

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 658 058**

51 Int. Cl.:

H01M 10/42 (2006.01)

H01M 10/44 (2006.01)

H01M 12/08 (2006.01)

H01M 10/06 (2006.01)

H01M (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **11.02.2015 PCT/US2015/015407**

87 Fecha y número de publicación internacional: **20.08.2015 WO15123290**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **11.02.2015 E 15708627 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **01.11.2017 EP 3105812**

54 Título: **Procedimiento para hacer funcionar celdas electroquímicas que comprenden combustible electrodepositado**

30 Prioridad:

12.02.2014 US 201461938922 P

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

08.03.2018

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

**FRIESEN, CODY;
HAYES, JOEL;
PUZHAEV, SERGEY;
KRISHNAN, RAMKUMAR y
TRIMBLE, TODD**

74 Agente/Representante:

SÁEZ MAESO, Ana

ES 2 658 058 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

Procedimiento para hacer funcionar celdas electroquímicas que comprenden combustible electrodepositado

5 Esta solicitud reivindica la prioridad para la solicitud provisional Estadounidense No. 61/938,922, presentada el 12 de febrero de 2014.

Campo

10 La invención se refiere a celdas electroquímicas que comprenden combustible metálico electrodepositado, y más particularmente a un procedimiento para hacer funcionar y acondicionar sistemas de celdas electroquímicas que comprenden combustible metálico electrodepositado.

Antecedentes

15 Se utilizan diversos tipos de celdas electroquímicas que utilizan metal como combustible tal como baterías de metal-aire, ácido-Pb, Ni-Cd y Ni-Zn. Por ejemplo, una celda de metal-aire comprende un electrodo de combustible en el que se oxide combustible metálico y un cátodo que respira aire en el que se reduce el oxígeno del ambiente durante un modo de descarga. Durante un modo de carga, se reduce el combustible metálico y se electrodeposita en el electrodo
20 de combustible, almacenando por lo tanto el combustible metálico para un proceso de descarga futuro. Un reto significativo con estos tipos de celdas es manejar los depósitos no uniformes del combustible metálico luego del ciclo de carga/descarga repetido que puede conducir a pasivación de electrodos, capacidad de carga reducida, pobre comportamiento de ciclo, reducción del ciclo de vida y reducción general de la eficiencia de la celda. La acumulación de combustible metálico (por ejemplo, depósitos rugosos, formación de dendritas) puede provocar problemas que
25 incluyen la formación prematura de conexiones eléctricas entre los electrodos y corto circuito celular. Estos problemas se intensifican después de ciclos parciales repetidos, es decir, ciclos repetidos de descarga a una baja profundidad de descarga (DOD) directamente seguida por carga. El problema asociado con el ciclo parcial es bien conocido, por ejemplo, en baterías de Ni-Cd y se denomina el "efecto de memoria". Numerosos ciclos sucesivos de carga y descarga parcial producen efectos de memoria pequeña que pueden agregar hasta un efecto de memoria grande. Estos efectos
30 pueden conducir a errores en la estimación del estado de la carga (SOC) de la batería, es decir la cantidad de carga no utilizable almacenada dentro de la batería, así como conducir a depósitos rugosos y no uniformes de metal sobre el electrodo de combustible durante la carga.

35 Un sistema de celda electroquímica y su procedimiento de funcionamiento se divulgan en el documento US 2012/0139496 A1.

Entre otras cosas, la presente solicitud se esfuerza en proporcionar una forma efectiva y mejorada de hacer funcionar celdas electroquímicas que comprenden combustible metálico electrodepositado, minimizar la no uniformidad y rugosidad de los depósitos de combustible metálico en el ciclo mientras se mejora la vida del ciclo y la eficiencia de
40 funcionamiento.

Resumen

45 El sistema electroquímico y su procedimiento de funcionamiento de acuerdo con la invención se definen en las reivindicaciones independientes 1 y 9.

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

50 Breve descripción de los dibujos

Ahora se describirán las realizaciones de la invención, solamente a modo de ejemplo, con referencia a los dibujos esquemáticos acompañantes en los que símbolos de referencia correspondientes indican partes correspondientes, y en los que:

55 La figura 1 describe una vista de sección transversal de un sistema de celda electroquímica que comprende cuatro celdas electroquímicas.

60 La figura 2 describe un proceso simplificado para hacer funcionar un sistema de celdas electroquímicas que comprenden dos electrodos de combustible.

La figura 3 describe un diagrama de flujo de procesos simplificado de funcionamiento de un sistema de celdas electroquímicas en un modo de funcionamiento normal.

65 Descripción detallada

Como una realización de ejemplo no limitante de la invención, la figura 1 ilustra una vista de sección transversal esquemática de un sistema 100 de celda electroquímica. Como se muestra, los componentes del sistema 100 de celda electroquímica pueden estar contenidos por lo menos parcialmente en una carcasa 102 asociada que define una de celda interior, descrita en general en 104, configurada para contener un volumen de líquido iónicamente conductor allí.

5 En una realización, se pueden conectar carcasas 102 discretas para compartir el volumen de líquido iónicamente conductor distribuido a través de las carcasas 102, y se puede hacer circular entre las carcasas 102 (por ejemplo, accionado mediante una bomba de fluido). En una realización, el sistema 100 utiliza un medio líquido iónicamente conductor que está contenido dentro de una carcasa 102 común, y se configura para hacer circular allí para conducir iones dentro del sistema 100 de celdas. En una realización, la cantidad de medio de líquido iónicamente conductor dentro de la carcasa 102 puede alcanzar un nivel L. Aunque por momentos el medio iónicamente conductor puede ser en general estático dentro de la carcasa 102, tal como en la zona estancada, se apreciará que el sistema 100 de celdas se puede configurar para crear un flujo convectivo del medio iónicamente conductor. En algunas realizaciones, el flujo del medio iónicamente conductor puede ser un flujo convectivo generado por burbujas de gas evolucionado en la celda 100, tal como se describe en las Solicitudes de Patente Estadounidenses Nos. 13/531,962; 13/532,374 y 13/666,864. Diversas porciones de la celda 100 electroquímica pueden tener cualquier estructura o composición adecuada, que incluye, pero no se limita a la que se forma de plástico, metal, resina, o combinaciones de estas. De acuerdo con lo anterior la celda 100 se puede ensamblar de cualquier forma, que incluye formada a partir de una pluralidad de elementos, moldeada integralmente, o así sucesivamente. En diversas realizaciones el sistema 100 de celdas electroquímicas puede incluir elementos o disposiciones de uno o más de los números de serie de Patente Estadounidense, 8,168,337; 8,309,259; y los Nos. de serie de Solicitud de Patente Estadounidense 12/549,617; 12/631,484; 12/776,962; 12/885,268; 12/901,410; 13/028,496; 13/083,929; 13/167,930; 13/185,658; 13/230,549; 13/277,031; 13/299,167; 13/362,775; 13/526,432; 13/531,962; 13/532,374; 13/666,864; 13/668,185; 61/707,478; 61/763,428 y 61/890,728.

25 En una realización del sistema 100 de celdas, tal como el ilustrado en la figura 1, se pueden instalar opcionalmente múltiples celdas 110 juntas en una carcasa 102 común. Tal montaje puede aumentar la densidad de potencia y/o energía, pueden facilitar las direcciones de flujo deseado con base en la interacción de burbujas generadas entre cada celda, puede reducir los costes de producción al reducir el número de partes discretas allí o de otra forma. El montaje de la figura 1 contiene cuatro celdas 110 allí, y de esta manera se pueden denominar como una celda 100 cuádruple.

30 Se puede apreciar que las cuatro celdas (individualmente las celdas 110a, 110b, 110c y 110d) definen la celda 100 cuádruple, aunque menos celdas o celdas adicionales también se pueden incluir en otras realizaciones (es decir, formar una bicelda, tricelda, pentacelda, o así sucesivamente). Aunque en algunas realizaciones las celdas 110 pueden compartir electrodos comunes, en otras realizaciones, tal como aquella mostrada, cada celda 110a, 110b, 110c y 110d contienen su propio electrodo 112 de combustible asociado, electrodo 114 oxidante y electrodo 116 de carga (es decir, separado uno del otro). Como se describe en la figura 1, el electrodo 112a de combustible, electrodo 114a oxidante y electrodo 116a se asocia con la celda 110a. De manera similar, el electrodo de combustible 12b, electrodo 114b oxidante y electrodo 116b de carga se asocia con la celda 110b; el electrodo 112C de combustible, el electrodo 114c oxidante y el electrodo 116c de carga se asocia con la celda 110c, y el electrodo 112d de combustible, el electrodo 114d oxidante y el electrodo 116d de carga se asocian con la celda 110d. En algunas realizaciones, sin embargo, un electrodo 112 de combustible de una celda 110 se puede entender que participa en reacciones electroquímicas con electrodos 114 de reducción oxidantes y/o electrodos 116 de carga asociados con otras celdas 110 (por ejemplo, el electrodo 112a de combustible asociado con la celda 110a se puede acoplar al electrodo 114b de reducción oxidante y/o el electrodo 116b de carga asociado con la celda 110b).

45 Los electrodos 112 de combustible del sistema 100 de celdas puede estar soportado en la cámara 104 de celdas interior de tal manera que se pone en contacto mediante el medio iónicamente conductor. En una realización, un electrodo 112 de combustible es un electrodo de combustible metálico que funciona como un ánodo cuando el sistema 100 de celdas funciona en modo de descarga, o de generación de electricidad y funciona como un cátodo cuando el sistema 100 de celdas opera en carga, o modo de consumo de electricidad. El combustible se puede proporcionar en la celda 100 como partículas suspendidas en el medio iónicamente conductor o iones. El electrodo de combustible se puede proporcionar como un cuerpo de electrodo permeable (malla, tamiz, etcétera) o una serie de cuerpos de electrodo permeables dispuestos en relación separada. Un cuerpo de electrodo permeable puede incluir un tamiz que se fabrica de cualquier formación que sea capaz de capturar y retener, a través de electrodeposición, o de otra forma, partículas o iones de combustible metálico a partir de medio iónicamente conductor que fluyen a través de o está presente de otra forma dentro de la cámara 104 de celda. Adicionalmente, los detalles que se relacionan con los cuerpos de electrodo permeables, configuraciones y funcionamiento de estos se puede describir en la Patente Estadounidense y Solicitud de Patente No. de serie 8,168,337; 8,309,259; 12/885,268; 13/167,930; 13/230,549; 13/277,031; 13/299,167.

50 El combustible utilizado en la celda 100 puede ser un metal, tal como hierro, zinc, aluminio, magnesio, plomo, cadmio, níquel o litio. Por metal, se entiende que este término abarca todos los elementos relacionados como metales en la tabla periódica, que incluye, pero no se limita a metales alcalinos, metales alcalinotérreos, lantánidos, actínidos, semimetales, metales "pobres", metales de transición y post-transición, ya sea en forma atómico, molecular (que incluyen hidruros metálicos), o en forma de aleación cuando se recolectan en el cuerpo de electrodo. Sin embargo, la presente invención no está destinada a ser limitada a algún combustible específico, y se pueden utilizar otros.

60

65

La realización ilustrada de la figura 1 describe un único electrodo 112 de combustible asociado con cada celda 110, sin embargo, en algunas realizaciones el electrodo 112 de combustible puede comprender una pluralidad de cuerpos de electrodo permeables tal como se describe en la Patente Estadounidense No. 8,309,259 y Solicitud Estadounidense No. de serie 13/299,167 y 13/230,549. Los cuerpos de electrodos pueden tener diferentes tamaños de tal manera que se puede utilizar una configuración de escalonada, por ejemplo, como se describe mediante la solicitud de patente estadounidense No. de serie 13/167,930, en otras realizaciones los electrodos pueden tener sustancialmente el mismo tamaño. En algunas realizaciones, un electrodo 112 de combustible común puede ser el electrodo de combustible para una pluralidad de celdas 110 adyacentes. Por ejemplo, en la realización ilustrada, el electrodo 112a de combustible y el electrodo 112b de combustible se pueden reemplazar mediante un electrodo de combustible común compartido por la celda 110a y la celda 110b.

En una realización, el electrodo 114 de reducción de oxidante puede ser de cualquier configuración o construcción adecuada. Por ejemplo, el electrodo 114 de reducción de oxidante puede ser configurado en general para soportar la reducción de oxígeno en el sistema 100 de celdas electroquímicas, para crear una diferencia de potencial con el electrodo 112 de combustible durante la descarga del sistema 100 de celdas. En una realización, el electrodo 114 de reducción de oxidante puede contener una capa activa que tiene mallas o recubrimientos que se pueden caracterizar como "materiales activos". Los materiales activos facilitan las reacciones electroquímicas asociadas con la reducción de oxígeno. De acuerdo con lo anterior, en una realización, el electrodo 114 de reducción de oxidante se posiciona en la cámara 104 de celda de tal manera que los materiales activos hacen contacto con el medio iónicamente conductor permitiendo que los iones se conduzcan hacia y/o desde el electrodo 112 de combustible. En algunas realizaciones, los materiales activos del electrodo de reducción de oxígeno se pueden formar mediante una mezcla de materiales o partículas de catalizador, matriz conductora y materiales hidrófobos, combinados para formar un material compuesto o de otra forma en capas. En diversas realizaciones los materiales activos se pueden construir de uno o más metales y/o sus óxidos, tal como pero no limitado a manganeso, plata, níquel, platino, lantano, estroncio, y cobalto. Para detalles adicionales con respecto a los electrodos oxidantes, se puede hacer referencia a las Solicitudes de Patente Estadounidenses No. de serie 13/531,962 13/553,269; 13/668,180; y 13/668,185.

En una realización, el electrodo 114 de reducción de oxidante se puede sellar o ensamblar de otra forma dentro de un módulo de electrodo de reducción oxidante que se sumerge en el medio iónicamente conductor en la cámara 104 de celda. Por lo menos un canal 118 de aire (individualmente los canales 118a, 118b, 118c y 118d de aire) se pueden extender en el módulo de electrodo de reducción oxidante, con el fin de proporcionar aire o cualquier otro oxidante al electrodo 114 de reducción de oxidante. Detalles adicionales de dicha configuración se describen en la Solicitud de Patente Estadounidense No. 13/531,962.

Como se muestra, en las realizaciones que contienen un electrodo 116 de carga separado, el electrodo 116 de carga se puede posicionar entre el electrodo 114 de reducción de oxidante y el electrodo 112 de combustible. En las realizaciones de la celda 110 que carecen de un electrodo 116 de carga separado, se puede utilizar el electrodo 114 de reducción de oxidante durante la carga y descarga de la celda 110 (es decir, como un ánodo durante la carga y como un cátodo durante la descarga). De esta manera, el término electrodo de carga significa que es un componente que realiza la función del electrodo de carga en un potencial anódico durante la carga, y aunque se puede separar de otros electrodos, en algunas realizaciones se puede constituir mediante uno de los otros electrodos o una parte de este que funcionan para ese fin.

En la realización ilustrada de la figura 1, asociada con cada celda 100 se encuentran los electrodos 116 de carga. Aunque en la realización ilustrada el electrodo 116 de carga se separa del electrodo 112 de combustible, se puede apreciar que en algunas realizaciones el electrodo 116 de carga puede comprender una parte del electrodo 112 de combustible, que requiere un material eléctricamente aislante. Como se muestra, el electrodo 116 de carga dedicado se puede posicionar en general entre el electrodo 112 de combustible y el electrodo 114 de reducción de oxidante; sin embargo, también son posibles otras diversas disposiciones. Un electrodo 116 de carga se puede posicionar separado del electrodo 112 de combustible. En algunas realizaciones, el electrodo 116 de carga puede ser una parte eléctricamente aislada del electrodo 112 de combustible (que incluye, por ejemplo, ser uno o más de los cuerpos de electrodo permeables). Al igual que con el electrodo 112 de combustible, se puede posicionar el electrodo 116 de carga dentro de la cámara 104 de celda, con el fin de que este en contacto con el medio iónicamente conductor. El electrodo 116 de carga se puede configurar para participar en la oxidación de una especie oxidante oxidable, que está presente en el medio líquido iónicamente conductor, con el fin de promover la reducción de una especie de combustible metálico oxidado y el crecimiento del combustible metálico en el electrodo 112 de combustible durante la carga de la celda 110. De acuerdo con lo anterior, en algunas realizaciones, el electrodo 116 de carga se puede caracterizar como un electrodo que evoluciona oxígeno, debido a la formación de especies gaseosas formadas durante el proceso de reducción en el electrodo 116 de carga durante la carga de la celda 110 electroquímica.

En una realización, pueden aparecer burbujas formadas durante la carga desde donde se evolucionan el electrodo 116 de carga hacia el nivel L de electrolitos líquidos, y desarrollar un flujo del medio iónicamente conductor. Se puede apreciar que la disposición separada de los electrodos 116 de carga pueden impulsar en general las burbujas, y de esta manera el flujo, lejos del otro, sobre los electrodos 112 de reducción oxidantes opuestos, un patrón de flujo que se describe en general por las flechas 120. También son posibles otros patrones de flujo del medio iónicamente

conductor, por ejemplo, tal como aquellas descritas en la Solicitud de Patente Estadounidense No. de Serie 13/532,374 y 13/666,864.

5 Adicionalmente, aunque no se ilustra en la figura 1, en algunas realizaciones, los difusores, desviadores de flujo u otros cuerpos modificadores de flujo de pueden modificar.

10 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, hidróxido de litio o cloruro de litio. En algunas realizaciones, el medio iónicamente conductor es hidróxido de potasio acuoso. En una realización, el medio iónicamente conductor puede comprender un electrolito. Por ejemplo, se puede utilizar una solución de electrolitos líquidos convencionales, o se puede utilizar un líquido iónico a temperatura ambiente, como se menciona en la Solicitud de Patente Estadounidense 12/776,962, incorporada anteriormente por la referencia anterior. En algunas realizaciones, se puede agregar aditivos al medio iónicamente conductor, que incluyen, pero no se limitan a aditivos que mejoran los procesos de electrodeposición del combustible metálico en el electrodo 112 de combustible, tal como se describe en la solicitud de patente Estadounidense No. 13/028,496; 13/526,432; 61/780,322 y 61/780,622. Dichos aditivos pueden controlar el crecimiento dendrítico de partículas de combustible, reducir la probabilidad de partículas de combustible se separen del electrodo 112 de combustible durante la descarga y/o crear un contacto eléctrico indeseable entre los electrodos internos para sistema 100 de celdas, por ejemplo.

20 En diversas realizaciones no limitantes, el electrodo 112 de combustible, el electrodo 114 de reducción de oxidante y el electrodo 116 de carga separado se pueden conectar mediante un sistema de conmutación que se puede configurar para conectar la celda 110 y sistema 100 de celdas a un suministro de energía, una carga, u otras celdas en serie y/o paralelo. Durante la descarga, se conectan los electrodos 112 de combustible a la carga, y funcionan como un ánodo de tal manera que los electrones son emitidos por el combustible metálico, ya que el combustible se oxida en el electrodo 112 de combustible, fluye hacia la carga externa. Los electrodos 114 de reducción oxidantes funcionan como el cátodo durante la descarga, y se configuran para recibir electrones de la carga externa y reducen un oxidante que hace contacto con el electrodo 114 de reducción de oxidante, específicamente oxígeno en la celda 110 de aire circundante, el oxígeno se carga en la celda 110, se recicla el oxígeno de la celda 110. Durante la carga, el electrodo 112 de combustible se conecta a la fuente de potencia, y funciona como un cátodo de tal manera que el combustible oxidado dentro del medio iónicamente conductor se reduce en el electrodo 112 de combustible. El electrodo 116 de carga funciona como el ánodo durante la carga, y oxida el oxidante de reducción que hace contacto el electrodo 116 de carga, específicamente haciendo evolución a oxígeno en el medio iónicamente conductor. Son posibles diversas operaciones y configuraciones del sistema de conmutación, por ejemplo, tal como aquellas descritas en la Patente Estadounidense No. 8,309,259 y Solicitud Estadounidense No. de serie 12/885,268; 13/083,929; 13/299,167; 13/230,549 y 13/277,031.

40 Se puede apreciar que las reacciones electroquímicas que ocurren durante la carga y descarga del sistema 100 de celdas pueden ser reacciones de reducción-oxidación (redox). Por ejemplo, en una realización en la que el combustible metálico es zinc, el medio iónicamente conductor puede contener iones de zinc reducibles que se tienen que colocar en placas como combustible de zinc en el electrodo 112 de combustible. En una de dichas realizaciones, tiene lugar la reacción de reducción en el electrodo 112 de combustible (el sitio de reducción), se puede conformar con $Zn(OH)_4^{2-} + 2e^- \rightarrow Zn + 4OH^-$. La reacción de oxidación correspondiente ocurre en el electrodo 116 de carga, y se puede conformar para $2OH^- \rightarrow H_2O + \frac{1}{2}O_2 + 2e^-$. Por lo tanto, se entiende que electrodo 116 de carga produce gas oxígeno dentro del sistema 100 de celdas, y de esta manera se puede caracterizar como un electrodo evoluciona oxígeno. Se puede apreciar que en algunas realizaciones diferentes se utilizan combustibles metálicos diferentes, y de esta manera pueden ocurrir otras reacciones que también evolucionan oxígeno u otros gases en el sistema 100 de celdas.

50 En una realización en el que el combustible metálico es zinc, la reacción de oxidación puede corresponder a la ecuación $Zn \rightarrow Zn^{2+} + 2e^-$. Los iones de zinc se pueden unir con iones hidróxido en el medio iónicamente conductor, en una forma que corresponde a $Zn^{2+} + 4OH^- \rightarrow Zn(OH)_4^{2-}$. El zincato ($Zn(OH)_4^{2-}$) puede ahora fluir en el medio iónicamente conductor, y puede estar disponible para reducción a combustible zinc en el electrodo 112 de combustible durante una carga futura del sistema 100 de celdas.

55 Se puede apreciar que la electrodeposición del combustible metálico en un electrodo de combustible prístino (es decir electrodo de combustible que carece de combustible metálico depositado previamente) resulta en acumulación del combustible metálico como una capa lisa sobre la superficie completa del electrodo de combustible no uniformidad mínima, dendritas etcétera. Por ejemplo, la electrodeposición en los electrodos de combustible metálico que comprende el combustible metálico de ciclos anteriores puede resultar en electrodeposiciones de combustible metálico no uniformes. Estas no uniformidades se intensifican después de ciclos parciales repetidos es decir descargas directas repetidamente seguida por la carga (o en otras palabras, descargar directamente a un estado de carga mayor que 0 SOC, seguido por un proceso de carga).

65 Se puede apreciar que los depósitos no uniformes de combustible metálico se acumulan en ciclos de carga/descarga repetidos que pueden conducir a una pasivación del electrodo, capacidad de carga reducida, comportamiento cíclico pobre, ciclo de vida más cortos y menor eficiencia de celda general. No se está unido con ninguna teoría particular,

pero los depósitos no uniformes se continúan acumulando debido a la alta resistencia del campo eléctrico de los depósitos existentes lo que resulta en deposición preferencial en estas áreas de no uniformidad. La acumulación del combustible metálico (por ejemplo, formación de dendritas) puede provocar problemas que incluyen formación prematura de conexiones eléctricas y cortocircuitos de celdas. Los problemas asociados con los ciclos parciales son bien conocidos, por ejemplo, en baterías de Ni-Cd y se denomina el “efecto de memoria”. Estos efectos también pueden conducir a errores en la estimación del estado de carga (SOC) de la batería, es decir la cantidad de carga utilizable almacenada dentro de la batería (o en otras palabras, la relación, expresada en un porcentaje, de la cantidad de carga almacenada en la batería en su estado actual hasta la cantidad total de carga la batería que puede almacenar).

Un electrodo restablecido, o proceso de descarga profunda, puede eliminar la acumulación de combustible metálico acumulado no uniforme. Un proceso de descarga profunda que consume tiempo puede no ser viable durante un modo de operación normal de la batería y puede requerir iniciación de un proceso de acondicionamiento o restablecimiento (por ejemplo, para retirar formaciones dendríticas o acumulación de combustible metálico acumulado). Diversos procesos de acondicionamiento y restablecimiento son posibles, por ejemplo, tal como aquellos descritos en la solicitud de patente Estadounidense No. 13/277,031 titulada “Battery Resetting Process for Scaffold Fuel Electrode” y la Patente Estadounidense No. 61/890,728 titulada “Method of Operating and Conditioning Electrochemical Cells Comprising Electrodeposited Metal Fuel”.

La invención descrita aquí se dirige a un sistema y procedimiento para hacer funcionar celdas electroquímicas que comprenden combustible electrodepositado, en el que el ciclo de carga/descarga en un modo de funcionamiento normal procede de tal manera que se inicia la deposición del combustible metálico en los electrodos de combustible metálico con historia cíclica parcial mínima. La configuración del sistema de celdas y el método de funcionamiento asociado se construye de tal manera que los electrodos de combustible metálico están libres de “memoria” de ciclos de carga/descargas anteriores. Diversas realizaciones y ventajas de este sistema se describirán en los siguientes párrafos.

El sistema 100 de celdas electroquímicas puede ser un ciclo de carga/descarga de tal manera que la carga inicia en los electrodos de combustible metálico agotados (es decir electrodos de combustible metálico que se han descargado previamente hasta un punto en que se encuentra un criterio de agotamiento predeterminado, tal como un estado de carga agotado predeterminado, evitando por lo tanto condiciones cíclicas parciales). Este es un proceso de control diseñado para minimizar la carga de un electrodo de combustible que está experimentado solamente descarga parcial. Por ejemplo, si los electrodos 112a y 112c de combustible experimentan una descarga parcial, ocurre la posterior carga en los electrodos 112b y 112d de combustible. El siguiente evento de descarga iniciaría luego continuando el uso de los electrodos 112a y 112c de combustible. Si se detiene el evento de descarga (por ejemplo, la rejilla de energía se hace disponible) antes que los electrodos 112a y 112c de combustible estén completamente descargados (es decir, cumple el criterio de agotamiento), la posterior carga iniciaría de nuevo en los electrodos 112b y 112d de combustible. Alternativamente, si el evento de descarga, descarga completamente los electrodos 112a y 112c de combustible (es decir, cumplen el criterio de agotamiento), la descarga se conmuta luego a los electrodos 112b y 112d de combustibles cargados parcialmente anteriormente, asegurando la descarga continua, ininterrumpida para una carga. Los electrodos 112a y 112c de combustibles se consideran luego que están en descarga profunda o agotados (como se utiliza aquí, agotado no significa 100% de agotamiento). Se inicia un proceso posterior de carga en los electrodos 112a y 112c de combustible, con electrodos 112b y 112d de combustible que quedan en un estado de carga parcial (dejados de la etapa de descarga anterior). Mediante este método, únicamente ocurre la carga en los electrodos que han sido profundamente descargados anteriormente, o parcialmente más cargados recientemente, en oposición a un electrodo de combustible que se ha descargado más reciente. Bajo estas condiciones, el par de electrodos 112a y 112c o 112b y 112d de combustible pueden tener un estado de carga de entre 0 y 100%, y la suma del estado de cargas de los electrodos 112a y 112c más 112b y 112d de combustible será del 100% después que se completa el ciclo de carga. Por supuesto, los números absolutos como 0% y 100% no necesitan utilizarse, y se pueden utilizar otros umbrales superiores e inferiores.

En algunas realizaciones, se agrupan a propósito o se asignan juntos por cualquier motivo adecuado relacionado con la química, configuración y geometría de la celda 100. Por ejemplos, los pares de electrodos 112a/112c o 112b/112d se pueden emparejar juntos debido a que si se emparejan 112a/112b, entonces solamente dos cátodos 114c/114d estarán disponibles para suministrar energía, lo que puede ser inadecuado. Si se empareja 112a/112d y 112b/112c, entonces las características de convección deseadas de la celda 100 pueden ser no uniformes.

Como otro ejemplo, si se descarga un electrodo de combustible de unidad de descarga, por ejemplo, de 100% de SOC a 50% SOC en una primera etapa de descarga de iniciación y energía del sistema de celdas electroquímicas no se necesita más, (por ejemplo, la rejilla se hace disponible), que el electrodo de combustible pueda luego inactivarse durante un posterior modo de carga del sistema de celdas electroquímicas. Cuando se requiera de nuevo energía del sistema de celda electroquímica (por ejemplo, la rejilla se hace disponible), la misma unidad de descarga de electrodo de se activará al descargar, por ejemplo, de 50% SOC a un estado de carga agotado predeterminado o, por ejemplo, hasta que la rejilla se haga disponible de nuevo.

Aun como otro ejemplo simplificado, se dividen los ánodos 112 en dos unidades, por ejemplo, unidad A y unidad B; con una celda 100 que contiene un número igual de ánodos en cada unidad. Primero, la unidad A obtiene una carga completa. Posteriormente, en los ciclos # 1 - N, los ánodos de la unidad A se descargan en cada ciclo hasta que el SOC del grupo A (la unidad de descarga) cumple el criterio de agotamiento. La cantidad de carga (Ah) necesaria busca el criterio de carga en cada ciclo # 1 - N se deposita en los ánodos del grupo B (la unidad de carga). Después los ánodos de la unidad A se descargan completamente y los ánodos de la unidad B se cargan completamente, estos grupos conmutan sus funciones: la unidad B se vuelve la unidad de descarga y la unidad A se vuelve la unidad de carga. Esta forma de hacer funcionar la celda 100 evita el estado parcial del ciclo de carga (PSOC) porque los ánodos solo encuentran los ciclos "aglomerados" de carga completa — descarga completa. El término unidad se utiliza para designar que cada unidad puede tener uno o más electrodos de combustible asignados a esta. Normalmente, estas tendrán números iguales, pero en algunas realizaciones pueden no ser el caso.

En la realización simplificada descrita en la figura 2, el electrodo 212a de combustible, el electrodo 212b de combustible, el electrodo 214 de reducción oxidante y el electrodo 216 de carga están en un medio iónicamente conductor común. Se apreciará que probablemente se emplean más electrodos y diversas disposiciones de múltiples son posibles; únicamente dos electrodos (212a y 212b) de combustible, un electrodo (214) de reducción oxidante singular y un electrodo de evolución de oxígeno (216) se describen para claridad de la descripción en este documento. El proceso que opera el sistema de celdas electroquímicas puede comprender una primera etapa 202 de descarga que puede ser iniciada posteriormente a una etapa de carga anterior (no descrita). Como se describe en la figura 2, la etapa 202 de descarga inicia con el electrodo 212a de combustible en un estado de carga (SOC) del 100% y electrodo 212b de combustible en 0% SOC (de nuevo, en estos ejemplos, los números absolutos 0% y 100% se utilizan para propósitos de ilustración, pero en la práctica se pueden utilizar diferentes umbrales, tal como 5% o 10% y 90 o 95%, por ejemplo). El electrodo 212a de combustible se asocia con el interruptor 220a y el electrodo 212b de combustible se asocia con el interruptor 220b. Durante la etapa 202 de descarga, se conecta el electrodo 212a de combustible a la carga 230 a través del interruptor 220a, y opera como un ánodo de tal manera que los electrones suministrados por el combustible metálico, como el combustible se oxidan en el electrodo 212a de combustible, fluyen a través de la carga 230 externa hasta el electrodo 214 de reducción oxidante que funciona como un cátodo. En la realización ilustrada, el interruptor 220b se abre de tal manera que el electrodo 212b de combustible no está implicado en el proceso de descarga. Durante la etapa 202 de carga, el estado de carga del electrodo 212a de combustible se reducirá. La etapa 202 de descarga puede terminar como un resultado de una condición externa (por ejemplo, el suministro de energía de rejilla se hace disponible), una medición de voltaje, una medición de corriente, una medición de impedancia, un SOC acumulado (Ah), una medición de temperatura, una medición de capacidad de carga, un número de ciclo, un tiempo transcurrido, un programa predeterminado, un comando de usuario manual o una combinación de estos.

Después de la etapa 202 de descarga, inicia la etapa 204 de carga con el electrodo 212a de combustible en un estado parcial de carga, por ejemplo, 50% SOC y electrodo 212b de combustible con un estado de carga bajo o cero, por ejemplo, 0% SOC. Durante la etapa 204 de carga, se combina el electrodo 212b de combustible al suministro 240 de energía a través del interruptor 220b, y funciona como un cátodo de tal manera que el combustible oxidado dentro del medio iónicamente conductor se reduce en el electrodo 212b de combustible. Cargar el electrodo 216 funciona como el ánodo durante la carga, y oxida el oxidante reducido que hace contacto con el electrodo 216 de carga. Durante la etapa 204 de carga, el electrodo 212a de combustible se desconecta de la fuente 240 de energía a través del interruptor 220a y permanece en 50% SOC. Durante la etapa 204 de carga, el estado de carga del electrodo 212b de combustible aumentará. Al final de la etapa 202 de carga, el electrodo 212b de combustible se puede cargar completamente o como se describe, cargar parcialmente a, por ejemplo, 50% SOC. La etapa 204 de carga puede terminar como un resultado de una condición externa (por ejemplo, la fuente de rejilla se hace no disponible), una medición de voltaje, una medición de corriente, una medición de impedancia, un SOC (Ah) acumulado, una medición de temperatura, una medición de capacidad de carga, un número de ciclo, un tiempo transcurrido, un programa predeterminado, un comando de usuario manual o una combinación de estos.

Posterior a la etapa 204 de carga, se puede iniciar la etapa 206 de descarga con el electrodo 212a de combustible en el 50% de estado de carga (SOC) y electrodo 212b de combustible en el 50% SOC. Durante la etapa 206 de descarga, el electrodo 212a de combustible se conecta a la carga 230 a través del interruptor 220a, y funciona como un ánodo de tal manera que los electrones fluyen a través de la carga 230 externa al electrodo 214 de reducción oxidante, reduciendo por lo tanto el estado de carga del electrodo 212a de combustible. En la realización ilustrada, se abre el interruptor 220b de tal manera que el electrodo 212b de combustible no está implicado en el proceso de descarga y permanece en 50% SOC. La etapa 206 de descarga puede terminar como un resultado de una condición externa (por ejemplo, el suministro de energía de rejilla se hace disponible), una medición de voltaje, una medición de corriente, una medición de impedancia, un SOC (Ah) acumulado, una medición de temperatura, una medición de capacidad de carga, un número de ciclos, un tiempo transcurrido, un programa predeterminado, un comando de usuario manual o una combinación de estos.

Posterior a la etapa 206 de descarga, se inicia la etapa 208 de carga con el electrodo 212a de combustible con estado bajo o cero, por ejemplo, 0% SOC y electrodo 212b de combustible en un estado parcial de carga, por ejemplo, 50% SOC. Durante la etapa 208 de carga, se conecta el electrodo 212b de combustible a la fuente 240 de energía a través del interruptor 220b, y funciona como un cátodo de tal manera que el combustible oxidado dentro del medio iónicamente conductor se reduce en un electrodo 212b de combustible. Cargar el electrodo 216 funciona como el

ánodo durante la carga, y oxida el oxidante reducido que hace contacto con el electrodo 216 de carga. Durante la etapa 208 de carga, el electrodo 212a de combustible se desconecta de la fuente 240 de energía a través del interruptor 220a y permanece en un SOC bajo o del 0%. Durante la etapa 208 de carga, aumentará el estado de carga del electrodo 212b de combustible. Al final de la etapa 208 de carga, el electrodo 212b de combustible puede llegar a cargarse completamente es decir 100% SOC como se describe. La etapa 208 de carga puede terminar como un resultado de una condición externa (por ejemplo, el suministro de energía de rejilla se hace no disponible), una medición de voltaje, una medición de corriente, una medición de impedancia, un SOC (Ah) acumulado, una medición de temperatura, una medición de capacidad de carga, un número de ciclos, un tiempo transcurrido, un programa predeterminado, un comando para de usuario manual o una combinación de estos.

En la realización ilustrada de la figura 2, el interruptor 220a y el interruptor 220b se describen en una forma simplificada para facilitar la descripción funcional, sin embargo, se debe apreciar que los circuitos y los interruptores pueden variar ampliamente a través de las realizaciones. En una realización, los interruptores 220 pueden comprender interruptores semiconductores. Por ejemplo, se puede emplear Transistores de Efecto de Campo (FET). En algunas realizaciones, los interruptores se pueden abrir y cerrar de acuerdo con un ciclo de trabajo proporcionado por un de amplitud de pulso y la amplificación se puede varía dependiendo del ciclo de trabajo del modulador de amplitud de pulso. Son posibles diversas operaciones y configuraciones del sistema de conmutación, por ejemplo, tal como aquellas descritas en las Patentes Estadounidenses No. 8,309,259 y Solicitud Estadounidense Nos. 12/885,268; 13/083,929; 13/299,167; 13/230,549; 13/277,031 y 14/039,285.

En una realización, los interruptores pueden actuar esencialmente como un acelerador que regula el flujo de la electricidad dentro de los electrodos de combustible dentro del sistema de celdas electroquímicas. Por ejemplo, en la etapa 206 de descarga de la figura 2, el interruptor 220b puede no abrirse completamente, pero en cambio se proporciona como un interruptor FET que funciona como una resistencia variable en un modo lineal de tal manera que su resistencia de canal se regula mediante el voltaje de portal asociado. En dicha realización, el electrodo 212b de combustible puede proporcionar la fracción de la potencia para la carga 230 externa en adición a la mayoría de corriente del electrodo de 212a combustible. Dependiendo de las condiciones de funcionamiento deseadas y las condiciones de carga, la resistencia de canal se puede incrementar para minimizar la contribución de corriente del electrodo 212b de combustible a la carga 230 externa. En otras realizaciones, la resistencia de canal de un electrodo de combustible o grupo de electrodos de combustible se puede minimizar para forzar el agotamiento del combustible en un modo de funcionamiento normal o durante un modo de acondicionamiento (por ejemplo, restablecimiento o descarga profunda) y la corriente resultante también puede contribuir a energizar la carga externa. De esta forma, se puede realizar el mantenimiento de la celda mientras aun proporciona energía a una carga externa.

En algunas realizaciones, bajo determinadas condiciones, un ánodo descargado recientemente, no agotado puede experimentar posteriormente una carga. Por ejemplo, esto puede ocurrir si ambos pares de electrodos están en un estado parcial de carga y (por ejemplo, 50% y 50%) y la etapa de descarga posterior demanda 50% de profundidad de descarga (DOD). Es decir, las demandas de carga pueden ser mayores que la energía o potencia disponible sólo de los electrodos asignadas para descarga. En esta situación, un par de electrodos, por ejemplo, 112a/112c tendrían ~10% SOC (en razón a que no puede ser posible para soportar una carga completa en menos de ~10% SOC) y el otro par de electrodos, por ejemplo, 112b/112d alcanzarían 40% SOC. En la carga posterior, puede luego ser beneficioso cargar directamente en el par 112a/112c en ~10% SOC (sólo el par de ánodo descargado) antes de ingresar a una etapa de descarga profunda.

Como se describe en la figura 3, un sistema de celda electroquímica puede ingresar a un modo 302 de funcionamiento normal. En una realización, un controlador asociado con el sistema de celdas electroquímicas puede distribuir los electrodos de combustible del sistema de celdas electroquímicas en grupos, los grupos comprenden un grupo de descarga y un grupo de carga en la etapa 304. Dependiendo de las condiciones de funcionamiento deseadas, el controlador puede regular la operación entre un modo de carga y un modo de descarga. En el ejemplo no limitante de la figura 3, la disponibilidad de una rejilla externa puede determinar el modo funcional del sistema de celdas electroquímicas en la etapa 306. Si la rejilla no está disponible, los electrodos de combustible dentro de la unidad de descarga se pueden descargar hacia un estado de carga agotado predeterminado en la etapa 308. El valor de estado de carga agotado predeterminado o criterio de agotamiento se puede informar mediante una medición de voltaje, medición de corriente, medición de impedancia, un tiempo transcurrido, un SOC calculado o un SOC acumulado. El estado de carga no necesita ser medido directamente, y se puede estimar o medir indirectamente a través de diversas técnicas ya conocidas. Como un ejemplo no limitante, si el voltaje de celda durante la descarga del grupo de descarga cae por debajo de 1 voltio, o 0.975 voltios, o quizás 0.95 voltios en el caso de un sistema de aire-zinc con el fin de mantener la energía a una carga, el grupo de descarga se considera que está agotado y la descarga interrumpiría al otro grupo de electrodos de combustible. El voltaje en muchas químicas se correlaciona con el estado de descarga, y de esta manera se puede utilizar como una medición indirecta o estimada de la misma. Alternativamente, el valor de estado de carga cae por debajo de 20%, o debajo del 15%, o preferiblemente por debajo de 10%, el grupo de descarga se consideraría que está agotado y la descarga se conmutaría con otro grupo de electrodo de combustible.

La una realización, el estado de la carga agotado predeterminado es menor que el estado de la carga antes de la iniciación de la descarga y puede estar, por ejemplo, en el rango de 0% SOC a 20% SOC. Si un electrodo de combustible dentro de este grupo de descarga alcanza el estado agotado predeterminado en la etapa 310, puede ser

reasignado al grupo de carga en la etapa 312. Cuando la rejilla se hace disponible en la etapa 306, el sistema de celda electroquímica cargara los electrodos de combustible dentro del grupo carga a un estado de carga completo predeterminado en la etapa 314. El valor de estado de carga completo predeterminado o criterio de carga puede ser informado mediante una medición de voltaje, medición de corriente, medición de impedancia, un tiempo transcurrido, un SOC calculado o un SOC acumulado. En una realización, el estado de carga completo predeterminado es mayor que el estado de la carga antes de la iniciación de la carga y puede estar en el rango de 90% SOC a 100% SOC. Alternativamente, el grupo de electrodo de carga se puede considerar que esta en un estado de carga completo si excede el voltaje de carga, por ejemplo, un valor de 2.5 voltios o 2.6 voltios, para una celda de aire Zn o algún otro límite de voltaje determinado por el diseño y química de la celda. Si un electrodo de combustible dentro de la unidad de carga alcanza el estado de carga lleno predeterminado en la etapa 316, se puede reasignar a la unidad de descarga en la etapa 318.

El control puede distribuir electrodos de combustible entre grupos basados en una medición de voltaje, una medición de corriente, una medición de impedancia, un SOC (Ah) acumulado, una medición de temperatura, una medición de capacidad de carga, un número de ciclo, un tiempo transcurrido, un programa predeterminado, un comando de usuario manual o una combinación de estos. Por ejemplo, uno o más dispositivos de detección asociados con el sistema 100 de celda se puede configurar para medir estas mediciones, y/o puede derivar estas mediciones a partir de estas u otras mediciones. En una realización, las mediciones pueden ser uno o más celdas 110 en el sistema 100 de celda, o pueden ser para el sistema 100 de celda como un todo. En una realización, se pueden acoplar uno o más dispositivos de detección a un controlador (por ejemplo, electrónicos, circuitos, y/o uno o más procesadores) configurados para recibir datos detectados de uno o más dispositivos sensores. En una realización, el control se puede configurar para liberar la carga selectiva o descarga de las celdas 110, como se describe aquí. En una realización, el controlador se puede configurar para continuar la medición, calculo, o estimación de las medidas de uno o más electrodos 112 de combustible o en otra parte en el sistema 100 de celda, y puede controlar selectivamente la carga y/o descarga de la celda 110 de acuerdo con las mediciones.

Aunque no se describe en el ejemplo simplificado de la figura 3, los grupos dentro de los cuales se distribuyen los electrodos de combustible pueden adicionalmente comprender una unidad de acondicionamiento. Por ejemplo, los electrodos de combustible dentro del grupo de acondicionamiento pueden entrar en un proceso de restablecimiento configurado para eliminar formaciones dendríticas presentes en un electrodo de combustible, por ejemplo, descarga profunda, pulso de carga descarga. En algunas realizaciones, se puede emplear un modo de acondicionamiento separado. El acondicionamiento o restablecimiento del sistema de celda electroquímicas se puede lograr mediante cualquier proceso adecuado. En algunas realizaciones, el acondicionamiento se inicia cuando la potencia desde la fuente de potencia externa está disponible. Adicionalmente, el controlador puede instruir al sistema 100 de celdas para ingresar y/o salir de un proceso de acondicionamiento al determinar si un electrodo 112 de combustible y/o celda 110 se debe restablecer y/o cargar-descargar por pulso. Por ejemplo, las realizaciones de dicho proceso de restablecimiento pueden incluir los procesos de pulso de carga-descarga o restablecimiento tal como aquellos divulgados en la Solicitud de Patente Estadounidense No. de Serie 13/277,031 y la Solicitud de Patente Provisional Estadounidense No. 61/890,728 titulado "Method of Operating and Conditioning Electrochemical Cells Comprising Electrodeposited Metal Fuel."

En algunas realizaciones, uno o más cuerpos 114a-d de electrodos, electrodos 112a-d de reducción de oxidante y/o de electrodos 116a-d de carga se pueden interconectar en el sistema de conmutación, o cualquier otro circuito, con el fin de facilitársele el control selectivo de la carga y descarga de la celda 100. Los Interruptores asociados con el sistema de conmutación se pueden controlar mediante un regulador, que puede ser de cualquier construcción y configuración adecuada, que incluyen, pero no se limitan en algunas realizaciones, conformación de manera general con aquellos divulgados en la Solicitud Estadounidense No. de serie 13/083,929, 13/230,549, y 13/299,167. En diversas realizaciones, el control de los interruptores del sistema de conmutación se puede determinar con base en una selección de usuario, una lectura de sensor, o mediante cualquier otra entrada. En algunas realizaciones, el controlador también puede funcionar para manejar la conectividad una carga y una fuente de potencia pluralidad de celdas 100. En algunas realizaciones, el controlador puede incluir circuitos o lógica adecuada para accionar interruptores de derivación en respuesta a la detección de un voltaje que alcanza un umbral predeterminado (tal como la caída por debajo de un umbral determinado) o cualquier otra métrica adecuada.

Por ejemplo, el controlador puede incluir un microcontrolador programable y/o de estado sólido, circuitos, un circuito integrado o cualesquiera combinaciones de elementos.

Las realizaciones ilustradas anteriormente se han proporcionado únicamente para ilustrar los principios estructurales y funcionales de la presente invención y no pretende ser limitantes. Por el contrario, la presente solicitud pretende abarcar todas las modificaciones, alteraciones, sustituciones y equivalentes dentro del alcance de las reivindicaciones adjuntas.

REIVINDICACIONES

1. Un proceso para operar un sistema de celda electroquímica, en el que el sistema de celda electroquímica comprende:
- 5 (i) por lo menos dos electrodos de combustible para recibir combustible metálico electrodepositado;
- (ii) por lo menos un electrodo oxidante separado del electrodo de combustible;
- 10 (iii) por lo menos un electrodo de carga;
- (iv) un medio iónicamente conductor que comunica los electrodos del sistema de celda electroquímica para conducir iones para soportar reacciones electroquímicas en el combustible, oxidante y electrodos de carga, el medio iónicamente conductor comprende iones de combustible metálico reducible;
- 15 en el que el proceso comprende:
- (i) asignar los electrodos de combustible en unidades, las unidades comprenden: una unidad de descarga y una unidad de carga;
- 20 (ii) operar dicho sistema de celda en un modo de descarga en el que el combustible metálico se oxida en cada electrodo de combustible en la unidad de descarga y se reduce un oxidante en por lo menos un electrodo oxidante para generar la corriente de descarga eléctrica entre ellas para aplicación a una carga;
- 25 (iii) operar dicho sistema de celda en un modo de carga en el que las especies reducibles del combustible se reducen para electrodepositar el combustible en cada electrodo de combustible en la unidad de carga y oxidar una especie oxidable del oxidante en el electrodo de carga mediante la aplicación de una corriente de carga eléctrica entre ellas a partir de una fuente de potencia;
- 30 (iv) monitorizar un estado de carga para cada electrodo de combustible en la unidad de descarga durante dicho modo de descarga, en el que cada electrodo de combustible en la unidad de descarga que tiene una confluencia de estado de carga, se asigna un criterio de agotamiento predeterminado desde la unidad de descarga hasta la unidad de carga;
- y
- 35 (v) monitorizar un estado de carga para cada electrodo de combustible en la unidad de carga durante el modo de carga, en el que cada electrodo de combustible en la unidad de carga tiene una confluencia de estado de carga, se asigna un criterio de carga predeterminado a partir de la unidad de carga a la unidad de descarga.
2. El proceso de acuerdo con la reivindicación 1, en el que el electrodo de carga se selecciona del grupo que consiste de (a) el electrodo oxidante, (b) un tercer electrodo, y (c) parte del electrodo de combustible.
- 40 3. El proceso de acuerdo con la reivindicación 1, en el que el criterio de agotamiento predeterminado es un estado de la carga por debajo de un umbral en el rango de 0% a 20%.
- 45 4. El proceso de acuerdo con la reivindicación 1, en el que el criterio de carga predeterminado es el estado de carga por encima de un umbral en el rango de 90 a 100%.
5. El proceso de acuerdo con la reivindicación 1, en el que las unidades dentro de las cuales el arco de electrodos de combustible distribuido adicionalmente comprende una unidad de acondicionamiento; y, el proceso comprende adicionalmente acondicionar cada electrodo de combustible dentro de la unidad de acondicionamiento.
- 50 6. El proceso de acuerdo con la reivindicación 5, en el que el acondicionamiento de cada uno de los electrodos de combustible dentro de la unidad de acondicionamiento comprende un proceso de restablecimiento configurado para retirar las formaciones dendríticas presentes en cada electrodo de combustible en la unidad de acondicionamiento.
- 55 7. El proceso de acuerdo con la reivindicación 5, en el que el acondicionamiento de cada electrodo de combustible dentro de la unidad de acondicionamiento comprende pulsos de carga - descarga para retirar formaciones dendríticas en cada electrodo de combustible en la unidad de acondicionamiento.
- 60 8. El proceso de acuerdo con la reivindicación 5, en el que el acondicionamiento de cada uno de los electrodos de combustible dentro de la unidad de acondicionamiento comprende descargar corriente de descarga eléctrica de los electrodos de combustible en la unidad de acondicionamiento para aplicación a la carga.
9. Un sistema de celda electroquímica, en el que el sistema de celda electroquímica comprende
- 65 (i) por lo menos dos electrodos de combustible para recibir combustible metálico electrodepositado;

(ii) por lo menos un electrodo oxidante separado del electrodo de combustible;

(iii) por lo menos un electrodo de carga;

(iv) un medio iónicamente conductor que comunica los electrodos del sistema de celda electroquímica para conducir iones para soportar reacciones electroquímicas en el combustible, oxidante y electrodos de carga, el medio iónicamente conductor comprende iones de combustible metálico reducible;

y,

uno o más controladores configurados para:

asignar los electrodos de combustible en unidades, las unidades comprenden: una unidad de descarga y una unidad de carga;

operar el sistema de celda en un modo de descarga en el que el combustible metálico se oxida en cada electrodo de combustible en la unidad de descarga y se reduce un oxidante en por lo menos un electrodo oxidante para generar una corriente de descarga eléctrica entre ellos para aplicación a una carga;

operar el sistema de celdas en un modo de carga en el que las especie reducibles del combustible se reducen a electro depósitos el combustible en cada electrodo de combustible en la unidad de carga y oxidar una especie oxidable del oxidante en el electrodo de carga mediante la aplicación de una corriente de carga eléctrica desde de una fuente de potencia eléctrica;

monitorizar un estado de carga para cada electrodo de combustible en la unidad de descarga durante el modo de descarga, en el que uno o más controladores se configuran adicionalmente para asignar cada electrodo de combustible en la unidad de descarga que tiene una confluencia de estado de descarga un criterio de agotamiento predeterminado de la unidad de descarga a la unidad de carga, y

monitorizar un estado de carga de cada electrodo de combustible en la unidad de carga durante el modo de carga, en el que uno o más controladores se configuran adicionalmente para asignar cada electrodo de combustible en la unidad de carga que tiene una confluencia de estado de carga, un criterio de carga predeterminada desde la unidad de carga hasta la unidad de descarga.

10. El sistema de celda electroquímica de acuerdo con la reivindicación 9, el electrodo de carga se selecciona del grupo que consiste del (a) el electrodo oxidante, (b) un tercer electrodo y (c) parte del electrodo de combustible.

11. El sistema de celda electroquímica de acuerdo con la reivindicación 9, en el que el electrodo de carga de combustible de la primera celda electroquímica de cuerpos permeables electrodo dispuestos relación separada

12. El sistema de celda electroquímica de acuerdo con la reivindicación 9, en el que el sistema de celda electroquímica comprende adicionalmente un sistema de conmutación, en el que el sistema de conmutación comprende un interruptor asociado con cada electrodo de combustible del sistema de celda electroquímica.

13. El sistema electroquímico de acuerdo con la reivindicación 12, en el que dicho interruptor se configura para operar como una resistencia variable; y en el que la resistencia de dicho interruptor se regula mediante el controlador.

FIG. 1

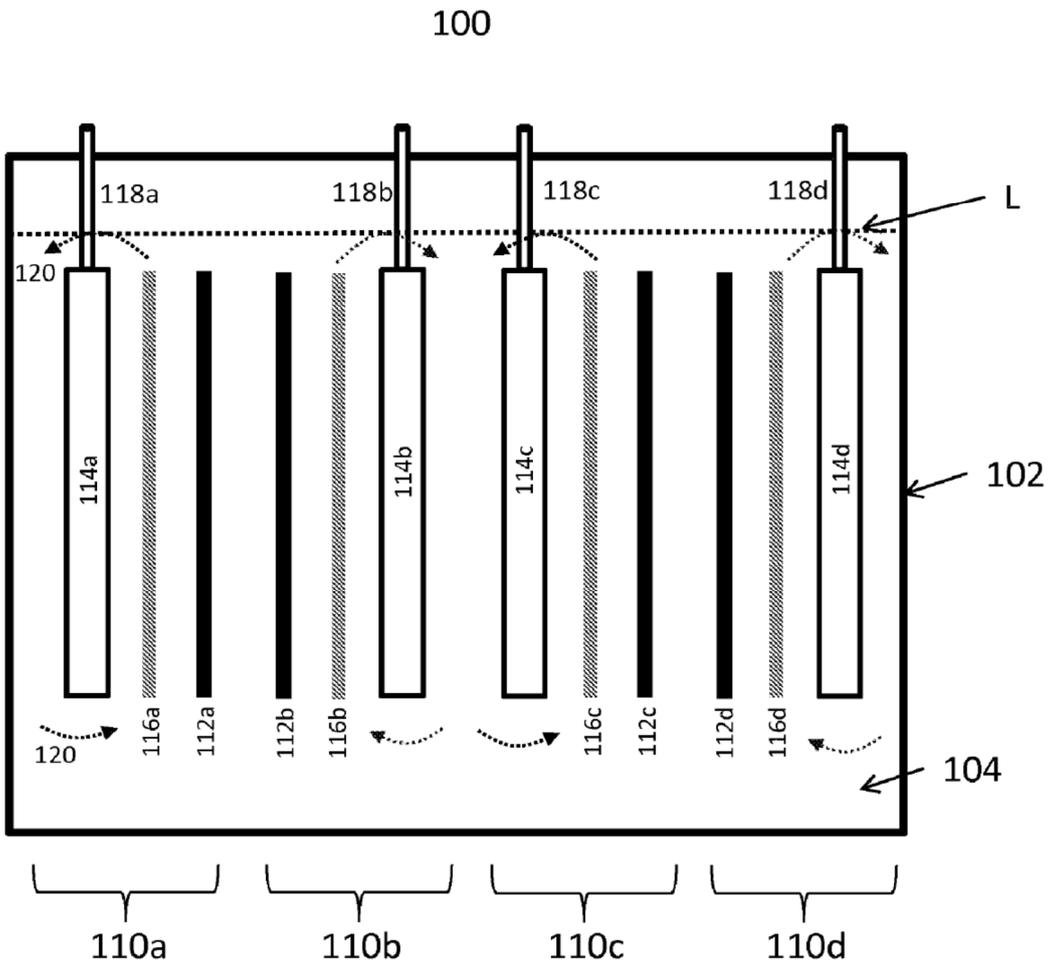


FIG. 2

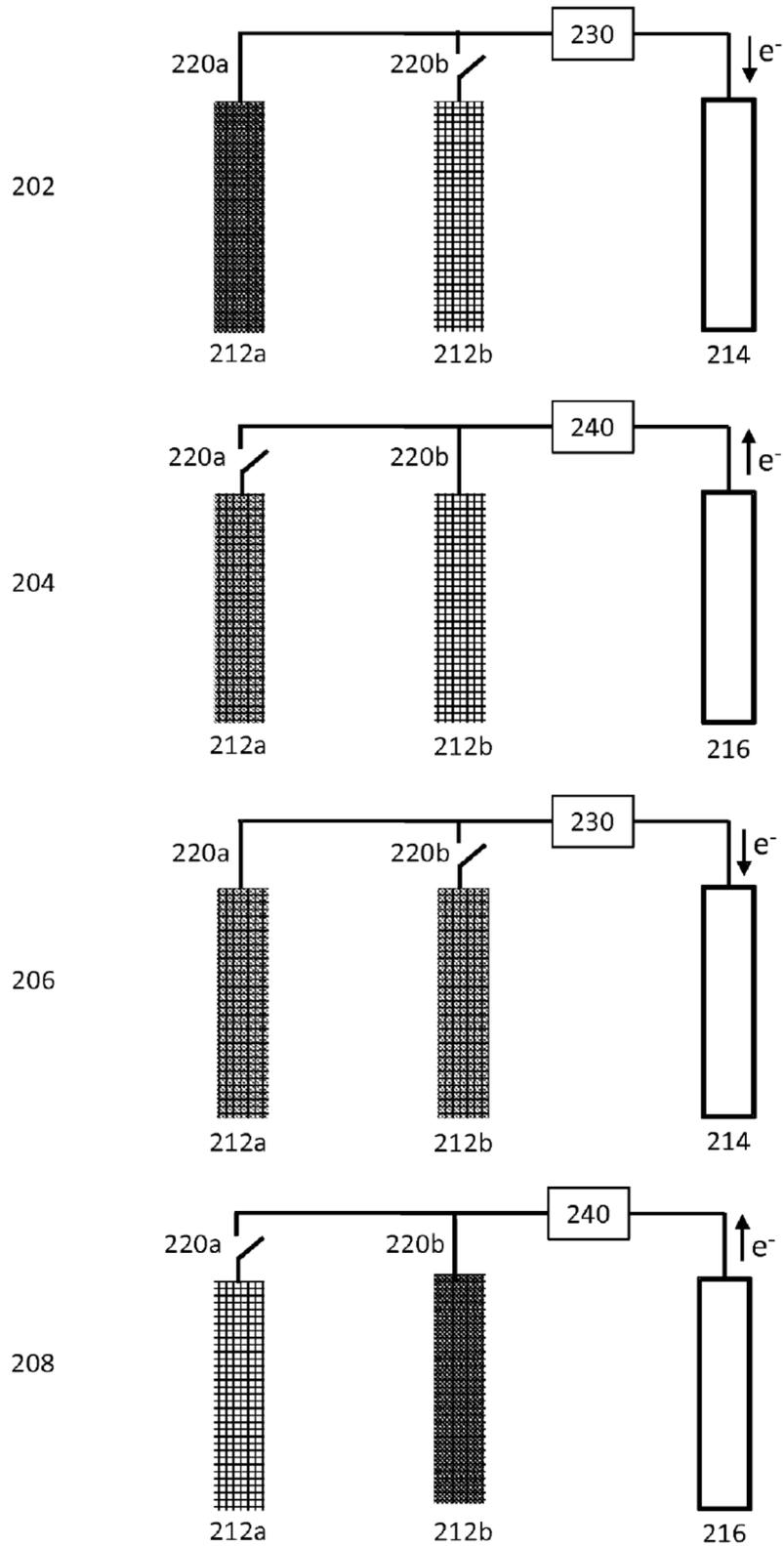


FIG. 3

