

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 721 376**

51 Int. Cl.:

| | |
|-------------------|-----------|
| H01M 10/44 | (2006.01) |
| H01M 12/06 | (2006.01) |
| H01M 12/08 | (2006.01) |
| H01M 2/40 | (2006.01) |
| H01M 10/42 | (2006.01) |

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **03.02.2011 PCT/US2011/023620**
- 87 Fecha y número de publicación internacional: **11.08.2011 WO11097391**
- 96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **03.02.2011 E 11703112 (0)**
- 97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **27.03.2019 EP 2532043**

54 Título: **Celda electroquímica con difusor**

30 Prioridad:

02.02.2011 US 201113019923
04.02.2010 US 301377 P

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
31.07.2019

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

FRIESEN, CODY A.;
FRIESEN, GRANT;
KRISHNAN, RAMKUMAR y
TRIMBLE, TODD

74 Agente/Representante:

CAMPELLO ESTEBARANZ, Reyes

ES 2 721 376 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

Celda electroquímica con difusor

5 La presente invención se refiere generalmente a una celda electroquímica.

Más particularmente, la presente invención se refiere a una celda de metal-aire que usa combustible electrodepositado.

10 Se conocen celdas electroquímicas que usan metal como combustible. Se muestran ejemplos de tales dispositivos, por ejemplo, en las Patentes de Estados Unidos N.º 7.276.309; 6.942.105; 6.911.274 y 6.787.260. Una corta lista de desventajas de estas formas de realización anteriores incluye: la acumulación de productos de reacción precipitados en el espacio de ánodo y el espacio de cátodo, cuestiones relacionadas con la alimentación del combustible de partículas sólidas, la lenta tasa de oxidación neta del combustible debido al aumento de la concentración de
15 combustible oxidado en la proximidad del combustible aún no oxidado.

También se conocen celdas de metal-aire o baterías que no usan partículas. Una celda de metal-aire comprende típicamente un ánodo en el que se oxida el combustible metálico, un cátodo de aire exterior (*air breathing*) en el que se reduce el oxígeno del aire ambiente, y un electrolito para soportar reacciones de los iones oxidados/reducidos. El
20 documento de patente WO-A-96/00986 describe una celda electroquímica que comprende un primer electrodo configurado para funcionar como un ánodo para oxidar un combustible cuando está conectado a una carga, comprendiendo el primer electrodo un cuerpo de electrodo permeable que es permeable a un medio líquido iónicamente conductor configurado para permitir el flujo de un medio líquido iónicamente conductor a través del mismo; un portaelectrodos que comprende una cavidad para sostener el primer electrodo; un difusor posicionado en
25 la cavidad entre el primer electrodo y el portaelectrodos con un primer hueco entre un primer lado del difusor y el portaelectrodos, comprendiendo el difusor una pluralidad de aberturas configuradas para permitir el flujo del medio líquido iónicamente conductor a través del mismo y para distribuir el flujo del medio líquido iónicamente conductor a través del primer electrodo; y un segundo electrodo posicionado en la cavidad en un lado del primer electrodo que está opuesto al difusor y separado del primer electrodo, estando el segundo electrodo configurado para funcionar
30 como un cátodo para reducir un oxidante cuando se conecta a la carga y en contacto con el medio líquido iónicamente conductor.

La presente solicitud también se esfuerza por proporcionar una forma eficaz y mejorada de carga o recarga de la celda, que se puede usar con cualquier tipo de celda en la que el combustible se electrodeposite. La presente
35 invención se define por las características de las reivindicaciones 1, 11 y 12 y se refiere a una celda electroquímica.

De acuerdo con un primer aspecto de la presente invención, se proporciona una celda electroquímica como se describe anteriormente, caracterizada por que el primer electrodo y el segundo electrodo están separados con un
40 segundo hueco entre los mismos; y por que el primer hueco y el segundo hueco proporcionan cada uno una dirección de flujo del medio líquido iónicamente conductor que generalmente es perpendicular a una dirección de flujo a través del primer electrodo.

De acuerdo con un segundo aspecto de la presente invención, se proporciona un método para generar electricidad con una celda electroquímica del primer aspecto. El método incluye hacer fluir el medio iónicamente conductor al
45 hueco entre el difusor y el portaelectrodos, distribuir un flujo del medio iónicamente conductor con el difusor a través de una sección transversal de la celda electroquímica para que el medio iónicamente conductor fluya a través del primer electrodo de manera sustancialmente uniforme, oxidar el combustible en el primer electrodo, y reducir el oxidante en el segundo electrodo.

50 En las formas de realización, el método incluye hacer fluir el medio líquido iónicamente conductor que comprende iones de combustible reducibles al hueco entre el difusor y el portaelectrodos, distribuir un flujo del medio líquido iónicamente conductor con el difusor a través de una sección transversal de la celda electroquímica de manera que el medio líquido iónicamente conductor fluya a través del primer electrodo de manera sustancialmente uniforme, aplicar una corriente eléctrica entre el segundo electrodo y el cuerpo de electrodo permeable funcionando el
55 segundo electrodo funcionando como un ánodo y funcionando el cuerpo de electrodo permeable como un cátodo, de tal forma que los iones de combustible reducibles se reducen y se electrodepositan como combustible en forma oxidable en el cuerpo de electrodo permeable, y eliminar la corriente eléctrica para interrumpir la carga.

En formas de realización, el método incluye generar electricidad para alimentar una carga y cargar la celda

electroquímica. La generación de electricidad incluye hacer fluir el medio iónicamente conductor al hueco entre el difusor y el portaelectrodos, distribuir un flujo del medio iónicamente conductor con el difusor a través de una sección transversal de la celda electroquímica para que el medio iónicamente conductor fluya a través del primer electrodo de manera sustancialmente uniforme, oxidar el combustible en el primer electrodo, y reducir el oxidante en el segundo electrodo.

Otros aspectos de la presente invención se harán evidentes a partir de la siguiente descripción detallada, los dibujos adjuntos y las reivindicaciones adjuntas.

10 **BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS**

Las formas de realización de la invención se describirán ahora, a modo de ejemplo solamente, con referencia a los dibujos esquemáticos adjuntos, en los que los símbolos de referencia correspondientes indican partes correspondientes, y en los que:

15

La Figura 1 es una vista en despiece ordenado de una celda electroquímica de acuerdo con una forma de realización de la presente invención;

la Figura 2 es una vista desde arriba de una porción de la celda electroquímica de la Figura 1;

20

la Figura 3 es una vista en sección transversal de una forma de realización de la celda tomada a lo largo de la línea III-III de la Figura 2 con porciones adicionales de la celda en su lugar;

la Figura 4 es una vista en sección transversal de una forma de realización de la celda tomada a lo largo de la línea IV-IV de la Figura 2 con porciones adicionales de la celda en su lugar;

la Figura 5 es una vista esquemática en sección transversal de la celda de la Figura 1;

25

la Figura 6 es una vista esquemática en sección transversal de una forma de realización de la celda; y

la Figura 7 es una vista esquemática en sección transversal de una forma de realización de una pila de tres celdas de la Figura 1 conectadas de forma fluida en serie.

DESCRIPCIÓN DETALLADA

30 La Figura 1 ilustra una celda electroquímica 10 de acuerdo con una forma de realización de la invención. Como se ilustra, la celda 10 incluye un primer electrodo 12, y un segundo electrodo 14 que están soportados por un portaelectrodos 20.

En una forma de realización, el primer electrodo 12 es un electrodo de combustible metálico que funciona como un ánodo cuando la celda 10 funciona en modo de descarga, o generación de electricidad, como se muestra en la forma de realización de la Figura 1, y se analiza con más detalle a continuación. En una forma de realización, el primer electrodo 12 puede comprender un cuerpo de electrodo permeable 12a, tal como un tamiz, que está hecho de cualquier formación capaz de capturar y retener, mediante filtración, electrodeposición, o de otra manera, partículas o iones de combustible metálico de un medio iónicamente conductor que circula en la celda 10, como se analiza con más detalle a continuación. En una forma de realización, el primer electrodo 12 puede contener una pluralidad de cuerpos de electrodo permeables 12a-12d, como se ilustra en la Figura 1, que pueden estar separados por una pluralidad de espaciadores 18, cada uno de los cuales está colocado entre cuerpos de electrodo adyacentes de manera que los cuerpos de electrodo 12a-12d puedan estar aislados eléctricamente entre sí. Los espaciadores 18 también son permeables, de modo que el medio iónicamente conductor pueda fluir a través de los espaciadores 18, pero son no conductores y son electroquímicamente inertes, por lo que están inactivos con respecto a las reacciones electroquímicas.

En una forma de realización, los cuerpos de electrodo permeables 12a-12d pueden tener sustancialmente el mismo tamaño. En una forma de realización, los cuerpos de electrodo permeables pueden tener diferentes tamaños, de modo que se pueda usar una configuración de armazón escalonado, como se describe en la Solicitud de Patente Provisional de Estados Unidos N.º de Serie 61/358.339, presentada el 24 de junio de 2010.

El combustible puede ser un metal, tal como hierro, cinc, aluminio, magnesio o litio. Por metal, este término pretende incluir todos los elementos considerados como metales en la tabla periódica, incluyendo, pero sin limitación, metales alcalinos, metales alcalinotérreos, lantánidos, actínidos y metales de transición, ya sea de forma atómica, molecular (incluyendo hidruros metálicos), de aleación cuando se reúnen en el cuerpo de electrodo. Sin embargo, la presente invención no pretende limitarse a ningún combustible específico, y se pueden usar otros. Por ejemplo, el combustible puede incluir sólidos orgánicos oxidables o micelas de combustible líquido inmiscibles.

El medio iónicamente conductor puede ser una solución acuosa. Los 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 usar un disolvente no acuoso o un líquido iónico. En la forma de realización no limitante descrita en el presente documento, el medio es un hidróxido de potasio acuoso. En una forma de realización, el medio iónicamente conductor puede comprender un electrolito. Por ejemplo, se puede usar una solución electrolítica líquida o semisólida convencional, o se puede usar un líquido iónico a temperatura ambiente, como se menciona en la Solicitud de Patente de Estados Unidos N.º de Serie 12/776.962, presentada el 10 de mayo de 2010. En una forma de realización en la que el electrolito es semisólido, pueden utilizarse películas porosas de electrolito en estado sólido (es decir, en una estructura suelta).

El combustible puede oxidarse en el primer electrodo 12 cuando el primer electrodo 12 funciona como un ánodo, y un oxidante, tal como oxígeno, puede reducirse en el segundo electrodo 14 cuando el segundo electrodo 14 funciona como un cátodo, que es cuando la celda 10 está conectada a una carga y la celda 10 está en modo de descarga o generación de electricidad, como se analiza con más detalle a continuación. Las reacciones que se producen durante el modo de descarga pueden generar subproductos, por ejemplo, precipitados que incluyen una especie de combustible reducible, en el medio iónicamente conductor. Por ejemplo, en formas de realización en las que el combustible es cinc, el óxido de cinc puede generarse como un precipitado de subproducto/especie de combustible reducible. El cinc oxidado u otro metal también puede soportarse por, oxidarse con, o solvotarse en la solución electrolítica, sin formar un precipitado (por ejemplo, el cincato puede ser una especie de combustible reducible disuelto que queda en el combustible). Durante un modo de recarga, que se analiza con más detalle a continuación, las especies de combustible reducibles, por ejemplo, óxido de cinc, pueden reducirse y depositarse de forma reversible como combustible, por ejemplo, cinc, sobre el primer electrodo 12, que funciona como un cátodo durante el modo de recarga. Durante el modo de recarga, el segundo electrodo 14, o un tercer electrodo 16, descritos a continuación, funcionan como ánodo. La conmutación entre los modos de descarga y recarga se analiza con mayor detalle a continuación.

Para limitar o suprimir el desprendimiento de hidrógeno en el primer electrodo 12 durante el modo de descarga y durante los periodos de tiempo de reposo (circuito abierto), se pueden añadir sales para retardar tal reacción. Se pueden usar sales de estaño, plomo, cobre, mercurio, indio, bismuto o cualquier otro material que tenga un alto sobrepotencial de hidrógeno. Además, pueden añadirse sales de tartrato, fosfato, citrato, succinato, amonio u otros aditivos supresores del desprendimiento de hidrógeno. En una forma de realización, se pueden usar aleaciones metálicas de combustible, tales como Al/Mg para suprimir el desprendimiento de hidrógeno.

Como se ilustra en la Figura 1, el portaelectrodos 20 tiene una cavidad 22 que está configurada para soportar los cuerpos de electrodo permeables 12a-12d. El portaelectrodos 20 también define una entrada 24 y una salida 26 para la celda 10. La entrada 24 está configurada para permitir que el medio iónicamente conductor ingrese a la celda 10 y/o recircule a través de la celda 10. La entrada 24 se puede conectar a la cavidad 22 a través de un canal de entrada 28, y la salida 26 se puede conectar a la cavidad 22 a través de un canal de salida 29. Como se ilustra en la Figura 2, el canal de entrada 28 y el canal de salida 29 pueden proporcionar cada uno un recorrido tortuoso serpenteante a través del cual puede fluir el medio iónicamente conductor. El recorrido serpenteante definido por el canal de entrada 28 no incluye ninguna esquina afilada en la que el flujo del medio pueda estancarse o en la que se pueda acumular cualquier partícula en el medio. Como se analiza con más detalle a continuación, la longitud de los canales 28, 29 puede diseñarse para proporcionar una resistencia iónica aumentada entre las celdas que están conectadas de manera fluida en serie.

Aunque el canal de entrada 28 está configurado para proporcionar el medio a la cavidad en una primera dirección de flujo FD que es sustancialmente paralela al primer electrodo 12, para que el medio fluya a través del primer electrodo 12, la dirección de flujo del medio debe redirigirse aproximadamente 90° para que el medio pueda fluir en una segunda dirección de flujo SD que sea sustancialmente perpendicular al primer electrodo 12, como se ilustra en la Figura 3. Para que el medio se proporcione al primer electrodo 12 de manera sustancialmente uniforme a través de la sección transversal de la celda 10, un difusor 40 se coloca en el portaelectrodos 20 adyacente al primer electrodo 12. El difusor 40 es paralelo al primer electrodo 12 y está configurado para proporcionar una distribución esencialmente uniforme del flujo del medio a través del primer electrodo 12, como se analiza con más detalle a continuación.

Como se ilustra en la Figura 2, el difusor 40 incluye una porción plana 42 que se extiende a través de la cavidad 22 y ocupa toda su área, de manera que el medio debe fluir a través del difusor 40 en lugar de alrededor de él. Como se ilustra en la Figura 3, el difusor 40 se coloca en la cavidad 22 de manera que se forma un primer hueco 30 entre un primer lado 41 de la porción plana 42 y una superficie 32 del portaelectrodos 20 que se orienta hacia el primer

electrodo 12. Un segundo hueco 34 se puede crear opcionalmente entre un segundo lado 43 de la porción plana 42 y el primer electrodo 12. En una forma de realización, el primer electrodo 12 puede entrar en contacto con la porción plana 42 del difusor 40 de manera que no se cree un hueco entre el segundo lado 43 de la porción plana 42 y el primer electrodo 12, como se ilustra en la Figura 4.

5

La porción plana 42 incluye una pluralidad de aberturas 44 que se extienden a través de la porción plana 42 desde el primer lado 41 hasta el segundo lado 43. Las aberturas 44 están configuradas para permitir que el medio fluya a través de las mismas y hacia el primer electrodo 12, como se analiza con más detalle a continuación. Las aberturas 44 pueden tener el mismo tamaño o pueden tener diferentes tamaños, y pueden ubicarse en un patrón simétrico o no simétrico a través de la porción plana 42. En una forma de realización, cada abertura puede ser circular y tener un diámetro de aproximadamente 1 mm, y las aberturas pueden estar espaciadas de modo que la distancia entre los centros de la abertura adyacente sea aproximadamente 21 mm. Aunque las aberturas 44 se ilustran para estar en un patrón cuadrado simétrico, la forma de realización ilustrada no pretende ser limitante de ninguna manera. Por ejemplo, en una forma de realización, el patrón de la abertura puede ser hexagonal.

10

15

En una forma de realización, se proporciona un soporte 46 entre el primer lado 41 de la porción plana y la superficie 32 del portaelectrodos 20. El soporte 46 está configurado para definir el primer hueco 30. En una forma de realización, el soporte 46 forma parte del difusor 40, en otra forma de realización, el soporte 46 forma parte del portaelectrodos 20, y en otra forma de realización, el soporte 46 es una pieza separada que se coloca entre el portaelectrodos 20 y el difusor 40. El soporte 46 puede configurarse para soportar uno, dos o tres lados de la periferia de la porción plana 42 del difusor 40. Si el soporte 46 está configurado además para soportar el lado de la periferia de la porción plana 42 que mira hacia el canal de entrada 28, se debe proporcionar una abertura para que el medio pueda fluir hacia el primer hueco 30 sin obstrucción.

20

25

El soporte 46 está configurado para proporcionar al primer hueco 30 una altura que permita que se genere presión a medida que fluye el medio, a lo largo y a través del primer hueco 30. De manera deseable, la presión que se genera en el primer hueco 30 es lo suficientemente alta como para impulsar el flujo del medio a través de las aberturas 44 en la porción plana 42 del difusor 40 en la segunda dirección de flujo SD, al segundo hueco 34 (en formas de realización que incluyen el segundo hueco) y a través del primer electrodo 12. Las aberturas 44 en la porción plana 42 están configuradas para crear una caída de presión a través del difusor 40, es decir, la presión en el primer lado 41 de la porción plana 42 es mayor que la presión en el segundo lado 43 de la porción plana 42. La caída de presión no solo impulsa el flujo del medio a través de la porción plana 42 y el primer electrodo 12, sino que también ayuda a minimizar la posibilidad de que cualquier partícula pequeña que pueda estar en el medio bloquee las aberturas 44. Una caída de presión esencialmente uniforme sobre el área del difusor 40 proporciona un caudal esencialmente uniforme sobre el área del primer electrodo 12.

30

35

Como se ilustra en la Figura 4, después de que el medio ha pasado a través del primer electrodo 12 y a un hueco 15 entre el primer electrodo 12 y el segundo electrodo 14, el medio fluye en una tercera dirección TD hacia el canal de salida 29 que es conectado a la salida 26 de la celda 10. La interfaz entre el canal de entrada 28 y la cavidad 22, que se puede denominar entrada 36 de la cavidad 22, está ubicada en la superficie 32 del portaelectrodos 20, pero la interfaz entre la cavidad 22 y el canal de salida 29, que puede denominarse salida 38 de la cavidad 22, está separada de la superficie 32 del portaelectrodos 20 en una posición que corresponde al hueco 15 entre el primer electrodo 12 y el segundo electrodo 14. Además, como se ilustra en la Figura 2, la ubicación de la salida 38 de la cavidad es diagonalmente a través de la cavidad 22 desde la entrada 36 de la cavidad, lo que maximiza la trayectoria de flujo del medio dentro de la cavidad 22.

40

45

La ubicación de la entrada 36 y la salida 38 de la cavidad puede mejorar el funcionamiento del difusor 40 para generar una distribución sustancialmente uniforme del medio a través de la sección transversal de la celda 10. Una distribución más uniforme del medio al primer electrodo 12 permitirá un agotamiento más uniforme del combustible en el primer electrodo 12 a medida que el combustible se oxida cuando la celda 10 está en modo de descarga, como se analiza con más detalle a continuación. En contraste, una distribución desigual del medio al primer electrodo 12 puede crear una oxidación desigual, lo que puede causar el agotamiento del combustible en una porción del primer electrodo 12 antes del agotamiento del combustible en otra porción del primer electrodo 12. A medida que el medio continúa fluyendo hacia el primer electrodo 12, el medio tomará un recorrido de menor resistencia y fluirá a través de la porción del primer electrodo 12 que ya no contiene combustible. Con el tiempo, el nivel de energía generado por la celda 10 disminuirá, y la celda 10 deberá recargarse con mayor frecuencia, incluso aunque la celda 10 aún contenga un nivel adecuado de combustible. El difusor 40 mejora la eficiencia de la celda 10 al proporcionar una distribución sustancialmente uniforme del medio a través de la superficie del primer electrodo 12 que mira hacia el segundo lado 43 de la porción plana 42 del difusor 40. Una falta de uniformidad de flujo sistemática puede crear una oxidación

50

55

desigual y una pasivación temprana (en el caso del combustible metálico) del combustible en regiones de flujo inferior, lo que puede llevar a una capacidad reducida y la redistribución del material activo.

Como se ilustra en la Figura 5, el primer electrodo 12 está conectado a una carga externa L, de modo que los electrones emitidos por el combustible a medida que el combustible se oxida en el primer electrodo 12 fluyen a la carga externa L. La carga externa L puede acoplarse a cada uno de los cuerpos de electrodo permeables 12a-12d en paralelo, como se describe en detalle en la Solicitud de Patente de Estados Unidos N.º de Serie 12/385.489, presentada el 9 de abril de 2009. En una forma de realización, los cuerpos de electrodo permeables 12a-12d pueden estar formados por un material conductor o pueden estar recubiertos con un material conductor que actúa como combustible para la celda 10.

El segundo electrodo 14 funciona como un cátodo cuando el segundo electrodo 14 está conectado a la carga externa L y la celda 10 funciona en modo de descarga. Cuando funciona como un cátodo, el segundo electrodo 14 está configurado para recibir electrones de la carga externa L y reducir un oxidante que entra en contacto con el segundo electrodo 14. En una forma de realización, el segundo electrodo 14 comprende un electrodo de aire externo y el oxidante comprende oxígeno en el aire circundante.

El oxidante puede administrarse al segundo electrodo 14 mediante un sistema de transporte pasivo. Por ejemplo, cuando el oxígeno presente en el aire ambiente es el oxidante, la simple exposición del segundo electrodo 14 al aire ambiente (a través de las aberturas en la celda, no se muestra) puede ser suficiente para permitir la difusión/permeación de oxígeno en el segundo electrodo 14. Se pueden usar otros oxidantes adecuados, y las formas de realización descritas en el presente documento no se limitan al uso de oxígeno como oxidante.

En otras formas de realización, se puede usar una bomba, tal como un soplador de aire, para suministrar el oxidante al segundo electrodo 14 a presión. La fuente de oxidante puede ser una fuente contenida de oxidante. Del mismo modo, cuando el oxidante es oxígeno del aire ambiente, la fuente de oxidante puede considerarse en general como el mecanismo de administración, ya sea pasivo o activo (por ejemplo, bombas, sopladores, etc.), por el cual se permite que el aire fluya al segundo electrodo 14. Por lo tanto, el término "fuente de oxidante" pretende incluir tanto oxidantes contenidos como las disposiciones para el suministro pasivo o activo de oxígeno del aire ambiente al segundo electrodo 14.

La electricidad que puede extraerse por la carga externa L se genera cuando se reduce el oxidante en el segundo electrodo 14, mientras que el combustible en el primer electrodo 12 se oxida a una forma oxidada. El potencial eléctrico de la celda 10 se agota una vez que el combustible en el primer electrodo 12 está completamente oxidado o la oxidación se detiene debido a la pasivación del electrodo de combustible. Puede colocarse un conmutador entre el segundo electrodo 14 y la carga L, de modo que el segundo electrodo 14 pueda conectarse y desconectarse de la carga L, de acuerdo como se desea.

Después de que el combustible en la celda 10 se haya oxidado por completo, o cuando sea deseable regenerar el combustible dentro de la celda 10 reduciendo de nuevo los iones de combustible oxidados al combustible, el primer electrodo 12 y el segundo electrodo 14 pueden desacoplarse de la carga externa L y acoplarse a una fuente de alimentación PS con el uso de conmutadores adecuados 52, como se ilustra en la Figura 5. La fuente de alimentación PS está configurada para cargar la celda 10 aplicando una diferencia de potencial entre el primer electrodo 12 y el segundo electrodo 14 es tal que la especie reducible del combustible se reduce y se electrodeposita sobre los cuerpos de electrodo permeables 12a-12d y la reacción de oxidación correspondiente tiene lugar en el segundo electrodo 14, que es típicamente la oxidación de una especie oxidable para desprender oxígeno, que puede liberarse de los gases de la celda 10. Como se describe en detalle en la Solicitud de Patente de Estados Unidos N.º de Serie 12/385.489, presentada el 9 de abril de 2009, solo uno de los cuerpos de electrodo permeables, tal como 12a, se puede conectar a la fuente de alimentación PS para que el combustible se reduzca sobre el cuerpo de electrodo permeable y crezca progresivamente hacia y sobre los otros cuerpos de electrodo permeables 12b-12d, uno por uno. Para garantizar que el combustible se electrodeposite en cada uno de los cuerpos de electrodo permeables 12a-12d, la fuente de alimentación PS se puede acoplar a cada cuerpo de electrodo permeable 12a-12d uno por uno con el uso de aisladores de corriente 50. Los aisladores de corriente 50 pueden comunicarse con los conmutadores 52 que están configurados para controlar la conmutación dentro de la celda 10. Por ejemplo, los conmutadores 52 pueden controlar cuando la celda 10 funciona en modo de descarga y en modo de carga. Además, los aisladores de corriente pueden controlar cuándo cada uno de los cuerpos de electrodo permeables 12a-12d se carga con combustible durante el modo de carga.

Los aisladores de corriente 50 pueden evitar que la corriente fluya entre los cuerpos de electrodo permeables 12a-

12d, excepto cuando se permita el crecimiento progresivo del combustible desde un cuerpo de electrodo permeable a un cuerpo de electrodo permeable adyacente durante la carga. Los aisladores de corriente 50 también aíslan los cuerpos de electrodo permeables 12b-12d de la conexión directa con la fuente de alimentación PS cuando la fuente de alimentación PS solo está conectada al cuerpo de electrodo permeable 12d que está más cerca del segundo electrodo 14, de modo que la única conexión es la establecida por el crecimiento progresivo del combustible entre los cuerpos de electrodo permeables 12a-12d. Dicho de otra manera, los aisladores de corriente 50 evitan que el potencial de la fuente de alimentación se aplique directamente a los cuerpos de electrodo permeables 12a-12c a través del circuito durante la carga. Como tal, la única forma de que la corriente/potencial eléctrico se aplique a los cuerpos de electrodo permeables 12a-12c es a través del crecimiento electrodepositado dentro de la pila, como se describe en detalle en la Solicitud de Patente de Estados Unidos N.º de Serie 12/385.489, presentada el 9 de abril de 2009.

Los aisladores de corriente 50 pueden adoptar cualquier forma, y ningún aislador en particular debe considerarse limitativo. Por ejemplo, cada aislador de corriente 50 puede estar dotado de uno o más diodos que están orientados para permitir que los electrones fluyan desde los cuerpos de electrodo permeables 12a-12d a la porción de circuito que comprende la carga, pero evitar cualquier flujo de corriente en la dirección opuesta. Asimismo, el aislador de corriente 50 puede ser un conmutador que se cierra durante la generación/descarga de energía para conectar al menos uno de los cuerpos de electrodo permeables 12a-12d a la porción de circuito que comprende la carga L, y que está abierta durante la carga para desconectar y aislar los cuerpos de electrodo permeables 12a-12d de ese circuito.

Se puede proporcionar cualquier mecanismo de control adecuado para controlar la acción de los conmutadores 52 entre las posiciones abierta y cerrada. Por ejemplo, se puede usar un conmutador de relé que está orientado hacia la posición abierta, con una bobina inductiva acoplada a la fuente de alimentación que causa el cierre del conmutador cuando comienza la carga. Además, podría usarse un conmutador más complejo que permite la conexión individual a los cuerpos de electrodo permeables 12a-12d para proporcionar la conexión a/desconexión de la carga, y entre sí. Además, los aisladores de corriente pueden ser elementos diferentes, tal como un conmutador para el aislador de corriente 50 en el cuerpo permeable 12a, y rectificadores en los otros cuerpos de electrodo permeables 12b-12d. Se puede usar cualquier otro componente eléctrico adecuado que proporcione dicho aislamiento.

La Figura 6 muestra una forma de realización en la que se proporciona un tercer electrodo 16 para funcionar como el electrodo de carga, en lugar del segundo electrodo 14. Por lo tanto, en la forma de realización descrita anteriormente con respecto a la Figura 5, el segundo electrodo 14 funciona como el cátodo durante la generación/descarga de energía, y como ánodo durante la carga, como se describe anteriormente. En la Figura 6, la carga está acoplada en paralelo a cada uno de los cuerpos de electrodo permeables 12a-12d del primer electrodo 12, y también al tercer electrodo 16 durante la recarga. Durante la generación de corriente, el combustible en el primer electrodo 12 se oxida, generando electrones que se conducen para alimentar la carga L y después se conducen al segundo electrodo 14 para la reducción del oxidante (como se analiza con más detalle anteriormente).

De manera similar a los aisladores de corriente 50 en la Figura 5, los aisladores de corriente 50 en la Figura 6 evitan que la corriente fluya directamente entre los otros cuerpos de electrodo 12b-12d y la fuente de alimentación a través del circuito durante la carga, y también entre los cuerpos de electrodo, salvo que lo permita el crecimiento progresivo del combustible. Dicho de otra manera, los aisladores de corriente 50 evitan que el potencial de la fuente de alimentación se aplique directamente a los cuerpos de electrodo 12b-12d a través del circuito durante la carga. Por lo tanto, la corriente/potencial eléctrico solo se aplica a los cuerpos de electrodos 12b-12d a través del crecimiento de electrodeposición dentro de la pila como se describe en la Solicitud de Patente de Estados Unidos N.º de Serie 12/385.489, presentada el 9 de abril de 2009. Preferiblemente, cada uno de los aisladores de corriente 50 en la Figura 6 es un conmutador que se mueve entre las posiciones abierta y cerrada, ya que un diodo no proporcionaría una función de aislamiento en el diseño ilustrado. Asimismo, los conmutadores 52 evitan que la corriente fluya entre los electrodos y la fuente de alimentación durante la generación de energía, pero permite que la corriente fluya desde la fuente de alimentación durante la carga; y el conmutador 54 evita que la corriente fluya entre el segundo electrodo 14 y la porción de circuito que comprende la carga y los otros cuerpos de electrodo 12a-12d durante la carga, pero permite que la corriente fluya desde la carga al segundo electrodo 14 durante la generación de energía. Los conmutadores 52, 54 pueden omitirse en algunos sistemas. Como tal, la única forma de aplicar la corriente/potencial eléctrico a esos cuerpos de electrodo 12b-12d es a través del crecimiento electrodepositado dentro de la pila como se describe anteriormente. Los aisladores actuales pueden adoptar cualquier forma, incluyendo los mencionados anteriormente, y ningún aislador en particular debe considerarse limitativo.

También es posible en cualquiera de las formas de realización de la invención aplicar el potencial catódico simultáneamente a todos los cuerpos de electrodo 12a-12d del primer electrodo 12, en lugar de a uno solo para producir un crecimiento progresivo entre los cuerpos. El crecimiento progresivo que emana de un terminal es ventajoso porque proporciona más densidad. Específicamente, el crecimiento en los cuerpos de los electrodos 5 conectados previamente continúa a medida que cada cuerpo posterior está conectado por el crecimiento progresivo. Aunque el difusor 40 puede aumentar la densidad del combustible durante el crecimiento progresivo entre los cuerpos al aumentar la uniformidad del flujo del medio a través del área de los cuerpos de electrodo permeables 12a-12d, el crecimiento progresivo generalmente toma más tiempo que la aplicación del potencial catódico a múltiples cuerpos de electrodo simultáneamente. Con todos los cuerpos de electrodo sujetos al mismo potencial, el 10 crecimiento solo tendrá lugar hasta que se produzca un corto entre el electrodo de carga, que es el segundo electrodo 14 en la forma de realización de la Figura 5 y el tercer electrodo 16 en la forma de realización de la Figura 6, y el cuerpo de electrodo próximo a éste. Por lo tanto, es posible tener un crecimiento más rápido, pero menos denso, de esta manera, que puede adaptarse a ciertas necesidades de recarga.

15 Las formas de realización ilustradas en las Figuras 5 y 6 no deben considerarse limitativas de ninguna manera y se proporcionan como ejemplos no limitativos de cómo la celda 10 puede configurarse para ser recargable. Por ejemplo, la Solicitud de Patente Provisional de los Estados Unidos N.º de Serie 61/243.970, presentada el 18 de septiembre de 2009, y la Solicitud de Patente de Estados Unidos N.º de Serie 12/885.268, presentada el 17 de septiembre de 2010, describen las formas de realización de un sistema de celda electroquímica recargable con 20 conmutación del modo de carga/descarga en las celdas.

Además, cualquiera de las formas de realización de los conmutadores descritos anteriormente (por ejemplo, para habilitar el modo de carga y el modo de descarga) también se puede usar con una pluralidad de celdas electroquímicas que tienen un electrodo que desprende oxígeno de manera dinámica (es decir, cargando)/electrodo 25 de combustible, tal como el progresivo descrito en la Solicitud de Patente de Estados Unidos N.º de Serie 61/383.510, presentada el 16 de septiembre de 2010. Por ejemplo, como se describe en la Solicitud de Patente Provisional de Estados Unidos N.º de Serie 61/383.510, cada celda 10 puede tener también su propia pluralidad de conmutadores asociados con los cuerpos de electrodo para permitir el crecimiento progresivo del combustible.

30 Por ejemplo, en una forma de realización, durante la carga, el electrodo de carga de cada celda 10 se puede acoplar al primer electrodo 12 de la celda posterior 10. En una forma de realización, durante la carga, un primer cuerpo de electrodo 12a del primer electrodo 12 puede tener un potencial catódico y el resto de los cuerpos de electrodo y/o un electrodo de carga separado puede tener un potencial anódico. En una forma de realización de este tipo, durante el crecimiento progresivo de combustible del primer electrodo 12, el combustible puede crecer en el primer cuerpo de 35 electrodo 12a que tiene el potencial catódico y provocar un cortocircuito con el cuerpo de electrodo adyacente 12b que tiene el potencial anódico. El cuerpo de electrodo adyacente 12b puede entonces desconectarse de la fuente de potencial anódico, de manera que, a través de la conexión eléctrica, el cuerpo de electrodo adyacente 12b también tiene el potencial catódico. Este proceso puede continuar con el resto de los cuerpos de electrodo hasta que no sea posible un mayor crecimiento (es decir, el potencial catódico se ha acortado al último cuerpo de electrodo que tiene 40 un potencial anódico o un electrodo de carga separado). Se puede proporcionar una pluralidad de conmutadores para conectar/desconectar los cuerpos de electrodo entre sí y/o a fuentes de potencial catódico o anódico. Por lo tanto, en tales formas de realización que tienen un crecimiento progresivo de combustible, el electrodo de carga puede ser un electrodo de carga separado del primer electrodo 12, o puede ser al menos el cuerpo de electrodo adyacente del primer electrodo 12, hasta todos los demás cuerpos de electrodo, que tienen un potencial anódico. En 45 otras palabras, el electrodo de carga puede ser un electrodo de carga separado, un cuerpo de electrodo que tiene un potencial anódico localizado adyacente al menos a un cuerpo de electrodo que tiene un potencial catódico, y/o un grupo de cuerpos de electrodo que tiene un potencial anódico ubicado adyacente al menos a un cuerpo de electrodo que tiene un potencial catódico.

50 Por lo tanto, el electrodo de carga, como se usa ese término en los aspectos más amplios de esta solicitud, no necesariamente tiene que ser un electrodo dedicado o estático que solo desempeña el papel de carga anódica (aunque puede ser), y en ocasiones puede ser un cuerpo o cuerpos dentro del electrodo de combustible al que se aplica un potencial anódico. Por lo tanto, el término dinámico se usa para referirse al hecho de que el elemento o 55 elementos físicos que funcionan como el electrodo de carga y que reciben un potencial anódico durante la carga pueden variar.

Durante la descarga, el segundo electrodo 14 de una celda 10 puede conectarse operativamente al primer electrodo 12 de la celda posterior 10 y el consumo de combustible sería a través de los cuerpos de electrodo (en los que la conexión eléctrica entre los cuerpos de electrodo es a través del crecimiento de combustible). Si una celda 10 no

funciona correctamente o por otras razones, la celda 10 también puede anularse utilizando las características de conmutación de anulación, como se describe en la Solicitud de Patente de Estados Unidos N.º de Serie 12/885.268, presentada el 17 de septiembre de 2010.

5 Además, en algunas formas de realización, las celdas pueden diseñarse como "bi-celdas". Ese término se refiere a un par de electrodos de aire que están en lados opuestos de un electrodo de combustible. Durante la descarga, los electrodos de aire tienen generalmente el mismo potencial catódico y el electrodo de combustible tiene un potencial anódico. Típicamente, pueden disponerse un par de electrodos de carga dedicados en el medio iónicamente conductor entre los electrodos de aire y el electrodo de combustible. Durante la carga, los electrodos de carga
10 generalmente tienen el mismo potencial anódico, y el electrodo de combustible tiene un potencial catódico (como alternativa, el electrodo de carga puede cargarse dinámicamente, como se describe anteriormente). Por lo tanto, los electrodos de aire pueden compartir un terminal común, y el electrodo de combustible tiene su propio terminal, y los electrodos de carga también pueden compartir un terminal común. Como tal, hablando electroquímicamente, tal bi-celda puede ser considerada como una sola celda (aunque dentro de la bi-celda, ciertos aspectos de la celda, tal
15 como el crecimiento de combustible bidireccional, pueden hacer que una bi-celda sea considerada como dos celdas para ciertos propósitos; sin embargo, a un nivel más alto para la descarga de modo y la gestión de conexión, estos aspectos son menos relevantes y la bi-celda puede verse como una sola celda). En una forma de realización, el par de electrodos de aire puede corresponder al segundo electrodo 14, el electrodo de combustible puede corresponder al primer electrodo 12, y el par de electrodos de carga puede corresponder al tercer electrodo 16.

20 Volviendo a las Figuras 1 y 2, después de que el medio iónicamente conductor haya pasado a través del primer electrodo 12, el medio puede fluir hacia el canal de salida 29 que está conectado a la cavidad 22 del portaelectrodos 20 y la salida 26. La salida 26 se puede conectar a la entrada 24 en formas de realización en las que el medio circula de nuevo en la celda 10, o a una entrada 24 de una celda adyacente, como se analiza con más detalle a
25 continuación, cuando una pluralidad de celdas 10 están conectadas de manera fluida en serie. En una forma de realización, la salida 26 se puede conectar a un recipiente para recoger el medio que se ha utilizado en la celda 10.

La Figura 7 ilustra esquemáticamente una forma de realización de una pila de celdas 100 que incluye tres celdas 10, como se describe anteriormente, que están conectadas de manera fluida en serie. Se proporcionan detalles de las
30 formas de realización de celdas que están conectadas en serie en la Solicitud de Patente Provisional de Estados Unidos N.º 61/193.540, presentada el 5 de diciembre de 2008, y la Solicitud de Patente de Estados Unidos N.º 12/631.484, presentada el 4 de diciembre de 2009. Como se ilustra en la Figura 7, la salida 26 de una primera celda 10(1) está conectada a la entrada 24 de una segunda celda 10(2), y la salida 26 de la segunda celda 10(2) está conectada a la entrada 24 de una tercera celda 10(3). Debido a los recorridos serpenteantes y tortuosos que se
35 crean por el canal de entrada 28 y el canal de salida 29, descritos anteriormente e ilustrados en la Figura 2, la longitud de los pasos de flujo para el medio a través de los canales 28, 29 es mayor que el hueco 15 entre el primer electrodo 12 y el segundo electrodo 14 en cada una de las celdas 10(1), 10(2), 10(3). Esto crea una resistencia iónica entre el par de celdas conectadas de manera fluida que es mayor que una resistencia iónica dentro de una celda individual 10. Esto puede reducir o minimizar la pérdida interna de resistencia iónica de la pila de celdas 100,
40 como se analiza en la Solicitud de Patente Provisional de Estados Unidos N.º 61/193.540, presentada el 5 de diciembre de 2008, y la Solicitud de Patente de Estados Unidos N.º 12/631.484, presentada el 4 de diciembre de 2009.

Durante el funcionamiento, el primer electrodo 12, que ya tiene combustible metálico depositado en el mismo, está
45 conectado a la carga L y el segundo electrodo 14 está conectado a la carga L. El medio iónicamente conductor entra en la entrada 24 a una presión positiva, fluye a través del canal de entrada 28 y en el primer hueco 30 entre el difusor 40 y la superficie 32 del portaelectrodos 20. El hueco 30 está configurado para aumentar la presión en el medio iónicamente conductor de manera que el medio iónicamente conductor pase a través de las aberturas 44 en la porción plana 42 del difusor 40 de una manera ortogonal. La caída de presión entre el primer hueco 30 y el
50 segundo hueco 34, que está entre el difusor 40 y el primer electrodo 12, proporciona un flujo más uniforme del medio iónicamente conductor a través de la sección transversal de la celda 10 en comparación con el flujo del medio en una celda sin el difusor 40.

El medio iónicamente conductor fluye a través de los cuerpos de electrodo permeables 12a-12d del primer electrodo
55 12 y en el hueco 15 entre el primer electrodo 12 y el segundo electrodo 14, permitiendo de este modo que el combustible se oxide y conduzca los electrones a la carga L, mientras que el oxidante se reduce en el segundo electrodo 14 a través de los electrones que se conducen al segundo electrodo 14 a través de la carga L. Después de que el medio iónicamente conductor haya pasado a través de los cuerpos de electrodo permeables 12a-12d y al hueco 15, el medio sale de la cavidad 22 a través de la salida 38 de la cavidad 22, a través del canal de salida 29, y

sale de la salida 26 de la celda 10.

5 Cuando se ha agotado el potencial de la celda 10, o cuando es deseable recargar la celda 10, el primer electrodo 12 está conectado al terminal negativo de la fuente de alimentación PS y al electrodo de carga, que es el segundo electrodo 14 en la forma de realización ilustrada en la Figura 5 y el tercer electrodo 16 en la forma de realización ilustrada en la Figura 6, está conectado al terminal positivo de la fuente de alimentación PS. En el modo de carga o recarga, el primer electrodo 12 se convierte en el cátodo y el electrodo de carga 14, 16 se convierte en el ánodo.

10 Al proporcionar electrones al primer electrodo 12, los iones de combustible pueden reducirse en combustible y volverse a depositar en los cuerpos de electrodo permeables 12a-12d, mientras que el medio iónicamente conductor circula a través de la celda 10 de la misma manera que se describe anteriormente con respecto al modo de descarga. Al tener un flujo más uniforme del medio iónicamente conductor y minimizar las regiones estancadas que tienden a promover un crecimiento dendrítico áspero en los cuerpos de electrodo 12a-12d, se puede llevar a cabo una electrodeposición mejorada del combustible en los cuerpos de electrodo. Específicamente, durante el modo de
15 carga, el combustible electrodepositado en los cuerpos de electrodo 12a-12d puede ser más compacto, puede tener una mejor adhesión a los cuerpos de electrodo 12a-12d, y generalmente puede ser más uniforme a través de la celda 10 con el difusor 40 en su lugar, en comparación con una celda sin el difusor 40. Tal electrodeposición mejorada del combustible en los cuerpos de electrodo 12a-12d puede retrasar el cortocircuito entre los electrodos y, por lo tanto, conducir a una mayor densidad de combustible, capacidad y densidad de energía, así como un ciclo de vida mejorado para la celda 10.
20

En otras palabras, el difusor 40 puede proporcionar un flujo sustancialmente uniforme a través de la sección transversal de la celda 10 en ambos modos de descarga y carga, lo que puede mejorar significativamente el rendimiento de la celda 10 en términos de capacidad, eficiencia de carga de ida y vuelta, ciclo de vida, etc., por las
25 razones analizadas anteriormente.

Las formas de realización de la presente invención no están limitadas a la gestión del subproducto de reacción que se genera durante el modo de descarga, como se describe anteriormente, y se reducen de manera reversible y se electrodepositan como combustible durante la recarga. Más bien, las formas de realización de la presente invención
30 se pueden usar cuando la especie de combustible reducible es diferente del subproducto de reacción y se suministra por separado. Las formas de realización de la presente invención proporcionan un patrón de flujo uniforme del medio iónicamente conductor a través del primer electrodo, y una distribución uniforme del medio iónicamente conductor entre los cuerpos de electrodo permeables que constituyen el primer electrodo, lo que puede mejorar la eficiencia de las celdas electroquímicas y sistemas descritos anteriormente.
35

Cuando se hace referencia a los electrodos en el presente documento, debe entenderse que diversas estructuras en algunas formas de realización pueden funcionar como uno o más electrodos de diferentes maneras, dependiendo del modo operativo del dispositivo. Por ejemplo, en algunas formas de realización donde el electrodo oxidante es bi-funcional como un electrodo de carga, la misma estructura de electrodo actúa como un electrodo oxidante durante la
40 descarga y como un electrodo de carga durante la carga. De forma similar, en la forma de realización, cuando el electrodo de carga es un electrodo de carga dinámica, todos los cuerpos del electrodo de combustible actúan como el electrodo de combustible durante la descarga, pero durante la carga, uno o más de los cuerpos actúan como el electrodo de combustible al recibir combustible electrodepositado y uno o más de los cuerpos actúan como el electrodo de carga para desprender el oxidante (por ejemplo, oxígeno), y el electrodo de combustible crece a medida
45 que el crecimiento electrodepositado se conecta a más de los cuerpos. Por lo tanto, la referencia a un electrodo se define expresamente como una estructura de electrodo distinta o el papel funcional que puede desempeñar una estructura capaz de tener múltiples electrodos durante diferentes modos operativos de la celda y, por lo tanto, la misma estructura multifuncional puede ser considerada como que satisface múltiples electrodos por esta razón.

50 Las formas de realización de la presente invención se han proporcionado con referencia particular a los ejemplos ilustrados y no pretenden ser limitantes. Por ejemplo, las formas de realización de la presente invención pueden ponerse en práctica usando combustibles diferentes, oxidantes diferentes, electrolitos diferentes y/o una configuración estructural global o materiales diferentes. Por lo tanto, las modificaciones, sustituciones y alteraciones se pueden llevar a cabo dentro del alcance de las siguientes reivindicaciones adjuntas.
55

REIVINDICACIONES

1. Una celda electroquímica que comprende:
 - 5 un primer electrodo (12) configurado para funcionar como un ánodo para oxidar un combustible cuando está conectado a una carga, comprendiendo el primer electrodo un cuerpo de electrodo permeable (12a) permeable a un medio líquido iónicamente conductor configurado para permitir el flujo de un medio líquido iónicamente conductor a través del mismo;
 - 10 un portaelectrodos (20) que comprende una cavidad (22) para sostener el primer electrodo (12); un difusor (40) posicionado en la cavidad (22) entre el primer electrodo (12) y el portaelectrodos (20) con un primer hueco (30) entre un primer lado del difusor (40) y el portaelectrodos (20), comprendiendo el difusor (40) una pluralidad de aberturas (44) configuradas para permitir el flujo del medio líquido iónicamente conductor a través de las mismas y para distribuir el flujo del medio líquido iónicamente conductor a través del primer electrodo (12); y
 - 15 un segundo electrodo (14) posicionado en la cavidad (22) en un lado del primer electrodo (12) que está opuesto al difusor (40) y separado del primer electrodo (12), estando el segundo electrodo (14) configurado para operar como un cátodo para reducir un oxidante cuando está conectado a la carga (L) y en contacto con el medio líquido iónicamente conductor;
 - 20 caracterizado por que el primer electrodo y el segundo electrodo están separados por un segundo hueco (15) entre los mismos; y por que el primer hueco y el segundo hueco proporcionan cada uno una dirección de flujo del medio líquido iónicamente conductor que generalmente es perpendicular a una dirección de flujo a través del primer electrodo.
- 25 2. Una celda electroquímica de acuerdo con la reivindicación 1, en la que la pluralidad de aberturas se extiende a través de una porción plana del difusor desde el primer lado a un segundo lado para generar una caída de presión a través del difusor cuando se proporciona el medio líquido iónicamente conductor al primer hueco a través del portaelectrodos, generando la caída de presión un flujo sustancialmente uniforme sobre el área del primer electrodo.
- 30 3. Una celda electroquímica de acuerdo con la reivindicación 1, en la que el difusor comprende un material electroquímicamente inerte.
4. Una celda electroquímica de acuerdo con la reivindicación 1, en la que el primer electrodo comprende
 - 35 una serie de cuerpos de electrodo permeables (12a-12d) dispuestos en una relación espaciada, estando configurados los cuerpos de electrodo permeables (12a-12d) para permitir el flujo del medio líquido iónicamente conductor a través de los mismos.
5. Una celda electroquímica de acuerdo con la reivindicación 4, que comprende además un electrodo de
 - 40 carga separado del primer electrodo, seleccionándose el electrodo de carga del grupo que consiste en (a) el segundo electrodo y (b) un tercer electrodo (16), en la que los cuerpos de electrodo permeables del primer electrodo están separados para permitir que se aplique una corriente eléctrica entre el electrodo de carga y al menos uno de los cuerpos de electrodo permeable funcionando el electrodo de carga como un ánodo temporal y funcionando el al menos un cuerpo de electrodo permeable como un cátodo temporal, de tal forma que los iones de combustible
 - 45 reducibles en el medio líquido iónicamente conductor se reducen y se electrodepositan como combustible en forma oxidable en el al menos un cuerpo de electrodo permeable.
6. Una celda electroquímica de acuerdo con la reivindicación 5, en la que los cuerpos de electrodo permeables están separados de tal manera que el crecimiento por electrodeposición del combustible entre los
 - 50 cuerpos de electrodo permeables establece una conexión eléctrica entre los cuerpos de electrodo permeables.
7. Una celda electroquímica de acuerdo con la reivindicación 1, que comprende además un soporte (46) configurado para soportar el difusor y definir el primer hueco.
- 55 8. Una celda electroquímica de acuerdo con la reivindicación 7, en la que el difusor comprende el soporte.
9. Una celda electroquímica de acuerdo con la reivindicación 7, en la que el portaelectrodos comprende el soporte.

10. Una celda electroquímica de acuerdo con la reivindicación 1, en la que el difusor está separado del portaelectrodos de tal forma que el primer hueco proporciona un aumento de la presión en un medio fluido a medida que el medio fluido fluye hacia el primer hueco.
- 5 11. Un método para generar electricidad con una celda electroquímica de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 10, comprendiendo el método:
- 10 hacer fluir el medio líquido iónicamente conductor al primer hueco (30) entre el difusor (40) y el portaelectrodos (20);
distribuir un flujo del medio líquido iónicamente conductor con el difusor (40) a través de una sección transversal de la celda electroquímica de manera que el medio líquido iónicamente conductor fluya a través del primer electrodo (12) de manera sustancialmente uniforme;
oxidar el combustible en el primer electrodo (12); y
15 reducir el oxidante en el segundo electrodo (14).
12. Un método para operar la celda electroquímica de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 10, comprendiendo el método:
- 20 hacer fluir el medio líquido iónicamente conductor que comprende iones de combustible reducibles al primer hueco entre el difusor (40) y el portaelectrodos (20);
distribuir un flujo del medio líquido iónicamente conductor con el difusor (40) a través de una sección transversal de la celda electroquímica de manera que el medio líquido iónicamente conductor fluya a través del primer electrodo (12) de manera sustancialmente uniforme;
25 aplicar una corriente eléctrica entre el segundo electrodo (14) y el cuerpo de electrodo permeable (12a) funcionando el segundo electrodo (14) como un ánodo y funcionando el cuerpo de electrodo permeable (12a) como un cátodo, de tal forma que los iones de combustible reducibles se reducen y se electrodepositan como combustible en forma oxidable en el cuerpo de electrodo permeable (12a); y
eliminar la corriente eléctrica para interrumpir la carga.
- 30 13. Un método de acuerdo con la reivindicación 11 o 12, que comprende además aumentar la presión del medio iónicamente conductor a medida que el medio líquido iónicamente conductor fluye hacia el primer hueco.
14. Un método de acuerdo con la reivindicación 11 o 12, que comprende además generar una caída de
35 presión a través del difusor.
15. Un método de acuerdo con la reivindicación 12, en el que el primer electrodo comprende una serie de cuerpos de electrodo permeables (12a-12d) dispuestos en una relación espaciada, estando los cuerpos de electrodo permeables (12a-12d) configurados para permitir el flujo del medio líquido iónicamente conductor a través del mismo, y en el que dicha electrodeposición provoca el crecimiento del combustible entre los cuerpos de electrodo permeables (12a-12d) de modo que el combustible electrodepositado establece una conexión eléctrica entre los cuerpos de electrodo permeables (12a-12d).
- 40 16. Un método de acuerdo con la reivindicación 12 o cualquiera de las reivindicaciones 13 a 15, cuando depende de la reivindicación 12, que comprende además generar electricidad para alimentar una carga (L), comprendiendo dicha generación de electricidad:
- 50 hacer fluir el medio líquido iónicamente conductor al primer hueco entre el difusor y el portaelectrodos,
distribuir un flujo del medio líquido iónicamente conductor con el difusor a través de una sección transversal de la celda electroquímica de manera que el medio líquido iónicamente conductor fluya a través del primer electrodo de manera sustancialmente uniforme,
oxidar el combustible en el primer electrodo; y
reducir el oxidante en el segundo electrodo.

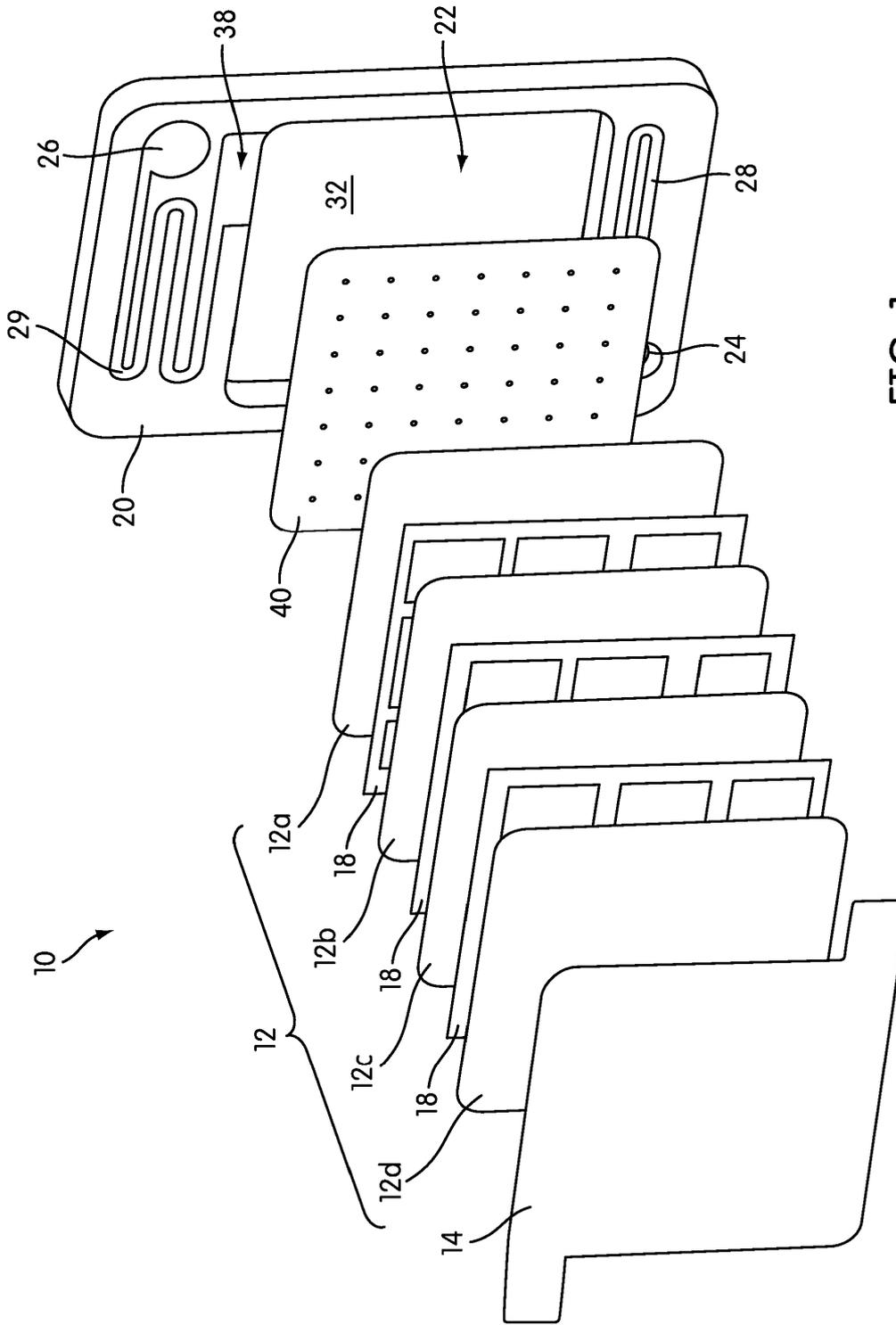


FIG. 1

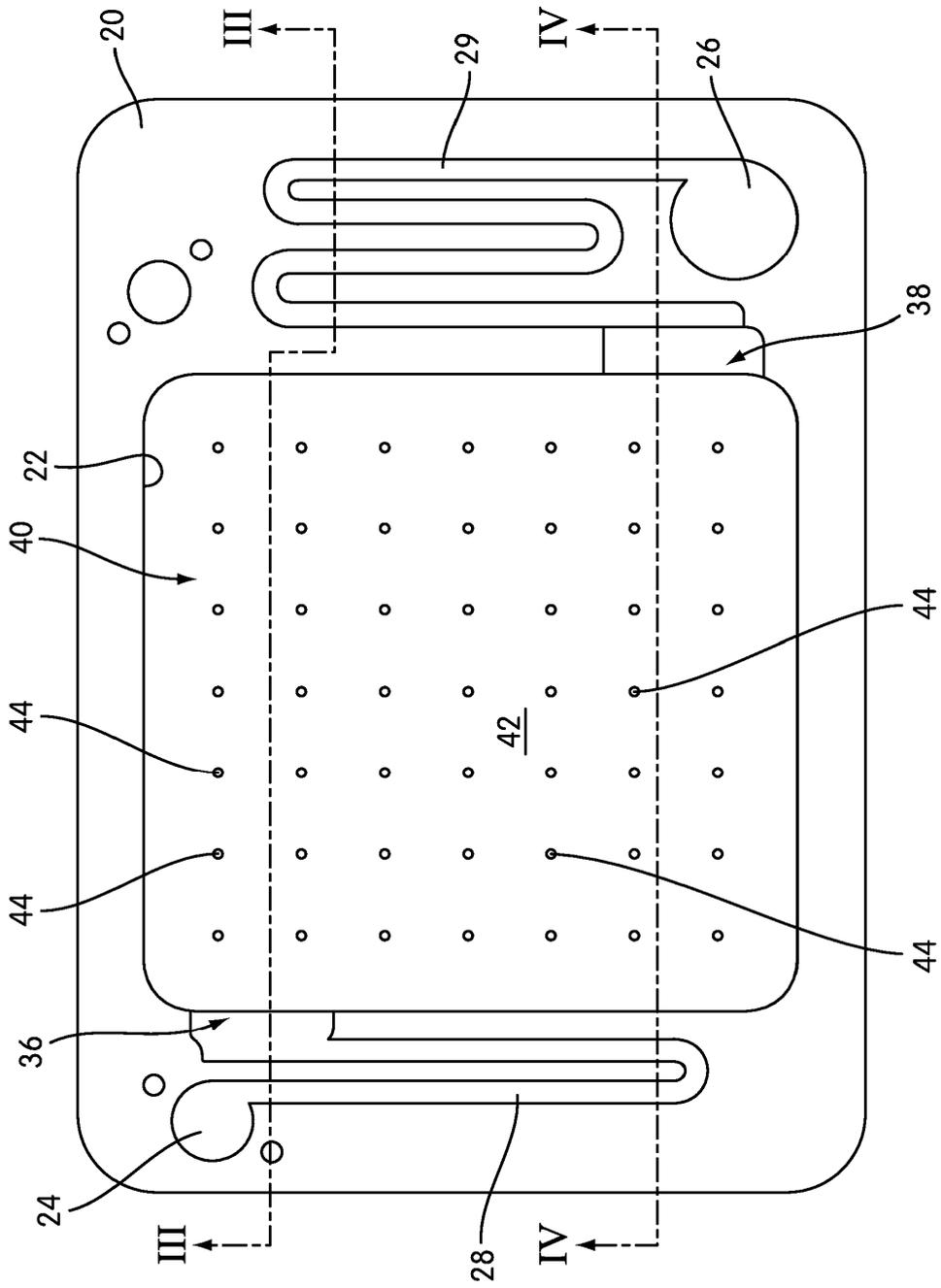


FIG. 2

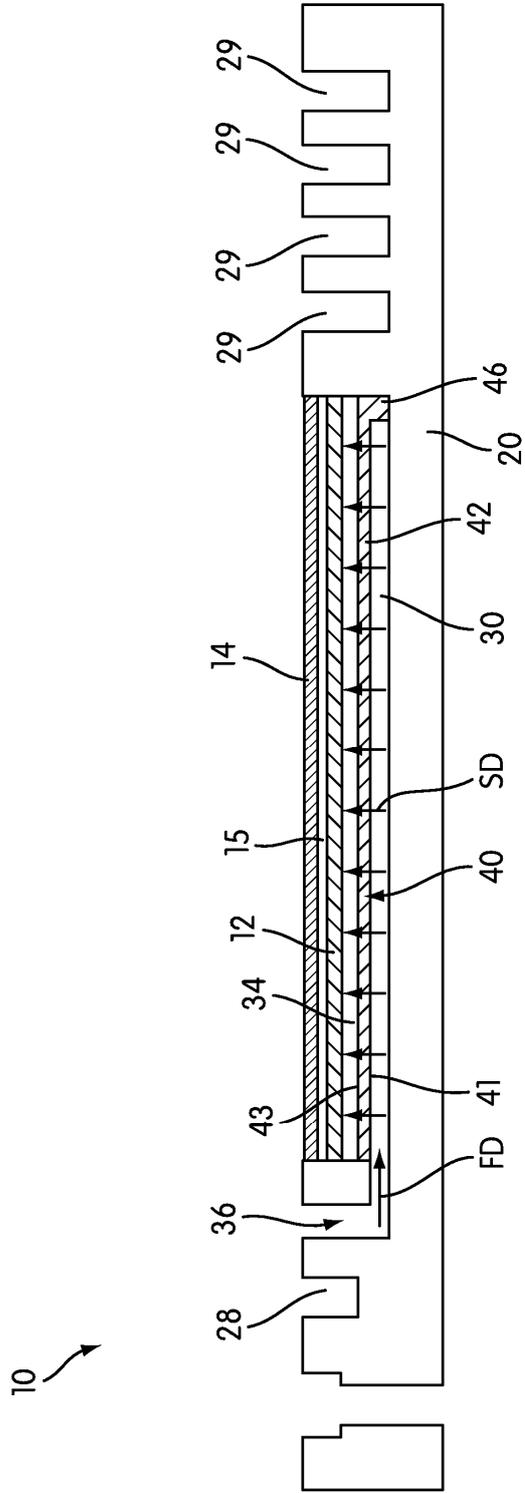


FIG. 3

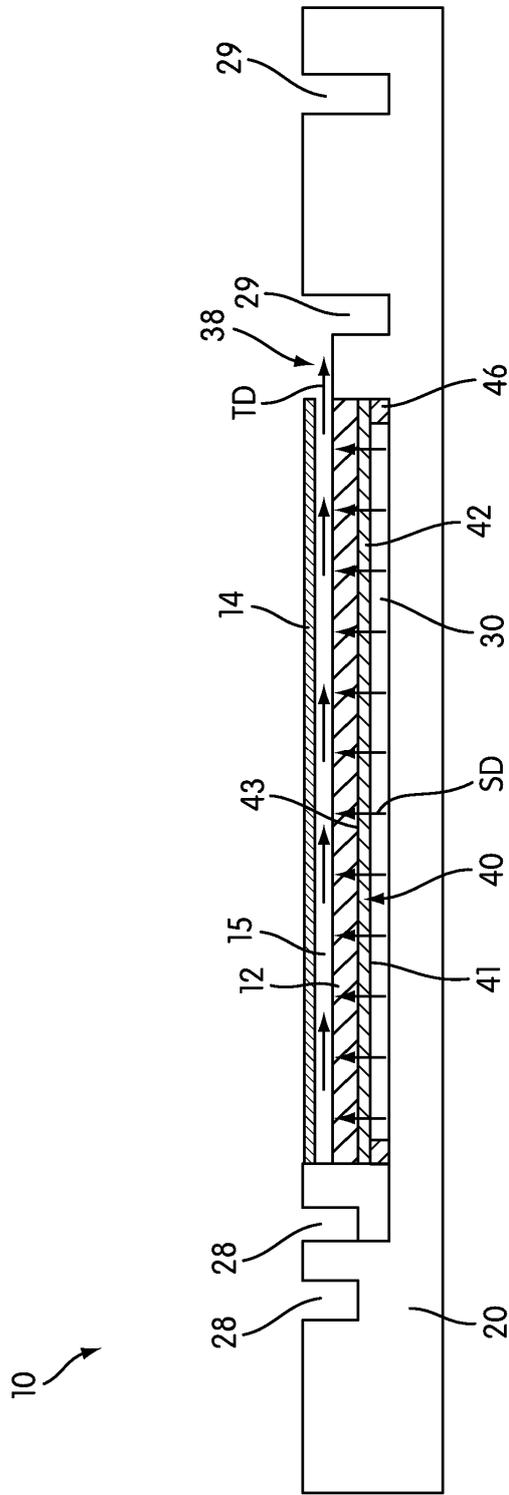


FIG. 4

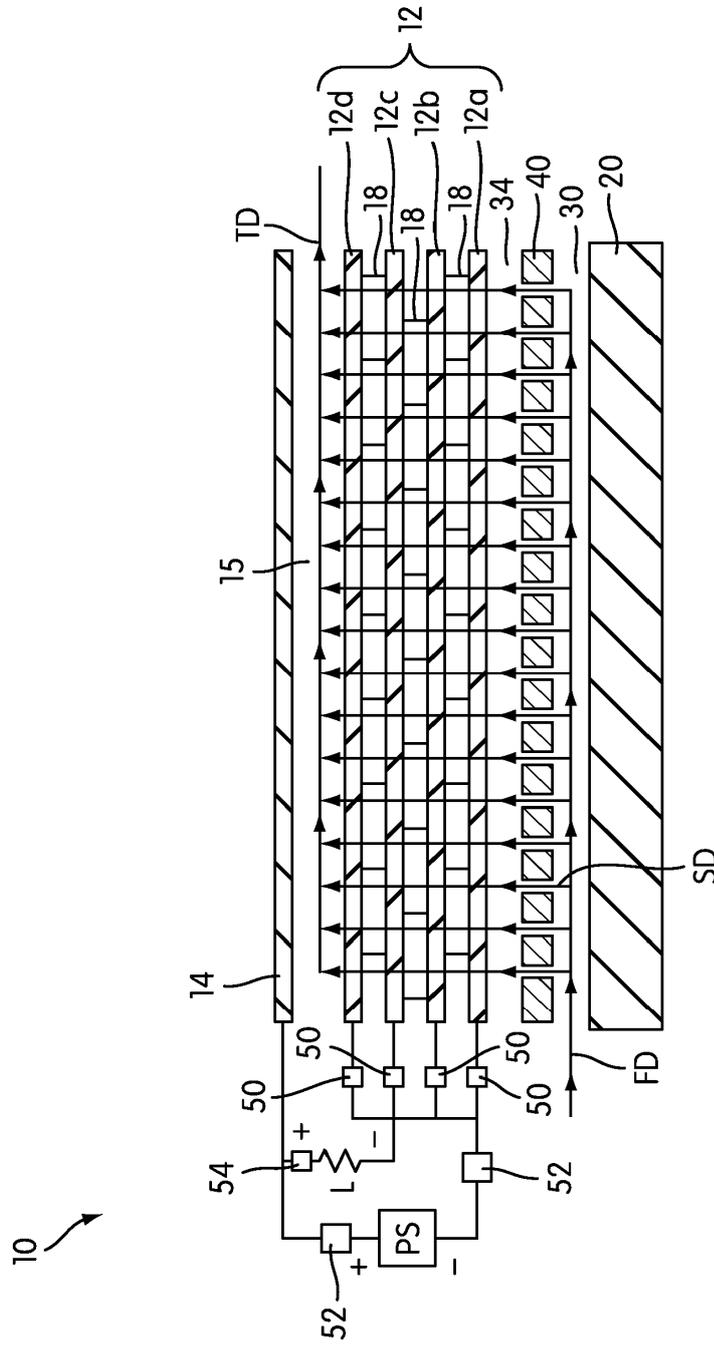


FIG. 5

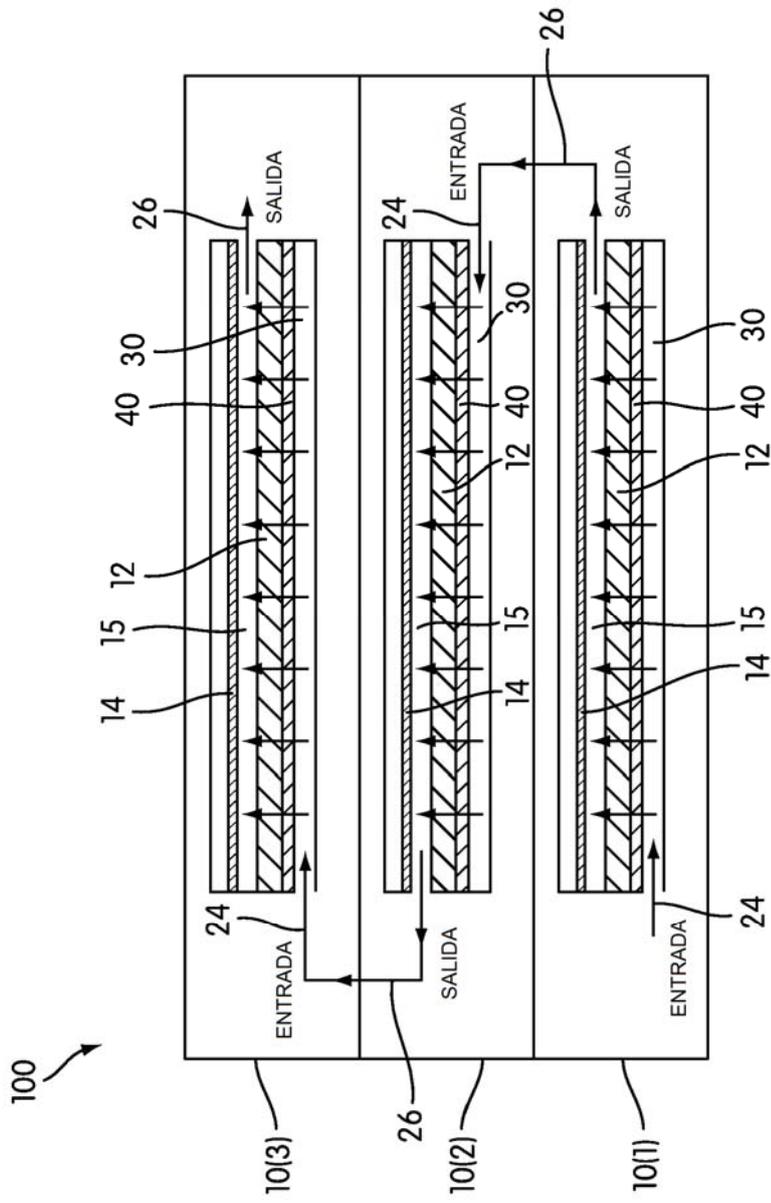


FIG. 7