

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 672 009**

51 Int. Cl.:

G21H 1/04 (2006.01)

G21C 9/00 (2006.01)

G21D 3/04 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **21.11.2014 PCT/US2014/066734**

87 Fecha y número de publicación internacional: **30.07.2015 WO15112251**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **21.11.2014 E 14879964 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **04.04.2018 EP 3097567**

54 Título: **Generador eléctrico de estado sólido**

30 Prioridad:

21.01.2014 US 201414159653

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

12.06.2018

73 Titular/es:

**WESTINGHOUSE ELECTRIC COMPANY LLC
(100.0%)
1000 Westinghouse Drive Suite 141
Cranberry Township, PA 16066, US**

72 Inventor/es:

HEIBEL, MICHAEL D.

74 Agente/Representante:

CARPINTERO LÓPEZ, Mario

ES 2 672 009 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

Generador eléctrico de estado sólido

Antecedentes**1. Campo**

- 5 La presente invención versa, en general, acerca de generadores eléctricos y, más en particular, acerca de un conjunto de estado sólido que genera electricidad en respuesta a un entorno de radiación relativamente baja.

2. Técnica relacionada

10 Los sucesos de la central nuclear de Fukushima Dai-ichi de Japón aumentaron las inquietudes de las posibles consecuencias de una pérdida de energía durante un periodo prolongado de los sistemas que enfrían el núcleo del reactor nuclear y las piscinas de combustible gastado. Como resultado de un tsunami, hubo una pérdida de suministro eléctrico desde fuentes externas a la central, lo que tuvo como resultado periodos de pérdida completa de suministro de corriente alterna. La pérdida de energía paró el reactor y los sistemas de enfriamiento de las piscinas de combustible gastado. El agua en algunas de las piscinas de combustible gastado se disipó mediante vaporización y evaporación, debido a un aumento en la temperatura de las piscinas calentadas por los conjuntos de combustible
15 gastado muy radioactivo sumergidos en las mismas. Sin energía durante un periodo prolongado para bombear agua de sustitución al reactor y a las piscinas, los conjuntos de combustible podrían quedar potencialmente al descubierto, lo que, en teoría, podría aumentar la temperatura de las varillas de combustible en esos conjuntos, dando lugar posiblemente a una rotura en el revestimiento de esas varillas de combustible y la posible fuga de radiactividad al medioambiente. La pérdida total de energía a los equipos y a los sensores experimentada por las unidades de Fukushima Dai-ichi tras el tsunami devastador tuvo como resultado una incapacidad para controlar las funciones de
20 válvula necesarias para mantener el enfriamiento del conjunto de combustible.

El documento US 5 672 928 describe un procedimiento para estabilizar corriente continua generada por la activación de neutrones de una pluralidad de células interconectadas de emisor β (electrón de desintegración nuclear), que están colocadas en una posición específica en la región fuera del núcleo de un reactor nuclear de agua ligera. El
25 procedimiento conlleva una combinación sinérgica de isótopos absorbentes de neutrones, con una relación específica entre sí, escogiéndose la cantidad de cada absorbente y sus ubicaciones respectivas en el campo de flujo neutrónico para hacer que la característica de corriente total-tiempo sea sustancialmente constante durante un número significativo de años a plena potencia del reactor. La enseñanza del presente documento está centrada en la estabilización de la salida de corriente más que en su maximización.

30 Es un objeto de la presente invención proporcionar un dispositivo capaz de proporcionar de manera pasiva la corriente eléctrica requerida para extender ampliamente la capacidad de las baterías de la central nuclear para controlar los sistemas de enfriamiento y de monitorización del núcleo, permitiendo que puedan continuar desempeñando las funciones críticas requeridas durante una pérdida completa de suministro de corriente alterna.

Sumario

35 Se logran estos y otros objetos mediante un generador eléctrico de estado sólido que tiene un alojamiento eléctricamente conductor con un material sensible a la radiación soportado en el alojamiento eléctricamente conductor. El material sensible a la radiación es sensible a la radiación de fondo en una instalación de generación de energía nuclear, fuera del reactor nuclear, pero en las inmediaciones de las varillas de combustible nuclear, para generar suficiente electricidad para operar o cargar de forma sustancialmente completa las baterías que operan los
40 equipos de emergencia en la instalación. Se coloca un aislante entre el material sensible a la radiación y el alojamiento. En una realización, la producción eléctrica del material sensible a la radiación aumenta durante un periodo dado de tiempo en un campo de la radiación de fondo. Tras un primer número dado de ciclos de operación del reactor nuclear, la electricidad producida por el material sensible a la radiación es suficiente para operar o cargar de manera sustancialmente completa las baterías que operan los equipos de emergencia incluso con el reactor
45 parado.

Preferentemente, el material sensible a la radiación no es radioactivo hasta que se coloca en la radiación de fondo. Además, el alojamiento eléctricamente conductor puede ser lo suficientemente delgado para que quepa en un espacio entre una pared de la cavidad del reactor en el que se soporta el reactor nuclear y el exterior de la vasija de presión que aloja el núcleo del reactor nuclear.

50 En las realizaciones, el material sensible a la radiación es un radiador gamma sustancialmente emparedado contra un radiador gamma y de electrones. En una realización tal, el material sensible a la radiación es una combinación de Co-59 y tungsteno. Preferentemente, el alojamiento eléctricamente conductor y el material sensible a la radiación son flexibles.

55 En las realizaciones, una junta hermética aislante eléctrica está soportada entre un lado trasero del alojamiento y el radiador gamma y aísla de manera eléctrica el lado trasero del alojamiento de un lado delantero del alojamiento que

forma un colector. La invención también contempla una instalación de generación de energía nuclear que incluye tal generador eléctrico de estado sólido.

Breve descripción de los dibujos

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

la Figura 1 es una representación esquemática de una vista lateral de una realización preferente ejemplar de los principios reivindicados a continuación;

la Figura 2 es una vista delantera de la realización ilustrada en la Figura 1;

10 la Figura 3 es una representación esquemática del mecanismo de producción de corriente eléctrica de la presente invención;

la Figura 4 es una vista en sección transversal de una cavidad del reactor con el generador eléctrico de la presente invención mostrado soportado por las paredes laterales de la misma, entre la pared de la cavidad del reactor y la vasija de presión del reactor, extendiéndose, al menos parcialmente, en torno a la misma;

15 la Figura 5 es una vista en sección en planta de una porción de la cavidad del reactor mostrada en la Figura 4; y la Figura 6 es una vista esquemática en sección transversal de una piscina de combustible gastado.

Descripción de la realización preferente

La Figura 1 muestra una vista lateral y la Figura 2 muestra una vista delantera de una representación esquemática de una realización preferente ejemplar de los principios reivindicados a continuación. El generador de corriente eléctrica ilustrado en las Figuras 1 y 2 es un dispositivo de estado sólido que tiene un alojamiento externo 12 con un extremo delantero eléctricamente conductor 14 que está sellado desde un extremo trasero 16 mediante una placa soporte 18 de junta hermética aislante. Se dispone un material 20 sensible a la radiación entre el extremo delantero del alojamiento 14 y la placa delantera 18 de junta estanca aislante, con el aislamiento 26, tal como AL_2O_2 dispuesto en ambos lados del material 20 sensible a la radiación entre el material sensible a la radiación y la parte delantera del alojamiento 14 y entre el material 20 sensible a la radiación y la placa delantera 18 de junta estanca aislante. La placa delantera 18 de junta estanca aislante evita que los electrones que están siendo "empujados" al interior del dispositivo desde la cara más cercana a la fuente externa de radiación gamma (por ejemplo, la vasija del reactor) anulen los electrones generados por el emisor gamma interno.

El material 20 sensible a la radiación, en la presente realización, está formado de un material radiador gamma, tal como, por ejemplo, Co-59 que está sustancialmente emparedado contra un radiador gamma y de electrones, tal como tungsteno con un cable eléctrico 28 que forma un emisor que dirige el recorrido de electrones entre el dispositivo de utilización que ha de ser alimentado y el generador 10 de corriente. La porción delantera del alojamiento 14 forma el colector. La expresión "radiador gamma" se utiliza para denotar un material que emite rayos gamma en respuesta a la desintegración o a la captura en el material bien de neutrones o bien de radiación gamma como resultado de la radiación incidente. De manera similar, la expresión "radiador de gamma y de electrones" se utiliza para denotar un material que emite electrones en respuesta a la desintegración o a la captura en el material de radiación gamma o neutrones.

La Figura 3 muestra una representación esquemática del mecanismo de producción de corriente eléctrica de la presente realización ejemplar de la invención reivindicada a continuación. Cuando se irradia el dispositivo 10 por medio de una fuente 30 de neutrones y/o de radiación gamma, decae parte de la radiación y es capturada en el material sensible a la radiación, que emite electrones que son acumulados por el extremo delantero del alojamiento 14 de aluminio, para establecer una corriente eléctrica 32 que fluye desde el emisor 28 hasta el colector 14.

Los expertos en la técnica pueden regular el área superficial y el grosor del radiador gamma, (por ejemplo, Co-60) y el área superficial correspondiente y el grosor deseado del radiador gamma y de electrones, por ejemplo, tungsteno para lograr la generación deseada de corriente eléctrica en los campos previstos de radiación gamma y de neutrones. El grosor del aislante 26 entre los elementos radiadores 20 y el colector externo 14 también puede ser optimizado por los expertos en la técnica para producir la corriente máxima sin sufrir un cortocircuito entre las dos regiones en el intervalo previsto de temperatura operativa del dispositivo.

Según indica la Figura 3, la fuente primaria de corriente eléctrica en este dispositivo es una función del tiempo, $I(t)$. En el dispositivo se generan electrones dispersados fotoeléctricamente y de Compton producidos en la placa 24 de tungsteno adyacente a la placa 22 de cobalto-59, mediante la radiación gamma producida por Co-60 generada por interacciones de los neutrones con el Co-59 en la placa de Co-59. Además de este mecanismo para la producción de corriente eléctrica, la captura inmediata de la radiación gamma liberada cuando se captura un neutrón por un material tal como tungsteno también producirá electrones dispersados fotoeléctricamente y de Compton que tienen suficiente energía para cruzar la separación entre el radiador 20 y el colector 14. Se puede hacer que el área superficial del dispositivo sea muy grande. El dispositivo también puede ser muy delgado y flexible.

La Figura 4 muestra un ejemplo de una aplicación potencial. Una vasija 34 del reactor está soportada en la cavidad 36 del reactor y rodea un núcleo 38 del reactor que aloja los conjuntos de combustible nuclear. Las paredes 40 de la

cavidad se extienden en torno a la vasija 34 por encima de la altura del núcleo 38 y las paredes 40 soportan el dispositivo 10 de la presente invención sobre al menos una porción de la altura del núcleo 38 del reactor. Por lo tanto, el dispositivo puede ser utilizado para recubrir la cavidad de la vasija del reactor y utilizar los neutrones gastados y la radiación gamma que se fuga de la vasija 34 del reactor para generar corriente eléctrica valiosa. La Figura 5 muestra una vista en planta de una sección transversal de la cavidad del reactor que tiene el dispositivo 10 envuelto en torno a al menos una porción de las paredes 40 de la cavidad.

La Figura 6 muestra otra aplicación potencial para este dispositivo para una piscina 42 de combustible gastado que tiene bastidores de conjuntos 44 de combustible gastado suspendidos en un refrigerante 46. El dispositivo 10 puede estar soportado por las paredes de la piscina por debajo del nivel de agua del refrigerante 46, según se muestra en la ubicación 50, o puede estar suspendido de las paredes por encima del nivel del refrigerante según se indica en las ubicaciones 48. Se pueden repartir múltiples dispositivos 10 en torno a la piscina 42 de combustible gastado y pueden estar conectados en serie o en paralelo según se sea necesario para satisfacer los requisitos de los equipos a los que se pretende alimentar. El dispositivo 10 puede ser utilizado, por ejemplo, para alimentar las válvulas 52 para reabastecer refrigerante 46 que puede haberse evaporado de la piscina o un sistema 54 de recirculación para eliminar calor del refrigerante 46.

Se puede lograr este principio operativo utilizando materiales distintos del cobalto y del tungsteno. Una característica importante de este diseño es el uso de materiales que son capaces de producir energía eléctrica cuando se colocan en un campo de radiación gamma y de neutrones relativamente bajo y creará esencialmente material para mejorar suficientemente la energía producida por el dispositivo para permitir que el dispositivo proporcione suficiente energía a las baterías que suministran energía a la instrumentación crítica y a los equipos de seguridad, aunque se haya parado el reactor u otra fuente de radiación gamma y de neutrones. Preferentemente, el dispositivo no es inicialmente radioactivo.

Se puede generar una estimación de la cantidad de corriente eléctrica que puede ser generada por un despliegue de este dispositivo fuera de la vasija en un dispositivo de 3,66 m × 3,66 m × 1,3 cm para el sistema AP1000 de reactor nuclear disponible de Westinghouse Electric Company LLC, a partir de la información acerca del flujo neutrónico nominal y de la dosis de radiación gamma dentro de la cavidad de la vasija, de la tasa de generación de Co-60, de la tasa de producción de radiación gamma capturada en tungsteno y de la sensibilidad del tungsteno a la producción de corriente disponible (Mirion IST). Los resultados de este cálculo sencillo indican que el dispositivo producirá una corriente estacionaria de al menos tres amperios después de la parada del reactor tras un ciclo de operación. Esta cantidad puede ser aumentada fácilmente por un factor de diez con una optimización apropiada del grosor del radiador gamma y del radiador gamma y de electrones. Esta cantidad aumenta de manera lineal con el tiempo hasta que se convierte una cantidad significativa del Co-59 en Co-60. Tras dos ciclos de operación, la corriente de salida será dos veces mayor.

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

REIVINDICACIONES

1. Un generador eléctrico (10) de estado sólido que comprende:
 - un alojamiento eléctricamente conductor (12)
 - un material (20) sensible a la radiación, soportado en el interior del alojamiento eléctricamente conductor (12), siendo sensible el material sensible a la radiación a la radiación (30) de fondo en una instalación de generación de energía nuclear fuera del reactor nuclear (34), pero lo suficientemente cerca de las varillas irradiadas (38) de combustible nuclear para generar suficiente electricidad para operar los equipos de emergencia en la instalación, o para cargar baterías de forma sustancialmente completa que operan los mismos;
- 5 **caracterizado porque**
 - dicho alojamiento conductor tiene una sección delantera y una sección trasera con una placa soporte de junta estanca aislante dispuesta entre la sección delantera y la sección trasera, formando un lado delantero de la sección delantera un colector;
 - un material aislante eléctrico (26) se sitúa entre el material (20) sensible a la radiación y placa soporte de junta estanca aislante y entre el material sensible a la radiación y la sección delantera del alojamiento (12);
 - dicho material (20) sensible a la radiación está soportado en el interior de la sección delantera del alojamiento eléctricamente conductor y comprende un radiador gamma intercalado sustancialmente contra un radiador gamma y de electrones,
 - y un cable eléctrico está conectado con el material sensible a la radiación y configurado para transmitir una producción eléctrica suficiente a las baterías o a los equipos de emergencia.
- 10
- 15
- 20
2. El generador eléctrico (10) de estado sólido de la reivindicación 1, en el que la producción eléctrica (28) del material (20) sensible a la radiación aumenta durante un periodo dado de tiempo en un campo de la radiación (30) de fondo.
- 25
3. El generador eléctrico (10) de estado sólido de la reivindicación 1, en el que el material sensible a la radiación está configurado para crear material adicional sensible a la radiación cuando es sometido a la radiación de fondo.
4. El generador eléctrico (10) de estado sólido de la reivindicación 1, en el que el material (20) sensible a la radiación no es radioactivo hasta que se coloca dentro de la radiación (30) de fondo.
5. El generador eléctrico (10) de estado sólido de la reivindicación 1, en el que el alojamiento (12) es lo suficientemente delgado para que quepa en un espacio entre una pared de una cavidad (36) del reactor en cuyo interior está soportado el reactor nuclear y el exterior de una vasija (34) de presión que aloja un núcleo (38) del reactor nuclear.
- 30
6. El generador eléctrico (10) de estado sólido de la reivindicación 1, en el que el material (20) sensible a la radiación es una combinación de Co-59 y tungsteno mutuamente emparedados.
- 35
7. El generador eléctrico (10) de estado sólido de la reivindicación 1, en el que el alojamiento (12) y el material (20) sensible a la radiación son flexibles.
8. Una instalación de generación de energía nuclear que incluye un generador eléctrico (10) de estado sólido según se reivindica en cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7.
9. La instalación de generación de energía nuclear de la reivindicación 8 que incluye:
 - una vasija (34) de presión del reactor soportada en una cavidad (36) del reactor que tiene paredes que rodean al menos una porción inferior de la vasija de presión;
 - en el que el alojamiento (12) está al menos parcialmente soportado en el interior de la cavidad del reactor entre la vasija de presión y las paredes.
- 40
- 45
10. La instalación de generación de energía nuclear de la reivindicación 8 que incluye una piscina (42) de combustible gastado que tiene paredes que rodean el combustible gastado (44), en el que el alojamiento (12) está soportado adyacente al combustible gastado en la piscina de combustible gastado.

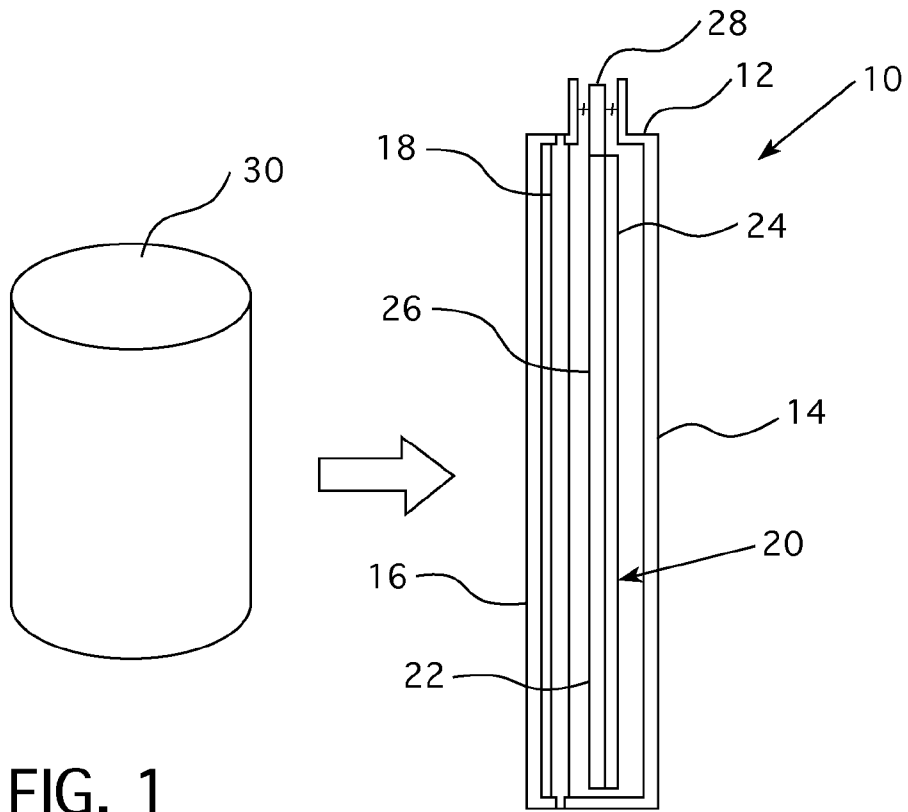


FIG. 1

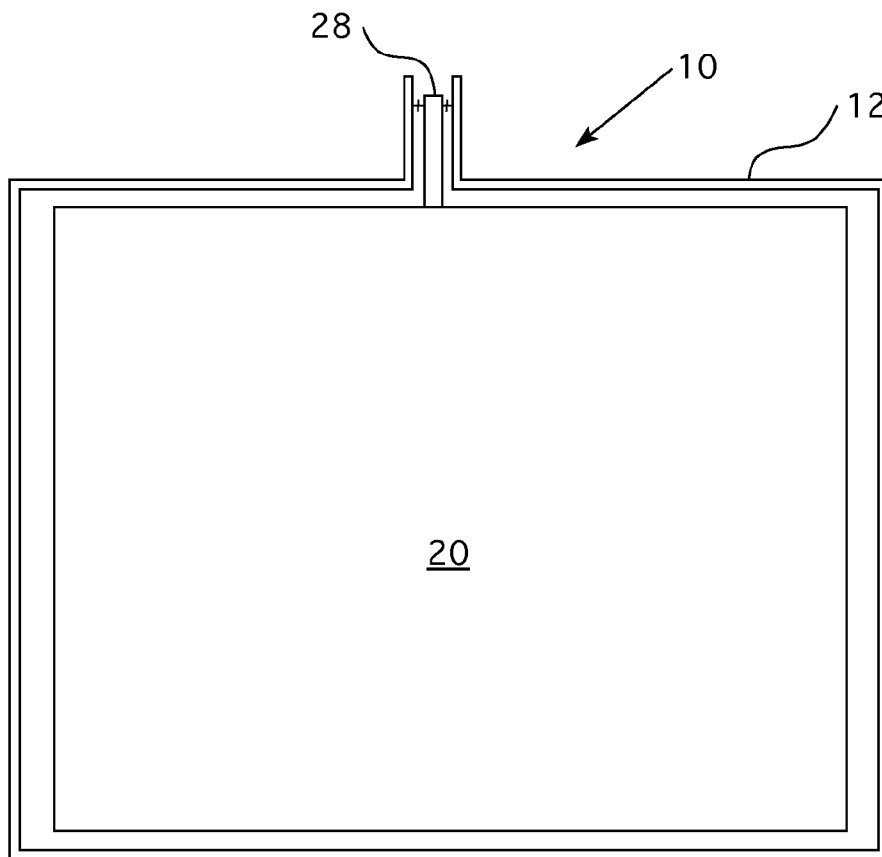


FIG. 2

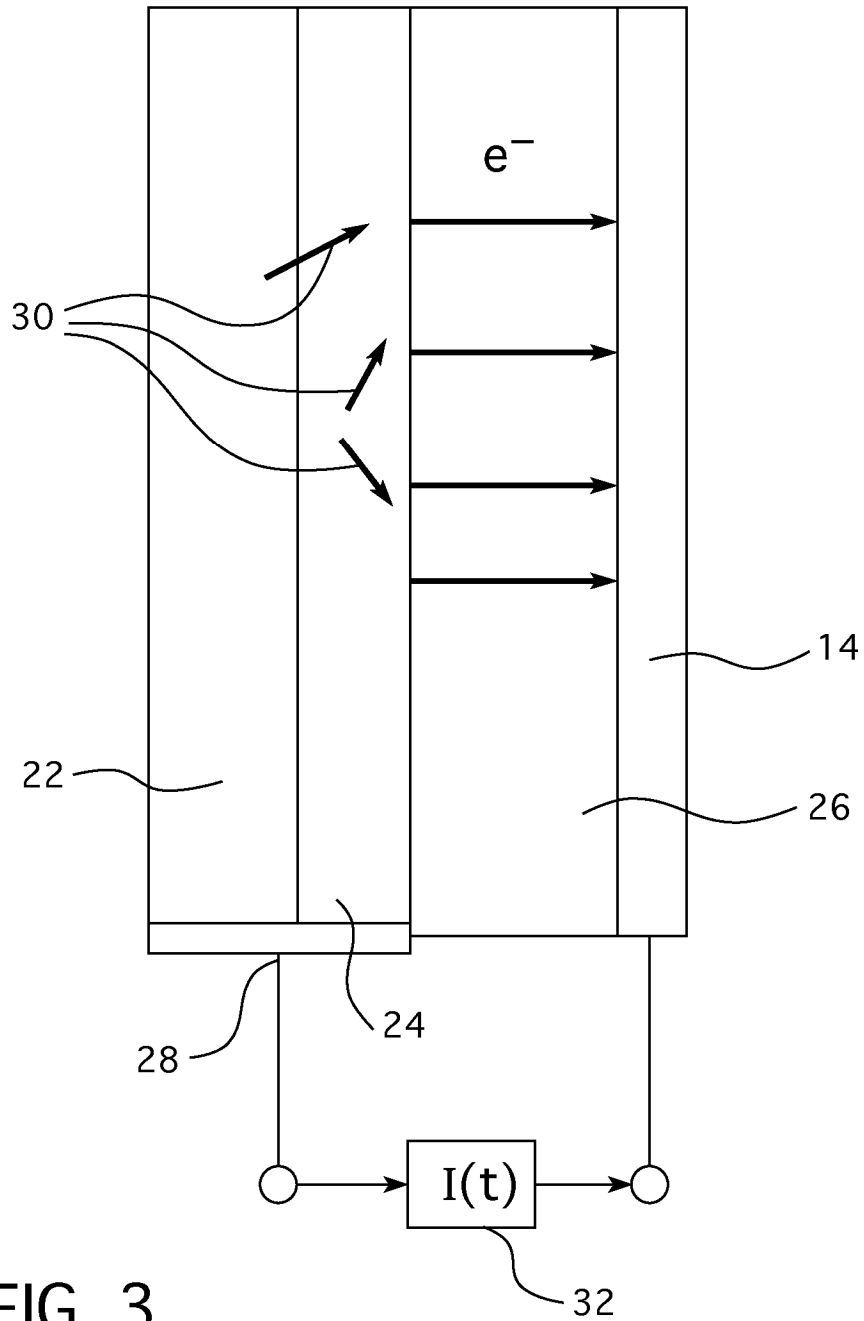


FIG. 3

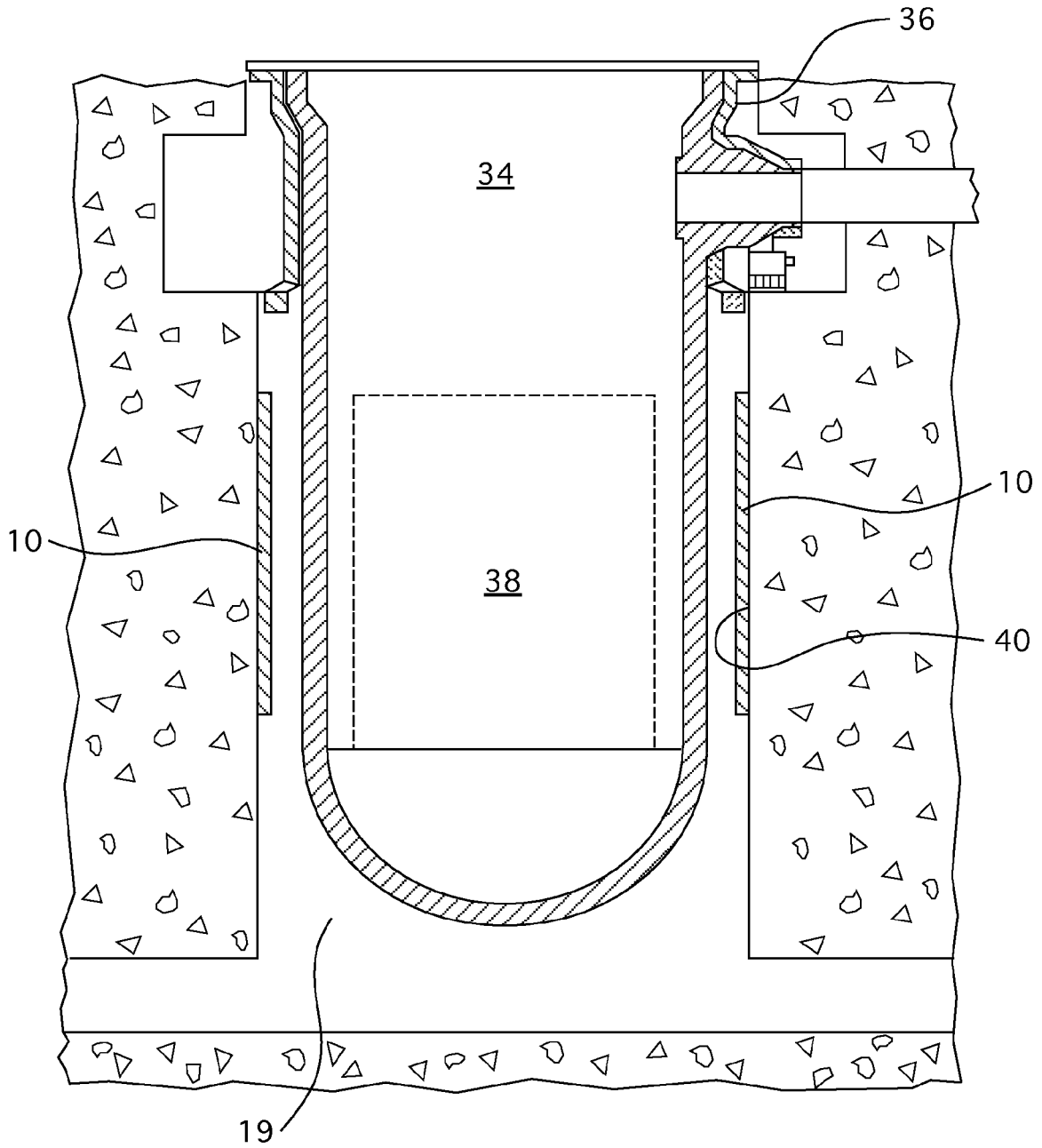


FIG. 4

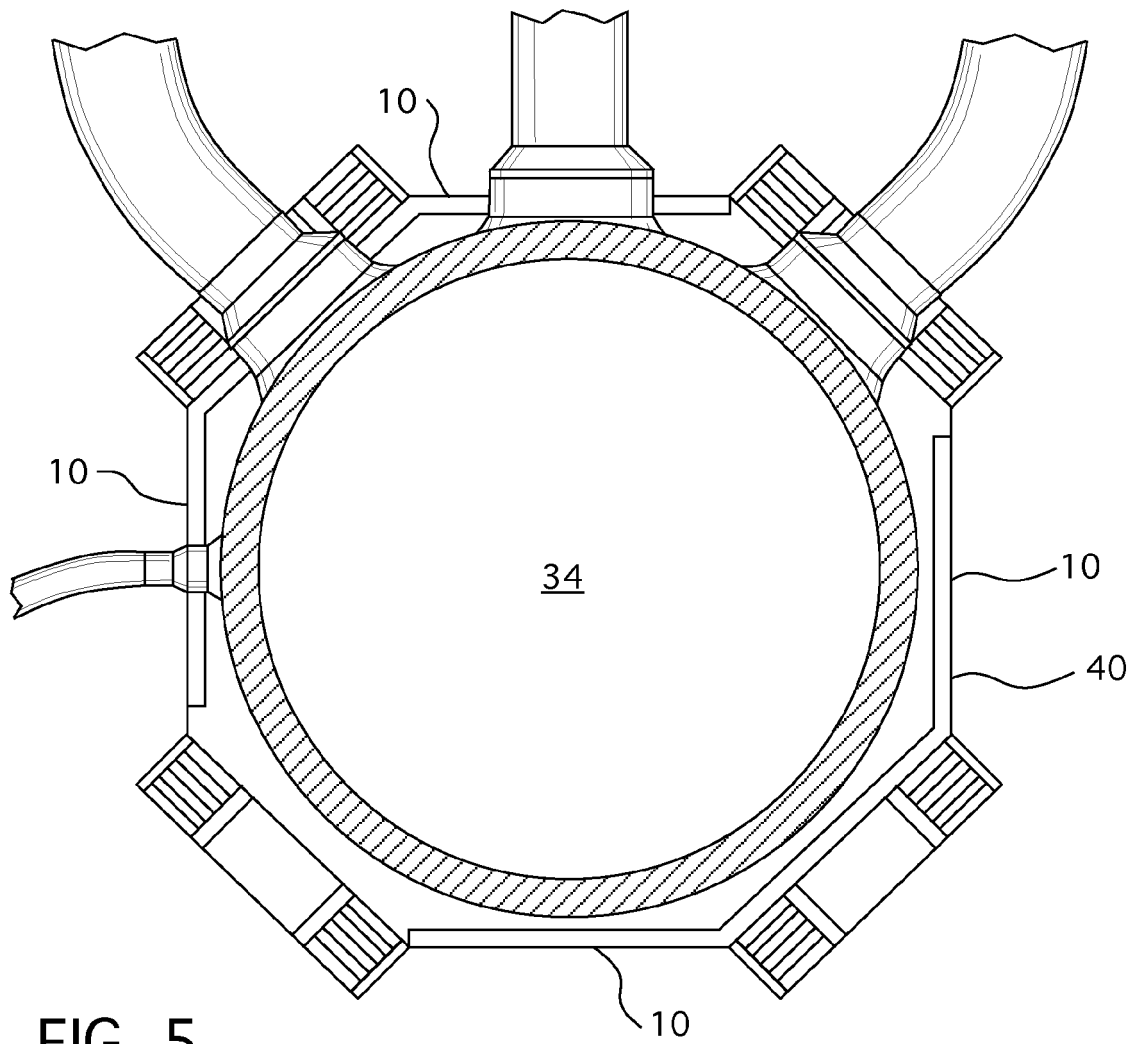


FIG. 5

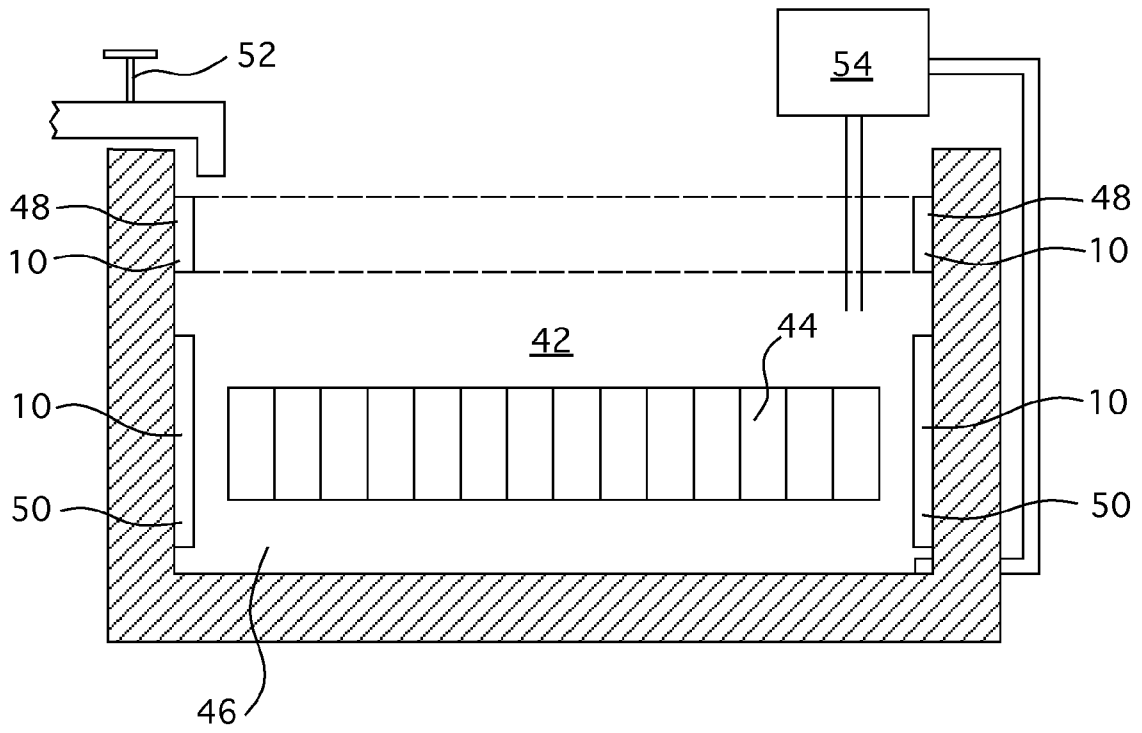


FIG. 6