

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 575 858**

51 Int. Cl.:

H01M 4/04 (2006.01)
H01M 12/08 (2006.01)
H01M 4/02 (2006.01)
H01M 10/44 (2006.01)
H01M 2/18 (2006.01)
H01M 2/40 (2006.01)
H01M 10/48 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **12.09.2011 E 11760924 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **04.05.2016 EP 2617087**

54 Título: **Sistema de celda electroquímica con un electrodo de liberación progresiva de oxígeno/electrodo de combustible**

30 Prioridad:

16.09.2010 US 383510 P

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

01.07.2016

73 Titular/es:

**FLUIDIC, INC. (100.0%)
8455 North 90th Street Suite 4
Scottsdale, AZ 85258, US**

72 Inventor/es:

**FRIESEN, CODY A.;
KRISHNAN, RAMKUMAR;
TRIMBLE, TODD y
PUZHAEV, SERGEY**

74 Agente/Representante:

LAZCANO GAINZA, Jesús

ES 2 575 858 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 de celda electroquímica con un electrodo de liberación progresiva de oxígeno/electrodo de combustible

Campo de la invención

La presente invención se relaciona con un sistema de celda electroquímica recargable.

5 Antecedentes de la invención

Las celdas electroquímicas son bien conocidas. Una celda electroquímica incluye un ánodo o un electrodo de combustible en el cual tiene lugar una reacción de oxidación de combustible, un cátodo o electrodo oxidante en el cual tiene lugar una reacción de reducción del oxidante, y un medio conductor de iones para soportar el transporte de iones. En algunas celdas metal-aire, tales como las divulgadas en las Publicaciones de Solicitud de Patente de los Estados Unidos Nos. 2009/0284229, 2011/0086278 y 2011/0189551, así como en la Solicitud de Patente de los Estados Unidos Serie No. 13/028,496, el electrodo del combustible comprende una pluralidad de cuerpos de electrodo en andamio, sobre los cuales se reduce y electrodeposita el combustible metálico.

Los sistemas de celdas electroquímicas pueden comprender una pluralidad de celdas electroquímicas. En algunos de tales sistemas de celdas electroquímicas, el electrodo de combustible de la primera celda puede ser acoplado a un primer terminal, el electrodo oxidante de cada celda dentro del sistema de celdas puede ser conectado al electrodo de combustible de la celda subsecuente, y el electrodo oxidante de la última celda en la serie puede estar conectado a un segundo terminal. Así, se crea una diferencia de potencial dentro de cada celda individual, y puesto que estas celdas están acopladas en serie, se genera una diferencia de potencial acumulativa entre el primero y segundo terminales. Estos terminales se conectan a una carga L, creando una diferencia de potencial que impulsa corriente.

Entre otras cosas, la presente solicitud busca proveer una arquitectura más eficiente y efectiva para recargar y descargar celdas electroquímicas y sistemas de celdas electroquímicas.

Resumen de la invención

Un aspecto de la presente invención provee un sistema de celdas electroquímicas recargables para generar corriente eléctrica utilizando un combustible y un oxidante. El sistema de celdas comprende una celda electroquímica. La celda electroquímica incluye un electrodo de combustible que comprende N cuerpos de electrodo permeable dispuestos en relación espaciada separada del orden de 1 a N, en donde N es un entero mayor de o igual a dos. El electrodo de combustible comprende combustible metálico sobre los cuerpos de electrodo permeables. La celda incluye adicionalmente un electrodo oxidante espaciado separado del electrodo de combustible, y un electrodo de carga seleccionado del grupo consistente de (a) el electrodo oxidante, y (b) un electrodo de carga separado espaciado de los electrodos de combustible y oxidante. La celda incluye adicionalmente un medio conductor iónico que comunica los electrodos para conducir iones para soportar las reacciones electroquímicas en los electrodos. En la celda, los electrodos de combustible y oxidante están configurados para que, durante un modo de descarga, oxiden el combustible metálico sobre los cuerpos de electrodo permeables y reduzcan el oxidante en el electrodo oxidante, generando así una diferencia de potencial para aplicación a una carga. El sistema de celda incluye adicionalmente una pluralidad de conmutadores para acoplar selectivamente cada cuerpo 2 a N de electrodo del electrodo de combustible y el electrodo de carga a una fuente de poder, para aplicación de un potencial anódico durante un modo de recarga en el cual se aplica un potencial catódico al cuerpo 1 de electrodo mediante la fuente de poder. El sistema de celdas comprende adicionalmente un controlador configurado para controlar la pluralidad de conmutadores durante el modo de recarga para manejar la aplicación del potencial anódico desde la fuente de poder a los cuerpos 2 de electrodo permeables a N y el electrodo de carga en una forma progresiva de tal manera que produzca la electrodeposición del combustible metálico, a través de la reducción de iones reducibles del combustible metálico del medio conductor de iones, para crecer progresivamente desde el cuerpo 1 de electrodo hacia el electrodo de carga conectando progresivamente la electrodeposición cada cuerpo 2 de electrodo subsecuente a N al cuerpo 1 de electrodo para la aplicación del potencial catódico a cada cuerpo de electrodo conectado subsecuentemente. El manejo de los conmutadores puede causar posteriormente eliminación del potencial anódico de cada cuerpo de electrodo conectado subsecuentemente, y la aplicación del potencial anódico a al menos el cuerpo de electrodo subsecuente no conectado por la electrodeposición, o el electrodo de carga cuando el cuerpo N de electrodo ha sido conectado por la electrodeposición, para oxidación de una especie oxidable del oxidante.

Otro aspecto de la presente invención provee un método para cargar una celda electroquímica. La celda electroquímica comprende un electrodo de combustible que comprende N cuerpos de electrodo permeables dispuestos en relación de espaciado con separación en orden de 1 a N, en donde N es un entero mayor que o igual a dos. El electrodo de combustible comprende combustible metálico sobre los cuerpos de electrodo permeables. La celda comprende adicionalmente un electrodo oxidante espaciado en separación del electrodo de combustible, y un electrodo de carga. El electrodo de carga se selecciona del grupo consistente de (a) un electrodo oxidante, y (b) un

electrodo de carga separado espaciado de los electrodos de combustible y oxidante. La celda incluye adicionalmente un medio conductor para iones que comunica los electrodos para conducir iones para soportar las reacciones electroquímicas en los electrodos. En la celda, los electrodos de combustible y oxidantes están configurados para que, durante el modo de descarga, oxiden el combustible metálico sobre los cuerpos de electrodo permeables y reduzcan el oxidante en el electrodo oxidante, generando así una diferencia de potencial para aplicación a una carga. El método comprende aplicar un potencial catódico al cuerpo 1 de electrodo acoplado el cuerpo 1 de electrodo a una fuente de poder. El método incluye adicionalmente manejar la aplicación de un potencial anódico a los cuerpos 2 a N de electrodo, acoplado selectivamente los cuerpos 2 a N de electrodo a la fuente de poder para la aplicación del potencial anódico. Tal manejo puede producir la electrodeposición del combustible metálico, a través de la reducción de iones reducibles del combustible metálico a partir del medio conductor para iones, para crecer progresivamente desde el cuerpo 1 de electrodo hacia el electrodo de carga, conectando progresivamente la electrodeposición cada cuerpo de electrodo 2 a N subsecuente al cuerpo 1 de electrodo para aplicación del potencial catódico a cada cuerpo de electrodo conectado subsecuentemente. El manejo también puede incluir la eliminación del potencial anódico de cada cuerpo de electrodo conectado subsecuentemente, y la aplicación del potencial anódico a al menos al cuerpo de electrodo subsecuente no conectado por la electrodeposición, o el electrodo de carga cuando el cuerpo N de electrodo ha sido conectado por la electrodeposición, para oxidación de una especie oxidable del oxidante. El método puede incluir adicionalmente el desacoplamiento de la fuente de poder para discontinuar la carga.

La presente invención es tal como se define en las reivindicaciones anexas.

Otros objetivos, características y ventajas de la presente invención serán evidentes a partir de la siguiente descripción detallada, los dibujos acompañantes y las reivindicaciones anexas.

Breve descripción de los dibujos

La figura 1 ilustra una vista en sección transversal de un sistema de celdas electroquímicas que incluye dos celdas electroquímicas;

La figura 2 ilustra una vista en despiece del sistema de celda electroquímica de la figura 1;

La figura 3 ilustra un soporte de electrodo para una de las celdas electroquímicas de la figura 1;

La figura 4 ilustra el soporte de electrodo de la figura 3, soportando un electrodo de combustible y una pluralidad de espaciadores conectados al soporte de electrodo;

La figura 5 ilustra uno de los espaciadores de la figura 4 en mayor detalle;

La figura 6 ilustra una conexión entre los espaciadores de la figura 5 y el soporte de electrodo de la figura 3 en mayor detalle;

La figura 7 ilustra esquemáticamente conexiones eléctricas entre la celda electroquímica y una carga externa o fuente de poder de acuerdo con una realización de un sistema de celdas de la presente invención;

La figura 8 ilustra esquemáticamente conexiones eléctricas entre la celda electroquímica y una carga o fuente de poder externa de acuerdo con una realización de un sistema de celdas de la presente invención;

La figura 9 ilustra esquemáticamente un sistema de conmutación de acuerdo con una realización del sistema de celdas de la figura 8;

La figura 10 ilustra esquemáticamente un sistema de conmutación de acuerdo con otra realización del sistema de celdas de la figura 8;

La figura 11 ilustra esquemáticamente un sistema de conmutación de acuerdo con otra realización del sistema de celdas de la figura 8;

Las figuras 12A-C ilustran esquemáticamente las realizaciones de las figuras 9-11 que comprenden adicionalmente una pluralidad de celdas de un sistema de conmutación de acuerdo con otra realización de la celda de la figura 8;

La figura 13 ilustra esquemáticamente un sistema de conmutación similar a la realización de la figura 11, que comprende adicionalmente un controlador;

La figura 14 muestra un diagrama de flujo que ilustra una realización de un método para cargar la celda, de acuerdo con la presente invención; y

La figura 15 muestra un diagrama de flujo que ilustra una realización de un método para descargar la celda.

Descripción detallada de las realizaciones ilustradas de la invención

Las figuras 1 y 2 ilustran un sistema 100 de celda electroquímica que incluye dos celdas 10 electroquímicas configuradas para utilizar un medio de conducción de iones líquido en las mismas, de acuerdo con una realización de la invención. Puede apreciarse que el sistema 100 de celdas electroquímicas representado aquí es puramente de ejemplo, y en otras realizaciones las funciones o componentes de las celdas 10 electroquímicas o del sistema 100 de celdas electroquímicas pueden variar. Por ejemplo, en diversas realizaciones, el medio conductor de iones puede fluir a través de múltiples celdas 10, o puede circular dentro de una celda 10 individual. En algunas realizaciones, el medio conductor para iones podría generalmente no fluir en la celda 10. Puede ser apreciado que porciones del sistema 100 de celdas electroquímicas, tales como pero no limitándose a una o más celdas 10 en el mismo, y/o las porciones constituyentes de las mismas, pueden variar a través de las realizaciones. Por ejemplo, diversas porciones de cada celda 10 electroquímica u otros componentes del sistema 100 de celdas electroquímicas pueden ser de cualquier estructura o composición adecuada, incluyendo pero no limitándose a estar formadas de plástico, metal, resinas, o combinaciones de los mismos. De acuerdo con lo anterior cada celda 10 puede ser ensamblada de cualquier manera, incluyendo estar formadas a partir de una pluralidad de elementos, integralmente moldeados, o así sucesivamente. En diversas realizaciones las celdas 10 y/o los alojamientos de las mismas pueden incluir elementos o dispositivos de una o más de los números de Solicitud de Patente de los Estados Unidos Series No. 12/385,217, 12/385,489, 12/549,617, 12/631,484, 12/776,962, 12/885,268, 13/028,496, 13/083,929, 61/358,339, 61/383,510 y 61/414,579. Como se representa en la realización ilustrada de la figura 1, sin embargo, cada celda 10 incluye un electrodo 12 de combustible y un electrodo 14 oxidante que está espaciado del electrodo 12 de combustible. El electrodo 12 de combustible soportado por un soporte 16 de electrodo. El sistema 100 electroquímico también incluye una cubierta 19 que se utiliza para cubrir las celdas 10 electroquímicas en un lado del sistema 100, mientras que uno de los soportes 16 de electrodo es utilizado para cubrir el lado opuesto del sistema 100, como se ilustra en la figura 1.

En una realización, el electrodo 12 de combustible es un electrodo de combustible metálico que funciona como un ánodo cuando la celda 10 opera en descarga, o en modo de generación de electricidad, como se discute en más detalle más adelante. En una realización, el electrodo 12 de combustible puede comprender una pluralidad de cuerpos 12a-d de electrodo permeables, tales como mallas que son hechas de cualquier formación capaz de capturar y retener, a través de la electrodeposición, o de alguna otra manera, partículas o iones de combustible metálico a partir de un medio conductor para iones que circula en la celda 10, tal como se discute en más detalle más adelante. Los componentes de la celda 10, incluyendo por ejemplo, el electrodo 12 de combustible, los cuerpos 12a-d de electrodo permeables del mismo, y un electrodo 14 oxidante, pueden ser de cualquier construcción o configuración adecuada, incluyendo pero no limitándose a ser construidos de níquel o aleaciones de níquel (incluyendo níquel-cobalto, níquel-hierro, níquel-cobre (esto es Monel), o superaleaciones), cobre o aleaciones de cobre, latón, bronce, o cualquier otro metal adecuado. En una realización, puede aplicarse una película de catalizador a algunos o todos los cuerpos 12a-d de electrodos permeables y/o el electrodo 14 oxidante, y tener un material de alta superficie que pueda ser hecho de alguno de los materiales descritos más arriba. En una realización, la película de catalizador puede ser formada por técnicas tales como aspersión térmica, aspersión por plasma, electrodeposición, o cualquier otro método de recubrimiento con partículas.

El combustible puede ser un metal, tal como hierro, zinc, aluminio, magnesio o litio. Por metal, este término pretende abarcar todos los elementos considerados como metales en la Tabla Periódica, incluyendo pero no limitándose a metales alcalinos, metales alcalinotérreos, lantánidos, actínidos y metales de transición, bien sea en forma atómica, molecular (incluyendo hidruros de metal), o aleaciones cuando se recolectan sobre el cuerpo del electrodo. Sin embargo, la presente invención no pretende estar limitada a ningún combustible específico, y pueden utilizarse otros. El combustible puede ser provisto a la celda 10 en forma de partículas suspendidas en el medio conductor para iones. En algunas realizaciones, puede utilizarse un combustible de hidruro metálico en la celda 10.

El medio conductor para iones puede ser una solución acuosa. Ejemplos de medios adecuados incluyen soluciones acuosas que comprenden ácido sulfúrico, ácido fosfórico, ácido tríflico, ácido nítrico, hidróxido de potasio, hidróxido de sodio, cloruro de sodio, nitrato de potasio o cloruro de litio. El medio también puede utilizar un solvente no acuoso o un líquido iónico. En la realización no limitante descrita aquí, el medio es hidróxido de potasio acuoso. En una realización, el medio conductor de iones puede comprender un electrolito. Por ejemplo, se puede utilizar una solución de electrolito líquida o semisólida convencional, o se puede utilizar un líquido iónico a temperatura ambiente, como se menciona en la Solicitud de Patente de los Estados Unidos No. 12/776,962. En una realización en donde el electrolito es semisólido, pueden utilizarse películas de electrolito en estado sólido porosas (esto es, en una estructura suelta).

El combustible puede ser oxidado en el electrodo 12 de combustible cuando el electrodo 12 de combustible está operando como un ánodo, y un oxidante, tal como un oxígeno, puede ser reducido en el electrodo 14 oxidante cuando el electrodo 14 oxidante opera como un cátodo, lo cual sucede cuando la celda 10 está conectada a una carga L y la celda 10 está en modo de descarga o generación de electricidad, como se discute en más detalle más adelante. Las reacciones que ocurren durante el modo de descarga pueden generar precipitados de subproductos, por ejemplo, una especie combustible reducible, en el medio conductor de iones. Por ejemplo, en realizaciones donde el combustible es zinc, puede generarse óxido de zinc como una especie subproducto combustible

precipitada/reducible. El zinc u otro metal oxidado también puede ser soportado por, oxidado con o solvatado en la solución de electrolito, sin formar un precipitado (por ejemplo, un zincato puede ser una especie combustible reducible disuelta que permanece en el combustible). Durante un modo de recarga, lo cual se discute en mayor detalle más adelante, la especie combustible reducible, por ejemplo, óxido de zinc puede ser reducida reversiblemente y depositada como combustible, por ejemplo, zinc, sobre al menos una porción del electrodo 12 de combustible que funciona como un cátodo durante el modo de recarga. Durante el modo de recarga, bien sea el electrodo 14 oxidante o un electrodo 70 de carga separado (el cual puede ser de construcción o configuración similar a los cuerpos 12a-d de electrodo permeables en algunas realizaciones), y/u otra porción del electrodo 12 combustible, como se describe más adelante, funciona como el ánodo. La conmutación entre los modos de descarga y recarga se discuten en mayor detalle más adelante.

El soporte 16 de electrodo define una cavidad 18 en la cual se sostiene el electrodo 12 de combustible. El soporte 16 de electrodo también define una entrada 20 y una salida 22 para la celda 10. La entrada 20 está configurada para permitir que el medio conductor para iones entre a la celda 10 y/o recircule a través de la celda 10. La entrada 20 puede estar conectada a la cavidad 18 a través de un canal 24 de entrada, y la salida 22 puede estar conectada a la cavidad 18 a través de un canal 26 de salida. Como se ilustra en la figura 3, el canal 24 de entrada y el canal 26 de salida pueden proveer cada uno un camino tortuoso en meandros a través del cual puede fluir el medio conductor para iones. El camino de meandros definido por el canal 24 de entrada no incluye preferiblemente ninguna esquina aguda en la cual el flujo del medio pueda ser restringido o en el cual pueda recolectarse cualquier partícula del medio. Como se discute en más detalle más adelante, la longitud de los canales 24, 26 puede estar diseñada para proveer una resistencia iónica incrementada entre celdas que están conectadas fluidamente en serie.

Para cada celda 10, un miembro 17 de sello permeable puede unirse entre las superficies sellante de los soportes 16 de electrodos y/o la cubierta 19, según sea apropiado, para encerrar al menos el electrodo 12 de combustible en la cavidad 18. El miembro 17 de sello también cubre los canales 24, 26 de entrada y salida. El miembro 17 de sello es no conductor y electroquímicamente inerte, y preferiblemente está diseñado para ser permeable al medio conductor para iones en la dirección ortogonal (esto es, a través de su espesor), sin permitir el transporte lateral de un medio conductor para iones. Esto permite que el medio conductor para iones permee a través del miembro 17 de sello para permitir la conductividad iónica con el electrodo 14 oxidante sobre el lado opuesto para soportar las reacciones químicas, sin “entorchar” el medio conductor para iones lateralmente hacia fuera desde la celda 10. Unos pocos ejemplo no limitantes de un material adecuado para el miembro 17 de sello son EPDM y TEFLON®.

En la realización ilustrada, la cavidad 18 tiene una sección transversal en general rectangular, o cuadrada, que coincide sustancialmente con la forma del electrodo 12 de combustible. La cavidad 18 puede ser conectada al canal 24 de entrada por una pluralidad de entradas 34 de tal manera que cuando el medio conductor para iones precipita o entran especies combustibles reducibles en la cavidad 18, el medio conductor para iones y el combustible son distribuidos a lo largo de un lado del electrodo 12 de combustible. En algunas, un lado de la cavidad 18, específicamente, al lado de la cavidad 18 que está conectado al canal 24 de entrada, puede incluir una pluralidad de zonas de fluidización, tales como las descritas en la Publicación de Solicitud de Patente de los Estados Unidos No. 2011/0086278. En otras realizaciones, el medio conductor para iones puede entrar en la cavidad 18 a través de un difusor, tal como se describe en la Publicación de Solicitud de Patente de los Estados Unidos No. 2011/189551.

Como se ilustra en la figura 4, una pluralidad de espaciadores 40, cada uno de los cuales se extiende a través del electrodo 12 de combustible en una relación espaciada uno con otro, puede ser conectada al soporte 16 para electrodo de tal manera que el electrodo 12 de combustible puede mantenerse en un lugar con respecto al soporte 16 de electrodo y el electrodo 14 oxidante. En una realización, la pluralidad de cuerpos 12a-12d, de electrodo permeables, como se ilustra en la figura 2, pueden ser separados por conjuntos de la pluralidad de espaciadores 40, de tal manera que cada conjunto de espaciadores 40 esta posicionado entre cuerpos de electrodo adyacentes para aislar eléctricamente los cuerpos 12a-12d de electrodo uno de otro. Dentro de cada conjunto de espaciadores 40 entre cada cuerpo de electrodo adyacente, estos espaciadores 40 están posicionados en una relación de espacio de una manera tal que se crean los llamados “carriles de flujo” 42 entre ellos, tal como se discute en mayor detalle más adelante. Los carriles 42 de flujo son tridimensionales y tienen una altura que es sustancialmente igual a la altura de los espaciadores 40. En una realización, los espaciadores 40 pueden ser provistos por un marco individual que tiene cortes correspondientes a los carriles de flujo. En una realización, los carriles 42 de flujo pueden incluir una estructura tipo espuma o colmena que está configurada para permitir que el medio conductor para iones fluya a través de la misma. En una realización, los carriles 42 de flujo pueden incluir un arreglo de pasadores que están configurados para interrumpir el flujo del medio conductor para iones a través de los carriles de flujo. En una realización, el marco, los espaciadores 40, los carriles 42 de flujo, y/o otros elementos de la celda 10 pueden ser definidos por plástico conformado por moldeo por inyección, o material epoxi/aislante formado utilizando procesos químicos. La realización ilustrada no pretende ser limitante de manera alguna.

Los espaciadores 40 son no conductores y electroquímicamente inertes de tal manera que son inactivos con respecto a las reacciones electroquímicas en la celda 10. Los espaciadores 40 están dimensionados preferiblemente de manera tal que cuando son conectados al soporte 16 para electrodo, los espaciadores 40 están en tensión, lo que permite que los espaciadores 40 presionen contra el electrodo 12 de combustible, o uno de los cuerpos 12a-12c de electrodo, de tal manera que sostengan el electrodo 12 de combustible o cuerpos del mismo en una relación

plana con respecto al soporte 16 de electrodo. Los espaciadores 40 pueden ser hechos de un material plástico, tal como polipropileno, polietileno, norilo, fluoropolímero, etc., que permita que los espaciadores 40 sean conectados al soporte 16 de electrodo en tensión.

5 En la realización ilustrada en la figura 5, cada espaciador tiene una porción 44 media elongada y una porción 46 de conexión conformada en cada extremo. Las porciones 46 de conexión conformadas están configuradas para ser sostenidas por aberturas 48 que tienen formas sustancialmente similares en el soporte 16 de electrodo, como se ilustra en la figura 6. En la realización ilustrada, las porciones 46 conformadas y las aberturas 48 tienen una forma sustancialmente triangular, aunque la forma ilustrada no pretende ser limitante de manera alguna. La forma sustancialmente triangular provee superficies 50 sobre lados opuestos de la porción 44 elongada del espaciador 40 que están configuradas para entrar en contacto con superficies 52 correspondientes sobre el soporte 16 del electrodo soporte. Puesto que las superficies 50, 52 están anguladas con respecto al eje principal MA de la porción 44 elongada del espaciador 40 y la tensión en el espaciador 40 será a lo largo del eje principal MA, las fuerzas creadas por la tensión pueden ser distribuidas a través de una superficie más grande, en comparación con una porción conformada que tiene una forma circular o cuadrada con la misma área.

15 Una vez que los espaciadores 40 han sido conectados al soporte 16 de electrodo a través de las porciones 46 de extremo, los carriles 42 de flujo quedan definidos a través de la cavidad 18 del soporte 16 de electrodo. Los espaciadores 40 están configurados para sellar esencialmente un carril 42a de flujo desde un carril 42b de flujo adyacente, que está separado por uno de los espaciadores 40 de tal manera que el medio conductor para iones es guiado para fluir en general sustancialmente en una dirección. Específicamente, el medio conductor de iones puede fluir en general en una primera dirección FD a través del electrodo 12 de combustible, desde el canal 24 de entrada al canal 26 de salida. Se genera una presión de caída adecuada entre el canal 24 de entrada y las entradas 34 de tal manera que el medio conductor de iones puede fluir a través de la cavidad 18 y el canal 26 de salida, incluso cuando la celda 10 está orientada de tal manera que el flujo es sustancialmente hacia arriba y contra la gravedad. En una realización, el medio conductor de iones puede permear también a través del electrodo 12 de combustible, o un cuerpo 12a-12d de electrodo permeable individual, en una segunda dirección SD y hacia un carril de flujo que está en el lado opuesto del electrodo 12 de combustible o del cuerpo 12a-12d de electrodo permeable.

Como se ilustra en la realización de la figura 7, el electrodo 12 de combustible de la celda 10 en un sistema 100 de celda electroquímica puede ser conectado selectivamente a una carga L externa de manera que los electrones entregados por combustible a medida que el combustible es oxidado en el electrodo 12 de combustible pueden fluir hacia la carga L externa. Un sistema 60 de conmutación que comprende una pluralidad de conmutadores, puede conectar eléctricamente de manera selectiva cada uno de los cuerpos 12a-12d de electrodo permeables individuales del electrodo 12 de combustible, y también y puede conectar selectivamente los cuerpos 12a-12d al electrodo 14 oxidante. Como se muestra, en algunas realizaciones el sistema 100 de celda electroquímica puede comprender adicionalmente otras celdas 10. En una realización, el sistema 60 de conmutación puede comprender un sistema 62 selector terminal configurado para acoplar o desacoplar la carga L externa para uso en la descarga de la celda 10, o acoplar o desacoplar una fuente de poder PS para uso en la carga de la celda 10. En otra realización el sistema 60 de conmutación y el sistema 62 selector terminal pueden ser separados, pero pueden, en una realización, comunicarse uno con otro. El sistema 60 de conmutación se discute en más detalle más adelante.

40 El electrodo 14 oxidante funciona como un cátodo cuando el electrodo 14 oxidante es conectado a la carga L externa y la celda 10 opera en un modo de descarga. Cuando funciona como cátodo, el electrodo 14 oxidante está configurado para recibir electrones desde la carga L externa y reducir un oxidante que entra en contacto con el electrodo 14 oxidante. El oxidante puede ser cualquier especie del oxidante disponible para oxidación en el electrodo de carga. Por ejemplo, las especies pueden ser un ión libre, o un ión enlazado a o coordinado con otros iones o constituyentes en el medio conductor de iones. En una realización, el electrodo 14 oxidante comprende un electrodo para respiración de aire y el oxidante comprende oxígeno en el aire circundante.

45 El oxidante puede ser suministrado al electrodo 14 oxidante mediante un sistema de transporte pasivo. Por ejemplo, cuando el oxígeno presente en el ambiente es el oxidante, simplemente al exponer el electrodo 14 oxidante al aire ambiental a través de aberturas en la celda, tales como las aberturas que están provistas por los surcos 54 en la cubierta 19 y los surcos 56 en el soporte 16 de electrodo provistos en el centro del sistema 100 de celda electroquímica, puede ser suficiente para permitir la difusión/permeación del oxígeno hacia el electrodo 14 oxidante. Pueden utilizarse otros oxidantes adecuados y las realizaciones descritas aquí no están limitadas al uso del oxígeno como oxidante. Una empaquetadura 15 periférica puede ser posicionada entre la periferia del electrodo 14 oxidante y la cubierta 19 o soporte 16 de electrodo, a medida que se aproxima, para prevenir que el medio conductor de iones escape alrededor del electrodo 14 oxidante y hacia el área en los surcos 54, 56 para exposición al aire.

55 En otras realizaciones, una bomba, tal como un soplador de aire, puede ser utilizada para suministrar el oxidante al electrodo 14 oxidante bajo presión. La fuente de oxidante puede ser una fuente de oxidante contenida. En una realización, el oxígeno puede ser reciclado desde la celda 10, tal como se divulga en la Solicitud de Patente de los Estados Unidos 12/549,617. De la misma manera, cuando el oxidante es oxígeno del aire ambiental, la fuente de oxidante puede ser considerada ampliamente como el mecanismo de suministro, bien si es pasiva o activa (por ejemplo, bombas, sopladores), mediante las cuales se permite que el aire fluya hacia el electrodo 14 oxidante. Así,

el término "fuente de oxidante" pretende abarcar tanto oxidantes contenidos y/o como dispositivos para suministrar pasiva o activamente oxígeno del aire ambiental al electrodo 14 oxidante.

5 La electricidad que puede ser extraída por la carga L externa se genera con el oxidante cuando se reduce el oxidante en el electrodo 14 oxidante, mientras que el combustible en el electrodo 12 de combustible es oxidado a una forma oxidada. En algunas realizaciones, el potencial eléctrico de la celda 10 decae una vez que el combustible en el electrodo 12 de combustible es oxidado por completo o la oxidación es detenida debido a la pasivación del electrodo de combustible. Una porción del sistema 60 de conmutación puede ser posicionada entre el electrodo 14 oxidante y la carga L de tal manera que el electrodo 14 oxidante pueda ser conectado y desconectado de la carga L, según se desee. De nuevo, se proveen más adelante más detalles acerca del sistema 60 de conmutación, y la configuración eléctrica del mismo.

10 Para limitar o suprimir la liberación de hidrógeno en el electrodo 12 de combustible durante el modo de descarga y durante los períodos quiescentes (circuito abierto) de tiempo, pueden agregarse sales para retardar tal reacción. Pueden utilizarse sales de estaño, plomo, cobre, mercurio, indio, bismuto o cualquier otro material que tiene un alto sobrepotencial de hidrógeno. Además, pueden agregarse sales de tartrato, fosfato, citrato, succinato, amonio u otros aditivos supresores de la liberación de hidrógeno. En una realización, pueden utilizarse aleaciones de combustibles metálicos, tales como Al/Mg para suprimir la liberación de hidrógeno. Pueden agregarse o alternativamente agregarse también otros aditivos al medio conductor de iones, incluyendo, pero no limitándose a aditivos que potencian el proceso de electrodeposición del combustible metálico sobre el electrodo 12 de combustible, tal como se describe en la Solicitud de Patente de los Estados Unidos Serie No. 13/028,496.

15 20 Después de que el combustible en la celda 10 haya sido oxidado por completo, o cuando quiera que sea deseable regenerar el combustible dentro de la celda 10 reduciendo los iones de combustible oxidados de regreso a combustible, el electrodo 12 de combustible y el electrodo 14 oxidante pueden ser desacoplados de la carga L externa y acoplados a una fuente de poder PS. Como se anotó más arriba, tales conexiones pueden hacerse, por ejemplo, con el uso del sistema 60 de conmutación y el sistema 62 selector terminal.

25 La fuente de poder PS está configurada para cargar la celda 10 aplicando una diferencia de potencial entre el electrodo 12 de combustible y el electrodo 14 oxidante de tal manera que la especie reducible del combustible es reducida y electrodepositada sobre al menos uno de los cuerpos 12a-12d de electrodo permeable y la correspondiente reacción de oxidación tiene lugar en el electrodo 14 oxidante, la cual es típicamente la oxidación de una especie oxidable para liberar oxígeno, el cual puede ser extraído por gasificación desde la celda 10. En una realización en donde el oxígeno es el oxidante, se oxidan iones oxígeno en una solución electrolítica acuosa. Los iones oxígeno pueden ser obtenidos de un óxido del combustible (por ejemplo, ZnO cuando el combustible es zinc), iones hidruro (OH), o moléculas de agua (H₂O). Como se describe en detalle en la Solicitud de Patente de los Estados Unidos Serie No. 12/385,489, en una realización solamente uno de los cuerpos de electrodo permeables, tales como 12a, es conectado a la fuente de poder PS de tal manera que el combustible se reduce sobre el cuerpo de electrodo permeable y crece progresivamente sobre y hacia los otros cuerpos 12b-12d de electrodo permeable, uno por uno. El sistema 60 de conmutación puede controlar cómo los cuerpos 12a-12d de electrodo permeable y el electrodo 14 oxidante participan en las reacciones electroquímicas de la celda, tal como se describe en mayor detalle más adelante.

30 35 La figura 8 muestra una realización en donde un electrodo 70 de carga separado de la celda 10 en el sistema 100 de celda electroquímica se provee para funcionar como electrodo de carga, más que el electrodo 14 oxidante. De nuevo, en algunas realizaciones otras celdas 10 pueden ser parte del sistema 100 de celda electroquímica, como se muestra. Como se ilustra en la figura 2, el electrodo 70 de carga separado puede ser posicionado entre el electrodo 12 de combustible y el electrodo 14 oxidante, como un espaciador 72 y estando posicionado el miembro 17 de sello entre el electrodo 70 de carga separado y el electrodo 14 oxidante. El espaciador 72 es no conductor y tiene aberturas a través de las cuales puede fluir el medio conductor para iones.

40 45 En la realización descrita más arriba con respecto a la figura 7, el electrodo 14 oxidante funciona como el cátodo durante la generación/descarga de potencia, y es el ánodo durante la carga, como se describió más arriba. En la figura 8, el electrodo 14 oxidante sigue siendo el cátodo durante la generación/descarga de poder, pero puede ser desconectado durante la carga, mientras que el electrodo 70 de carga separado es conectado a la fuente de poder PS para funcionar como el ánodo. Durante la generación de corriente, el combustible sobre el electrodo 12 de combustible es oxidado, generando electrones que son conducidos para alimentar la carga L y luego conducidos al electrodo 14 oxidante para reducción del oxidante (como se discutió en detalle más arriba). En realizaciones que comprenden el electrodo 70 de carga separado, el sistema 60 de conmutación puede controlar cómo los cuerpos 12a-12d de electrodo permeable, el electrodo 14 oxidante y el electrodo 70 de carga separado participan en las reacciones electroquímicas de la celda, tal como se describe en mayor detalle más adelante.

También es posible en cualquiera de las realizaciones de la invención al aplicar el potencial catódico a cualquiera o todos los cuerpos 12a-12d de electrodo del electrodo 12 de combustible, más que solamente uno para producir un crecimiento progresivo cuerpo a cuerpo. El crecimiento progresivo que emana de un terminal es ventajoso porque provee más densidad del combustible electrodepositado. Específicamente, el crecimiento en los cuerpos de

electrodo conectados previamente continúa a medida que cada cuerpo subsecuente es conectado por el crecimiento progresivo. Esta y otras ventajas son discutidas en mayor detalle en la Solicitud de Patente de Los Estados Unidos Serie No. 12/385,489. Con todos los cuerpos de electrodo sujetos al mismo potencial, el crecimiento se presentará solo hasta que ocurra un corto entre el electrodo de carga, el cual es el electrodo 14 oxidante en la realización de la figura 7 y el electrodo 70 de carga separado en la realización de la figura 8, y el cuerpo de electrodo próximo a él. Así, es posible tener un crecimiento más rápido, pero menos denso de esta manera, el cual puede ser adecuado para ciertas necesidades de recarga.

Las realizaciones ilustradas en las figura 7 y 8 no deberían considerarse como limitantes de manera alguna y se proveen como ejemplo no limitantes de cómo la celda 10 puede ser configurada para ser recargable. El modo de recarga de la presente invención, en el contexto del sistema 60 de conmutación, se discute en mayor detalle más adelante. Como otro ejemplo, la Publicación de Solicitud de Patente de los Estados Unidos No. 2011/0070506, describe realizaciones de un sistema de celda electroquímica recargable con conmutación entre los modo de carga/descarga en las celdas.

Regresando a la figura 4, después de que el medio conductor de iones haya pasado a través del electrodo 12 de combustible, el medio puede fluir hacia el canal 26 de salida que está conectado a las salidas 36 de la cavidad 18 del soporte 16 de electrodo y la salida 22. La salida 22 puede ser conectada a la entrada 20 en las realizaciones en donde el medio recircula en la celda 10, o a una entrada de una celda adyacente, como se discute en más detalle más adelante, cuando una pluralidad de celdas 10 está conectada de manera fluida en serie. En una realización, la salida 22 puede ser conectada a un recipiente para recolectar el medio que ha sido utilizado en la celda 10.

Las celdas 10 ilustradas en las figuras 1 y 2 pueden estar conectadas de manera fluida en serie. Los detalles de realizaciones de celdas que están conectadas en serie se proveen en la Solicitud de Patente de los Estados Unidos No. 12/631,484, presentada el 4 de diciembre de 2009. La salida 22 de una primera celda 10 puede estar conectada de forma fluida a la entrada 20 de una segunda celda 10, y la salida 22 de la segunda celda 10 puede estar conectada a la entrada 20 de una tercera celda, y así sucesivamente. Aunque la realización de las figuras 1 y 2 ilustra dos celdas 10, pueden apilarse celdas adicionales y conectarse de manera fluida a las celdas ilustradas. Debido a los meandros, se crean caminos tortuosos mediante el canal 24 de entrada y el canal 26 de salida, descritos más arriba e ilustrados en las figuras 3 y 4, la longitud de las vías de paso del flujo para el medio a través de los canales 24, 26 es mayor que la distancia entre el electrodo 12 de combustible y el electrodo 14 oxidante en cada una de las celdas 10. Esto crea una resistencia iónica entre un par de celdas conectadas de manera fluida que es mayor a la resistencia iónica dentro de una celda 10 individual. Esto puede reducir o minimizar la pérdida de resistencia iónica interna del apilamiento de celda 100, como se discute en la Solicitud de Patente de los Estados Unidos No. 12/631,484.

En una realización de operación, el electrodo 12 de combustible, el cual ya tiene combustible metálico depositado sobre sí, es conectado a la carga L y el electrodo 14 oxidante es conectado a la carga L. El medio conductor de iones entra en la entrada 20 bajo presión positiva y fluye a través del canal 24 de entrada, las entradas 34 de la cavidad 18, y hacia dentro de los carriles 42 de flujo. El medio conductor de iones fluye a través de los cuerpos 12a-12d de electrodo permeable en los carriles 42 de flujo definidos por las porciones 22 medias elongadas de los espaciadores 40. El medio conductor de iones también puede permear a través de los cuerpos 12a-12d de electrodo permeables del electrodo 12 de combustible. El medio conductor de iones entra en contacto simultáneamente con el electrodo 12 de combustible y el electrodo 14 oxidante, permitiendo por lo tanto que el combustible se oxide y conduzca los electrones a la carga L, mientras que el oxidante es reducido en el electrodo 14 oxidante a través de los electrones que son conducidos al electrodo 14 oxidante por la carga L. Después de que el medio conductor de iones ha pasado a través de los carriles 42 de flujo, el medio fluye hacia afuera de la cavidad 18 a través de las salidas 36 de la cavidad 18, a través del canal 24 de salida, y hacia afuera de la salida 22 de la celda 10.

Cuando el potencial de la celda 10 ha sido disminuido o cuando de otra manera es deseable recargar la celda 10, el electrodo 12 de combustible es conectado al terminal negativo de la fuente de poder PS y el electrodo de carga, el cual puede ser el electrodo 14 oxidante o el electrodo 70 de carga separado, es conectado al terminal positivo de la fuente de poder PS. Tales conexiones pueden de nuevo ser a través del sistema 60 de conmutación, discutido más adelante. En el modo de carga o recarga, una porción del cátodo del electrodo 12 de combustible se convierte en el cátodo y una porción de ánodo del electrodo 12 de combustible y/o el electrodo 14, 70 de carga se convierte en el ánodo, como se describe en mayor detalle más adelante. Proveyendo electrones a una porción de cátodo del electrodo 12 de combustible, los iones de combustible pueden reducirse al combustible y redepositarse sobre los cuerpos 12a-12d de electrodo permeable, como se describe en mayor detalle más adelante, mientras que el medio conductor de iones circula a través de la celda 10 de la misma manera que se describió más arriba con respecto al modo de descarga.

Los carriles 42 de flujo proveen direccionalidad y distribución del medio conductor de iones a través del electrodo 12 de combustible. Los carriles 42 de flujo también pueden evitar que las partículas se depositen y/o recubran los electrodos. Cuando la celda 10 está en modo de carga, la distribución mejorada de las partículas a través del electrodo 12 de combustible permite una deposición más uniforme del combustible reducido sobre el electrodo 12 de combustible, lo cual mejora la densidad del combustible sobre el electrodo 12 de combustible, e incrementa la

capacidad y la densidad de energía de la celda 10, potenciando por lo tanto el ciclo de vida de la celda 10. Además, al tener la capacidad de controlar la distribución del precipitado o subproducto de reacción durante la descarga, puede prevenirse la pasivación/deposición temprana del subproducto sobre el electrodo 12 de combustible. La pasivación lleva a una utilización de combustible menor y a un menor ciclo de vida, lo cual es indeseable.

5 Los ejemplos de las figuras 1-8 no son limitantes, y se proveen solamente para contexto con el fin de entender los principios generales de una realización de las celdas 10 del sistema 100 de carga. Puede utilizarse cualquier construcción o configuración de celda. Con un entendimiento del sistema de celdas provisto, la atención gira hacia la configuración y operación del sistema 60 de conmutación de la invención.

10 Como se anotó, durante un modo de carga para la celda 10, se aplica una diferencia de potencial a través de los electrodos en la celda 10. Aunque el electrodo 14 oxidante o el electrodo 70 de carga separado funcionan generalmente como ánodo durante la carga, puede aplicarse un potencial anódico a otros electrodos, tales como alguno de los cuerpos de electrodos en el electrodo 12 de combustible. De la misma manera, durante la carga un potencial catódico puede ser aplicado inicialmente al cuerpo 12a de electrodo del electrodo 12 de combustible, pero también puede ser aplicado inicialmente a uno o más de los otros cuerpos 12b-12d de electrodo permeable del electrodo 12 de combustible. Como tal, aquellos cuerpos 12a-12d de electrodo permeable del electrodo 12 de combustible tienen un comportamiento de potencial catódico como cátodo durante la carga, y sirven como sitio de reducción para una especie combustible reducible, tal como los iones combustibles oxidados creados en la celda durante la descarga.

20 A medida que la especie combustible reducible es reducida sobre aquellos de los cuerpos 12a-12d de electrodo permeables que tienen el potencial catódico, el electrodo 14 oxidante o el electrodo 70 de carga separado y/o aquellos de los cuerpos 12b-12d de electrodo permeables que tienen el potencial anódico se oxidarán como una especie de oxígeno oxidable, tal como la especie oxidante reducida creada en la celda durante la descarga. Así, cuando la celda 10 es una celda de metal-aire, la especie combustible metálica reducible está siendo reducida y electrodepositada sobre alguno de los cuerpos 12a-12d de electrodo permeable del electrodo 12 de combustible, y la especie de oxígeno oxidable está siendo oxidada a gas oxígeno, el cual puede ser eliminado por gasificación desde la celda 10. En esta realización, aquellos electrodos y cuerpos de electrodo que tienen un potencial anódico pueden ser considerados como un electrodo que libera oxígeno (OEE).

30 Para determinar cuál de los electrodos (esto es, cuerpos 12a-d de electrodo permeable, el electrodo 14 oxidante y/o el electrodo 70 de carga separado) tiene potenciales anódicos o potenciales catódicos durante la carga, pueden controlarse conexiones eléctricas entre ellos mediante el sistema 60 de conmutación, como se discute en mayor detalle más adelante.

35 Puede ser ventajoso para el crecimiento de combustible que la diferencia de potencial utilizada para cargar la celda 10 sea aplicada entre cuerpos adyacentes en la celda 10, de tal manera que un cuerpo de electrodo que tiene el potencial anódico es adyacente a un cuerpo de electrodo que tiene el potencial catódico. Una vez que se ha presentado un crecimiento de combustible suficiente sobre el cuerpo de electrodo que tiene el potencial catódico, el electrodo que tiene el potencial anódico puede cambiar, de tal manera que el cuerpo de electrodo permeable que previamente era parte de un conjunto de cuerpos de electrodo que tenían un potencial anódico puede hacerse parte de un conjunto de cuerpos de electrodo que tiene el potencial catódico. En una realización donde hay N cuerpos de electrodo permeables, la aplicación del potencial anódico desde la fuente de poder a los cuerpos 2 a N de electrodo permeable y al electrodo de carga puede comprender conectar todos los cuerpos de electrodo más el electrodo de carga juntos al mismo tiempo, y luego desconectar cada uno de los cuerpos 2 a N en orden. Alternativamente, en una realización, la aplicación del potencial anódico a partir de la fuente de poder a cuerpos 2 a N de electrodo permeables y el electrodo de carga podría comprender conectar y desconectar cada uno de los cuerpos de electrodo y el electrodo de carga individualmente en orden (de tal manera que el cuerpo 2 de electrodo está conectado al potencial anódico, luego es desconectado y el electrodo 3 es conectado al potencial anódico y así sucesivamente hasta que el electrodo de carga es conectado finalmente para completar el crecimiento).

50 En una realización, el electrodo de carga puede solamente ser el último electrodo en recibir el potencial anódico durante la carga. Por ejemplo, el electrodo de carga podría ser un electrodo oxidante o un electrodo separado. Cuando el electrodo de carga es un electrodo separado, podría tener una construcción especializada diferente de los cuerpos de electrodo del electrodo de combustible, o podría ser el mismo que los cuerpos de electrodo permeable (esto es, solamente un cuerpo de electrodo más), pero por el hecho de que ese crecimiento del combustible durante la carga no continúa pasada la misma.

55 En la realización descrita más arriba ilustrada en las figuras 1-2, el cambio progresivo de cuáles electrodos tienen el potencial anódico puede seguir al crecimiento de combustible a través de cada uno de los cuerpos 12a-12d de electrodo permeables, de tal manera que un electrodo que tenga un potencial anódico sigue siendo el cuerpo de electrodo espaciado adyacente a un electrodo que tiene el potencial catódico. Como se muestra en las realizaciones de las figuras siguientes, el sistema 60 de conmutación puede ser configurado para conectar y desconectar selectivamente diversos electrodos y cuerpos de electrodo para mantener las posiciones adyacentes del potencial anódico y del potencial catódico.

Las figuras 9-12 muestran realizaciones del sistema 60 de conmutación de la celda 10. La celda 10 es conectable a la fuente de poder PS, la carga L, o a otras celdas 10 en serie, a través de un primer terminal 130 y un segundo terminal 140, en donde el primer terminal 130 es negativo (catódico) durante la recarga, y el segundo terminal 140 es positivo (anódico) durante la recarga. Como se muestra, la celda 10 tiene un electrodo 12 de combustible que comprende cuerpos 12a-12d de electrodo permeables, y un electrodo 70 de carga, y un electrodo 14 oxidante. En una realización, la pluralidad de conmutadores puede acoplar selectivamente al menos algunos de los cuerpos 12b-12d de electrodo permeables a una fuente de poder, tal como una fuente de poder PS, para aplicación de un potencial anódico durante un modo de recarga de la celda 10, en el cual se aplica un potencial catódico a al menos el cuerpo 12a de electrodo, como se describe en mayor detalle más adelante.

En la figura 9, el sistema 60 de conmutación incluye un conmutador 150 de desviación PARR 47, configurado para proveer una conexión directa entre el primer terminal 130 y el segundo terminal 140. El conmutador 150 de desviación puede ser similar al descrito en la Publicación de Solicitud de Patente de los Estados Unidos No. 2011/0070506. Una celda 10 puede ser desviada con el conmutador 150 de desviación por un cierto número de razones que afectan el rendimiento del apilamiento.

Por ejemplo, un corto entre un electrodo 70 de carga y los cuerpos 12a-12d de electrodo que tienen un potencial catódico durante la carga (detectado por la medición del voltaje como se describe más adelante) puede llevar a gasto de potencia parasita durante la carga. Un corto eléctrico puede llevar a una caída repentina en el voltaje entre los electrodos de carga y combustible pues a medida que la corriente es cortada entre los electrodos de carga y combustible. Otro ejemplo es durante la descarga, donde cualquier celda 10 tiene una cinética más alta o la pérdida óhmica afecta la eficiencia del ciclo completo y la potencia de descarga del apilamiento. También, el consumo de combustible en la celda 10 durante la descarga antes de otras celdas 10 puede llevar a una reversión del voltaje en la celda 10 y a una pérdida de potencia del apilamiento, y puede evitarse desviando la celda 10 cuando el voltaje de descarga cae por debajo de un valor crítico. El consumo completo de zinc o de otro combustible durante la descarga lleva a una caída repentina en el voltaje entre los electrodos de combustible y oxidante. Puede utilizarse cualquier otro criterio para detectar el comportamiento de las celdas 10, y los ejemplos aquí no son limitantes.

Ciertas celdas 10 pueden no satisfacer los requerimientos de rendimiento (por ejemplo, potencia máxima durante la descarga) debido a complicaciones y problemas de rendimiento relacionados con la fabricación y ensamblaje de los electrodos. Estas celdas 10 pueden estar colocadas permanentemente en modo de desviación. Otras celdas 10 pueden satisfacer requerimientos de rendimiento inicialmente, pero sin embargo pueden tener problemas en el ciclo de vida y pueden ser colocadas en modo de desviación después de que el rendimiento cae por debajo de un límite requerido. Así, el desvío de una celda 10 a través del conmutador 150 de desviación provee una opción para incrementar la confiabilidad y rendimiento del apilamiento.

El sistema 60 de conmutación de la figura 9 también incluye un conmutador 160 de electrodo oxidante asociado con el electrodo 14 oxidante. El conmutador 160 de electrodo oxidante estaría cerrado durante la descarga, de tal manera que un potencial eléctrico a través del electrodo 12 de combustible y el electrodo 14 oxidante puede permitir que una corriente sea extraída por una carga conectada entre el primer terminal 130 y el segundo terminal 140, los cuales durante la descarga tendría polaridades positiva y negativa respectivamente.

El conmutador 170 de electrodo de carga puede estar asociado con el electrodo 70 de carga, de tal manera que el electrodo 70 de carga puede estar conectado eléctricamente al segundo terminal 140 cuando la fuente de poder PS está conectada entre el primer terminal 130 y el segundo terminal 140. Como se discute más adelante, el electrodo 70 de carga puede no siempre tener un potencial anódico aplicado al mismo, y en una realización puede tener solamente un potencial anódico cuando se desea un crecimiento de combustible entre él y el cuerpo 12d de electrodo. También se muestran conmutadores 180, 190 y 200, asociados con cuerpos 12b-12d de electrodo respectivamente todos los cuales están configurados para conectar los cuerpos 12b-12d de electrodo al segundo terminal 140 también.

Como se anotó, es ventajoso que un electrodo que tenga un potencial anódico sea adyacente a un electrodo que tenga un potencial catódico, de tal manera que se potencie el crecimiento sobre el electrodo que tiene el potencial catódico. Tal potenciación, por ejemplo puede incluir una densidad mayor de crecimiento de combustible que si el electrodo que tiene el potencial anódico está más allá del electrodo más cercano que tiene el potencial catódico (esto es, si un electrodo neutro separa los electrodos que tiene los potenciales anódico y catódico). Está densidad potenciada puede deberse a las dendritas iniciales que entran en contacto primero con el cuerpo anódico que está siendo interrumpido puesto que carecen de suficiente sección transversal para portar la corriente entre los cuerpos anódico y catódico. Esto es, se queman de manera similar que un elemento fusible sujeto a exceso de corriente. Esto retarda el corto entre los cuerpos anódico y catódico, el cual tiene lugar cuando la densidad se ha incrementado adicionalmente para proveer dendritas de suficiente área transversal (individual y/o colectivamente) para permitir la conducción de corriente sin interrupción. Otra ventaja puede ser una pérdida de electrolito IR inferior en configuraciones en donde la distancia entre el electrodo 70 de carga y el electrodo 12 de combustible es menor, en comparación con configuraciones en donde el electrodo que tiene el potencial anódico está más allá del electrodo más cercano que tiene el potencial catódico (esto es, en donde electrodos neutros separan los electrodos que tienen los potenciales anódico y catódico). Esta ventaja en eficiencia de IR resultante de menos distancia entre los

electrodos anódico y catódico puede realizarse en ambas realizaciones en donde se presenta crecimiento metálico entre los electrodos y en otras realizaciones, tales como, un combustible de hidruro metálico en donde están siendo reducidos iones hidrógeno.

5 Para alcanzar una modificación progresiva de cuales electrodos tienen el potencial anódico, el recuento de desviaciones entre electrodos que tienen un potencial anódico versus electrodos que tienen un potencial catódico, la celda 10 en el modo de carga se configuraría de tal manera que el conmutador 150 de desviación está abierto, de tal manera que la corriente no se desvía de la celda 10. Puesto que la celda está en modo de carga, el conmutador 160 del electrodo oxidante también está abierto, de tal manera que el electrodo 14 oxidante está desconectado eléctricamente de la celda 10. Puesto que se desea un crecimiento de combustible inicialmente sobre el cuerpo 12a de electrodo, solamente el cuerpo 12a de electrodo está conectado eléctricamente al primer terminal 130, aplicando el potencial catódico al mismo. Para establecer un potencial anódico sobre el cuerpo de electrodo adyacente al cuerpo 12a de electrodo, al menos el cuerpo 12b de electrodo estaría conectado eléctricamente al segundo terminal 140. Para alcanzar una conexión eléctrica en la realización ilustrada, se cierra al menos el conmutador 180. En una realización, los cuerpos 12c-12d de electrodo y el electrodo 70 de carga también pueden estar conectados eléctricamente al segundo terminal 140 y así pueden tener también el potencial anódico. Puesto que la diferencia de potencial entre los electrodos que tienen el potencial anódico (esto es, inicialmente el cuerpo 12a de electrodo) y los electrodos que tienen el potencial catódico (esto es, inicialmente al menos el cuerpo 12b de electrodo), las especies combustibles reducibles en el medio conductor de iones pueden ser reducidas en el electrodo que tiene el potencial catódico inicial (cuerpo 12a de electrodos) mientras que los cationes en el medio conductor de iones son oxidados en el cuerpo 12b de electrodo (y cualquier otro cuerpo/electrodo al cual se aplica el potencial anódico).

Una vez que el crecimiento de combustible sobre los electrodos que tienen el potencial catódico avanza hasta un cierto punto, por ejemplo, el punto en donde se forma una conexión eléctrica entre los electrodos que tienen el potencial catódico y el electrodo que tiene el potencial anódico, el sistema 60 de conmutación puede desconectar el cuerpo de electrodo en corto que tiene el potencial anódico, de tal manera que el cuerpo de electrodo tiene un potencial catódico aplicado al mismo, y puede formarse una diferencia de potencial de nuevo entre cuerpos de electrodo adyacentes. Esto puede requerir la conexión eléctrica adicional del cuerpo de electrodo adyacente al segundo terminal 140, si la conexión eléctrica no existe ya, de tal manera que se cree el potencial anódico sobre ese cuerpo. Por ejemplo, en la figura 9, una vez que el crecimiento de combustible en el cuerpo 12a de electrodo produce un corto con el cuerpo 12b del electrodo, el conmutador 180 se abre de tal manera que tanto el cuerpo 12a de electrodo y, a través de la conexión eléctrica del crecimiento de combustible, el cuerpo 12b de electrodo, tengan el potencial catódico. Por otro lado, el conmutador 190 se cierra (si no estaba ya cerrado antes), de tal manera que al menos el cuerpo 12c de electrodo tenga un potencial anódico, manteniendo así la separación del cuerpo de electrodo adyacente para la diferencia de potencial entre los electrodos que tienen el potencial catódico y los electrodos que tienen el potencial anódico.

35 El desplazamiento progresivo de aquellos electrodos que tienen el potencial catódico y aquellos electrodos que tienen el potencial anódico puede continuar a través de la celda 10, con la abertura de los conmutadores 190 y 200, hasta que no se desee o sea posible una progresión adicional. Por ejemplo, en la realización ilustrada, donde hay un electrodo 70 de carga separado, la progresión terminará cuando el electrodo 70 de carga separado sea el único cuerpo de electrodo que tiene el potencial anódico, y todos los cuerpos 12a-12d de electrodo permeables del electrodo 12 combustible tengan el potencial catódico. La carga de la celda 10 puede terminar subsecuentemente cuando el crecimiento de combustible sobre el cuerpo 12d de electrodo produzca una conexión eléctrica entre el cuerpo 12d de electrodo y el electrodo 70 de carga. En una realización, el sistema 70 de conmutación puede ser configurado para tener una configuración de sobrecarga, en donde la celda puede ser configurada para aplicar selectivamente un potencial catódico al electrodo 70 de carga abriendo el conmutador 170, y cerrando el conmutador 160, aplicando el potencial anódico al electrodo 14 oxidante, utilizándolo para cargar adicionalmente la celda 10 permitiendo un crecimiento de combustible sobre el electrodo 70 de carga.

50 Durante la descarga de la celda 10 en la realización de la figura 9, el conmutador 160 del electrodo oxidante estaría cerrado mientras que el conmutador 170 del electrodo de carga estaría abierto. Adicionalmente, los conmutadores 180, 190 y 200 estarían abiertos, y el consumo de combustible sería desde el cuerpo 12d de electrodo al cuerpo 12a de electrodo, en donde la conexión eléctrica entre los cuerpos 12a-12d de electrodo pasan a través del crecimiento de combustible. En la realización ilustrada, es así como los cuerpos 12a-12d de electrodo no están en corto con respecto al electrodo 14 oxidante por el conmutador 160 de electrodo oxidante.

Continuando con la figura 10, se ilustra otra realización del sistema 60 de conmutación para la celda 10. De nuevo hay el conmutador 150 de desviación, configurado para conectar el primer terminal 130 directamente al segundo terminal 140, desviándose de la celda 10. El sistema 60 de conmutación también incluye una serie de conmutadores 210a-d de conexión, configurados para conectar selectiva y progresivamente cada uno de los cuerpos 12b-d de electrodo bien sea al primer terminal 130 o al segundo terminal 140, de tal manera que cada uno de los cuerpos 12b-d de electrodo tenga un potencial catódico (esto es, esté conectado a al menos un cuerpo 12a de electrodo) o un potencial anódico (esto es, está conectado a al menos el electrodo 70 de carga). Como se muestra, durante la carga, el conmutador 150 de desviación estaría abierto de tal manera que no hay desviación de la celda. El conmutador 160 de electrodo oxidante también estaría abierto, de tal manera que el electrodo 14 oxidante está

desconectado durante el proceso de carga. El conmutador 170 de electrodo de carga estaría cerrado de tal manera que al menos el electrodo 70 de carga tendría un potencial anódico. Para promover una distancia mínima entre los electrodos que tienen el potencial catódico (inicialmente solo el cuerpo 12a de electrodo) y los electrodos que tienen el potencial anódico, los conmutadores 210b, 201c y 210d estarían cerrados, de tal manera que el potencial anódico creado a través de la conexión eléctrica al segundo terminal 140 se aplica a través de los cuerpos 12b-12d de electrodo, así como del electrodo 70 de carga. A medida que avanza el crecimiento de combustible sobre el cuerpo 12a de electrodo, eventualmente entrará en contacto con el cuerpo 12b de electrodo. En una realización, en aquel momento el conmutador 210b se abriría, de tal manera que los cuerpos 12a-12b de electrodo tendrían el potencial catódico, mientras que los cuerpos 12c-12d de electrodo y el electrodo 70 de carga tendrían el potencial anódico. En una realización, el conmutador 210a también estaría cerrado, de tal manera que se forma una conexión eléctrica más fuerte entre los cuerpos 12a-12b de electrodo, más allá de la conexión eléctrica del crecimiento de combustible. Tal progresión podría continuar, como se indicó más arriba, con la abertura de los conmutadores 210c y 210d respectivamente, a medida que el número de cuerpos de electrodo que tienen el potencial anódico se disminuye, mientras que el número de electrodos que tienen el potencial catódico crece. De nuevo, en algunas realizaciones los conmutadores 210b y 210c se cerrarían en progresión, para formar una conexión eléctrica más fuerte entre los cuerpos 12a-12d de electrodo a medida que el número de electrodos que tienen un potencial catódico crece progresivamente.

Durante la descarga de la celda 10 en la realización de la figura 10, el conmutador 160 de electrodo oxidante estaría cerrado, mientras que el conmutador 170 del electrodo de carga estaría abierto. En una realización los conmutadores 210a-210d podrían permanecer abiertos y el consumo de combustible sería del cuerpo 12d de electrodo al cuerpo 12a de electrodo, en donde la conexión eléctrica entre los cuerpos 12a-12d de electrodo es a través del crecimiento de combustible. En otra realización, los conmutadores 210a-210d estarían cerrados, de tal manera que una conexión eléctrica es entre todos los cuerpos 12a-12d de electrodo del electrodo 12 de combustible, y el combustible es oxidado a través del electrodo 12 de combustible mientras que un oxidante es reducido en el electrodo 14 oxidante. Esto es permisible en esta realización porque la abertura del conmutador 170 también evita que los cuerpos 12a-d de electrodo entren en corto con el electrodo 14 oxidante mediante el conmutador 160 de electrodo oxidante.

Otra realización del sistema 60 de conmutación para la celda 10 se ve en la figura 11. Una vez más, el sistema 60 de conmutación comprende el conmutador 150 de desviación, configurado para conectar selectivamente el primer terminal 130 directamente al segundo terminal 140, con el fin de desviarse de la celda 10. El sistema 60 de conmutación de la realización de la figura 11 incluye también otra serie de conmutadores 220a-d de conexión, configurados para conectar selectivamente cada uno de los cuerpos 12a-d de electrodo al electrodo 70 de carga. De nuevo, el sistema 60 de conmutación puede estar configurado para permitir un cambio progresivo de aquellos electrodos que tienen el potencial catódico (esto es, al menos el cuerpo 12a de electrodo) y aquellos electrodos que tienen el potencial anódico (esto es, al menos el electrodo 70 de carga). Como se muestra, durante la carga, el conmutador 150 de desviación estaría abierto de tal manera que no hay desviación de la celda. El conmutador 160 de electrodo oxidante también estaría abierto, de tal manera que el electrodo 14 oxidante está desconectado durante el proceso de carga. El conmutador 170 de electrodo de carga estaría cerrado de tal manera que al menos el electrodo 70 de carga tendría un potencial anódico. El conmutador 220a estaría abierto de tal manera que no hay desviación de la celda desde el primer terminal 130 al segundo terminal 140 a través del conmutador 220a y el conmutador 170. Para promover una distancia mínima entre los electrodos que tienen el potencial catódico (inicialmente solo el cuerpo 12a de electrodos) y los electrodos que tienen el potencial anódico, al menos el conmutador 220b estaría cerrado, de tal manera que al menos los cuerpos 12b de electrodo, así como el electrodo 70 de carga, tengan el potencial anódico. A medida que el crecimiento de combustible sobre el cuerpo 12a de electrodo avanza, eventualmente entrará en contacto con el cuerpo 12b de electrodo. En una realización, en ese momento el conmutador 220b sería abierto, de tal manera que los cuerpos 12a-12b de electrodo tienen un potencial catódico (conectado a través del crecimiento del combustible). El conmutador 220c se cerraría entonces, si no estaba cerrado antes, de tal manera que al menos el cuerpo 12c de electrodo, así como el electrodo 70 de carga, tendrían el potencial anódico. Tal progresión podría continuar, como se indicó más arriba, con la apertura de los conmutadores 210c y 210d respectivamente, a medida que el número de cuerpos de electrodo que tienen el potencial anódico disminuye, mientras que el número de cuerpos de electrodo que tienen el potencial catódico crece.

Durante la descarga de la celda 10 en la realización de la figura 11, el conmutador 160 de electrodo oxidante estaría cerrado, mientras que el conmutador 170 de electrodo de carga estaría abierto. En una realización los conmutadores 220a-220d podrían permanecer abiertos y el consumo de combustible sería del cuerpo 12d de electrodo al cuerpo 12a de electrodo, en donde la conexión eléctrica entre los cuerpos 12a-12d de electrodo son a través del crecimiento de combustible entre ellos.

El desplazamiento progresivo de algunos cuerpos de electrodo que tienen un potencial catódico versus algunos cuerpos de electrodo que tienen un potencial anódico pueden ser analogizados al igual que la celda 10 que tiene N cuerpos de electrodo que definen dos electrodos potenciales, un electrodo de potencial catódico y un electrodo de potencial anódico. En la celda, el constituyente configurador del electrodo de potencial catódico puede comenzar con un cuerpo de electrodo individual, mientras que el electrodo de potencial anódico puede comprender al menos el cuerpo de electrodo adyacente, hasta todos los otros cuerpos de electrodo. Durante la carga, el combustible crece

sobre el electrodo de potencial catódico hasta que no sea posible, por ejemplo, un crecimiento adicional sobre el cuerpo de electrodo (esto es, el electrodo de potencial catódico ha entrado en corto con el electrodo de potencial anódico). En ese momento, el cuerpo de electrodo del electrodo de potencial anódico que es adyacente al electrodo de potencial catódico es reasignado para hacer parte del electrodo de potencial catódico, a través de una conexión eléctrica formada por el crecimiento de combustible y/o a través del uso de circuitería eléctrica o conmutadores asociados con los cuerpos de electrodo de las celda. Con la reasignación, el electrodo de potencial catódico comprende ahora dos cuerpos de electrodo, mientras que el electrodo de potencial anódico tiene uno menos que su número inicial de cuerpos de electrodo. Puesto que una diferencia de potencial puede reiniciarse entre el electrodo de potencial catódico y el electrodo de potencial anódico, el crecimiento de combustible desde la carga puede reiniciarse, de nuevo, por ejemplo, hasta que no sea posible un crecimiento adicional sobre los cuerpos de electrodo del electrodo de potencial catódico.

El desplazamiento progresivo del constituyente que configura el electrodo de potencial catódico y el electrodo de potencial anódico puede continuar a través de la celda, por ejemplo, con la apertura y/o cierre de conmutadores asociados con los cuerpos de electrodo, hasta que no se desee o no sea posible una progresión adicional. Por ejemplo, una vez que el electrodo de potencial anódico comprende solamente un cuerpo de electrodo individual, no es posible una progresión adicional. La carga de la celda puede terminar subsecuentemente cuando el crecimiento de combustible sobre la celda produzca una conexión eléctrica para formarse entre el electrodo potencial catódico conceptual y el electrodo potencial anódico conceptual que comprende solamente un cuerpo de electrodo individual.

Como se anotó anteriormente, en una realización, pueden combinarse múltiples celdas 10 electroquímicas en el sistema 100 de celdas. Como se muestran en las figuras 12A-C sistemas 100 de celdas electroquímicas de las realizaciones de las figuras 9-11, comprendiendo sin embargo N celdas 10 electroquímicas. El número N es un entero mayor que o igual a dos, y no está limitado a ningún número en particular. Como se ilustra, el conmutador 150 de desviación en los sistemas 60 de conmutación de cada celda 10 está configurado para desviar selectivamente de cada celda 10 proveyendo una conexión directa entre el primer terminal 130 y el segundo terminal 140. Tal conexión puede ser utilizada de nuevo para desviarse de celdas 10 defectuosas, o por cualquier otra razón, también, en diversa realizaciones de los sistemas 100 de celdas, pueden utilizarse diferentes realizaciones del sistema 60 de conmutación (tales como las encontradas en las figuras 9-11) en conjunto con otra en un sistema 100 de celda individual.

En cualquier realización, los conmutadores del sistema 60 de conmutación (o cualquier otro conmutador descrito aquí) puede ser de cualquier tipo, y el término conmutador pretende ampliamente describir cualquier dispositivo capaz de conmutar entre los modos o estados descritos. Por ejemplo, en algunas realizaciones no limitantes, los conmutadores pueden ser de polo simple y tiro simple o de polo simple y tiro doble. También pueden ser del tipo de relé pivotante, deslizante o de pestillo. También pueden utilizarse conmutadores basados en semiconductores. Los conmutadores pueden ser activados eléctricamente (relé electromecánicos) o magnéticamente o por otros métodos conocidos para las personas familiarizadas con el arte. Puede utilizarse cualquier otro tipo adecuado de conmutador, y los ejemplos aquí son no limitantes. En una realización, la pluralidad de conmutadores puede ser conectada en serie si el conmutador tiene una corriente de fuga en una dirección. Por ejemplo, el diodo de cuerpo de un conmutador basado en un semiconductor MOSFET será conductor en una dirección y la corriente de fuga puede ser eliminada colocando conmutadores basados en semiconductor MOSFET orientados espalda con espalda en serie.

Cualquier mecanismo de control adecuado puede ser provisto para controlar la acción de los conmutadores en el sistema 60 de conmutación y/o el sistema 62 selector de terminal. Como se muestra en la figura 13, en una realización los conmutadores del sistema 60 de conmutación pueden ser controlados por un controlador 230. El controlador 230 puede ser de cualquier construcción y configuración. En una realización, el controlador 230 puede estar configurado para manejar la aplicación del potencial anódico desde la fuente de poder PS a cuerpos 12b-d de electrodo permeables y el electrodo 70 de carga. El controlador 230 puede producir electrodeposición de combustible metálico a través de la reducción de iones reducibles del combustible metálico a partir del medio conductor de iones, para crecer progresivamente desde el cuerpo 12a de electrodo permeable a cada cuerpo 12b-d de electrodo subsecuente para la aplicación de un potencial catódico a cada cuerpo 12b-d de electrodo conectados subsecuentemente. El controlador 230 también puede generar la eliminación del potencial anódico desde cada cuerpo de electrodo conectado subsecuentemente, y puede producir la aplicación del potencial anódico a al menos el cuerpo de electrodo subsecuente no conectado por la electrodeposición, o el electrodo de carga donde el último cuerpo de electrodo (esto es, el cuerpo 12d de electrodo) ha sido conectado eléctricamente por la electrodeposición en los cuerpos 12a-c de electrodo previos. Tal aplicación del potencial anódico puede ser configurada para permitir o generar la oxidación de una especie oxidable del oxidante.

En una realización, el controlador 230 puede comprender circuitería 232 de alambre rígido que manipula los conmutadores con base en una entrada 234 que determina la configuración de conmutación apropiada. El controlador 230 también puede incluir un microprocesador para ejecutar decisiones más complejas, como una opción. En algunas realizaciones, el controlador 230 también puede funcionar para manejar la conectividad entre la carga L y la fuente de poder y la primera y Nª celdas (esto es, puede controlar el sistema 62 selecto de terminal descrito más arriba). En algunas realizaciones, el controlador 230 puede incluir programación o circuitería apropiadas para accionar los conmutadores 150 de desviación apropiados en respuesta a la detección de un voltaje

que alcanza un umbral predeterminado (tal como una caída por debajo de un umbral predeterminado). En algunas realizaciones, el controlador 230 puede comprender adicionalmente o estar asociado con un dispositivo 236 sensor, que incluye, pero no se limita a un voltímetro (digital o análogo) o potenciómetro u otro dispositivo o dispositivos para la medición de voltaje, que puedan ser utilizados para determinar cuándo modificar la configuración de la pluralidad de conmutadores, por ejemplo, mantener la proximidad del ánodo y el cátodo a medida que el crecimiento de combustible progresa durante la carga. En algunas realizaciones, el dispositivo 236 sensor puede en vez de ello medir la corriente, resistencia o cualquier otra propiedad eléctrica o física a través de o de la celda 10 que puede ser utilizada para determinar cuándo modificar la configuración de la pluralidad de conmutadores. Por ejemplo, el dispositivo 236 sensor puede medir un máximo en corriente o una caída en diferencial de potencial entre dos cuerpos de electrodo. En algunas realizaciones, el controlador 230 puede controlar los conmutadores del sistema 60 de conmutación con base en el paso de incrementos de tiempo. Por ejemplo, en una realización el tiempo para el crecimiento de combustible para avanzar entre cuerpos de electrodo adyacentes puede ser conocido, y utilizado para calcular cuándo operar el sistema 60 de conmutación de tal manera que se recableen progresivamente los electrodos para mantener una separación adyacente entre el ánodo y el cátodo. En una realización, el controlador 230 puede controlar los conmutadores del sistema 60 de conmutación para proveer un modo de alta eficiencia para la celda, tal como se divulga en la Solicitud de Patente de los Estados Unidos Serie No. 13/083,929.

En algunas realizaciones, el controlador 230 puede ser configurado para entrar selectivamente en diferentes modos de carga. Por ejemplo, en un modo una pluralidad de cuerpos de electrodo pueden tener inicialmente un potencial anódico, pero el número disminuye a medida que los cuerpos de electrodo reciben un potencial catódico. En otro modo, solamente un cuerpo de electrodo individual tiene un potencial anódico en un momento dado, y el cuerpo de electrodo con el potencial anódico cambia a medida que los cuerpos de electrodo previos reciben el potencial catódico. Por ejemplo, en el modo inicial, el controlador 230 puede cerrar todos los conmutadores asociados con el electrodo 70 de carga y los cuerpos 12b-d de electrodo durante la recarga, de tal manera que se aplica un potencial anódico a cada uno de los cuerpos 12b-d de electrodo y el electrodo 70 de carga. El controlador 230 puede abrir entonces progresivamente los conmutadores asociados con cada uno de los cuerpos 12b-d de electrodo a medida que los cuerpos 12b-d de electrodo se conectan progresivamente por medio eléctrico al cuerpo 12a de electrodo, y tienen así un potencial catódico. En el último modo, el controlador puede cerrar inicialmente solamente el conmutador asociado con el cuerpo 12b de electrodo, dando al cuerpo 12b de electrodo un potencial anódico mientras que el cuerpo 12a de electrodo tiene un potencial catódico. Cuando el crecimiento de combustible sobre el cuerpo 12a de electrodo alcanza el cuerpo 12b de electrodo, creando una conexión eléctrica entre ellos, el controlador 230 puede abrir el conmutador asociado con el cuerpo 12b de electrodo que dio al cuerpo 12b de electrodo el potencial anódico, de tal manera que el cuerpo de electrodo tiene un potencial catódico a través de su conexión eléctrica con el cuerpo 12a de electrodo. El controlador 230 puede proceder entonces a cerrar el conmutador asociado con el cuerpo 12c de electrodo, para proveer el cuerpo 12c de electrodo con el potencial anódico, creando de nuevo una diferencia de potencial, y la progresión del crecimiento de combustible. Estas progresiones de reasignación de conmutación por el controlador 230 pueden continuar permanentemente o hasta que solamente el electrodo 70 de carga tenga el potencial anódico, como se describió más arriba.

Como se ve en la figura 14, otro aspecto de la presente invención puede incluir un método 240 para cargar la celda 10 electroquímica. De nuevo, la celda 10 electroquímica comprende el electrodo 12 de combustible que comprende la pluralidad de cuerpos 12a-d de electrodo permeables. Aunque aparecen en la lista cuatro cuerpos de electrodo permeables, es posible cualquier número mayor que o igual a dos. La celda 10 incluye adicionalmente el electrodo 14 oxidante, y el electrodo de carga, el cual puede ser el electrodo 14 oxidante o el electrodo 70 de carga separado. La celda 10 incluye adicionalmente el medio conductor de iones, y el sistema 60 de conmutación que comprende una pluralidad de conmutadores, en donde al menos algunos de la pluralidad de conmutadores están asociados con uno de los cuerpos 12a-d de electrodo permeables, el electrodo 14 oxidante, y el electrodo de carga (esto es el electrodo 14 oxidante o el electrodo 70 de carga separado). Durante un modo de carga, los iones de combustible reducibles en el medio conductor de iones son reducidos y electrodepositados como combustible en forma oxidable sobre un cátodo que comprende al menos el cuerpo 12a de electrodo permeable mientras que un oxidante es oxidado sobre un ánodo que comprende al menos uno adyacente de los cuerpos 12b-d de electrodo permeables y/o el electrodo de carga (esto es, el electrodo 70 de carga).

El método 240 comienza en 250, e incluye en 260 conectar eléctricamente el cátodo (esto es, en una realización, inicialmente solo el cuerpo 12a de electrodo permeable), distal del electrodo de carga, al terminal negativo de la fuente de poder PS, y el ánodo (inicialmente en al menos el cuerpo 12b de electrodo permeable) al terminal positivo de la fuente de poder PS, creando una diferencia de potencial entre ellos. El método 240 continúa en 270, en donde, el combustible es electrodepositado sobre el cátodo (esto es, al menos el cuerpo 12a de electrodo permeable). Como se ve en la etapa 280, el método 240 puede continuar determinando si el crecimiento de combustible ha progresado más allá de una cantidad umbral. En una realización, la cantidad umbral puede establecerse cuando la celda 10 está en corto con el crecimiento de combustible creando una conexión eléctrica a través del crecimiento de combustible entre el cátodo (esto es, el cuerpo 12a de electrodo permeable) y el ánodo (esto es, el cuerpo 12b de electrodo permeable). Como se muestra, si el crecimiento en combustible no ha alcanzado la cantidad umbral, el crecimiento de combustible en 270 se repite. Una vez que la cantidad umbral es alcanzada, el método continúa en 290, donde puede determinarse si el crecimiento de combustible adicional es tanto posible como deseado. En una realización, la determinación en 290 puede incluir establecer si hay cuerpos de electrodo adicionales, tales como cuerpos 12c-d de

electrodo permeables, sobre los cuales puede ser posible el crecimiento de combustible. Si es así, el método continúa en 300 usando la pluralidad de conmutadores del sistema 60 de conmutación para desconectar el cuerpo de electrodo de conexión (esto es, el cuerpo 12b de electrodo permeable) del ánodo, y si fuese no conectado a través del sistema 60 de conmutación antes, conectar el siguiente cuerpo de electrodo adyacente (esto es, el cuerpo 12c de electrodo permeable) al ánodo. Esto crea la diferencia de potencial entre el cátodo (que comprende ahora los cuerpos 12 a-b de electrodos permeables) y el ánodo (que comprende al menos el cuerpo 12c de electrodos). El método 240 regresa entonces a 270 donde continúa el crecimiento de combustible sobre el cátodo. Si no es posible o deseado un crecimiento de combustible adicional en 290, el método 240 continúa a 310 desconectando al menos el terminal negativo de la fuente de poder PS de la celda 10 para discontinuar el proceso de carga. El método 240 termina entonces en 320.

Como se muestra en la figura 15, otro aspecto de la presente invención puede incluir un método 330 para descargar la celda 10 electroquímica, el cual puede ser similar al descrito anteriormente con relación a la figura 14. Durante el modo de descarga, el combustible sobre los cuerpos 12a-12d de electrodo permeable es oxidado (y así es consumido en el medio conductor de iones como iones de combustible reducibles), mientras que se reduce un oxidante en el electrodo 14 oxidante.

El método 330 se inicia en 340 e incluye en 350 utilizar la pluralidad de conmutadores del sistema 60 de conmutación para conectar los cuerpos 12a-d de electrodo permeable que contienen combustible. En una realización, si la celda 10 está completamente cargada todos los cuerpos 12a-d de electrodo permeable serían conectados eléctricamente uno a otro. Puesto que la celda 10 está en modo de descarga, la pluralidad de conmutadores del sistema 60 de conmutación se configuraría para desconectar eléctricamente el electrodo 70 de carga separado (si está presente). En una realización, el método 330 continuaría en 360 conectando eléctricamente el cátodo (esto es, el cátodo de aire, electrodo 14 oxidante) al terminal negativo de carga L, y el ánodo (esto es, el electrodo 12 de combustible, que contiene los cuerpos 12a-d de electrodo permeable conectados eléctricamente) al terminal positivo de la fuente de poder PS, creando una diferencia de potencial entre ellos. El método 330 continúa en 370, en donde el combustible es consumido sobre el electrodo 12 de combustible. En una realización, puesto que la pluralidad de conmutadores 60 conecta los cuerpos 12a-d de electrodo permeables, se aplica un potencial anódico a cada uno de los cuerpos 12a-d de electrodo permeables, y el combustible puede ser consumido desde cada uno o cualquiera de los cuerpos 12a-d de electrodos permeables. Como se ve en la etapa 380, el método 330 puede continuar determinando si el combustible consumible ha disminuido a partir de cualquier cuerpo 12a-d de electrodo permeable. En algunas realizaciones, la caída del combustible puede significar que la cantidad de combustible está por debajo de un nivel útil, incluyendo cero. En una realización, esto puede ser indicado por una caída en corriente desde el cuerpo 12a-d de electrodo particular, o una caída en la diferencia de potencial. En una realización, un sensor tal como el dispositivo 236 de detección anterior, que puede incluir un sensor de corriente o voltaje, puede estar presente en la celda 10, y puede indicar cuándo el combustible consumible ha disminuido a partir de uno o más de los cuerpos 12a-d de electrodo permeables. Si no se detecta caída, la descarga puede continuar a medida que el método 330 regresa a la etapa 370. Sin embargo, si ha disminuido el combustible consumible a partir de uno o más de los cuerpos 12a-d de electropermeables, el método 330 puede continuar entonces a la etapa 390, en donde puede determinarse si hay cuerpos 12a-d de electrodo permeables restantes que contengan combustible consumible. Esta determinación puede hacerse simultáneamente con la determinación de la caída en la etapa 380, y puede hacerse a través de una revisión de los dispositivos detectores 236, o por cualquier otro método apropiado.

Si el combustible consumible permanece sobre uno o más de los cuerpos 12a-d de electrodo permeables, el método 330 puede continuar en la etapa 400 en donde el sistema 60 de conmutación ajusta la pluralidad de conmutadores de tal manera que cualquiera de los cuerpos 12a-d de electrodo permeables que carecen de combustible consumible son desconectados del electrodo 12 de combustible. En una realización, el consumo de combustible puede ser inicialmente desde el cuerpo de electrodo que está más cercano al electrodo 14 oxidante (tal como, por ejemplo, el cuerpo 12d de electrodo permeable en las realizaciones ilustradas más arriba), y el sistema 60 de conmutación puede desconectar el cuerpo 12d, 12c y 12b de electrodo permeable en ese orden, hasta que todo el combustible es consumido a partir del cuerpo 12a de electrodo permeable. Una vez que ninguno de los cuerpos 12a-d de electrodo permeables contienen combustible consumible, o no se desea más una descarga adicional (o no es posible), el método puede continuar hasta la etapa 410, en donde la carga L puede ser desconectada. En una realización, la carga L puede permanecer conectada a la celda 10 cuando cae, hasta que la celda 10 es recargada, en cuyo caso puede ser desconectada de tal manera que la celda 10 pueda ser conectada en vez de la fuente de poder PS. El método 330 puede terminar entonces en 420.

Las realizaciones anteriormente ilustradas han sido provistas solamente para ilustrar los principios estructurales y funcionales de la presente invención, y no deben considerarse como limitantes. Por el contrario, la presente invención pretende abarcar todas aquellas modificaciones, sustituciones y alteraciones dentro del alcance de las siguientes reivindicaciones.

REIVINDICACIONES

1. Un sistema (100) de celda electroquímica recargable para generar corriente eléctrica utilizando un combustible metálico y un oxidante, comprendiendo el sistema de celda:

una celda (10) electroquímica que comprende:

5 (i) un electrodo (12) de combustible que comprende N cuerpos (12a-d) de electrodo permeables dispuestos en relación de separación espaciados en orden de 1 a N, en donde N es un entero mayor que o igual a dos, comprendiendo el electrodo de combustible el combustible metálico sobre los cuerpos de electrodo permeables;

(ii) un electrodo (14) oxidante separado con espaciamiento del electrodo de combustible;

10 (iii) un electrodo (70) de carga seleccionado del grupo consistente de (a) el electrodo oxidante, y (b) un electrodo de carga separado espaciado del combustible y de los electrodos oxidantes; y

(iv) un medio conductor de iones que comunica los electrodos para conducir iones para soportar reacciones electroquímicas en los electrodos;

15 en donde los electrodos combustible y oxidante están configurados para, durante un modo de descarga, oxidar el combustible metálico sobre los cuerpos de electrodo permeables y reducir el oxidante en el electrodo oxidante, generando así una diferencia de potencial para aplicación a una carga;

una pluralidad de conmutadores (60) para acoplar selectivamente cada cuerpo 2 a N de electrodo del electrodo combustible y el electrodo de carga a una fuente de poder (PS) para aplicación de un potencial catódico al cuerpo 1 de electrodo mediante la fuente de poder;

20 un controlador (230) configurado para controlar la pluralidad de conmutadores durante la recarga de modo que se controla la aplicación de un potencial anódico desde la fuente de poder a los cuerpos 2 a N de electrodo permeables y el electrodo de carga de una manera tal que produzca

25 (a) electrodeposición del combustible metálico, a través de la reducción de iones reducibles del combustible metálico desde el medio conductor de iones, para crecer progresivamente desde el cuerpo 1 de electrodo hacia el electrodo con la electrodeposición de carga conectando progresivamente cada cuerpo 2 a N de electrodo subsecuente al cuerpo 1 de electrodo para aplicación del potencial catódico a cada cuerpo de electrodo conectado subsecuente,

(b) eliminación del potencial anódico desde cada cuerpo de electrodo conectado subsecuente. y

30 2. Un sistema (100) de celda electroquímica de acuerdo con la reivindicación 1, que comprende adicionalmente una pluralidad de las celdas (10) electroquímicas ensambladas adyacentes una a otra con una barrera (17) no conductora que separa el electrodo (14) oxidante y el electrodo (12) de combustible de cada par de celdas adyacentes, de tal manera que la única conexión eléctrica permitida entre ellas es a través de al menos una de dicha pluralidad de conmutadores (60).

35 3. Un sistema (100) de celda electroquímica de acuerdo con la reivindicación 2, en donde dicha pluralidad de conmutadores (60) es conmutable mediante un modo de desviación para cada celda (10) acoplando el electrodo de carga, en el modo de carga, o el electrodo (14) oxidante, en el modo de descarga, de una celda previa al electrodo (12) de combustible de una celda subsecuente.

40 4. Un sistema (100) de celda electroquímica de acuerdo con la reivindicación 2, en donde la celda (10) es una celda metal-aire comprendiendo el electrodo (12) de combustible el combustible metálico, comprendiendo el electrodo (14) oxidante un cátodo de aire para reducción de oxígeno, y siendo el electrodo (70) de carga un electrodo de liberación de oxígeno para oxidar una especie de oxígeno oxidable a oxígeno.

5. Un sistema (100) de celda electroquímica de acuerdo con la reivindicación 4, en donde cada barrera (17) no conductora incluye uno o más puertos para permitir que el oxígeno fluya al cátodo de aire.

45 6. Un sistema (100) de celda electroquímica de acuerdo con la reivindicación 1, en donde la pluralidad de conmutadores (60) incluye un conmutador conmutable entre el acoplamiento de la celda (10) a la carga (L) y el acoplamiento de la celda a una fuente de poder (PS).

7. Un sistema (100) de celda electroquímica de acuerdo con la reivindicación 1, en donde cada uno de dicha pluralidad de conmutadores (60) está asociado con uno de cada uno de la pluralidad de cuerpos (12a-d) de electrodo permeables, el electrodo (70) de carga y el electrodo (14) oxidante.

8. Un sistema (100) de celda electroquímica de acuerdo con la reivindicación 1, en donde dicha pluralidad de conmutadores (60) son conmutables a:
- 5 I) conectar progresivamente el cuerpo 1 de electrodo permeable a través del cuerpo N de electrodo permeable al electrodo (70) de carga; o
- II) conectar selectivamente cada uno de los cuerpos 1 de electrodo permeables a través del cuerpo N de electrodo permeable al electrodo (70) de carga; o
- 10 III) conectar selectivamente cada uno de los cuerpos 1 de electrodo permeable a través del cuerpo N de electrodo permeable al electrodo (12) de combustible.
9. Un sistema (100) de celda electroquímica de acuerdo con la reivindicación 1, en donde el controlador (230) está configurado para abrir y cerrar selectivamente al menos uno de la pluralidad de conmutadores (60) y configurado adicionalmente para:
- 15 I) responder a uno o más sensores asociados con la celda (10); o,
- II) abrir y cerrar selectivamente al menos uno de la pluralidad de conmutadores (60) para aplicar el potencial anódico a todos los cuerpos 2-N de electrodo permeables que no tienen el potencial catódico; o
- 15 III) abrir y cerrar selectivamente al menos uno de la pluralidad de conmutadores para aplicar el potencial anódico a solamente uno de los cuerpos 2-N de electrodo permeables o el electrodo (70) de carga, que esta adyacente a al menos uno de los cuerpos 1-N de electrodo permeables que tienen el potencial catódico.
10. Un sistema (100) de celda electroquímica de acuerdo con la reivindicación 9, en donde el controlador (230) está configurado para responder a uno o más sensores asociados con la celda (10), en donde el uno o más sensores
- 20 están configurados para medir al menos uno de un incremento en corriente por encima de un valor de umbral o un descenso en la diferencia de potencial por encima de un valor de umbral entre al menos dos de los cuerpos (12a-d) de electrodo permeables.
11. Un método para cargar una celda (10) electroquímica, en donde la celda electroquímica comprende:
- 25 (i) un electrodo (12) de combustible que comprende N cuerpos (12a-d) de electrodo permeables dispuestos en relación de separación espaciada en orden 1 a N, en donde N es un entero mayor que o igual a dos, comprendiendo el electrodo de combustible el combustible metálico sobre los cuerpos de electrodo permeables;
- (ii) un electrodo (14) oxidante separado con espaciamiento del electrodo de combustible;
- (iii) un electrodo (70) de carga seleccionado del grupo consistente de (a) el electrodo oxidante, y (b) un electrodo de carga separado espaciado de los electrodos de combustible y oxidante; y
- 30 (iv) un medio conductor de iones que comunica los electrodos para conducir iones para soportar las reacciones electroquímicas en los electrodos;
- en donde los electrodos de combustible y oxidante están configurados para, durante un modo de descarga, oxidar el combustible metálico sobre los cuerpos de electrodo permeables y reducir el oxidante en el electrodo oxidante, generando así una diferencia de potencial para aplicación a una carga;
- 35 comprendiendo el método:
- aplicar un potencial catódico al cuerpo 1 de electrodo acoplando el cuerpo 1 de electrodo a una fuente de poder (PS);
- controlar la aplicación de un potencial anódico a cuerpos 2 a N de electrodo acoplando selectivamente los cuerpos 2 a N de electrodo a la fuente de poder para aplicación del potencial anódico, de tal manera que se genere
- 40 (a) electrodeposición del combustible metálico, a través de la reducción de iones reducibles del combustible metálico a partir del medio conductor de iones, para crecer progresivamente desde el cuerpo 1 de electrodo hacia el electrodo de carga, conectando progresivamente la electrodeposición cada cuerpo 2 a N de electrodos subsecuente al cuerpo 1 de electrodo para aplicación del potencial catódico a cada cuerpo de electrodo conectado subsecuentemente,
- (b) eliminación del potencial anódico desde cada cuerpo de electrodo conectado subsecuentemente, y
- 45 desacoplar la fuente de poder para discontinuar la carga.

12. El método de la reivindicación 11, en donde la aplicación del potencial catódico comprende controlar un estado abierto/cerrado de una pluralidad de conmutadores (60) asociados con la celda (10).
13. El método de la reivindicación 11, en donde el control de la aplicación del potencial anódico comprende controlar:
- 5 I) un estado abierto/cerrado de una pluralidad de conmutadores (60) asociados con la celda (10); o
- II) una pluralidad de conmutadores (60) por un controlador (230), respondiendo el controlador a al menos un sensor asociado con la celda.
14. El método de la reivindicación 13, en donde el control de la aplicación del potencial anódico comprende controlar una pluralidad de conmutadores (60) mediante un controlador,
- 10 y en donde controlar un estado abierto/cerrado de la pluralidad de conmutadores comprende conectar el cuerpo 2 de electrodo permeable a través del cuerpo N del electrodo permeable al electrodo (70) de carga, y progresivamente desconectar el cuerpo 2 de electrodo permeable a través de N desde el electrodo de carga a medida que el crecimiento de combustible conecta eléctricamente y aplica un potencial catódico desde el cuerpo 1 hasta N de electrodo permeable.
- 15 15. El método de la reivindicación 13, en donde el control de la aplicación del potencial anódico comprende controlar un estado abierto/cerrado de una pluralidad de conmutadores (60) asociados con la celda (10),
- y en donde al menos un sensor está configurado para medirlos:
- I) un incremento en la corriente por encima de un valor de umbral o un descenso en la diferencia de potencial por encima de un valor de umbral entre al menos dos de los cuerpos de electrodo permeables; o
- 20 II) un paso de un intervalo de tiempo.

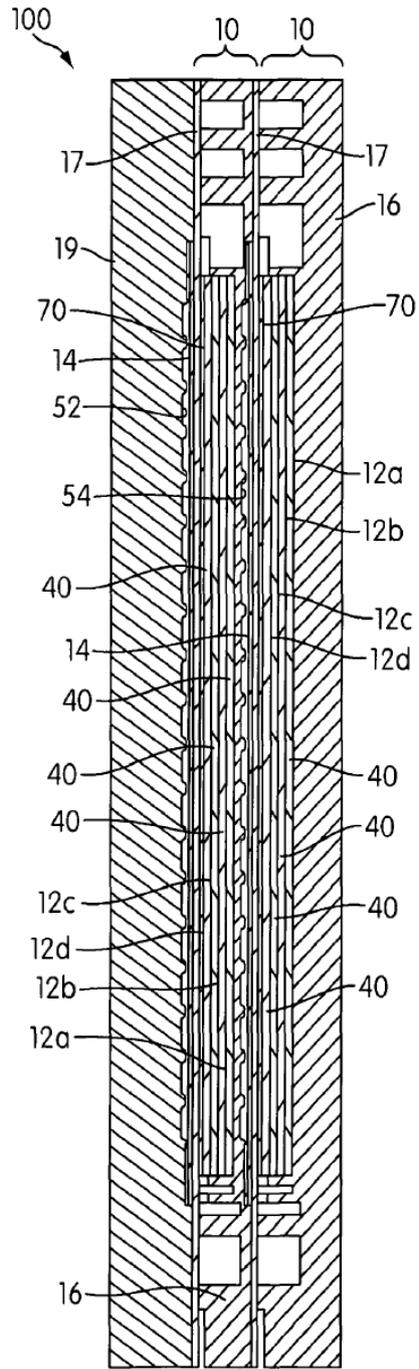


FIG. 1

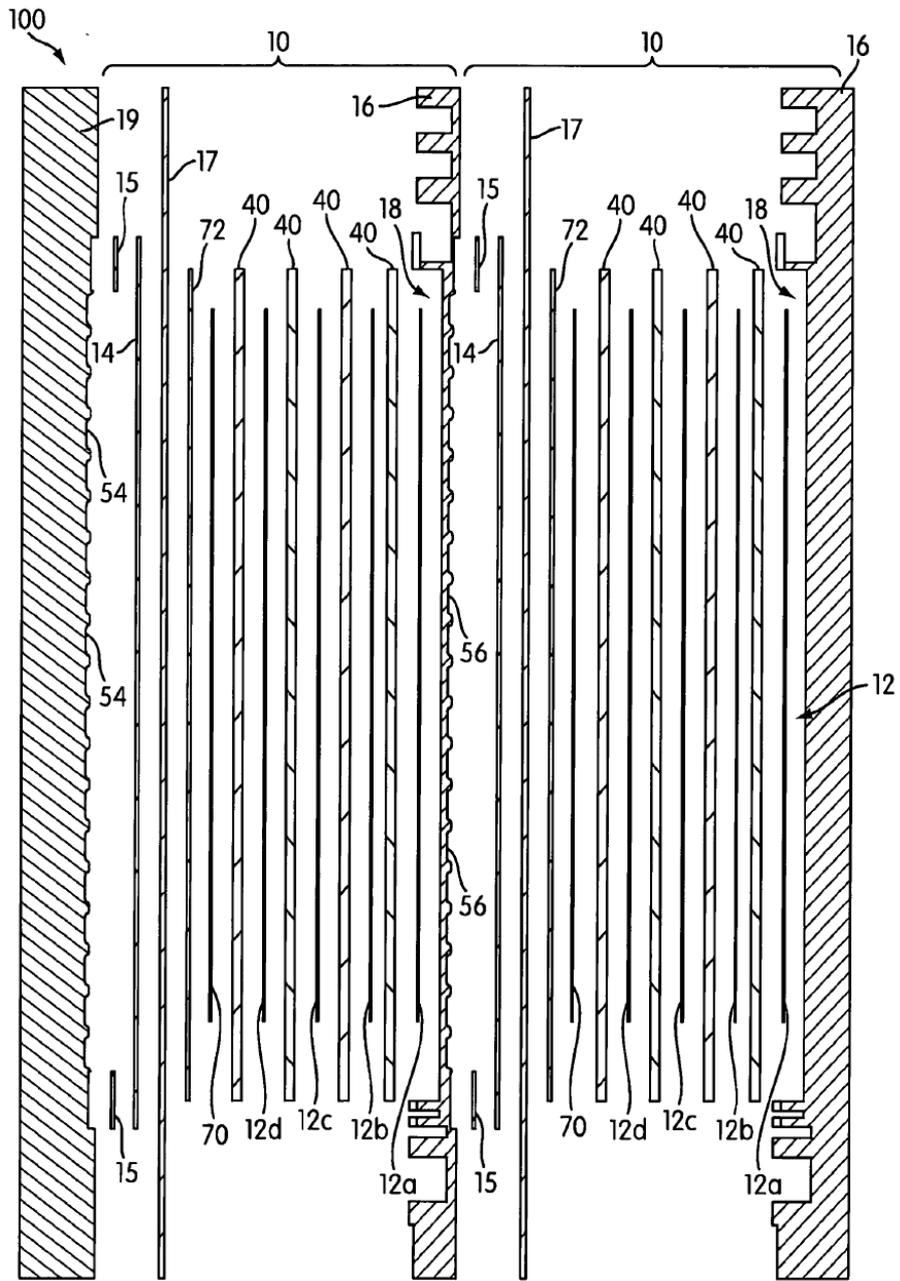


FIG. 2

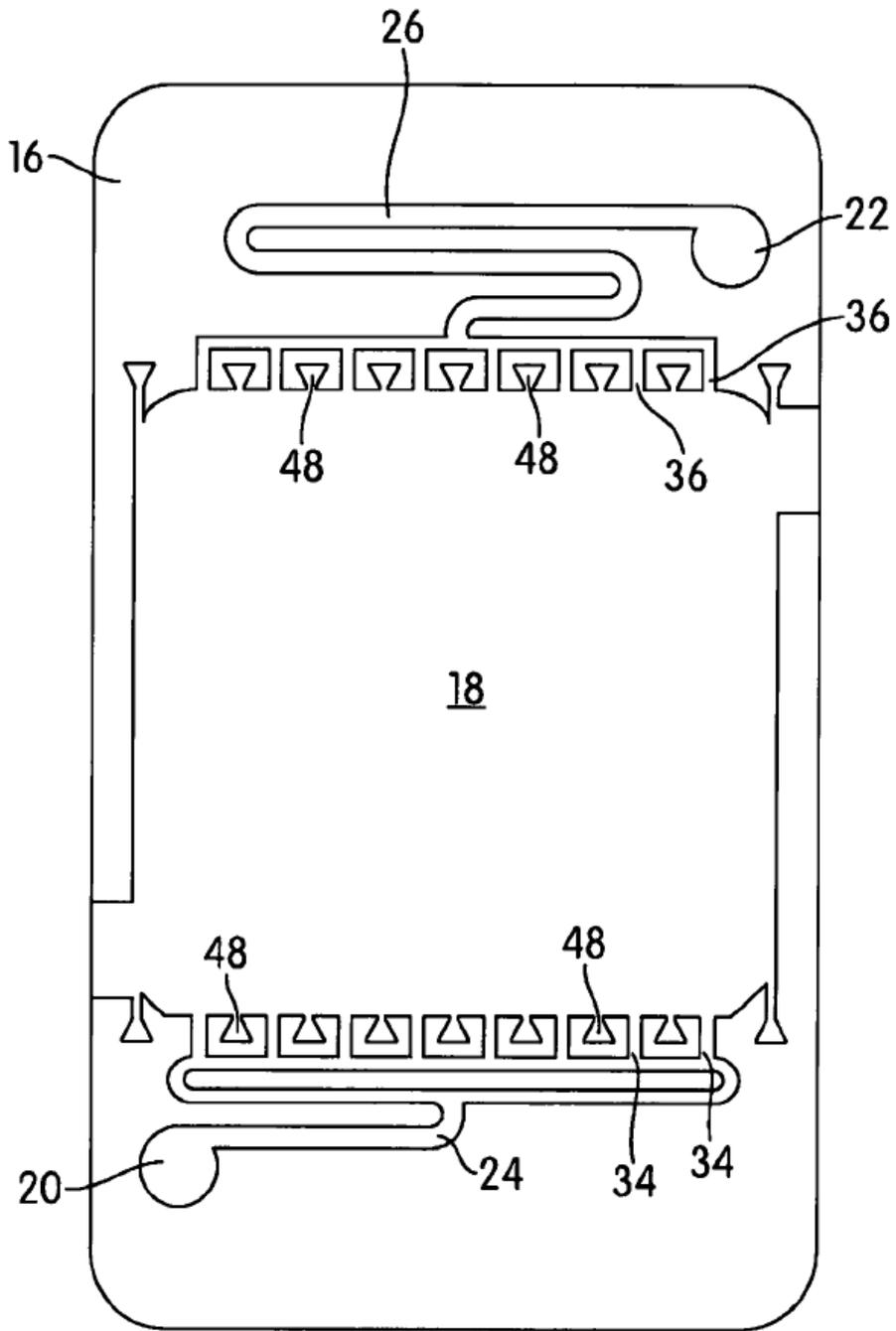


FIG. 3

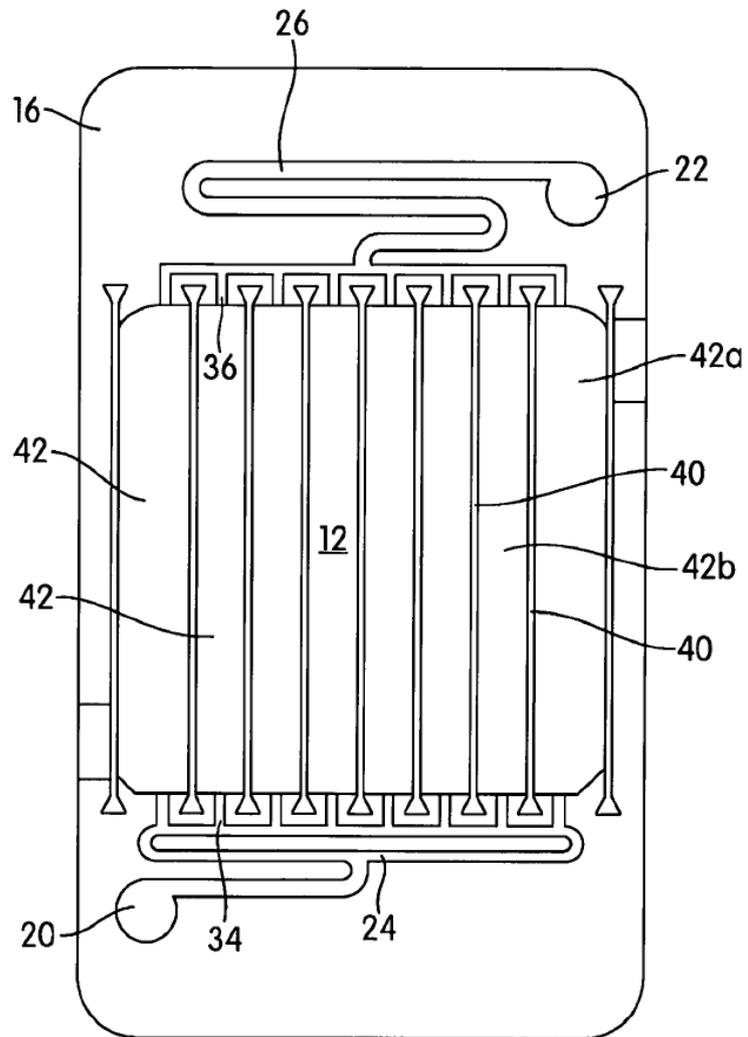


FIG. 4

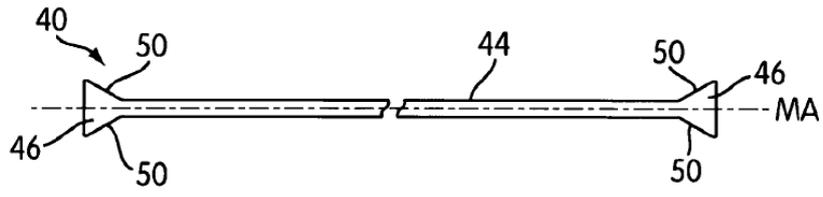


FIG. 5

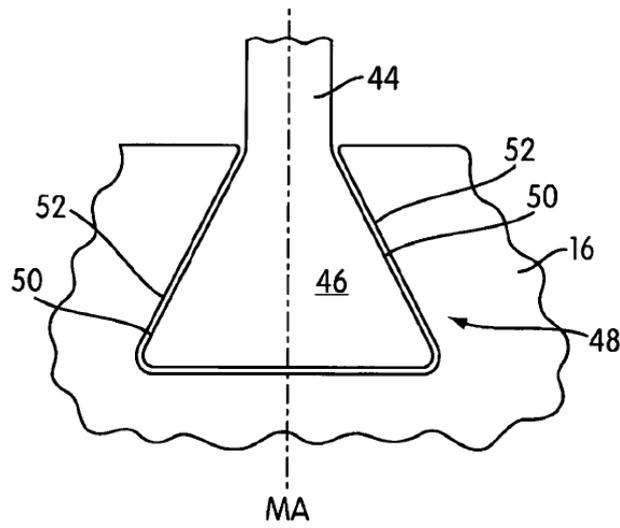


FIG. 6

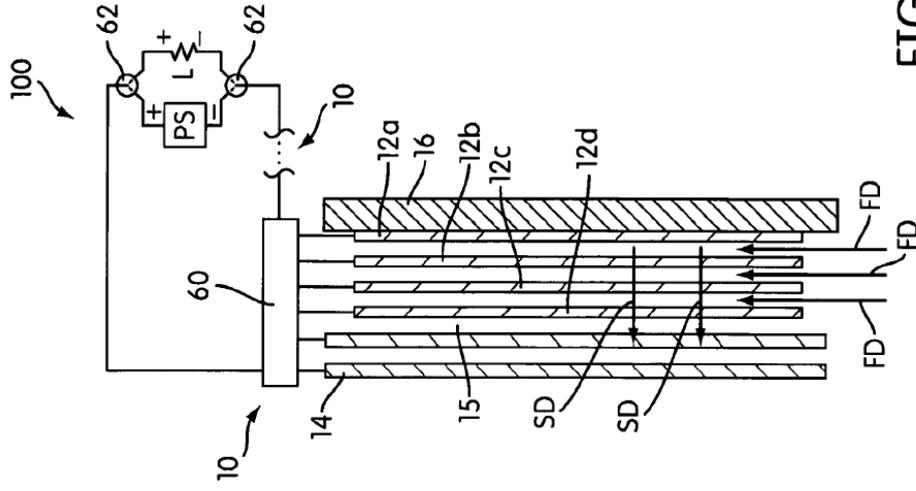


FIG. 8

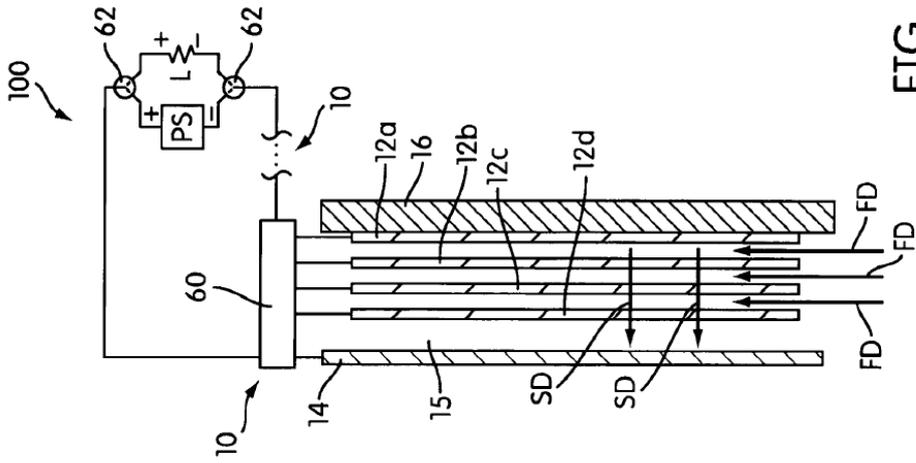


FIG. 7

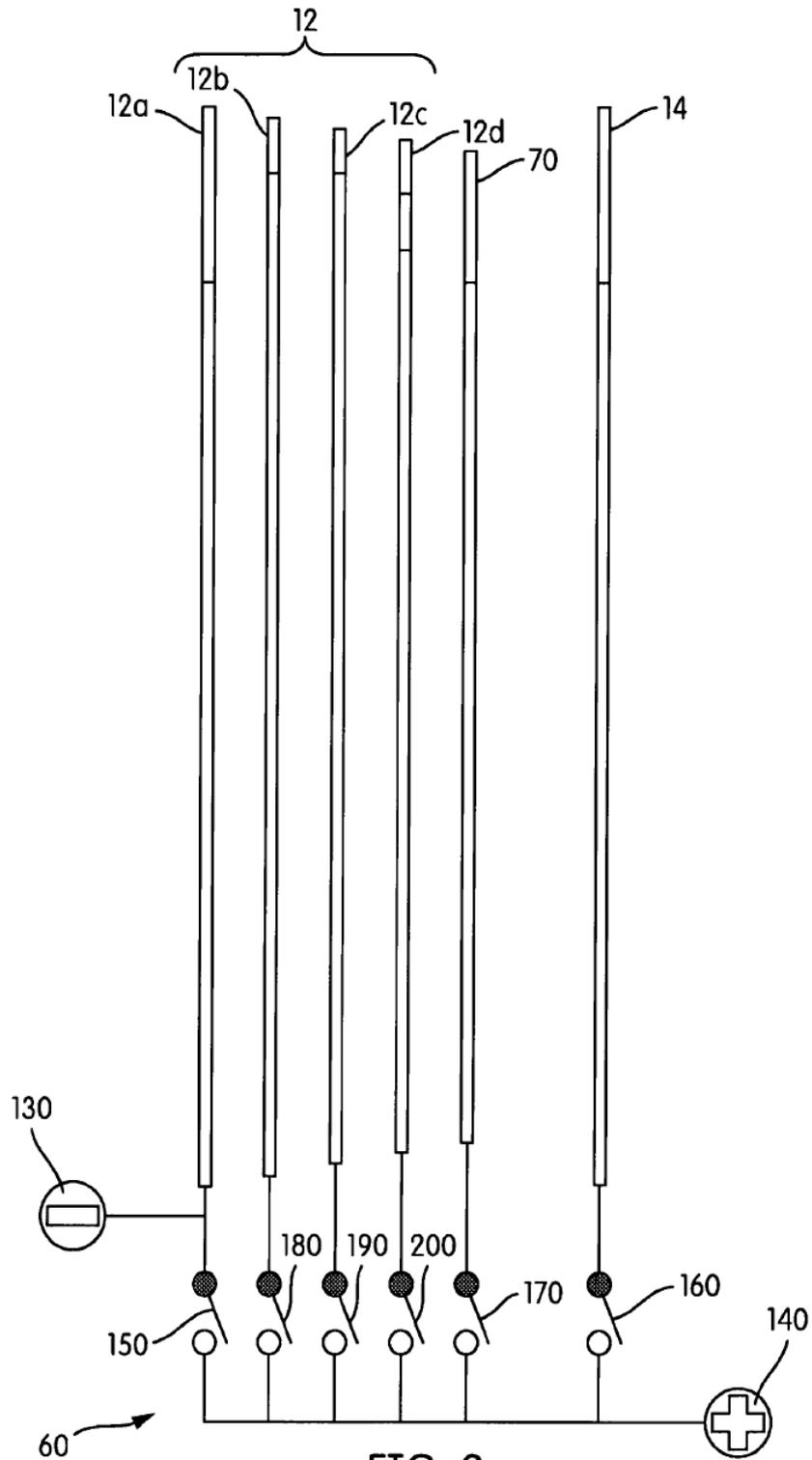


FIG. 9

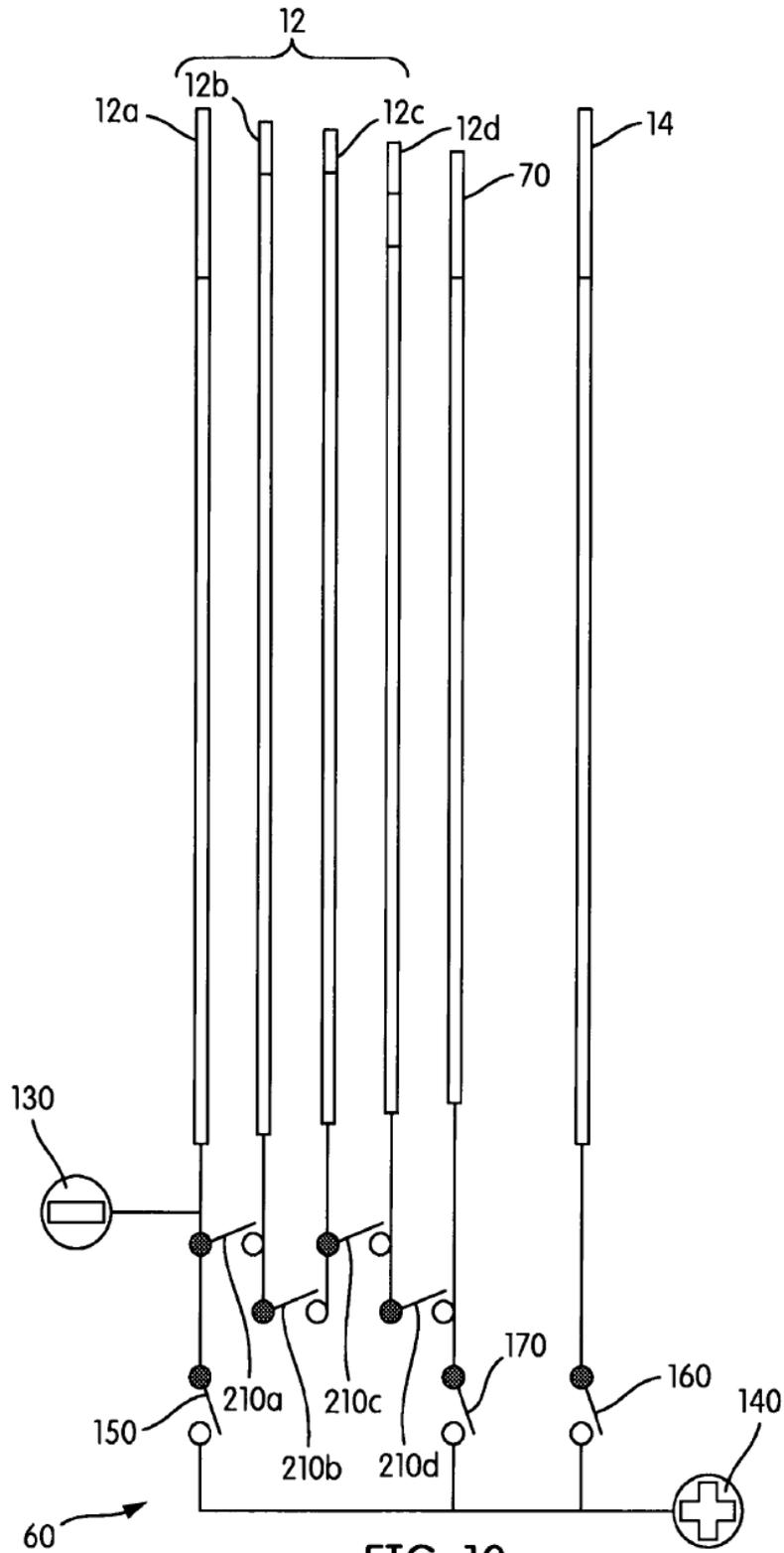


FIG. 10

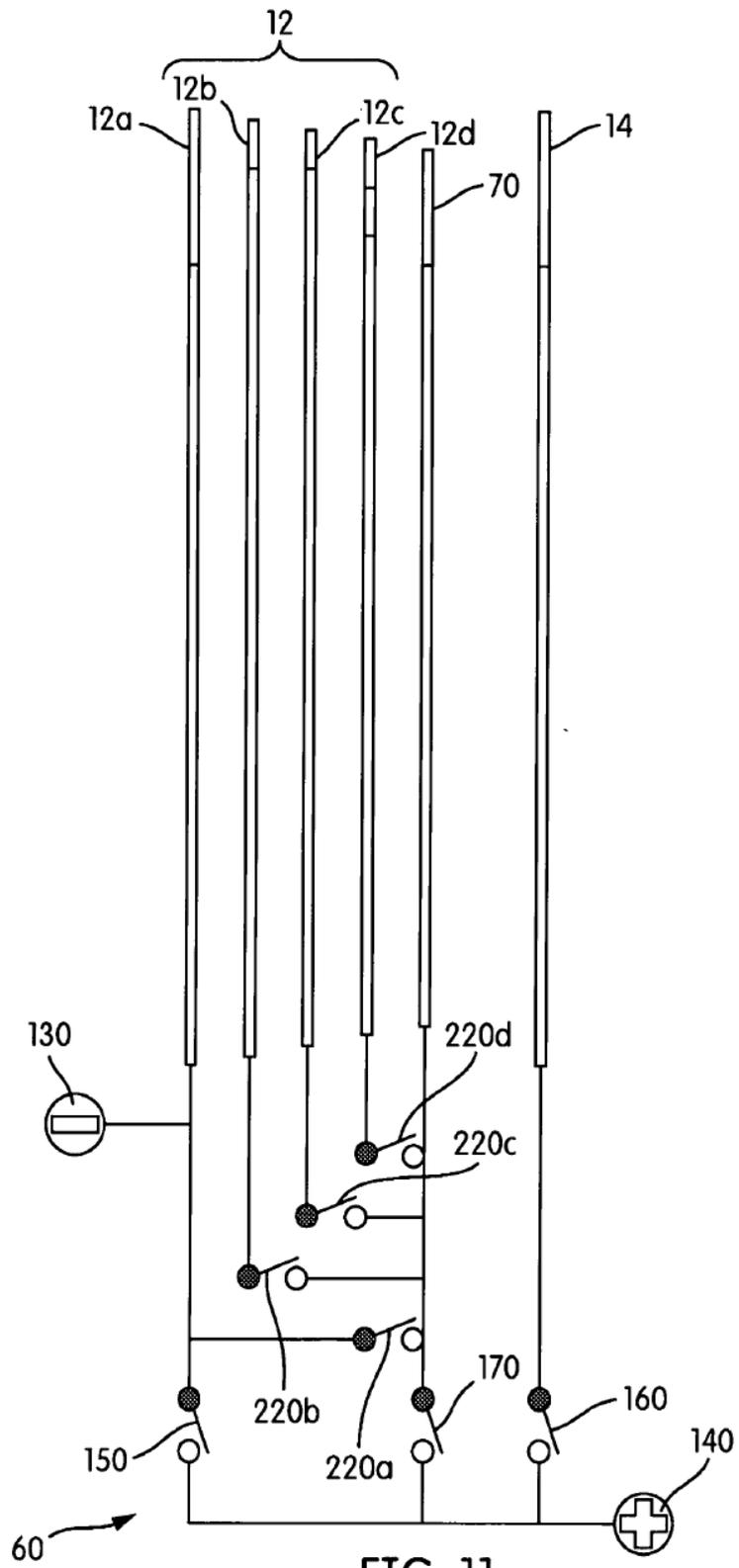
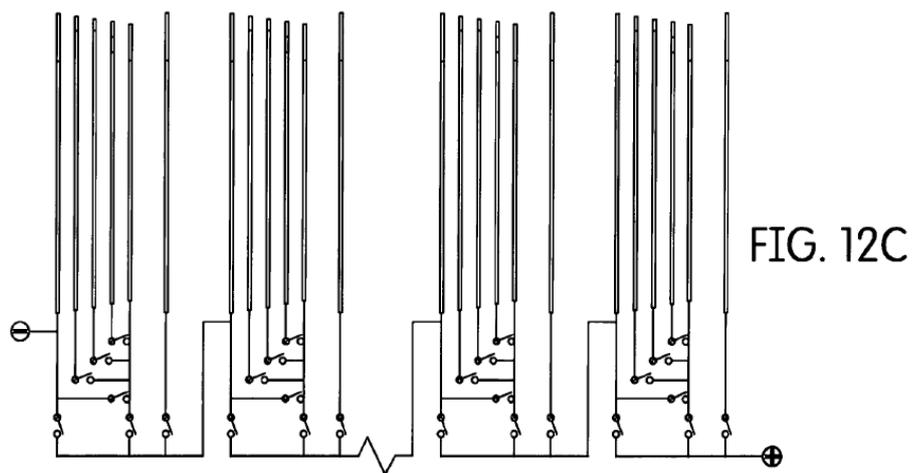
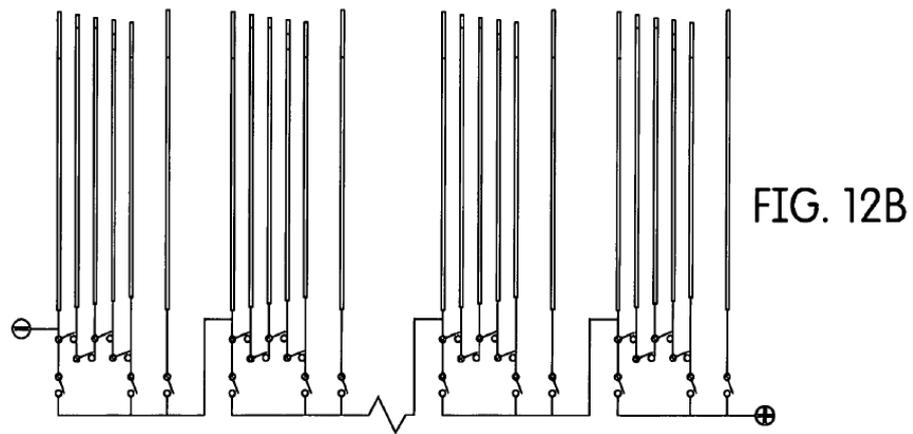
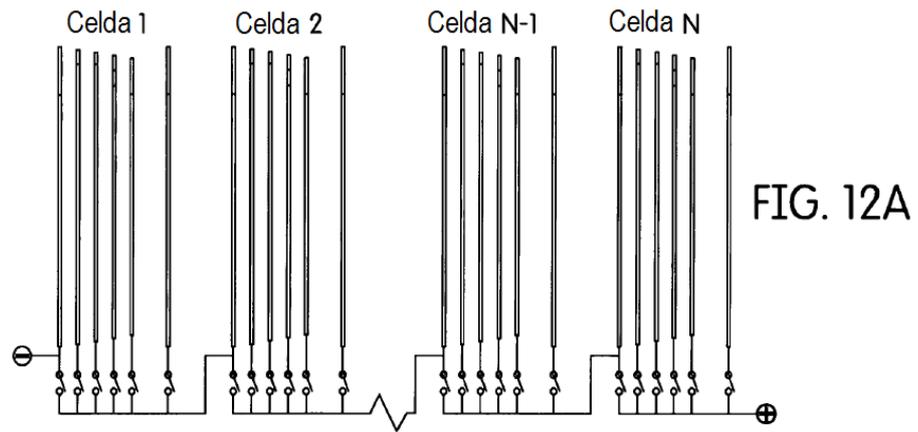


FIG. 11



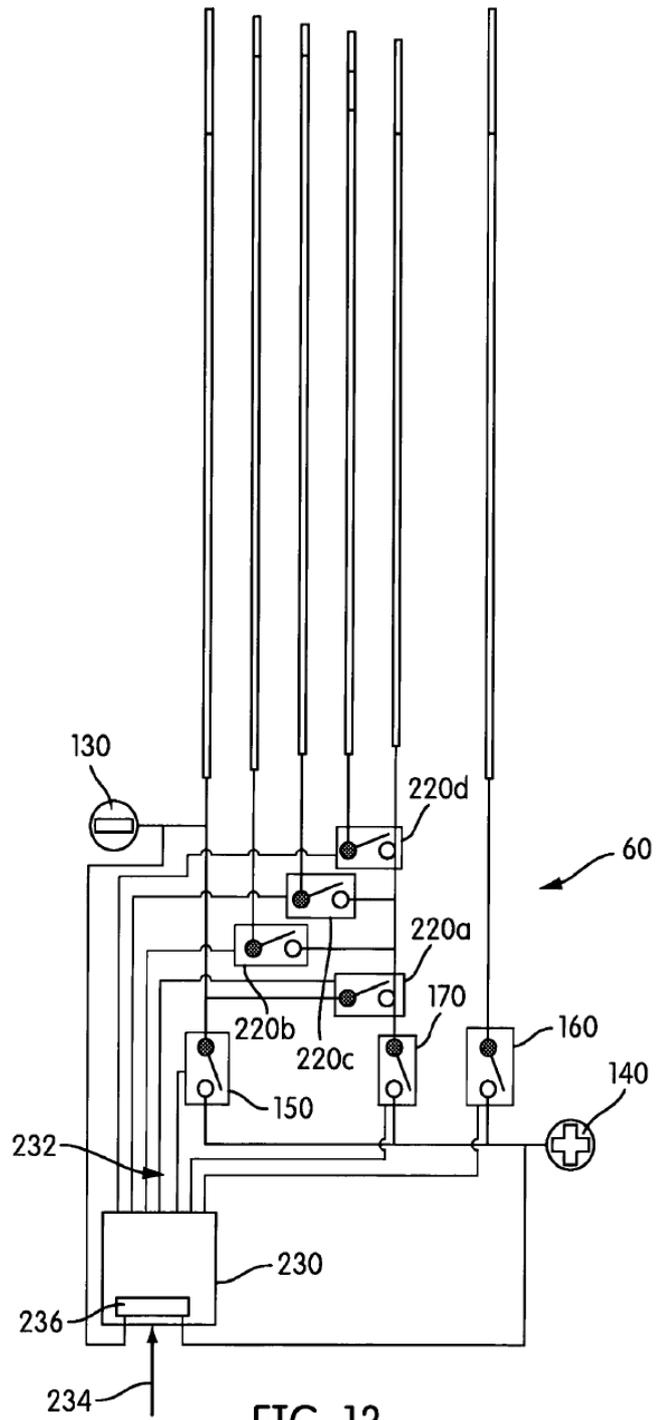


FIG. 13

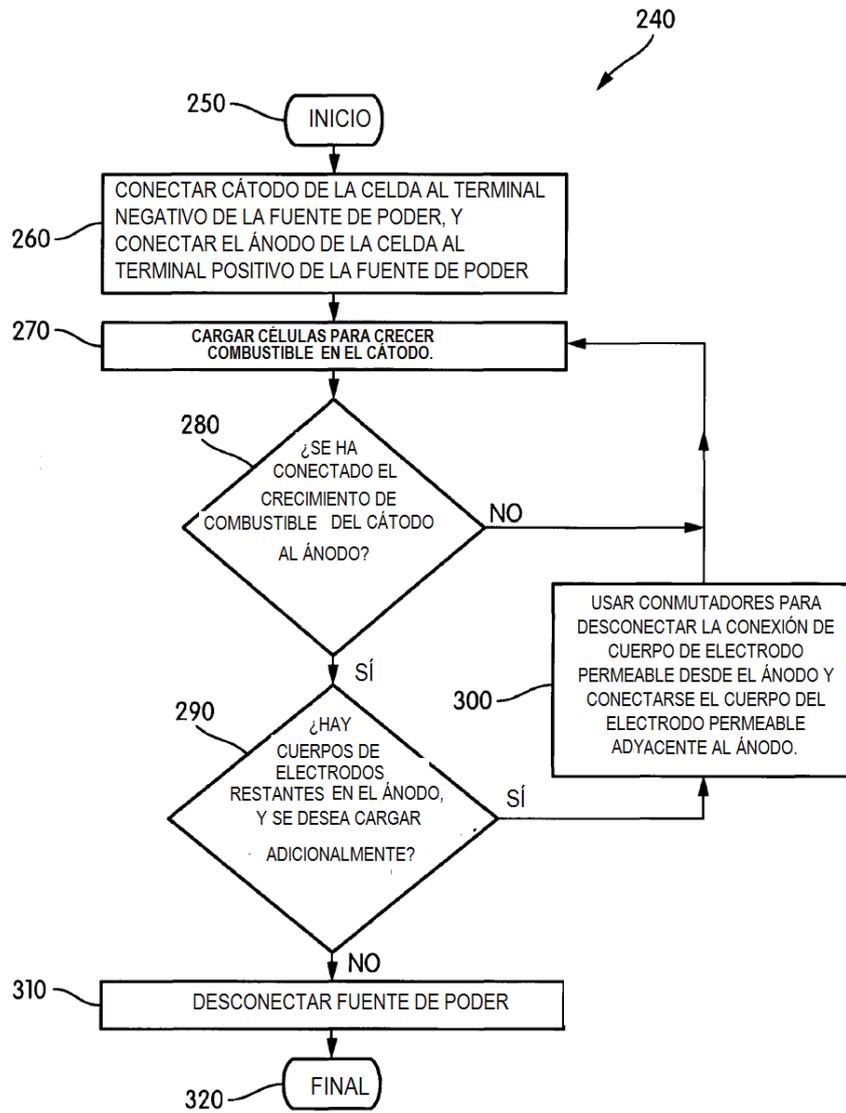


FIG. 14

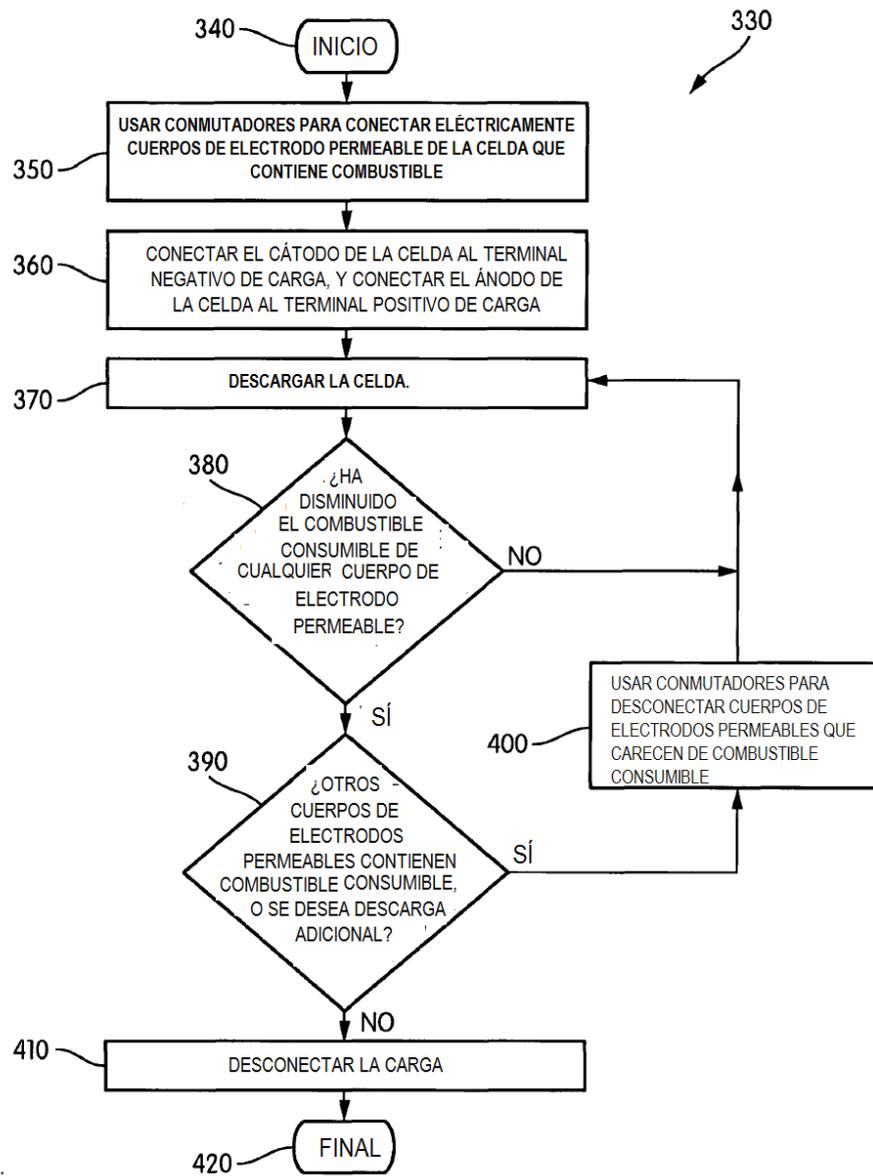


FIG. 15