

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 955 036**

51 Int. Cl.:

G21G 1/02 (2006.01)

G21C 19/20 (2006.01)

G21C 19/07 (2006.01)

G21C 17/108 (2006.01)

H05H 6/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **26.10.2017 PCT/US2017/058414**

87 Fecha y número de publicación internacional: **26.07.2018 WO18136125**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **26.10.2017 E 17892833 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **28.06.2023 EP 3535764**

54 Título: **Sistema y proceso para la producción y recolección de radioisótopos**

30 Prioridad:

02.11.2016 US 201615341478

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

28.11.2023

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:

ISERN JARA, Jorge

ES 2 955 036 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

Sistema y proceso para la producción y recolección de radioisótopos

5 Antecedentes

1. Campo

10 Esta invención se refiere en general a métodos y dispositivos para la inserción y eliminación de isótopos radiactivos dentro y fuera de un núcleo nuclear y, más particularmente, a la inserción y eliminación de dichos isótopos que pueden permanecer en el núcleo nuclear durante al menos el resto de un ciclo operativo completo después de la inserción.

2. Estado de la técnica relacionado

15 Una serie de reactores en funcionamiento emplean un sistema detector móvil en el núcleo, como el que se describe en la patente de los Estados Unidos n.º 3,932,211, para medir periódicamente la distribución de energía axial y radial dentro del núcleo. El sistema de detectores móviles generalmente consta de cuatro, cinco o seis ensamblajes detectores/accionadores, según el tamaño de la planta (dos, tres o cuatro bucles), que están interconectados de tal manera que pueden evaluar varias combinaciones de dedales de flujo en el núcleo. Para obtener la capacidad de interconexión del dedal, cada detector tiene asociado un dispositivo de transferencia mecánica rotativa de cinco y diez 20 vías. Se realiza un mapa de núcleo seleccionando, por medio de los dispositivos de transferencia, dedales particulares a través de los cuales se conducen los detectores. Para minimizar el tiempo de mapeo, cada detector puede funcionar a altas velocidades de 0.37 m/s (72 pies por minuto) desde su posición retirada hasta un punto justo debajo del núcleo. En este punto, la velocidad del detector se reduce a 0.06 m/s (12 pies por minuto) y el detector se desplaza hasta la parte superior del núcleo, en dirección inversa, y el detector se desplaza hasta la parte inferior del núcleo. Luego se aumenta la velocidad del detector a 0.37 m/s (72 pies por minuto) y se mueve el detector a su posición retirada. Se selecciona un nuevo dedal de flujo para el mapeo girando los dispositivos de transferencia y se repite el procedimiento anterior.

30 La Figura 1 muestra el sistema básico para la inserción de los detectores en miniatura móviles. Los dedales 10 retráctiles, en los que se introducen los detectores 12 en miniatura, toman las rutas aproximadamente como se muestra. Los dedales se insertan en el núcleo 14 del reactor a través de conductos que se extienden desde el fondo del recipiente 16 del reactor a través del área 18 de protección de hormigón y luego hasta una mesa 20 de sellado de dedales. Dado que los dedales del detector móviles están cerrados en el extremo principal (reactor), están secos por dentro. Los dedales, por lo tanto, sirven como una barrera de presión entre la presión del agua del reactor de 172 bar (diseño de 2500 psig) y la atmósfera. Los sellos mecánicos entre los dedales retráctiles y los conductos se proporcionan en la mesa 20 de sellado. Los conductos 22 son esencialmente extensiones de la recipiente 16 del reactor, con los dedales que permiten la inserción de detectores en miniatura móviles de instrumentación en el núcleo. Durante el funcionamiento, los dedales 10 están estacionarios y se retraerán únicamente en condiciones despresurizadas durante las operaciones de reabastecimiento de combustible o de mantenimiento. También es posible retirar un dedal hasta el fondo del recipiente del reactor si se requiere trabajar en las partes internas del recipiente.

45 El sistema de accionamiento para la inserción de los detectores en miniatura incluye, básicamente, unidades 24 de accionamiento, ensamblajes 26 de interruptores de límite, dispositivos 28 de transferencia giratorios de cinco vías, dispositivos 30 de transferencia giratorios de 10 vías y válvulas 32 de aislamiento, como se muestra. Cada unidad de accionamiento empuja un cable de accionamiento con envoltura helicoidal hueca hacia el núcleo con un detector en miniatura conectado al extremo principal del cable y un cable coaxial de diámetro pequeño, que comunica la salida del detector, enhebrado a través del centro hueco de regreso al extremo posterior del cable accionamiento.

50 El uso de los dedales 10 de flujo del sistema detector en el núcleo móvil para la producción de productos de transmutación y activación de neutrones deseados por irradiación, tal como isótopos utilizados en procedimientos médicos, requiere un medio para insertar y retirar el material que se va a irradiar desde el interior de los dedales de flujo ubicados en el núcleo 14 del reactor. Preferiblemente, los medios utilizados minimizan el potencial de exposición a la radiación del personal durante el proceso de producción y también minimizan la cantidad de desechos radiactivos generados durante este proceso. Para monitorear con precisión la exposición de neutrones recibida por el material objetivo para garantizar que la cantidad de producto de activación o transmutación que se produce sea adecuada, es necesario que el dispositivo permita una indicación del flujo de neutrones en la vecindad del material objetivo para ser continuamente medido. Idealmente, los medios utilizados serían compatibles con los sistemas actualmente utilizados para insertar y retirar sensores dentro del núcleo de los reactores nucleares comerciales. La solicitud de patente de los Estados Unidos en tramitación junto con la presente con serial n.º 15/210,231, titulada Irradiation Target Handling Device, presentada el 14 de julio de 2016, describe un ensamblaje de cable de producción de isótopos que satisface todas las consideraciones importantes descritas anteriormente para la producción de isótopos médicos que necesitan exposición del núcleo para menos que un ciclo de combustible completo.

65

Existen otros radioisótopos comercialmente valiosos que se producen a través de la transmutación de neutrones que requieren múltiples reacciones de transmutación inducidas por neutrones para producir el producto de radioisótopo deseado, o se derivan de materiales que tienen una sección transversal de interacción de neutrones muy baja, tales como Co-60, W-188, Ni-63, Bi-213 y Ac-225. Estos isótopos requieren un tiempo de residencia en el núcleo de un ciclo de combustible o más. Los reactores de potencia comerciales tienen una gran cantidad de neutrones que no contribuyen significativamente a la producción de calor del reactor que se utiliza para generar energía eléctrica. Esta invención describe un proceso y el hardware asociado que puede usarse para utilizar el entorno de neutrones en un reactor nuclear comercial para producir cantidades comercialmente valiosas de radioisótopos que requieren una exposición a neutrones a largo plazo con un impacto mínimo en las operaciones del reactor y los costes operativos.

Se puede encontrar una cápsula de la técnica anterior para producir un isótopo en la patente estadounidense 2012/0195402 A1.

Resumen

Esta invención proporciona un inserto de dedal de flujo objetivo de ensamblaje de combustible nuclear para irradiar un material objetivo durante una parte extendida de un ciclo de combustible y recolectar el material objetivo irradiado al final del ciclo de combustible. El inserto del dedal de flujo incluye una carcasa tubular alargada que tiene un eje a lo largo de su dimensión alargada. La carcasa tubular alargada está cerrada en un extremo delantero y tapada en un extremo posterior para formar una cámara de muestra objetivo en el interior de la carcasa tubular alargada. La carcasa tubular alargada está dimensionada para deslizarse dentro de un dedal del instrumento de un ensamblaje de combustible nuclear residente dentro de un núcleo de reactor, con el extremo posterior o final estructurado para ser accionado por un cable de accionamiento de un sistema detector móvil existente en el núcleo. Se captura una muestra objetivo alargada dentro del interior de la carcasa tubular alargada entre un tapón de posición axial delantero y posterior, con los tapones de posición axial estructurados para asentarse contra una pared interior de la carcasa tubular alargada para sostener la muestra objetivo en una posición axial preseleccionada dentro del interior de la carcasa tubular alargada.

En una realización, la muestra objetivo está formada por uno o más de Co-60, W-188, Ni-63, Bi-213 y Ac-225. Preferiblemente, la carcasa tubular alargada se construye a partir de un material que tiene una sección transversal de captura de neutrones baja tal como, por ejemplo, circonio o una aleación de circonio.

En otra realización, los tapones de posición axial mantienen su posición axial debido a la fricción entre las superficies de contacto de los tapones de posición axial y la pared interior de la carcasa tubular alargada. Alternativamente, los tapones de posición axial pueden mantener su posición axial encajando en ligeros rebajes en la pared interior de la carcasa tubular alargada o se puede emplear una combinación de ambos diseños. Preferiblemente, en la realización que emplea rebajes para los tapones de posición axial, las superficies superior e inferior de los tapones de posición axial que se extienden sustancialmente ortogonales al eje tienen una pared exterior sustancialmente circular que se extiende entre ellas con la dimensión de la pared exterior sustancialmente circular dimensionada para encajar en uno de los rebajes. Preferiblemente, en la última realización, la interfaz de las superficies superior e inferior con la pared exterior sustancialmente circular está inclinada en un ángulo agudo para facilitar el alojamiento y el desalojamiento de los tapones de posición axial de los rebajes.

La invención también contempla un método para irradiar un isótopo que requiere una exposición prolongada dentro de un reactor nuclear que dura al menos un ciclo de combustible, para lograr un producto objetivo previsto. El método comprende la etapa de encerrar el isótopo dentro de una carcasa tubular alargada que tiene un eje a lo largo de su dimensión alargada. La carcasa tubular alargada está cerrada en un extremo delantero y tapado en un extremo posterior para formar una cámara de muestra objetivo entre ellos dentro del interior de la carcasa tubular alargada. La carcasa tubular alargada está dimensionada para deslizarse dentro de un dedal del instrumento de un ensamblaje de combustible nuclear, con el extremo posterior estructurado para ser accionado por un cable de accionamiento de un sistema detector móvil existente en el núcleo. Luego, el isótopo se coloca en una posición axial preseleccionada dentro de la carcasa tubular alargada y el extremo posterior de la carcasa se une al cable de accionamiento. El isótopo dentro de la carcasa tubular alargada se conduce luego, al menos parcialmente, a través de un dedal del instrumento de un ensamblaje de combustible nuclear seleccionado dentro de un núcleo de un reactor nuclear y se deja dentro del núcleo durante el resto del ciclo de combustible. La carcasa tubular alargada se retira del núcleo al final del ciclo de combustible y el ensamblaje de combustible seleccionado se retira del núcleo. A continuación, la carcasa tubular alargada se reinserta en la ubicación del núcleo y una parte de la carcasa tubular alargada que contiene el isótopo se retira del cable de accionamiento.

En una realización, la parte extraída de la carcasa tubular alargada se transfiere bajo el agua a una piscina de combustible gastado donde puede empacarse para su envío.

Breve descripción de los dibujos

Se puede obtener una mayor comprensión de la invención a partir de la siguiente descripción de las realizaciones preferidas cuando se lee junto con los dibujos adjuntos en los que:

La Figura 1 es una vista en perspectiva de una disposición de detector móvil en el núcleo de la técnica anterior que puede emplearse con esta invención;

la Figura 2 es una vista en sección transversal esquemática de una realización de un dedal de flujo objetivo de esta invención; y

5 La Figura 3 es una vista esquemática de un recipiente de reactor y un sistema móvil de accionamiento del detector en el núcleo que muestra las posiciones de inserción y extracción del dedal de flujo objetivo de esta invención.

Descripción de la realización preferida

10 Una realización preferida del proceso de producción de radioisótopos de esta invención utiliza los dedales de flujo que proporcionan el conducto de acceso para las cámaras de fisión móviles del detector en el núcleo existentes al dedal del instrumento en el ensamblaje de combustible para medir periódicamente la distribución de energía del reactor, para insertar el material objetivo a transmutar en un radioisótopo deseado, en el dedal del instrumento del ensamblaje de combustible. El dedal de flujo que contiene el material objetivo, en lo sucesivo denominado dedal 34 de flujo objetivo, se muestra esquemáticamente en la Figura 2 y ocupa el lugar del detector 12 en miniatura que se muestra en la Figura 1 cuando se inserta en el dedal 50 del instrumento del ensamblaje de combustible. El dedal 34 de flujo objetivo está unido al cable 48 de accionamiento en lugar del detector 12 en miniatura y comprende una funda 36 exterior que tiene un extremo 38 principal cerrado que preferiblemente es redondeado o biselado y un extremo 40 posterior cerrado que está encerrado por una tapa 42 una vez que la muestra o la cápsula 44 objetivo del isótopo se ha cargado dentro de la cámara 45 dentro de la funda 36 exterior. La cápsula 44 del material objetivo puede tener su propia funda (no se muestra) o, si está en forma sólida independiente, puede estar tapada en cualquiera de los extremos axiales por tapones 46 de extremo en posición axial que posicionan la cápsula 44 de material objetivo en una posición axial deseada dentro del dedal 34 de flujo objetivo. Los tapones de extremo de posición axial pueden mantenerse en su posición por fricción o encajar en pequeños rebajes 52 en la superficie interior de la funda 36 del dedal de flujo de objetivo preferiblemente con la superficie de interfaz de los tapones de los extremos de posición axial biselados para ayudar al movimiento de los tapones de los extremos de posición axial en los rebajes cuando se cargan en la funda 36 del dedal de flujo objetivo. El dedal 34 de flujo objetivo permanece en su lugar dentro del dedal 50 del instrumentos de ensamblaje de combustible a lo largo del resto del ciclo operativo del reactor después de que se instala dentro del dedal del instrumento del ensamblaje de combustible. Cuando se recarga el reactor, todos los dedales de flujo se retiran debajo de la placa inferior del núcleo dentro del recipiente del reactor para permitir que el ensamblaje de combustible se arrastre y/o retire del recipiente como parte del proceso de recarga. Si se espera que la cantidad del radioisótopo deseado sea suficiente dentro de un dedal de flujo objetivo, el dedal de flujo objetivo se puede volver a insertar en la ubicación del recipiente del reactor vacía previamente ocupada por el ensamblaje de combustible extraído para permitir que la parte del dedal de flujo objetivo que contiene el material del objetivo irradiado que estaba dentro del dedal del instrumento del ensamblaje de combustible debe separarse del dedal de flujo objetivo utilizando las herramientas existentes dedicadas a las operaciones de extracción del dedal de flujo.

La Figura 3 proporciona una ilustración del posicionamiento del dedal de flujo objetivo durante las fases de producción de irradiación, recarga de combustible y recolección. Se utilizan caracteres de referencia similares entre varias figuras para representar los componentes correspondientes. El carácter 22 de referencia apunta a los conductos de guía a través de los cuales el dedal 34 de flujo objetivo viaja desde la mesa 20 de sellado. Cada uno de los conductos 22 de guía está alineado con una columna 56 del instrumento correspondiente, que está alineado con un dedal del instrumento correspondiente en uno de los ensamblajes de combustible en el núcleo. El carácter 54 de referencia apunta a la posición del dedal de flujo objetivo completamente insertado en el ensamblaje de combustible correspondiente en el núcleo en el que se irradiará la cápsula de material objetivo y el carácter 58 de referencia se refiere a la posición totalmente extraída que permite que el ensamblaje de combustible correspondiente se retire del núcleo, antes de recoger el material objetivo. Los caracteres 68 y 70 de referencia, respectivamente, muestran la diferencia de la posición completamente extraída y la posición completamente insertada en la mesa 20 de sellado. Después de que el ensamblaje de combustible se retira del núcleo, el dedal 34 de flujo objetivo se puede reinsertar en el área del núcleo y cortarse en el carácter 60 de referencia para retirarlo del recipiente del reactor. El material objetivo irradiado puede luego insertarse en un contenedor 62 que permitirá que la parte del dedal de flujo objetivo que contiene el material objetivo se transfiera a través del sistema 66 de transferencia de combustible a la piscina 64 de combustible gastado donde puede empacarse en un contenedor 72 de envío blindado para enviar a una planta de procesamiento. La porción restante del dedal de flujo objetivo afectado se retira mediante procedimientos de mantenimiento estándar y se reemplaza con un nuevo dedal de flujo objetivo. El proceso se puede repetir tantas veces como se desee, y simultáneamente en tantas ubicaciones de núcleo diferentes como sea prudente para garantizar que al menos el 75% de las ubicaciones de ensamblaje de combustibles que albergan dedales de flujo estén disponibles durante todo el ciclo operativo.

60 El método típico de la técnica anterior para producir radioisótopos comercialmente valiosos que requieren irradiación a largo plazo dentro de reactores nucleares comerciales implica insertar una o más estructuras de pasadores de combustible que contienen el material objetivo en uno o más ensamblajes de combustible. El proceso ofrecido por esta invención evita la necesidad de realizar el análisis muy riguroso, lento y costoso necesario para respaldar las modificaciones a un diseño de ensamblaje de combustible autorizado para incorporar las estructuras modificadas de pasadores de combustible. Los dedales del instrumento del ensamblaje de combustible a los que se accede a través de los dedales de flujo por las cámaras de fisión del detector móvil en el núcleo no requieren ninguna modificación.

Dado que no hay modificaciones en el diseño del ensamblaje de combustible requeridas por el enfoque documentado en este documento, hay pocos costes asociados con la implementación de este proceso.

5 La irradiación de materiales diana para producir un radioisótopo deseado es la primera etapa en la producción de cualquier radioisótopo comercialmente valioso. En consecuencia, el negocio potencial es toda el mercado de producción de radioisótopos de vida más larga. Algunos radioisótopos notables muy deseados (y costosos) adecuados para el proceso de producción abordado por esta invención incluyen Co-60, W-188, Ni-63, Bi-213 y Ac-225. El proceso descrito en este documento se presta al uso de material objetivo radiactivo, ya que la capacidad de blindar el material objetivo antes de que sea irradiado está respaldada por las características existentes de la arquitectura del detector móvil en el núcleo.

10 Aunque se han descrito en detalle realizaciones específicas de la invención, los expertos en la técnica apreciarán que podrían desarrollarse diversas modificaciones y alternativas a esos detalles a la luz de las enseñanzas generales de la divulgación. En consecuencia, las realizaciones particulares divulgadas pretenden ser únicamente ilustrativas y no limitativas en cuanto al alcance de la invención, al que se le dará toda la amplitud de las reivindicaciones adjuntas.

REIVINDICACIONES

1. Un inserto (34) de dedal de flujo de ensamblaje de combustible nuclear que comprende:

- 5 una carcasa (36) tubular alargada que tiene un eje a lo largo de su dimensión alargada, estando cerrada la carcasa tubular alargada en un extremo (38) delantero y tapada (42) en un extremo (40) posterior para formar una cámara (45) de muestra objetivo allí entre dentro de un interior de la carcasa (36) tubular alargada, estando la carcasa tubular alargada dimensionada para deslizarse dentro de un dedal (50) del instrumento de un ensamblaje de combustible nuclear, con el extremo (40) posterior estructurado para ser accionado por un cable (48) de accionamiento de un sistema detector móvil existente en el núcleo; y
- 10 una muestra (44) objetivo alargado capturado entre un tapón (46) de posición axial delantero y posterior en el que los tapones de posición axial están estructurados para asentarse contra una pared interior de la carcasa (36) tubular alargada para sostener la muestra (44) objetivo en una posición axial preseleccionada dentro del interior de la carcasa tubular alargada.
- 15 2. El inserto (34) del dedal de flujo de ensamblaje de combustible nuclear de la reivindicación 1, en el que la muestra (44) objetivo está formada por uno o más de Co-60, W-188, Ni-63, Bi-213 y Ac-225.
3. El inserto (34) de dedal de flujo de ensamblaje de combustible nuclear de la reivindicación 1, en el que la carcasa (36) tubular alargada está construida de un material que tiene una sección transversal de captura de neutrones baja.
- 20 4. El inserto (34) de dedal de flujo de ensamblaje de combustible nuclear de la reivindicación 3, en el que la carcasa (36) tubular alargada está construida de circonio o una aleación de circonio.
- 25 5. El inserto (34) de dedal de flujo de ensamblaje de combustible nuclear de la reivindicación 1, en el que los tapones (46) de posición axial mantienen su posición axial debido a la fricción entre las superficies de interfaz en los tapones de posición axial y la pared interior de la carcasa (36) tubular alargada.
- 30 6. El inserto (34) de dedal de flujo de ensamblaje de combustible nuclear de la reivindicación 1, en el que los tapones (46) de posición axial mantienen su posición axial encajando en ligeros rebajes (52) en la pared interior de la carcasa (36) tubular alargada.
- 35 7. El inserto (34) de dedal de flujo de ensamblaje de combustible nuclear de la reivindicación 6, en el que los tapones (46) de posición axial tienen una superficie superior e inferior que se extiende sustancialmente ortogonal al eje con una pared externa sustancialmente circular que se extiende entre la superficie superior e inferior, en la que la dimensión axial de la pared exterior sustancialmente circular está dimensionada para encajar en uno de los rebajes (52).
- 40 8. El inserto (34) de dedal de flujo de ensamblaje de combustible nuclear de la reivindicación 7, en el que la interfaz de las superficies superior e inferior con la pared exterior sustancialmente circular están inclinadas en un ángulo agudo para facilitar el alojamiento y el desalojo de los tapones (46) de posición axial de los rebajes (52).
- 45 9. Un método para irradiar un isótopo (44) que requiere una exposición prolongada dentro de un reactor (16) nuclear que dura al menos un ciclo de combustible, para lograr un producto objetivo previsto, que comprende las etapas de:
- 50 encerrar el isótopo (44) dentro de una carcasa (36) tubular alargada que tiene un eje a lo largo de su dimensión alargada, estando la carcasa tubular alargada cerrada en un extremo (38) delantero y tapada (42) en un extremo (40) posterior para formar una cámara (45) de muestra objetivo entre ellos dentro de un interior de la carcasa tubular alargada, estando la carcasa (36) tubular alargada dimensionada para deslizarse dentro de un dedal (50) del instrumento de un ensamblaje de combustible nuclear, con el extremo (40) posterior estructurado para ser accionado por un cable (48) de accionamiento de un sistema detector móvil existente en el núcleo;
- 55 colocar el isótopo (44) en una posición axial preseleccionada dentro de la carcasa (36) tubular alargada;
- unir el extremo (40) posterior al cable (48) de accionamiento;
- conducir el isótopo (44) dentro de la carcasa (36) tubular alargada dentro y al menos parcialmente a través de un dedal (50) del instrumento de un ensamblaje de combustible nuclear seleccionado dentro de un núcleo (14) de un reactor (16) nuclear;
- 60 dejar el isótopo (44) dentro del dedal (50) del instrumento durante el resto de un ciclo de combustible del núcleo (14);
- retirar la carcasa (36) tubular alargada del núcleo (14) al final del ciclo de combustible;
- retirar el ensamblaje de combustible seleccionado del núcleo (14);
- 65 reinsertar la carcasa (36) tubular alargada al menos parcialmente en el núcleo (14); y
- retirar al menos una parte de la carcasa (36) tubular alargada que contiene el isótopo (44) desalojando la parte del cable (48) de accionamiento.
10. El método de la reivindicación 9, en el que la etapa de desalojo corta la carcasa (36) tubular alargada alrededor de una circunferencia.

11. El método de la reivindicación 10 que incluye la etapa de transferir la parte bajo el agua a una piscina (64) de combustible gastado.

5 12. El método de la reivindicación 11 que transfiere la parte en una construcción que alberga la piscina (64) de combustible gastado a un paquete blindado para su envío.

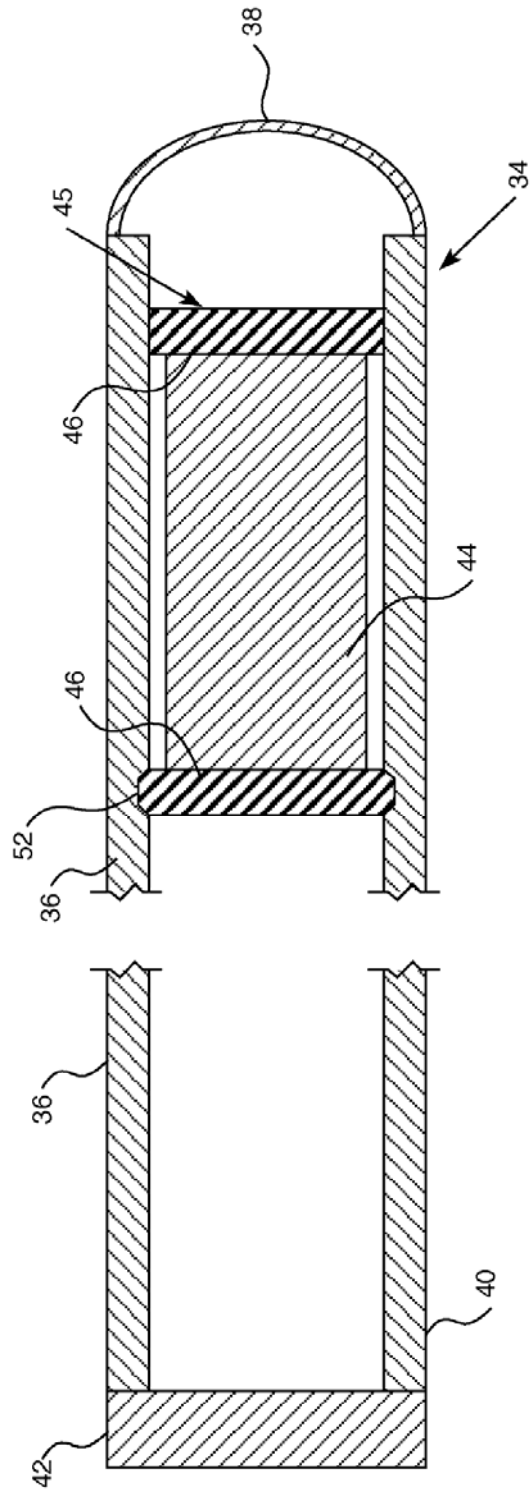


FIG. 2

