, c, d, etc.)

152

154 (a, b, c, d, etc.)

156

158 (a, b, c, d, etc.)

160 (a, b, c, d, etc.)

162

164

164a

168

170

171a

Figuras 4A y 4B

Modulador de Impulsos Asíncrono

Modulador de Impulsos Asíncrono

Terminal de entrada

Terminal de Salida de HV

Tierra

Tierra vigilada

Condensador de Almacenamiento de Energía

Condensador de Circuito

Condensador Variable

Resistencia

Figs. 4A y 4B

130b (fig. 4A solamente)

130c (fig. 4B solamente)

162

170

164

164a

152

154 (a, b, c, d, etc.)

172a, 172b

158 (a, b, c, d, etc.)

Figuras 4A y 4B

Derivación de Medición de Corriente
Transformador de Impulsos
Triodo de Emisión de Campo de Cátodo Frío
Conector de Salida de Derivación de Corriente

Figs. 4A y 4B

168
174
150 (a, b, c, d, etc.)
171b, c, d

Figura 5

Configuración montada en vehículo
Irradiador de Flash de rayos X
Fuente de alimentación de HV
Venturi
Entrada de Venturi
Salida de Venturi
Depósito de Combustible
Motor de turborreactor
Generador
Recipiente de Transporte Estándar
Salida del Sistema
Dimensión
Rayos X
Material que Circula a través del Dispositivo
Material que ha de ser irradiado
Entrada de aire
Filtro de aire

Fig. 5

176
178
130 ("a" o "b")
180
182
184
186
188
190
192
194
196
136
128
148
198
199

Figura 6

Configuración
Alojamiento
Entrada de Rampa de Correo
Cámara de Irradiación
FXI
Puerta Superior
Puerta Inferior
Apantallamiento frontal
Apantallamiento lateral
Apantallamiento Posterior
Monitor de Dosificación
Contenedor de Almacenamiento
Puerta de Acceso
Dispositivo de Presurización
HVPS

Fig. 6

200
202
204
205
206
208
210
212
214
216
218
220
222
224
130

Figura 6	Fig. 6
Rayos X	136
Correo que está Siendo Irradiado	137
Puerta de Entrada	226
Figura 7	Fig. 7
Configuración	290
Camión o vehículo remolcado	292
FXI	110
HVPS	130
Rayos X	136
Apantallamiento de Radiación Flexible	234
Generador	190
Depósito de Combustible	186
Rayos X	136
Material que ha de Ser Irradiado	148
Figura 8	Fig. 8
Configuración	240
Barco	242
Apantallamiento de radiación Flexible	234
Generador	190
Depósito de Combustible	186
FXI en Alojamiento Subacuático	310
HPVS	130
Cable de Interconexión	244
Grúa y Cabestrante	246
Sistema de Posicionamiento GPS	248
Rayos X	136
Material que ha de Ser Irradiado	148
Figura 9	Fig. 9
FXI Esférico	250
Alojamiento	252
Ánodo	254
Rejilla	256
Cátodo	258
Conductor del ánodo interno	260
Paso de alimentación de ánodo	262
Terminal de ánodo	264
Paso de Alimentación de rejilla	266

Figura 9	Fig. 9
Terminal de rejilla	268
Paso de Alimentación del Cátodo	270
Terminal del cátodo	272
Material que ha de ser Irradiado	148
Vacío	132
Electrones	134
Rayos X	136
Tubo de entrada	274
Tubo exterior	276
Volumen de irradiación	278
Apantallamiento de radiación	280
HVPS	130
Tierra	164

El alcance de las reivindicaciones no debe estar limitado por las realizaciones y ejemplos preferidos, pero se debe dar la interpretación más amplia consistente con la descripción en su conjunto.

REIVINDICACIONES

1. Un aparato para irradiación de Flash de rayos X de material, que comprende:
 - a) una fuente de Flash de rayos X que comprende una fuente de electrones (111, 112) y un ánodo (115, 116)
 - 5 b) comprendiendo la fuente de electrones un cátodo frío de emisión de campo que tiene una superficie emisora de electrones, y una rejilla (113, 114) para controlar el flujo de electrones desde el cátodo al ánodo; una conexión eléctrica para cargar la rejilla;
 - c) teniendo el ánodo una superficie principal receptora de electrones y una superficie principal en oposición emisora de rayos X, emitiendo la superficie que emite rayos X, radiación X a un volumen de irradiación (128);
 - 10 d) teniendo la superficie emisora de rayos X del ánodo una primera y segunda dimensiones orientadas ortogonalmente de más de 2 mm cada una;
 - e) una fuente de alimentación de impulsos de alta tensión para alimentar la fuente de Flash de rayos X; incluyendo la fuente de alimentación de impulsos de alta tensión un terminal de entrada (162) y un terminal de salida (170) y un circuito que incluye uno o más triodos de electrones de emisión de campo de cátodo frío (150a, 150b, 150c, 150d, 150e, 150g) entre el terminal de entrada y el terminal de salida;
 - 15 f) creando la fuente de electrones, ánodo y fuente de alimentación de impulsos de alta tensión una radiación X en dicho volumen de irradiación para irradiar material (148) en dicho volumen, por lo que dicho material es ionizado y los enlaces moleculares en compuestos orgánicos contenidos en dicho material son rotos; y
 - g) un alojamiento al vacío para el cátodo, rejilla y ánodo de la fuente de Flash de rayos X mantenido bajo vacío (132).
- 20 2. El aparato de la reivindicación 1, que comprende además medios para hacer que dicho material pase a través de dicho volumen de irradiación.
3. El aparato de la reivindicación 2, en el que:
 - a) el ánodo tiene una forma cilíndrica alargada con un cilindro interior, estando dicho volumen de irradiación en el interior cilíndrico de dicho ánodo; estando formado dicho ánodo de un tubo que tiene un primer y segundo extremos relativamente gruesos entre cuyos extremos existe una región central integral, relativamente delgada que contiene la superficie principal receptora de electrones;
 - 25 b) el cátodo tiene una forma cilíndrica alargada;
 - c) la rejilla tiene una forma cilíndrica y actúa como una puerta interpuesta entre dicho cátodo y dicho ánodo; y
 - d) el cátodo es axialmente simétrico y rodea dicho ánodo y dicha rejilla.
- 30 4. El aparato de la reivindicación 3, en el que un condensador de almacenamiento de energía suplementaria está posicionado en el lado del cátodo que mira lejos de la rejilla; estando situado dicho condensador dentro del alojamiento bajo vacío con el cátodo.
5. El aparato de la reivindicación 3, en el que:
 - a) los medios para hacer que dicho material pase a través de dicho volumen de irradiación comprenden una bomba de vacío montada en un vehículo; y
 - 35 b) la fuente de alimentación de impulsos de alta tensión tiene medios para su conexión a un generador eléctrico montado en un vehículo.
6. El aparato de la reivindicación 5, en el que:
 - c) el generador y la bomba de vacío están alimentados por un motor turborreactor; y
 - d) el turborreactor toma aire que fluye sobre el generador de modo que enfríe el generador.
- 40 7. El aparato de la reivindicación 6, en el que la bomba de vacío es una bomba Venturi.
8. El aparato de la reivindicación 2, en el que:
 - a) la superficie emisora de rayos X del ánodo está conformada sin un bucle cerrado y está conformada de modo que evite encerrar esa parte del volumen de irradiación normal a la superficie emisora de rayos X del ánodo; y
 - 45 b) los medios para hacer que dicho material pase a través de dicho volumen de irradiación comprenden un vehículo para transportar dicha fuente de Flash de rayos X de tal modo que haga que dicho volumen de irradiación pase a través

del material in situ.

9. El aparato de la reivindicación 8, en el que el ánodo, la rejilla y el cátodo son planos.

10. El aparato de la reivindicación 8, en el que la fuente de Flash de rayos X está adaptada para uso subacuático con dicha superficie emisora de rayos X mirando predominantemente hacia abajo.

5 11. El aparato de la reivindicación 10, en el que los medios para hacer que dicho material pase a través de dicho volumen de irradiación incluyen medios para posicionar vertical y horizontalmente dicha superficie emisora de rayos X por encima del material que ha de ser irradiado.

12. El aparato de la reivindicación 2, en el que:

10 a) la superficie emisora de rayos X del ánodo está conformada sin un bucle cerrado y está conformada de modo que evite encerrar esa parte del volumen de irradiación normal a la superficie emisora de rayos X del ánodo; y

15 b) los medios para hacer que dicho material pase a través de dicho volumen de irradiación comprenden una rampa para recibir artículos alimentados por gravedad; conteniendo la rampa dicha fuente de Flash de rayos X, que tiene costados laterales y que tiene alternativamente puertas superior e inferior que se pueden abrir para recibir los artículos dentro del volumen de irradiación; y conteniendo el volumen de irradiación un sensor de dosificación para determinar cuándo ha ocurrido una dosificación suficiente de radiación X dentro del volumen de irradiación.

13. El aparato de la reivindicación 1, en el que:

a) la superficie emisora de rayos X del ánodo está conformada sin un bucle cerrado y está conformada de modo que evite encerrar esa parte del volumen de irradiación normal a la superficie emisora de rayos X del ánodo; y

20 b) en el que un condensador de almacenamiento de energía suplementaria está posicionado en el lado del cátodo que mira lejos de la rejilla; estando situado dicho condensador dentro del alojamiento bajo vacío con el cátodo.

14. El aparato de la reivindicación 1, en el que la fuente de alimentación de impulsos de alta tensión proporciona impulsos de alta tensión del orden de 1 a 100 nanosegundos.

25 15. El aparato de la reivindicación 1, en el que el cátodo frío y la rejilla de la fuente de electrones forman un cañón de electrones que está construido de tal modo que tiene la capacidad de conseguir densidades de corriente de hasta 80.000 Amperios por centímetro cuadrado.

16. El aparato de rayos X de cualquiera de las reivindicaciones precedentes en el que dicho vacío es del orden de $1,33 \times 10^{-7}$ pascales.

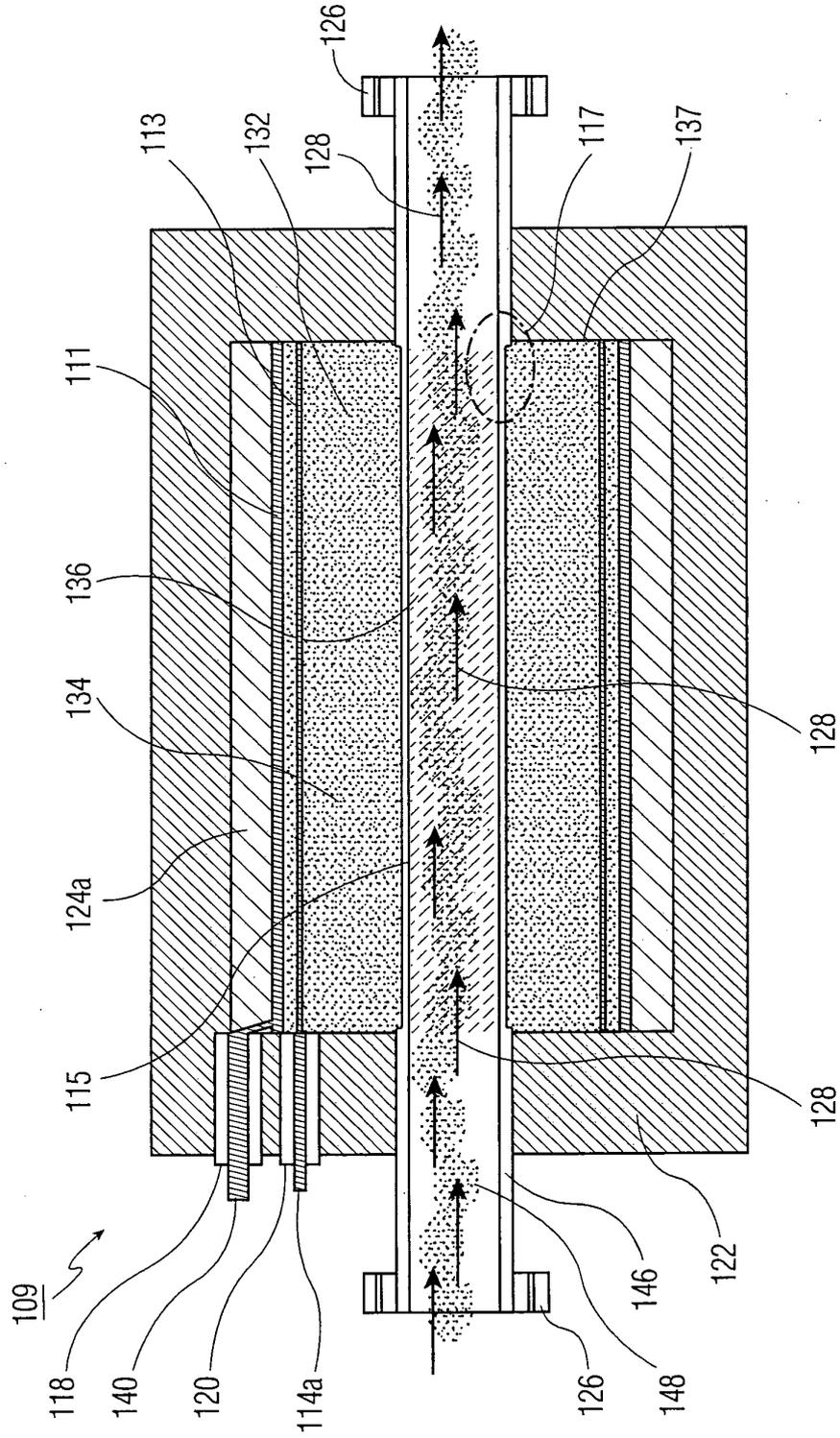


FIG. 1

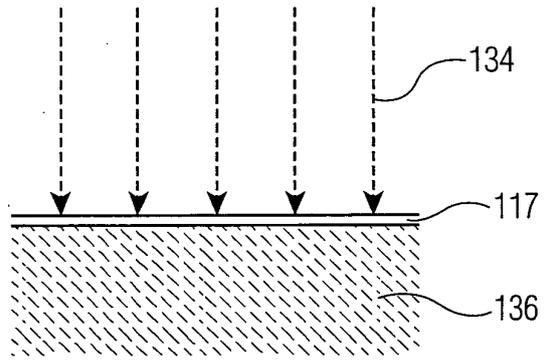


FIG. 1A

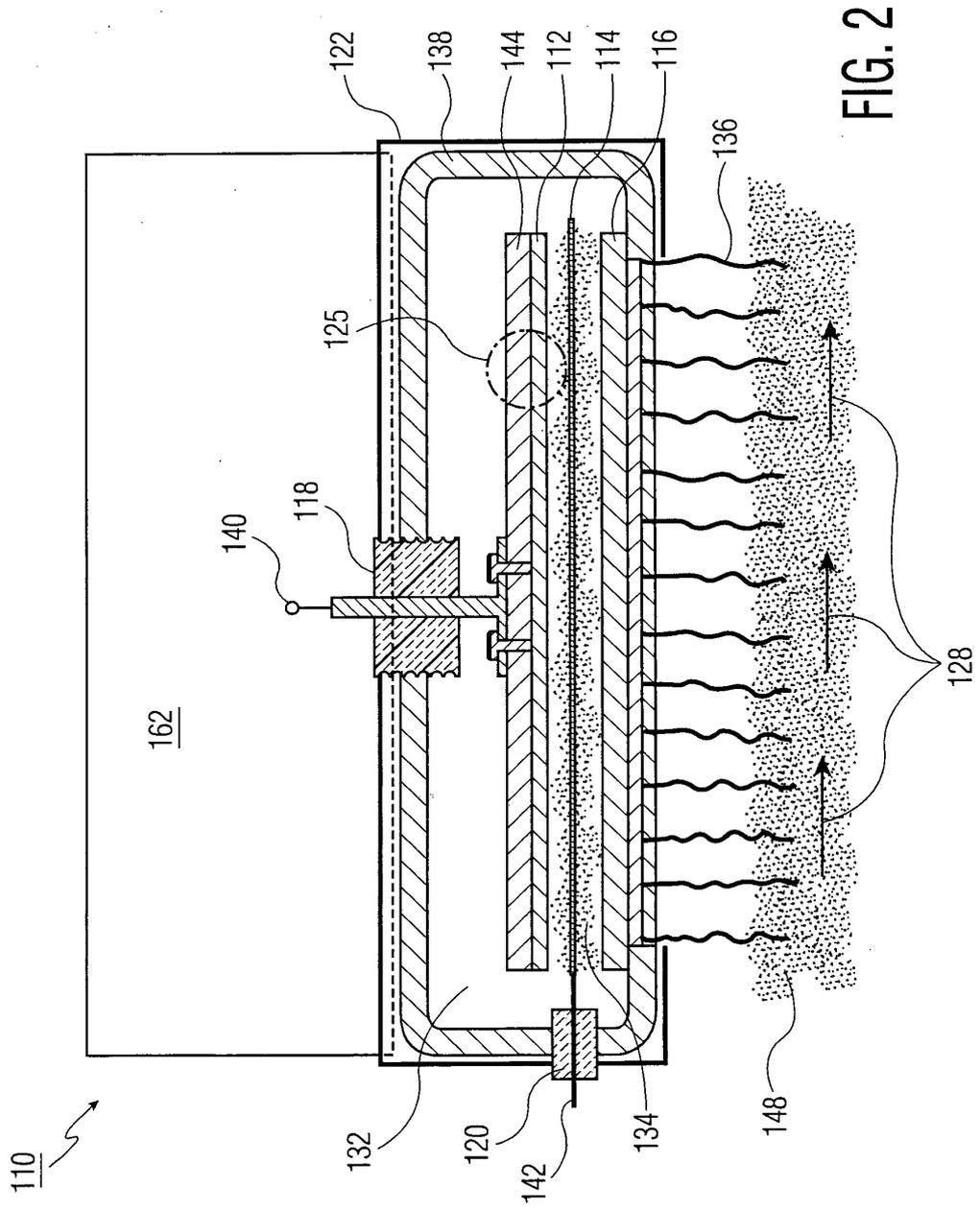


FIG. 2

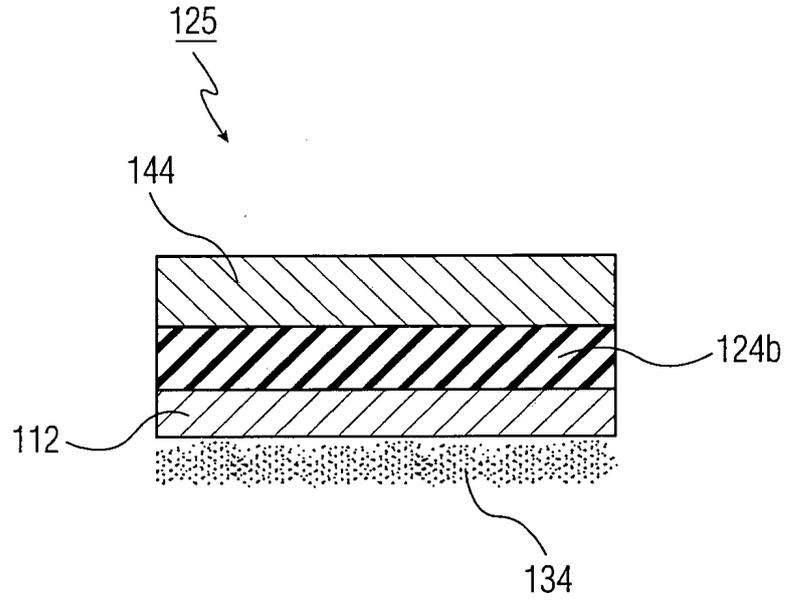


FIG. 2A

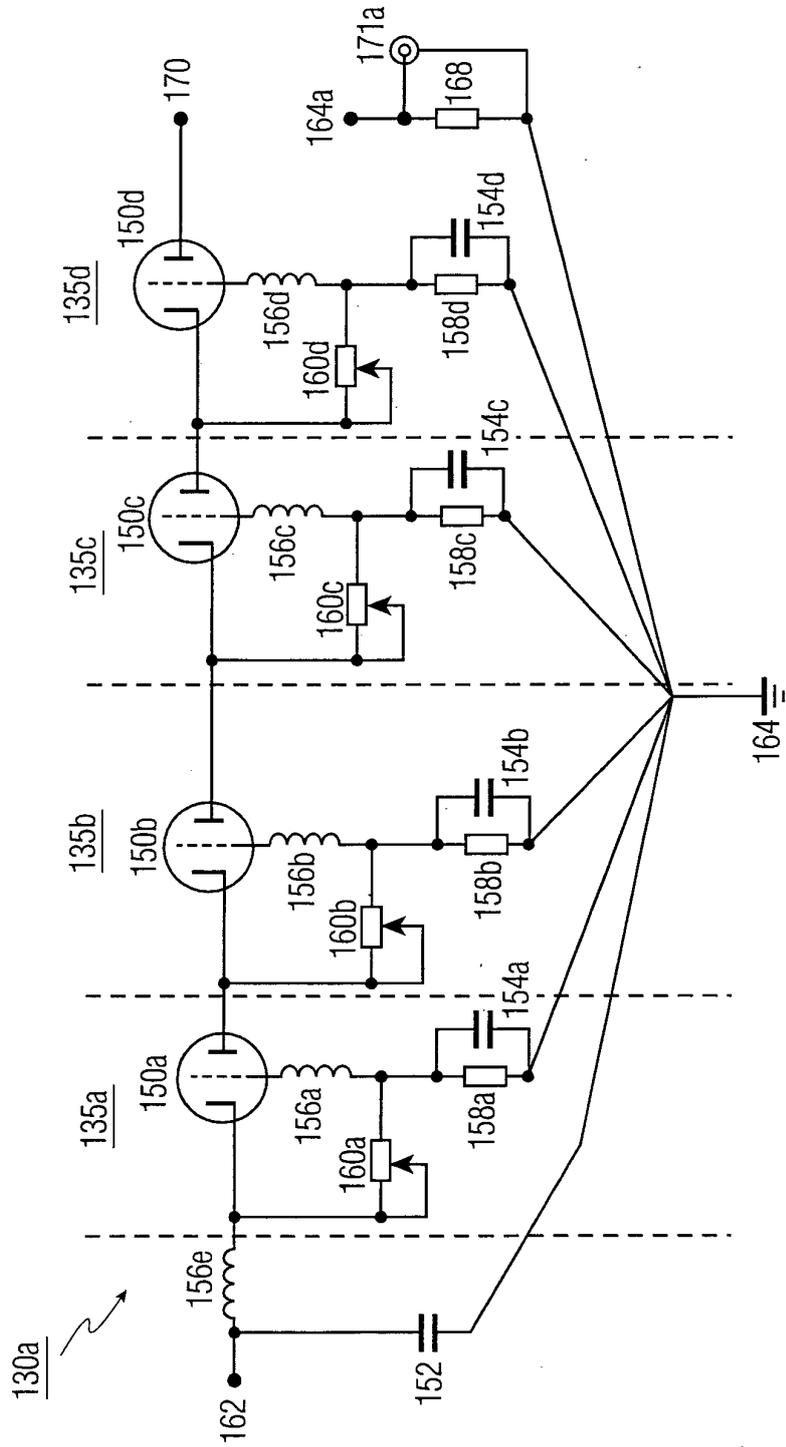


FIG. 3

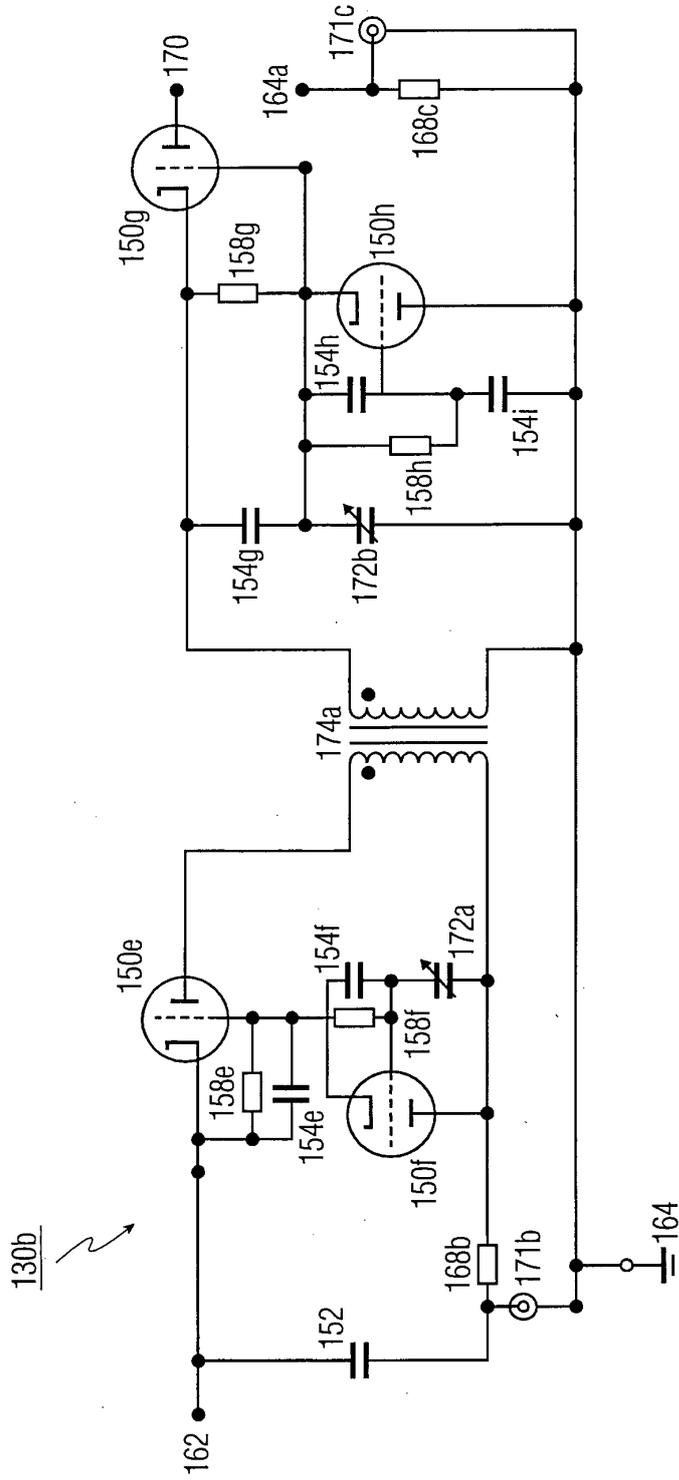


FIG. 4A

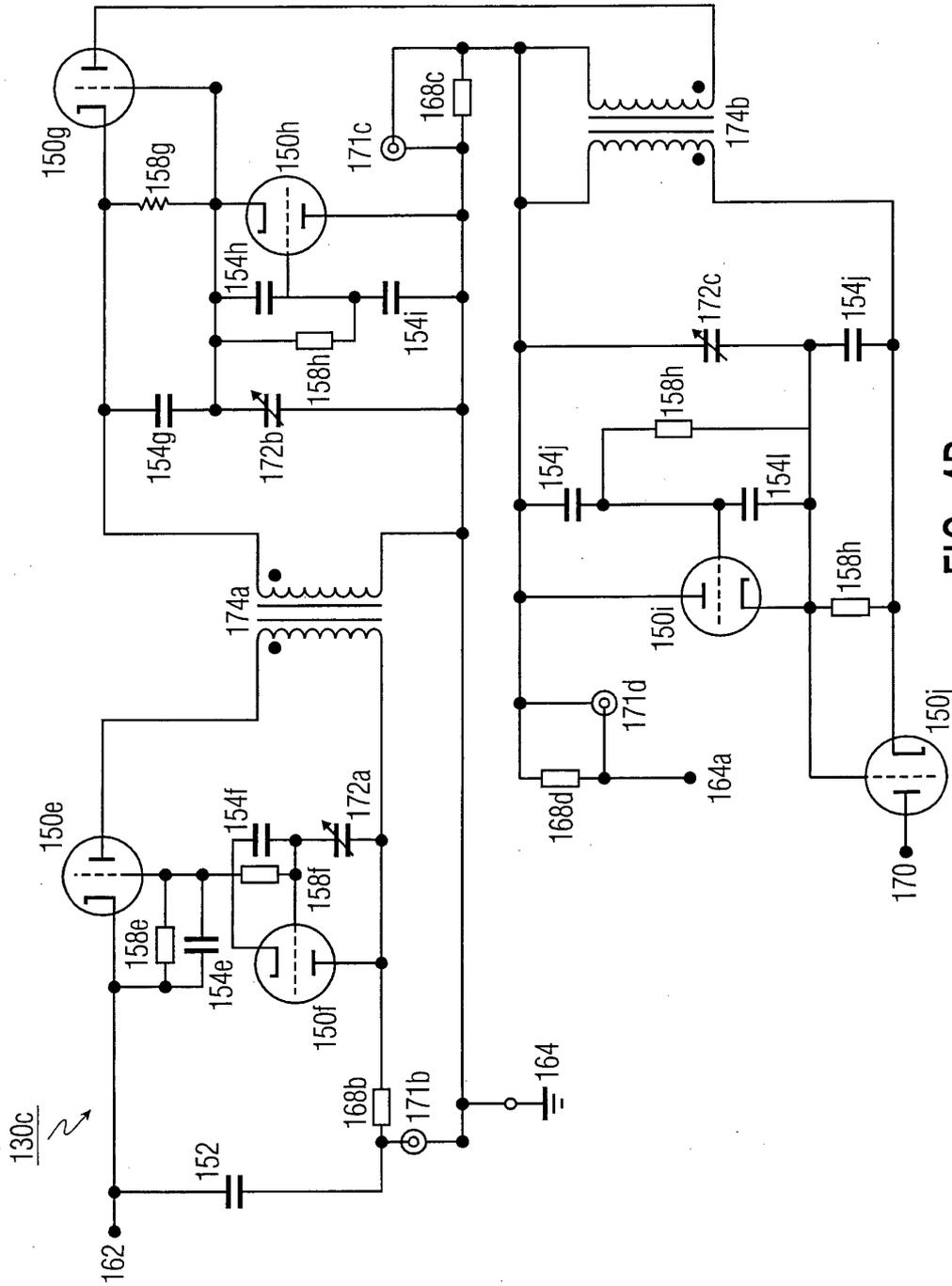


FIG. 4B

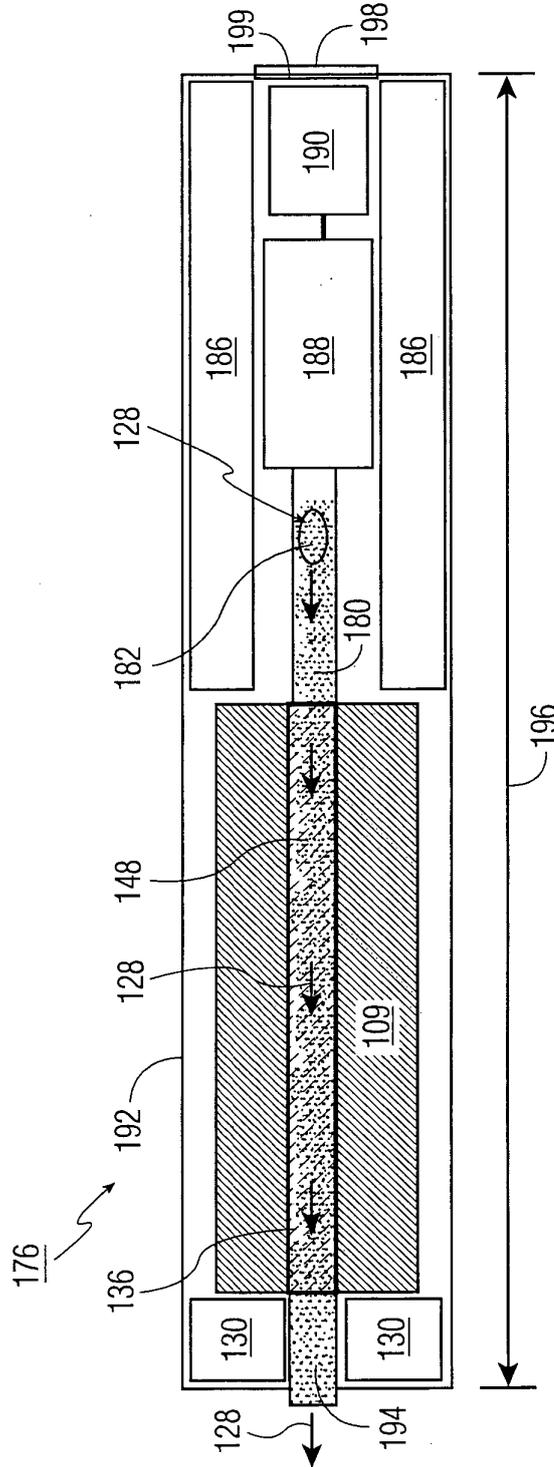


FIG. 5

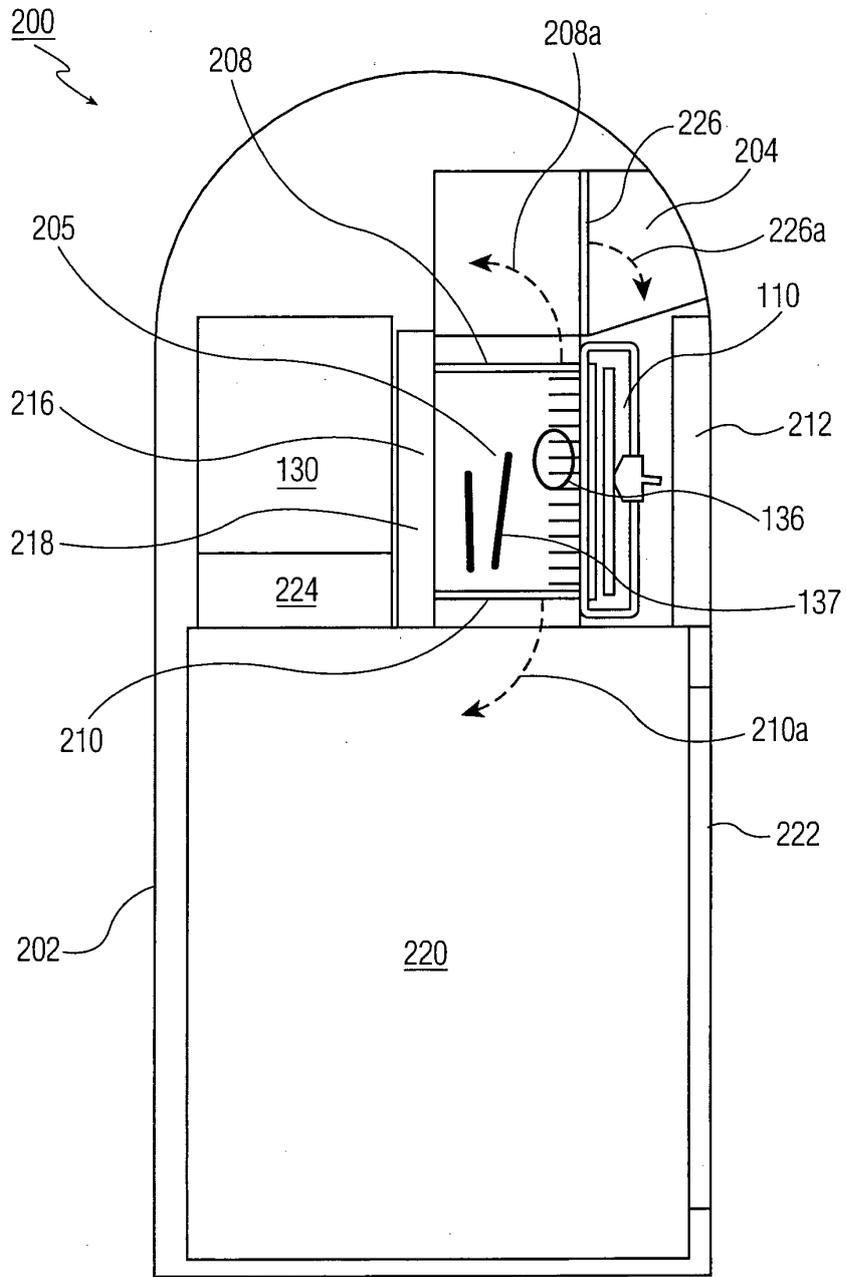


FIG. 6

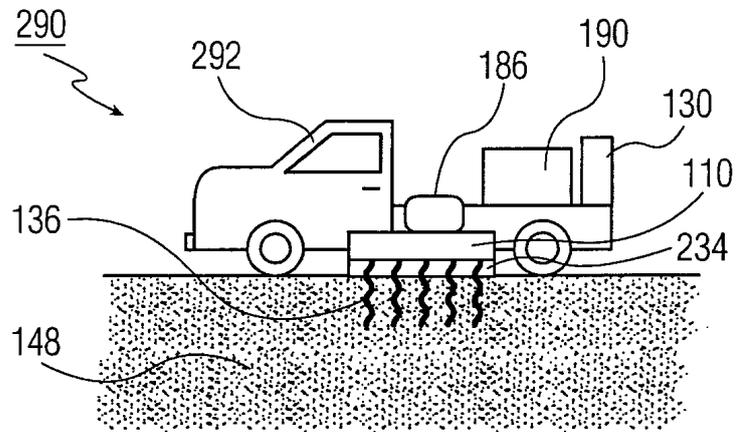


FIG. 7

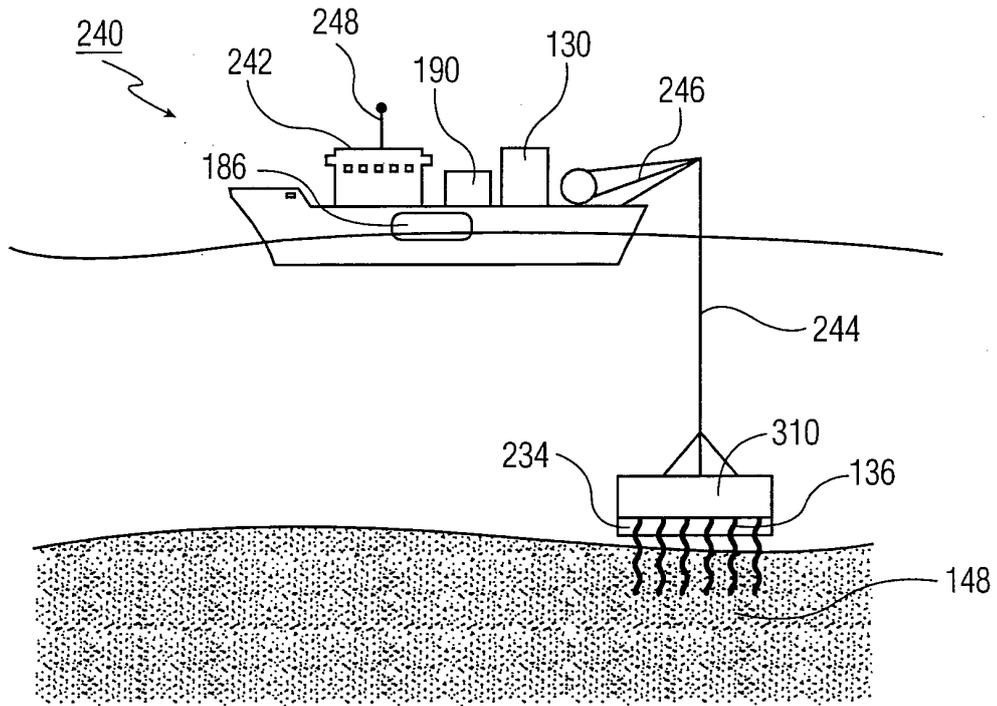


FIG. 8

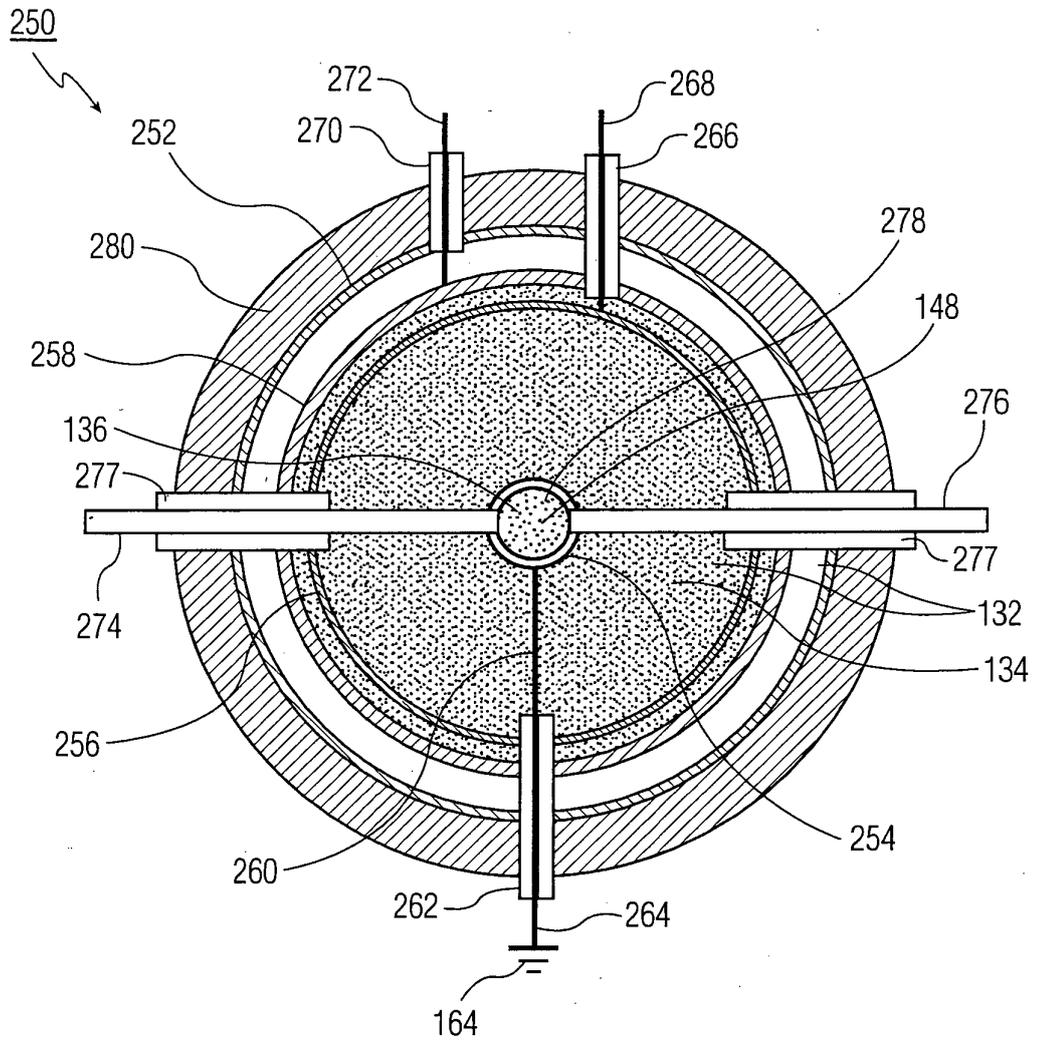


FIG. 9