

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 733 323**

51 Int. Cl.:

C25B 13/04 (2006.01)

H01M 10/0565 (2010.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **15.01.2013** **PCT/US2013/021587**

87 Fecha y número de publicación internacional: **25.07.2013** **WO13109542**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **15.01.2013** **E 13738140 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **19.06.2019** **EP 2804967**

54 Título: **Electrolito sólido conductor de ion alcalino compuesto**

30 Prioridad:

16.01.2012 US 201261587044 P

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

28.11.2019

73 Titular/es:

ENLIGHTEN INNOVATIONS INC. (100.0%)

Suite 201, 1100 1st St. SE

Calgary, Alberta T2G 1B1, CA

72 Inventor/es:

JOSHI, ASHOK y

BHAVARAJU, SAI

74 Agente/Representante:

SÁEZ MAESO, Ana

ES 2 733 323 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

Electrolito sólido conductor de ion alcalino compuesto

5 Campo de la invención

La presente invención se refiere en general a celdas electroquímicas que comprenden una membrana de electrolito conductora de iones alcalinos compuesta. Más particularmente, la presente invención se refiere a sistemas y métodos para operar una celda electroquímica en condiciones ácidas, condiciones básicas, algunas condiciones neutras químicamente reactivas o condiciones que involucran soluciones orgánicas.

Antecedentes de la invención

Las celdas electroquímicas que comprenden membranas cerámicas que transportan iones selectivamente son conocidas en la técnica. Al tener una membrana selectiva de iones en la celda electroquímica, se permite que ciertos iones pasen entre el compartimiento de anolito de la celda y el compartimiento del catolito mientras que otros químicos se mantienen en sus compartimientos originales. Por lo tanto, mediante el uso de una membrana específica de iones, una celda electroquímica puede diseñarse para que sea más eficiente y produzca diferentes reacciones químicas que las que de otra manera ocurrirían sin la membrana.

Estas membranas selectivas de iones pueden ser selectivas a los aniones o cationes. Además, algunas membranas selectivas para cationes son capaces de transportar selectivamente cationes alcalinos. A modo de ejemplo, las membranas NaSICON (Na Super Ion Conducting) transportan selectivamente los cationes de sodio, mientras que las membranas LiSICON (Li Super Ion Conducting) y KSICON (K Super Ion CONducting) transportan selectivamente los cationes de litio y potasio, respectivamente.

Un ejemplo de una celda electroquímica convencional se ilustra en la FIG. 1. Específicamente, la fig. 1 ilustra una celda 110 electrolítica que comprende un compartimiento 112 de anolito y un compartimiento 114 de catolito que están separados por una membrana 116 de NaSICON.

Bajo algunos métodos convencionales, mientras la celda 110 opera, el compartimiento 112 de anolito comprende una solución acuosa de sal alcalina (por ejemplo, sodio) (NaX, en donde X comprende un anión capaz de combinarse con un catión de sodio para formar una sal) y la corriente pasa entre un ánodo 118 y un cátodo 120. Además, la fig. 1 muestra que a medida que la celda 110 opera, el agua (H₂O) se puede dividir en el ánodo 118 para formar gas de oxígeno (O₂) y protones (H⁺) a través de la reacción $2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{O}_2 + 4\text{H}^+ + 4\text{e}^-$. La fig. 1 muestra además que la sal de sodio NaX en la solución de anolito se puede dividir (de acuerdo con la reacción $\text{NaX} + \text{H}^+ \rightarrow \text{HX} + \text{Na}^+$) para: (a) permitir que los cationes de sodio (Na⁺) sean transportados a través de la membrana 116 NaSICON hacia el compartimiento 114 del catolito y (b) para permitir que los aniones (X⁻) se combinen con protones para formar un ácido (HX) que corresponde a la sal de sodio original. Del mismo modo, la fig. 1 muestra que a medida que la celda 110 opera, el agua (H₂O) se puede dividir en el cátodo 220 para formar gas hidrógeno (H₂) e iones hidroxilo (OH⁻) a través de la reacción $2\text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_2 + 2\text{OH}^-$. La fig. 1 muestra además que los cationes de sodio transportados a través de la membrana de 116 NaSICON se pueden combinar con iones hidroxilo en la solución de catolito de acuerdo con la reacción $\text{OH}^- + \text{Na}^+ \rightarrow \text{NaOH}$.

Como las celdas electroquímicas operan con la membrana selectiva de iones alcalinos expuesta a condiciones adversas, algunas de estas celdas pueden tener deficiencias. En un ejemplo, a un pH más bajo, como un pH inferior a aproximadamente 5, ciertas membranas cerámicas conductoras de iones alcalinos, como las membranas NaSICON, pueden volverse menos eficientes o incapaces de transportar cationes alcalinos. Por consiguiente, a medida que la celda electroquímica funciona y se produce ácido en el compartimiento de anolito, la celda puede volverse menos eficiente o incluso inoperable. En otro ejemplo, el ácido producido en el compartimiento de anolito puede dañar la membrana selectiva de iones alcalinos, como una membrana NaSICON, y acortar así su vida útil.

En otros ejemplos, las celdas electroquímicas pueden operarse utilizando soluciones de catolito y/o anolito (como soluciones básicas; soluciones orgánicas; soluciones neutras que contienen un ion perjudicial, como potasio, litio o cesio, que afectan la eficiencia de la membrana; etc.) que son químicamente reactivo, o que de otra manera daña o reduce la eficiencia de la membrana de electrolito conductora de iones alcalinos. Si bien estas soluciones pueden agregarse directamente a la celda, en algunos casos, las soluciones se generan a medida que la celda funciona. Por ejemplo, cuando la celda comprende un solvente orgánico (por ejemplo, etilenglicol, hexanol, etc.), el funcionamiento de la celda, especialmente a altos voltajes y por largos períodos de tiempo, puede hacer que el solvente orgánico reaccione y forme una película resistiva sobre la membrana y, por lo tanto, reducir la eficiencia global de la celda. Además, en algunos casos en los que la celda comprende un compuesto orgánico (por ejemplo, metanol), el compuesto orgánico desarrolla protones a medida que la celda funciona, lo que, a su vez, puede disminuir el pH del disolvente en contacto con la membrana. En otros casos en los que la celda (por ejemplo, una batería) comprende un compuesto fluorado (por ejemplo, LiPF₆) e incluso una cantidad mínima de agua, la celda puede funcionar para producir ácido fluorhídrico (HF) y, por lo tanto, reducir el pH de los materiales en contacto con la membrana. Como se

discutió anteriormente, esta reducción en el pH de los materiales que entran en contacto con la membrana pueden hacer que la celda sea menos eficiente o incluso inoperable.

5 En otros ejemplos más, las celdas electroquímicas pueden hacerse funcionar usando metales fundidos, tales como materiales de ánodo o cátodos fundidos que pueden ser químicamente reactivos a la membrana de electrolito conductora de iones alcalinos. En aún otros ejemplos, las celdas electrolíticas pueden hacerse funcionar usando sales fundidas que pueden ser químicamente reactivas a la membrana de electrolito conductora de iones alcalinos.

10 Por lo tanto, aunque se conocen celdas electroquímicas que comprenden un compartimiento de catolito y un compartimiento de anolito que están separados por una membrana conductora de iones alcalinos, aún existen desafíos, incluidos los mencionados anteriormente. Por consiguiente, sería una mejora en la técnica aumentar o incluso reemplazar las celdas electroquímicas actuales con otras celdas o métodos para usar las celdas. Más específicamente, sería una mejora en la técnica proteger la membrana electrolítica conductora de iones alcalinos de reacciones químicas no deseadas y mantener así su conductividad de iones alcalinos.

15 Breve resumen de la invención.

20 La presente invención proporciona sistemas y métodos para proteger un material de electrolito conductor de iones alcalinos cuando el material se usa en una celda electroquímica que tiene condiciones que atacarían, degradarían, disolverían, corroerían, reducirían la eficiencia o afectarían adversamente de otra forma la función apropiada del material si no estuviera protegido. En algunos casos, para proteger el material conductor de iones alcalinos, el material comprende una membrana electrolítica conductora de iones alcalinos compuesta que tiene una capa de uno o más compuestos alcalinos dispuestos en un lado de anolito y/o catolito del material conductor de iones alcalinos.

25 En un primer aspecto de la invención, se proporciona una celda electroquímica, que comprende:

un compartimiento de anolito para contener una solución de anolito, comprendiendo el compartimiento de anolito un ánodo posicionado para contactar con la solución de anolito;

30 un compartimiento de catolito para contener una solución de catolito, comprendiendo el compartimiento de catolito un cátodo posicionado para contactar con la solución de catolito; y

una membrana electrolítica conductora de iones alcalinos compuesta colocada entre el compartimiento de anolito y el compartimiento del catolito, en donde la membrana electrolítica compuesta comprende:

35 una capa de material conductor de iones alcalino;

donde:

40 el material conductor de iones alcalino comprende un material conductor de super iones de metal alcalino (MeSICON) seleccionado de NaSICON, LiSICON y KSICON; y

45 una capa de compuesto alcalino que es eléctricamente o iónicamente conductora y que es químicamente estable después de la exposición a la solución de anolito o la solución de catolito protegiendo así la capa de material conductor de iones alcalino de una reacción química no deseada, y en donde la capa de compuesto alcalino conduce iones alcalinos;

50 en donde el compuesto alcalino se selecciona entre un compuesto de intercalación alcalino basado en carbono, un material de electrodo de intercalación que contiene álcali y una amalgama o aleación de metal alcalino o compuesto intermetálico.

En un segundo aspecto de la invención, se proporciona un método para operar una celda electroquímica del primer aspecto, el método comprende:

55 proporcionar la celda electroquímica;

añadir la solución de catolito que contiene iones alcalinos al compartimiento de catolitos y la solución de anolito que contiene iones alcalinos al compartimiento de anolitos; y

60 pasar una corriente entre el ánodo y el cátodo.

En un tercer aspecto de la invención, se proporciona un método para producir ácido láctico, comprendiendo el método:

65 proporcionar una celda electrolítica del primer aspecto;

añadir una solución de anolito que comprende una sal de lactato alcalino al compartimiento de anolito;

añadir una solución de catolito que comprende un hidróxido alcalino al compartimento del catolito; y

pasar una corriente entre el ánodo y el cátodo para causar que se forme ácido láctico en el compartimento del anolito.

El material electrolito conductor de iones alcalinos puede incluir, pero no se limita a, un material conductor de súper iones de metal alcalino (MeSICON), donde "Me" representa un metal alcalino seleccionado de Na, Li y K. Los materiales MeSICON como se utilizan aquí son NaSICON, LiSICON, KSICON.

El compuesto alcalino puede proteger el material conductor de iones alcalino de condiciones adversas mientras que permite que el material transporte selectivamente iones alcalinos. Por consiguiente, el compuesto alcalino es capaz de conducir iones alcalinos. El compuesto alcalino de la presente invención puede ser un compuesto de intercalación alcalino basado en carbono, un material de electrodo de intercalación que contiene álcali, una amalgama o aleación de metal alcalino o un compuesto intermetálico. El compuesto alcalino de la presente invención puede ser un conductor de iones alcalino o un conductor electrónico/iónico mixto o un conductor electrónico. Por lo tanto, aunque algunas realizaciones no limitativas del compuesto alcalino (por ejemplo, carbono intercalado con NaMnO_2 Na o aleación que contiene Na) son eléctricamente conductoras, otras realizaciones no limitativas del compuesto alcalino (por ejemplo, NaAlO_2 , NaFeO_2) son eléctricamente aislantes. En algunas realizaciones, la capa de compuesto alcalino también es químicamente estable tras la exposición a la solución de anolito y/o solución de catolito, protegiendo así el material conductor de iones alcalinos de una reacción química no deseada. A modo de ejemplo no limitativo, el compuesto alcalino puede ser químicamente estable en (o de otra manera proteger el material conductor de ión alcalino): bajo condiciones ácidas, en condiciones básicas, en presencia de compuestos orgánicos, en presencia de compuestos de pH neutro que tienen uno o más productos químicos (p. ej., potasio) que pueden afectar de manera adversa al material conductor de iones alcalinos, en presencia de compuestos que generan protones, en presencia de productos químicos oxidantes, en presencia de materiales energéticos, en la presencia de químicos corrosivos, en presencia de metales fundidos o sales fundidas, cuando se exponen a sales orgánicas disueltas en disolventes orgánicos o iónicos líquidos, y/o en otras condiciones que afectarían adversamente al material conductor de iones alcalino si el compuesto alcalino no estuviera presente.

El compuesto alcalino puede comprender un compuesto de intercalación alcalino basado en carbono. Los ejemplos no limitantes de compuesto de intercalación alcalina a base de carbono incluyen un compuesto de intercalación de grafito, carbono mesoporoso, diamante dopado con boro, grafeno y combinaciones de los mismos. En algunas realizaciones no limitantes, el compuesto alcalino comprende uno o más materiales de electrodo de intercalación que contienen álcali, que pueden incluir, pero no están limitados a, un óxido de cobalto alcalino (MCoO_2), un fosfato de hierro alcalino (MFePO_4), un manganoso alcalino dióxido (MMnO_2), un óxido de manganoso alcalino (MMn_2O_4), un óxido de hierro alcalino (MFeO_2) y un óxido de níquel alcalino (MNiO_2), en donde M es un metal alcalino (por ejemplo, Na, Li, K, etc.). Ejemplos adicionales, no limitativos, de materiales de intercalación que contienen álcali incluyen birnessita (por ejemplo, $(\text{Na}_{0.3}\text{Ca}_{0.1}\text{K}_{0.1}) (\text{Mn}^{4+}, \text{Mn}^{3+})_2\text{O}_4 \cdot 1.5\text{H}_2\text{O}$) y todorokita (por ejemplo, $(\text{Mn}, \text{Mg}, \text{Ca}, \text{Ba}, \text{K}, \text{Na})_2\text{Mn}_2\text{O}_7 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$).

En algunas realizaciones no limitantes, el compuesto alcalino comprende una amalgama o aleación de metal alcalino. En tales realizaciones, la amalgama o aleación de metal alcalino o compuesto intermetálico puede comprender un metal alcalino y metales que se sabe que forman dicha amalgama o aleación o compuesto intermetálico a partir de ese metal alcalino específico. Para un primer ejemplo no limitativo, cuando el metal alcalino es sodio, el metal puede seleccionarse entre mercurio, plomo, zinc, estaño, fósforo y cadmio. Para un segundo ejemplo no limitativo, cuando el metal alcalino es litio, el metal puede seleccionarse entre aluminio, silicio, germanio, fósforo, bismuto, mercurio, plomo y estaño. La concentración del metal alcalino en la amalgama o aleación puede variar, en algunas realizaciones no limitativas, de aproximadamente el 0.01 por ciento molar a aproximadamente el 10 por ciento molar.

En algunas implementaciones no limitantes, la membrana electrolítica conductora de iones alcalinos compuesta incluye además una o más capas conductoras de cationes que son resistentes a las condiciones ácidas, son resistentes a las condiciones básicas, o inertes, o que son capaces de proteger la membrana conductora del ion alcalino. En algunas realizaciones no limitativas, la capa conductora de cationes (por ejemplo, un material resistente a los ácidos, como un polímero NAFION®) está dispuesta entre el material conductor de iones alcalinos y el ánodo (por ejemplo, entre la capa de compuesto alcalino y el ánodo). Sin embargo, en otras realizaciones no limitantes, la capa conductora de cationes (por ejemplo, un material resistente a la base) está dispuesta entre el material conductor de iones alcalinos y el cátodo (por ejemplo, entre la capa de intercalación y el cátodo).

La celda electroquímica descrita comprende un compartimento de anolito y un compartimento de catolito que están separados por la membrana de electrolito conductora de iones alcalinos compuesta. El compartimento de anolito comprende un ánodo que está colocado para contactar con una solución de anolito. El compartimento del catolito comprende un cátodo que está posicionado para entrar en contacto con una solución de catolito. La celda también comprende una fuente de alimentación que es capaz de pasar corriente entre el ánodo y el cátodo. En algunas realizaciones, cuando la fuente de energía se usa para pasar corriente entre los electrodos, la solución de anolito puede volverse más ácida, la solución de catolito puede volverse más básica, se puede formar una capa orgánica resistente dentro de la celda o las condiciones operativas de la celda de lo contrario, podría volverse cada vez más

adverso para el correcto funcionamiento del material conductor de iones alcalinos, es decir, si el material no estuviera protegido por la capa de compuesto alcalino.

Aunque algunos ejemplos divulgados en el presente documento se refieren a membranas de NaSICON, se apreciará además que el aparato y los métodos dentro del alcance de la presente invención se pueden usar en relación con LiSICON y KSICON. Por ejemplo, en lugar de usar una celda electroquímica que incluye una membrana NaSICON y una solución de anolito con una sal de sodio (NaX), los sistemas y métodos descritos pueden usarse con cualquier otra sal alcalina adecuada (LiX o KX) o material que contenga álcali y con cualquier otra membrana conductora de cationes alcalinos adecuada (una membrana LiSICON o una membrana KSICON) que sea capaz de transportar cationes (Li^+ o K^+) desde el compartimento del anolito al compartimento del catolito.

Aunque los sistemas descritos se muestran con la membrana electrolítica conductora de iones alcalinos compuesta orientada verticalmente, se entenderá que la membrana electrolítica compuesta puede orientarse horizontalmente o en cualquier otra configuración u orientación adecuada. Además, mientras que la membrana electrolítica conductora de iones alcalinos compuesta se describe generalmente aquí como utilizada en una celda electrolítica, la membrana se puede usar en cualquier otra celda electroquímica adecuada en la que la capa de compuesto alcalino se puede usar para proteger el material conductor de iones alcalinos que de otro modo serían adversas para el funcionamiento del material conductor de iones. Algunos ejemplos no limitativos de tales celdas electroquímicas incluyen baterías y celdas de combustible.

La celda electrolítica de la presente invención se puede usar con metales alcalinos y ácidos correspondientes a las sales alcalinas usadas en el anolito. Además, se apreciará que pueden producirse otras reacciones electrolíticas que dan como resultado la formación de protones y la disminución correspondiente del pH dentro del compartimento de anolito, para que la celda electrolítica de la presente invención pueda usarse para resolver este problema. La celda electrolítica de la presente invención se puede usar con una amplia variedad de productos químicos y componentes, incluidos, sin limitación, solventes acuosos, solventes orgánicos, solventes neutros, medios de solvente líquidos iónicos, sales fundidas, electrodos sólidos o fundidos, y un número de otros componentes convencionales y productos químicos.

Las celdas electroquímicas que comprenden membranas selectivas de iones alcalinos (como se describe en el presente documento) se pueden usar en una variedad de otras aplicaciones, incluida la producción de una variedad de productos químicos diferentes, para realizar diversos procesos químicos y en dispositivos de almacenamiento de energía (como baterías). A modo de ejemplo, algunas celdas electroquímicas de la presente invención se pueden usar: (1) para convertir las sales alcalinas en sus correspondientes ácidos (por ejemplo, para producir ácido clorhídrico a partir de salmuera de cloruro de sodio), (2) para separar los metales alcalinos de las sales alcalinas mixtas (por ejemplo, para separar los iones de sodio de una solución que contiene otras sales de metales (por ejemplo, Li, K, Mg, Ca, Al, Fe, Ni, etc.), (3) para producir químicos oxidantes (por ejemplo, hipohalito de sodio, dióxido de halógeno, ozono, halita de sodio, etc.) en un compartimento de ánodo, (4) para producir compuestos energéticos (p. ej., metóxido de sodio o metal de sodio) en un compartimento de cátodo, (5) como baterías primarias o secundarias basadas en metales alcalinos (por ejemplo, una batería que contiene un ánodo de metal de sodio, un cátodo de interacción con óxido de manganeso de sodio, etc.), y (6) para descarboxilar el carboxilato alcalino en disolventes orgánicos (por ejemplo, para producir octano a partir de valerato de sodio).

En cada una de las aplicaciones mencionadas anteriormente, se espera que la membrana selectiva de iones alcalinos de la presente invención funcione de manera estable, incluso cuando se somete a una o más condiciones adversas. Por ejemplo, en algunas aplicaciones, la membrana selectiva de iones alcalinos puede necesitar continuar transportando iones alcalinos específicos: (1) en condiciones ácidas; (2) en condiciones básicas; (3) en condiciones neutras que comprenden un material, como el potasio, que puede reducir la eficiencia de la membrana; (4) en presencia de productos químicos oxidantes, como halógenos, cloratos, etc.; (5) en presencia de materiales energéticos, tales como metóxidos alcalinos, metales alcalinos (fundidos o sólidos) en la superficie de la membrana orientada hacia el cátodo; (6) en presencia de materiales energéticos, tales como metales alcalinos (fundidos o sólidos) en la superficie de la membrana orientada hacia el ánodo; (7) en presencia de compuestos orgánicos y sales, tales como carboxilatos de sodio, disueltos en disolventes orgánicos o iónicos líquidos; o en otras condiciones que normalmente tienden a corroer, desactivar o afectar negativamente a la membrana.

Estas características y ventajas de la presente invención se harán más evidentes a partir de la siguiente descripción y las reivindicaciones adjuntas, o pueden aprenderse mediante la práctica de la invención tal como se expone a continuación.

Breve descripción de los varios dibujos

Con el fin de que la manera en que se citaron anteriormente y otras características y ventajas de la invención se obtengan y se entiendan fácilmente, una descripción más particular de la invención descrita brevemente más arriba se presentará con referencia a realizaciones específicas de la misma que se ilustran en los dibujos adjuntos, al comprender que los dibujos representan solo realizaciones típicas de la invención y, por lo tanto, no deben

considerarse limitantes de su alcance, la invención se describirá y explicará con mayor especificidad y detalle mediante el uso de los dibujos adjuntos, en los que:

5 La figura 1 representa un diagrama esquemático de una realización de una celda electrolítica de la técnica anterior que comprende una membrana conductora de cationes;

La figura 2 representa un diagrama esquemático de una realización representativa de una celda electroquímica que comprende una membrana de electrolito conductora de ión alcalino compuesta;

10 La figura 3 representa un diagrama esquemático de una realización representativa de la membrana electrolítica conductora de iones alcalinos compuesta;

La figura 4 representa un diagrama esquemático de una realización representativa de una amalgama o aleación de metal alcalino que funciona como un electrodo bipolar;

15 La figura 5 representa un diagrama esquemático de una realización representativa de la celda electroquímica que comprende la membrana de electrolito conductora de iones alcalinos compuesta, en la que un compuesto alcalino está configurado para funcionar como un cátodo secundario;

20 La figura 6 representa un diagrama esquemático de una realización representativa de la celda electroquímica en la que una capa del compuesto alcalino está dispuesta en el lado del catolito de la membrana del electrolito conductor de iones alcalino; y

25 La figura 7 representa un diagrama esquemático de una realización representativa de una celda electroquímica en la que se disponen capas del compuesto alcalino en ambos lados de la membrana de electrolito conductora de iones alcalinos.

Descripción detallada de la invención

30 La referencia en esta especificación a "una realización", "una realización" o un lenguaje similar significa que una característica, estructura o característica particular descrita en relación con la realización se incluye en al menos una realización de la presente invención. Por lo tanto, las apariciones de las frases "en una realización", "en una realización" y un lenguaje similar a lo largo de esta especificación pueden, pero no necesariamente, todo referirse a la misma realización.

35 Además, las características, estructuras o características descritas de la invención pueden combinarse de cualquier manera adecuada en una o más realizaciones. En la siguiente descripción, se proporcionan numerosos detalles específicos, tales como ejemplos de membranas electrolíticas conductoras de iones alcalinos, compuestos de intercalación alcalinos, soluciones de anolitos, soluciones de catolitos, celdas electroquímicas, etc., para proporcionar una comprensión completa de las realizaciones de la invención. Un experto habitual en la técnica relevante reconocerá, sin embargo, que la invención puede ponerse en práctica sin uno o más de los detalles específicos, o con otros métodos, componentes, materiales, etc. En otros casos, las estructuras, materiales u operaciones bien conocidas no se muestran ni describen en detalle para evitar oscurecer los aspectos de la invención.

45 La presente invención se refiere a sistemas y métodos para proteger un material electrolito conductor de iones alcalinos cuando el material se usa en una celda electroquímica (por ejemplo, una celda electrolítica) que tiene condiciones reactivas o especies químicamente reactivas que atacarían, degradarían, disolverían, corroerían desactivar, reducir la eficiencia o, de lo contrario, tener un efecto adverso en el material si el material no estuviera protegido adecuadamente. Para proteger el material, el material comprende una membrana electrolítica conductora de iones alcalinos compuesta que tiene una o más capas de un compuesto alcalino dispuesto en uno o ambos lados del material conductor de iones alcalinos. A este respecto, el compuesto alcalino es químicamente estable tras la exposición a tales condiciones reactivas o especies químicamente reactivas y, por lo demás, es capaz de proteger la membrana de electrolito conductora de iones alcalinos de la reacción química, la degradación y otros efectos de condiciones adversas.

55 En algunos ejemplos no limitantes, las celdas electroquímicas (por ejemplo, electrolíticas) pueden funcionar bajo condiciones ácidas en el compartimiento de anolito. En otros ejemplos no limitativos, las celdas electroquímicas pueden operarse utilizando soluciones de catolito y/o anolito (por ejemplo, soluciones básicas; soluciones que contienen compuestos orgánicos, sustancias químicas oxidantes, materiales energéticos y/o sales orgánicas; soluciones neutras que comprenden sustancias químicas que inhiben la membrana, tal como potasio, compuestos que desarrollan protones, etc.) que son químicamente reactivos o que de otra manera afectarían adversamente al material de electrolito conductor de iones alcalinos. Esto puede resultar de especies químicas disueltas en el solvente, del solvente en sí mismo, o de especies químicas que se forman como funciones de la celda. En otros ejemplos no limitativos, las celdas electrolíticas funcionan utilizando metales fundidos, como los ánodos fundidos o los materiales del cátodo que pueden ser químicamente reactivos al material electrolito conductor de iones alcalinos. En otros ejemplos no limitativos, las celdas electrolíticas funcionan utilizando sales fundidas que pueden ser químicamente reactivas al material electrolito conductor de iones alcalinos. Para proporcionar una mejor comprensión de los sistemas

y métodos descritos, primero se describe una realización no limitativa de una celda electroquímica, seguida de una descripción de una variedad de métodos para usar la celda.

A modo de ilustración no limitativa, la fig. 2 ilustra una realización representativa en la que una celda electroquímica (por ejemplo, una celda electrolítica) 210 comprende un compartimento 212 de anolito y un compartimento 214 de catolito que están separados por una membrana 215 compuesta de electrolito conductor de iones alcalinos. La fig. 2 muestra además que, si bien, en algunas realizaciones, el compartimento 212 de anolito aloja un electrodo 218 de ánodo que está colocado para contactar con una solución de anolito o anolito, en algunas realizaciones, el compartimento 214 de catolito comprende un electrodo 220 de cátodo que está colocado para contactar con una solución de catolito o catolito.

Además, la fig. 2 muestra que la membrana 215 de electrolito compuesto incluye un material 216 de electrolito conductor de iones alcalinos y una capa que comprende un compuesto 222 alcalino. En esta realización particular, la FIG. 2 también muestra que el compuesto 222 alcalino está dispuesto entre el material 216 conductor de iones alcalino y el ánodo 218. Aunque no se muestra en la FIG. 2, el compuesto 222 alcalino se puede disponer alternativamente, o, además, entre el material 216 conductor de iones alcalino y el cátodo 220.

Con respecto al material 216 electrolito conductor de iones alcalino, ese material puede comprender cualquier material conductor de super iones de metal alcalino (MeSICON) que sea adecuado para su uso en una celda electroquímica y que pueda protegerse de condiciones adversas (por ejemplo, condiciones ácidas, condiciones básicas, electrodos fundidos, etc.) por el compuesto 222 alcalino (descrito a continuación). Los materiales MeSICON adecuados son NaSICON, LiSICON y KSICON.

El compuesto 222 alcalino se selecciona para proteger el material 216 conductor de iones alcalino de las especies químicas y las condiciones que de otro modo serían adversas para la membrana. De hecho, en algunas realizaciones no limitantes, el compuesto se selecciona para ser químicamente estable en, o de otra manera proteger el material conductor de ión alcalino de, condiciones ácidas, condiciones básicas, condiciones neutras (por ejemplo, en una solución que comprende potasio), metal fundido (p. ej., un ánodo o cátodo fundido) o sal fundida (p. ej., un electrolito fundido), un compuesto orgánico o productos del mismo, y/u otras especies o condiciones químicas que de otra manera afectarían de manera adversa la función adecuada y el material conductor iónico alcalino. A modo de ejemplo no limitativo, al ser estable o tolerante a las condiciones ácidas, el compuesto 222 alcalino es capaz de proteger el material 216 conductor de iones alcalinos del ácido producido en la celda (por ejemplo, en la solución de anolito). En otro ejemplo no limitante, al ser estable o tolerante a las condiciones básicas, la capa de compuesto 222 alcalino es capaz de proteger el material 216 conductor de iones alcalinos de las bases producidas en la celda (por ejemplo, en la solución de catolito).

El compuesto 222 alcalino comprende cualquier material adecuado que le permita proporcionar una mayor protección al material conductor de iones alcalino y que sea fácilmente conductor a los iones de metales alcalinos para permitir que el material conductor de iones alcalino funcione como se pretende. Los compuestos alcalinos adecuados son uno o más compuestos de intercalación alcalinos basados en carbono, materiales de electrodos de intercalación que contienen álcali, amalgamas de metales alcalinos o aleaciones o compuestos intermetálicos, o una combinación de los mismos.

Algunos ejemplos no limitantes de compuestos de intercalación alcalinos a base de carbono incluyen uno o más compuestos de intercalación de grafito, carbono mesoporoso, diamante dopado con boro y grafeno, que es un alótropo del carbono. A este respecto, el compuesto de intercalación basado en carbono (por ejemplo, grafeno) se puede aplicar al material conductor de iones alcalinos de cualquier manera adecuada, incluyendo, sin limitación, mediante el uso de deposición química de vapor.

Los ejemplos no limitantes de materiales de electrodos de intercalación que contienen álcali incluyen un óxido de cobalto alcalino (MCoO_2), un fosfato de hierro alcalino (MFePO_4), un dióxido de manganeso alcalino (MMnO_2), un óxido de manganeso alcalino (MMn_2O_4), un óxido de hierro alcalino (MeFeO_2), y un óxido de níquel alcalino (MNiO_2), en el que M es un metal alcalino (por ejemplo, Na, Li, K, etc.). Estos compuestos se basan en compuestos análogos utilizados como materiales de electrodo de cátodo en baterías de ión litio. Además, el compuesto de fosfato de hierro alcalino no se limita a los compuestos que contienen hierro, sino que incluye otros metales de transición, como Co, Mn, Ti, etc. Algunos ejemplos adicionales no limitativos de materiales de intercalación que contienen álcali también incluyen birnessita (por ejemplo, $(\text{Na}_{0.3}\text{Ca}_{0.1}\text{K}_{0.1})(\text{Mn}^{4+}, \text{Mn}^{3+})_2\text{O}_4 \cdot 1.5\text{H}_2\text{O}$) y todorokita (por ejemplo, $(\text{Mn}, \text{Mg}, \text{Ca}, \text{Ba}, \text{K}, \text{Na})_2\text{Mn}_2\text{O}_{12} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$).

En algunas realizaciones no limitantes, el compuesto alcalino comprende una amalgama o aleación de metal alcalino. En tales realizaciones, la amalgama o aleación de metal alcalino o compuesto intermetálico puede comprender un metal alcalino y metales que se sabe que forman dicha amalgama o aleación o compuesto intermetálico a partir de ese metal alcalino específico. Para un primer ejemplo no limitativo, cuando el metal alcalino es sodio, el metal puede seleccionarse entre mercurio, plomo, zinc, estaño, fósforo y cadmio. Para un segundo ejemplo no limitativo, cuando el metal alcalino es litio, el metal puede seleccionarse entre aluminio, silicio, germanio, fósforo, bismuto, mercurio, plomo y estaño.

Los ejemplos no limitantes de una amalgama o aleación de metal alcalino incluyen una composición que comprende un metal alcalino y uno o más metales seleccionados de mercurio, plomo, zinc, estaño y cadmio. Un ejemplo no limitativo de una amalgama o aleación de metal alcalino es una amalgama de sodio/mercurio. Las amalgamas de mercurio son estables en ambientes ácidos diluidos, que incluyen, entre otros, ácidos clorhídrico y sulfúrico diluidos. Además, la concentración del metal alcalino en la amalgama o aleación puede estar en cualquier rango adecuado que permita a la amalgama o aleación realizar sus funciones previstas. De hecho, en algunas realizaciones, la concentración del metal alcalino en la amalgama o aleación está entre aproximadamente el 0.01 por ciento molar y aproximadamente el 0.5 por ciento molar.

Además de ser ión conductor, el compuesto 222 de intercalación puede tener cualquier otra característica que le permita funcionar de acuerdo con lo previsto. Por ejemplo, mientras algunas realizaciones no limitantes del compuesto de intercalación (por ejemplo, MMnO_2 , donde M es un metal alcalino) son eléctricamente conductoras, en otras realizaciones no limitantes, el compuesto (por ejemplo, MFeO_2 , donde M es un metal alcalino) es aislante eléctricamente.

La figura 2 también muestra que en algunas realizaciones no limitantes, la celda 210 comprende una fuente 224 de alimentación que es capaz de pasar corriente entre el ánodo 218 y ambos el cátodo 220. Generalmente, a medida que la corriente pasa entre los electrodos, los iones (M^+) de metales alcalinos pasan a través de la membrana 215 de electrolito compuesto. En otras palabras, a medida que la celda funciona, la membrana 215 electrolítica compuesta continúa funcionando incluso cuando está expuesta a condiciones adversas (por ejemplo, condiciones ácidas, condiciones básicas, etc.). Como se usa en el presente documento, las condiciones ácidas incluyen valores de pH por debajo de aproximadamente 7, más específicamente por debajo de aproximadamente 5. Sin embargo, desde un punto de vista práctico, las condiciones ácidas pueden tener un pH mayor que 1, y en algunos casos un pH mayor que 2, y en otros casos un pH mayor que 3. Adicionalmente, como se usa en el presente documento, el término condiciones básicas puede incluir valores de pH por encima de aproximadamente 7, y más particularmente por encima de aproximadamente 9.

En algunas realizaciones no limitantes, la membrana 215 de electrolito de compuesto incluye opcionalmente una capa 226 conductora de cationes, como se muestra en la FIG. 3. A este respecto, la capa 226 conductora de cationes está hecha de un material químicamente resistente que es conductor de cationes alcalinos. Por ejemplo, la capa 226 conductora de cationes puede comprender un material resistente a los ácidos, un material resistente a la base, un material inerte o un material que de otro modo es capaz de proporcionar protección adicional contra especies químicamente reactivas y condiciones de celda adversas. Si bien la capa conductora de cationes puede comprender cualquier material adecuado que le permita brindar protección adicional a la membrana electrolítica compuesta, un ejemplo no limitativo de una capa conductora de cationes adecuada es una membrana NAFION®, producida por DuPont o una membrana polimérica similar.

Cuando la celda 210 comprende la capa 226 conductora de cationes, esa capa se puede disponer en cualquier ubicación adecuada que le permita brindar protección adicional al material 216 conductor de iones alcalinos. En algunas realizaciones no limitantes, la capa conductora de cationes (por ejemplo, un material resistente al ácido) está dispuesta entre el material conductor de iones alcalinos y el ánodo 218 (por ejemplo, entre la capa 222 de compuestos alcalinos y el ánodo). Por lo tanto, en tales realizaciones, la capa 226 conductora de cationes proporciona protección adicional contra las condiciones de operación ácidas y puede permitir que la membrana 215 de electrolito compuesto funcione adecuadamente en condiciones de pH ácido, como un pH de aproximadamente 1 o 2. En otras realizaciones no limitantes (no mostradas), la capa conductora de cationes (por ejemplo, un material resistente a la base) está dispuesta entre el material conductor de iones alcalinos y el cátodo 220 (por ejemplo, entre la capa de intercalación y el cátodo). En aún otras realizaciones, la capa conductora de cationes está dispuesta tanto en el lado del ánodo como en el lado del cátodo del material conductor de iones alcalinos (por ejemplo, entre una primera capa del compuesto de intercalación y el ánodo y entre una segunda capa de la interacción y el cátodo).

Con respecto al electrodo 218 de ánodo, el ánodo puede comprender uno o más de una variedad de materiales que le permiten iniciar una reacción electrolítica deseada en el ánodo 218 cuando el ánodo se pone en contacto con un ánodo y cuando la corriente corre entre el ánodo 218 y el cátodo 220. De hecho, en algunas realizaciones no limitantes, el ánodo comprende opcionalmente un material que permite que el ánodo desarrolle protones (H^+) cuando el ánodo contacta con una solución acuosa de ánodo y como función celular. Algunos ejemplos no limitativos de materiales de ánodo adecuados comprenden ánodo estabilizado dimensionalmente (DSA), titanio platinado, dióxido de rutenio (IV) (RuO_2), grafito, aleaciones de acero inoxidable y otros materiales de ánodos conocidos o novedosos adecuados. Además, en algunas realizaciones no limitantes, el ánodo comprende un metal fundido (por ejemplo, sodio, litio, etc.).

El electrodo 220 de cátodo puede comprender cualquier material adecuado que le permita ser estable en la solución de ánodo e iniciar una reacción electrolítica deseada cuando la corriente pasa entre el cátodo y el ánodo. Algunos ejemplos no limitativos de materiales adecuados que se pueden usar en el cátodo incluyen níquel, aleaciones de acero inoxidable, grafito, titanio, una aleación de níquel-cobalto-ferrosos (por ejemplo, una aleación KOVAR®) y otros materiales de cátodos conocidos o novedosos. Además, en algunas realizaciones no limitantes, el cátodo comprende un electro-catalizador, como el platino, que aumenta la capacidad del cátodo para desarrollar hidrógeno. A modo de

ejemplo no limitativo, el cátodo puede comprender níquel platinado, titanio platinado y/u otros materiales adecuados de electrocatalizador. Además, en algunas realizaciones no limitantes, el cátodo puede comprender un metal fundido.

Con respecto a la solución de anolito en el compartimiento 212 de anolito, el anolito puede comprender inicialmente prácticamente cualquier solución que permita al ánodo 218 iniciar una o más reacciones electroquímicas deseadas (por ejemplo, para desarrollar protones; para funcionar como una batería, celda electrolítica, celda de combustible; etc.) cuando la corriente pasa entre el ánodo y el cátodo 220 primario y/o el segundo cátodo. Sin embargo, en algunas realizaciones no limitantes, el anolito comprende una solución de sal alcalina, que incluye, pero no se limita a, una solución acuosa de sal alcalina. Por ejemplo, cuando la membrana conductora de catión comprende una membrana de tipo NaSICON, el anolito puede comprender una sal de sodio (NaX), que puede incluir, pero no está limitado a, lactato de sodio ($\text{NaC}_3\text{H}_5\text{O}_3$), sulfato de sodio (Na_2SO_4) y/o cloruro de sodio (NaCl). De manera similar, cuando la membrana conductora de cationes comprende una membrana LiSICON o una membrana KSICON, el anolito puede comprender respectivamente cualquier sal de litio (LiX) o sal de potasio (KX) adecuada, que incluye, pero no se limita a, sales de litio o potasio correspondientes a sales de sodio mencionadas anteriormente. En otras realizaciones no limitativas, el anolito comprende uno o más productos químicos oxidantes (por ejemplo, un halógeno, clorato, etc.), materiales energéticos (por ejemplo, metóxidos alcalinos, metales alcalinos (fundidos o sólidos); compuestos orgánicos (por ejemplo, metanol, hexanol, etilenglicol, etc.); soluciones neutras que contienen potasio u otro producto químico que puede afectar negativamente a un material conductor de iones alcalino puro; sales orgánicas (por ejemplo, carboxilato de sodio disuelto en disolventes orgánicos o iónicos líquidos); electrolitos (por ejemplo, LiPF_6) (por ejemplo, cuando la celda comprende una batería) y/o cualquier otro producto químico que pueda ser útil en el anolito.

La solución de catolito puede comprender virtualmente cualquier solución que permita que el cátodo 220 primario cause una reacción electroquímica deseada (por ejemplo, la evolución de los iones de hidróxido; para funcionar como una batería, una celda de combustible, una celda electrolítica, etc.) que ocurra cuando el catolito está en contacto con el cátodo primario y cuando la corriente pasa entre el ánodo 218 y el cátodo primario. Sin embargo, en algunas realizaciones no limitantes, la solución de catolito comprende, pero no se limita a, agua, una solución acuosa de sal alcalina, una solución de hidróxido (por ejemplo, un hidróxido alcalino), una solución orgánica (como un alcohol, metanol, hexanol, etilenglicol), una base alcalina, una sal fundida, un producto químico oxidante (por ejemplo, un halógeno, clorato, etc.), un material energético (por ejemplo, un metóxido alcalino; y un metal alcalino (fundido o sólido); solución neutra que comprende potasio u otro producto químico que puede afectar adversamente un material conductor de iones alcalino puro; una sal orgánica (por ejemplo, carboxilato de sodio disuelto en disolventes orgánicos o iónicos líquidos); un electrolito (por ejemplo, LiPF_6) y/o cualquier otro químico que puede ser útil en el catolito. A modo de ejemplo no limitativo, cuando la membrana conductora de iones alcalinos comprende una membrana NaSICON, la solución de catolito puede comprender una solución acuosa de cloruro de sodio, una solución acuosa de hidróxido de sodio, una solución de metilato de sodio, etc. De manera similar, cuando la membrana conductora de iones alcalinos comprende una membrana LiSICON, la solución de catolito puede comprender una solución acuosa de cloruro de litio, hidróxido de litio, etc. Además, cuando la membrana conductora de catión comprende una membrana KSICON, la solución de catolito puede comprender una solución acuosa de cloruro de potasio, hidróxido de potasio, etc.

Aunque no se muestra en la FIG. 2, los diversos compartimentos de la celda 210 electroquímica también pueden comprender una o más entradas y/o salidas de fluido. En algunas realizaciones, las entradas de fluido permiten que se agreguen químicos y fluidos específicos a uno o más lugares deseados dentro de la celda. En otras realizaciones, las entradas y salidas de fluido pueden permitir que los fluidos fluyan a través de uno o más compartimentos o espacios en la celda.

La celda 210 electroquímica descrita puede funcionar para producir una amplia gama de productos químicos, incluidos, pero no limitados a, ácidos que corresponden a bases alcalinas, metales alcalinos sustancialmente puros, productos oxidantes a base de cloro, oxígeno, cloro, hidrógeno, biocombustibles y/o una variedad de otros productos químicos. En un ejemplo no limitativo, la celda descrita se usa para obtener uno o más ácidos correspondientes a sales alcalinas y/o para obtener uno o más metales alcalinos. Por ejemplo, mientras que la celda descrita puede usar una sal de sodio para producir un ácido y/o para obtener sodio, el experto en la materia reconocerá que la celda puede usarse para producir ácidos, metales alcalinos y productos electroquímicos de otra sal alcalina, como una sal de litio o una sal de potasio.

En un ejemplo no limitativo, la FIG. 2 muestra que cuando la solución de anolito comprende una sal de metal alcalino (MX) (que incluye, pero no se limita a, un lactato de metal alcalino ($\text{MC}_3\text{H}_5\text{O}_3$), un sulfato de metal alcalino (M_2SO_4) y/o un cloruro de metal alcalino (MC1)), la sal se puede disociar en el compartimiento 212 de anolito en el catión de la sal (M^+) y su anión (X) (por ejemplo, $\text{C}_3\text{H}_5\text{O}_3^-$, SO_4^{2-} , Cl^- , etc.). La fig. 2 ilustra que el catión (M^+) de la sal (MX) puede reaccionar con protones (H^+) evolucionado desde el ánodo 218 para formar un ácido (HX) (por ejemplo, ácido láctico ($\text{C}_3\text{H}_6\text{O}_3$), ácido clorhídrico (HCl), etc.) que corresponde a la sal de metal alcalino original (MX). La fig. 2 ilustra además que el ion (M^+) de metal alcalino se transporta selectivamente a través de la membrana 215 de electrolito conductor de iones alcalinos compuesto hacia el compartimiento 214 de catolito, donde se puede recolectar (por ejemplo, como hidróxido de metal alcalino, o en alguna otra forma adecuada). Adicionalmente, en este ejemplo la fig. 2 ilustra que el gas de oxígeno (O_2) se puede ventilar y/o recolectar del compartimiento 212 de anolito y que el gas de hidrógeno (H_2) se puede ventilar y/o recolectar del compartimiento 214 de catolito.

El compuesto 222 alcalino se selecciona para ser conductor del ion de metal alcalino. Sin pretender imponer ninguna teoría, en una realización no limitativa, el ion (M^+) de metal alcalino pasa directamente a través del compuesto 222 alcalino.

En otra realización no limitativa, los iones de metales alcalinos no pasan directamente a través del compuesto 222 alcalino. En su lugar, los iones de metales alcalinos se reducen en un lado del ánodo del compuesto 222 alcalino y pasan a través del compuesto 222 alcalino como el metal alcalino reducido, y el metal alcalino se oxida en el lado del cátodo del compuesto 222 alcalino para formar iones de metales alcalinos. que se conducen a través del material 216 conductor de iones alcalino.

Sin pretender imponer ninguna teoría, en algunas realizaciones no limitativas, el compuesto 222 alcalino puede funcionar como un electrodo bipolar. La fig. 4 representa un diagrama esquemático de una realización representativa de un compuesto 222 alcalino que funciona como un electrodo bipolar. En esta realización, el compuesto 222 alcalino se muestra como una amalgama de mercurio y el metal alcalino. El lado 230 del ánodo del compuesto 222 se carga negativamente, y el lado 232 del cátodo del compuesto 222 se carga positivamente. En consecuencia, el lado 230 del ánodo puede funcionar como un cátodo para reducir los iones de metales alcalinos de acuerdo con la reacción $M^+ + e^- \rightarrow M$. El metal M alcalino puede entrar en el compuesto 222. El lado 232 del cátodo puede funcionar como un ánodo para oxidar el metal alcalino para formar iones de metal alcalino de acuerdo con la reacción $M \rightarrow M^+ + e^-$. Los electrones libres pueden pasar entre el lado 232 del cátodo y el lado 230 del ánodo como se muestra. El ion de metal alcalino formado en el lado 232 del cátodo del compuesto 222 está disponible para pasar a través del material 216 conductor de iones alcalino.

En otra realización no limitativa, el compuesto 222 alcalino puede funcionar como un cátodo secundario. Ejemplos de esta característica se divulgan en la solicitud de patente de EE. UU. No. 13/269,412. La fig. 5 representa un diagrama esquemático de una realización representativa de la celda 210 electroquímica que comprende la membrana electrolítica conductora de iones alcalinos compuesta y en la que el compuesto 222 alcalino está configurado para funcionar como un cátodo secundario. En esta realización, una pequeña porción de la corriente 234 de la fuente 224 de alimentación que impulsa el cátodo 220 está dividida y acoplada eléctricamente al compuesto 222 alcalino. Esta corriente reduce los iones de metales alcalinos de acuerdo con la reacción $M^+ + e^- \rightarrow M$. El metal alcalino M puede entrar y pasar a través del compuesto 222.

Aunque la descripción anterior muestra la capa de compuesto 222 alcalino expuesta al lado del anolito de la celda 210 electroquímica, se entenderá que, en algunas realizaciones, incluida la realización mostrada en la FIG. 6, el compuesto 222 alcalino puede exponerse al lado del catolito de la celda electroquímica para proteger el material 216 del electrolito conductor de iones alcalino de las condiciones reactivas en el compartimiento 214 del catolito.

En otras realizaciones no limitantes, la membrana 215 electrolítica conductora de iones alcalinos compuesta puede contener una capa del compuesto 222 alcalino expuesto tanto al lado del anolito como al lado del catolito de la celda 210 electroquímica. A modo de ilustración, la fig. 7 ilustra una realización representativa en la que la membrana 215 electrolítica conductora de iones alcalinos compuesta comprende una capa de compuesto 222a alcalino expuesta al compartimiento 212 de anolito y una capa de compuesto 222b alcalino expuesta al compartimiento de catolito 214.

Se apreciará que los sistemas y métodos descritos utilizan una membrana electrolítica conductora de iones alcalinos compuesta bajo ciertas condiciones reactivas o condiciones adversas (por ejemplo, condiciones ácidas; condiciones básicas; condiciones neutras que comprenden un material tal como potasio; condiciones en las que la celda comprende un compuesto que evoluciona protones, un compuesto orgánico, un metal fundido, una sal fundida u otra especie químicamente reactiva; etc.). En consecuencia, los sistemas y métodos descritos permiten que la celda electrolítica produzca eficientemente productos químicos deseados sin dañar el material conductor de iones alcalinos en la misma medida que ocurriría si no se utilizara el compuesto alcalino. El compuesto alcalino proporciona protección química al material conductor de iones alcalinos, lo que le permite funcionar en condiciones adversas.

Además de los componentes y características antes mencionados de los sistemas y métodos descritos, la celda 210 se puede modificar de cualquier manera adecuada que permita que los iones se transporten selectivamente a través del material 216 electrolito conductor de iones alcalinos como funciones de la celda. En un ejemplo no limitativo, mientras que los sistemas descritos se muestran con la membrana 215 electrolítica conductora de iones alcalinos compuesta orientada verticalmente, se entenderá que la membrana electrolítica compuesta puede estar orientada horizontalmente o en cualquier otra configuración u orientación adecuada. En otro ejemplo no limitativo, mientras que el material electrolito conductor de iones alcalinos compuesto se describe aquí como utilizado en una celda 210 electrolítica, el material conductor de iones alcalino compuesto se puede usar en cualquier otra celda electroquímica adecuada en la cual una capa 222 alcalina puede proteger el material conductor de iones alcalino de las condiciones que afectarían adversamente la función del material si la capa de intercalación no estuviera presente. Algunos ejemplos no limitativos de tales celdas electroquímicas incluyen baterías y celdas de combustible. Por consiguiente, la membrana electrolítica conductora de iones alcalinos compuesta descrita puede usarse para facilitar prácticamente cualquier reacción electroquímica que requiera un material MeSICON.

Si bien se han ilustrado y descrito realizaciones y ejemplos específicos de la presente invención, se vienen a la mente numerosas modificaciones sin apartarse significativamente del espíritu de la invención, y el alcance de la protección solo está limitado por el alcance de las reivindicaciones adjuntas.

REIVINDICACIONES

1. Una celda electroquímica, que comprende:

5 un compartimento de anolito para contener una solución de anolito, comprendiendo el compartimento de anolito un ánodo posicionado para contactar la solución de anolito;

un compartimento de catolito para contener una solución de catolito, comprendiendo el compartimento de catolito un cátodo posicionado para contactar con la solución de catolito; y

10 una membrana electrolítica conductora de iones alcalinos compuesta colocada entre el compartimento de anolito y el compartimento del catolito, en donde la membrana electrolítica compuesta comprende:

una capa de material conductor de iones alcalinos;

15 en donde:

el material conductor de iones alcalino comprende un material conductor de súper ión de metal alcalino (MeSICON) seleccionado de NaSICON, LiSICON y KSICON; y

20 una capa de compuesto alcalino que es eléctricamente o iónicamente conductora y que es químicamente estable después de la exposición a la solución de anolito o catolito, protegiendo así la capa de material conductor de iones alcalino de una reacción química no deseada, y en donde la capa de compuesto alcalino conduce los iones alcalinos;

25 en donde el compuesto alcalino se selecciona entre un compuesto de intercalación alcalino basado en carbono, un material de electrodo de intercalación que contiene álcali y una amalgama o aleación de metal alcalino o compuesto intermetálico.

30 2. La celda electroquímica de la reivindicación 1, en la que el compuesto de intercalación alcalina a base de carbono se selecciona de un compuesto de intercalación de grafito, carbono mesoporoso, diamante dopado con boro y grafeno.

35 3. La celda electroquímica de la reivindicación 1, en la que el material del electrodo de intercalación que contiene álcali comprende un óxido de cobalto alcalino ($MCoO_2$); o un fosfato de hierro alcalino ($MFePO_4$); o un óxido de manganeso alcalino (MMn_2O_4).

4. La celda electroquímica de la reivindicación 1, donde la amalgama o aleación de metal alcalino comprende una amalgama de mercurio y un metal alcalino.

40 5. La celda electroquímica de la reivindicación 1, en donde la amalgama o aleación de metal alcalino o compuesto intermetálico comprende una aleación de fósforo y un metal alcalino.

6. La celda electroquímica de la reivindicación 1, en la que la amalgama o aleación de metal alcalino o compuesto intermetálico comprende una aleación de aluminio y un metal alcalino.

45 7. La celda electroquímica de la reivindicación 1, en donde la amalgama o aleación de metal alcalino o compuesto intermetálico comprende un metal alcalino y uno o más metales seleccionados de silicio, germanio, plomo, zinc, bismuto, estaño y cadmio.

50 8. La celda electroquímica de la reivindicación 1, en la que la membrana electrolítica compuesta comprende además una capa conductora de cationes resistente a los ácidos dispuesta entre la amalgama o aleación de metal alcalino y el ánodo o entre la amalgama o aleación de metal alcalino y el cátodo.

9. Un método para operar una celda electroquímica de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8, comprendiendo el método:

55 proporcionar la celda electroquímica;

añadir la solución de catolito que contiene iones alcalinos al compartimento de catolitos y la solución de anolito que contiene iones alcalinos al compartimento de anolitos; y

60 pasar una corriente entre el ánodo y el cátodo.

10. Un método para producir ácido láctico, el método que comprende:

65 proporcionar una celda electrolítica de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8;

añadir una solución de anolito que comprende una sal de lactato alcalino al compartimento de anolito;

añadir una solución de catolito que comprende un hidróxido alcalino al compartimento del catolito; y

- 5 pasar una corriente entre el ánodo y el cátodo para causar que se forme ácido láctico en el compartimento del anolito.

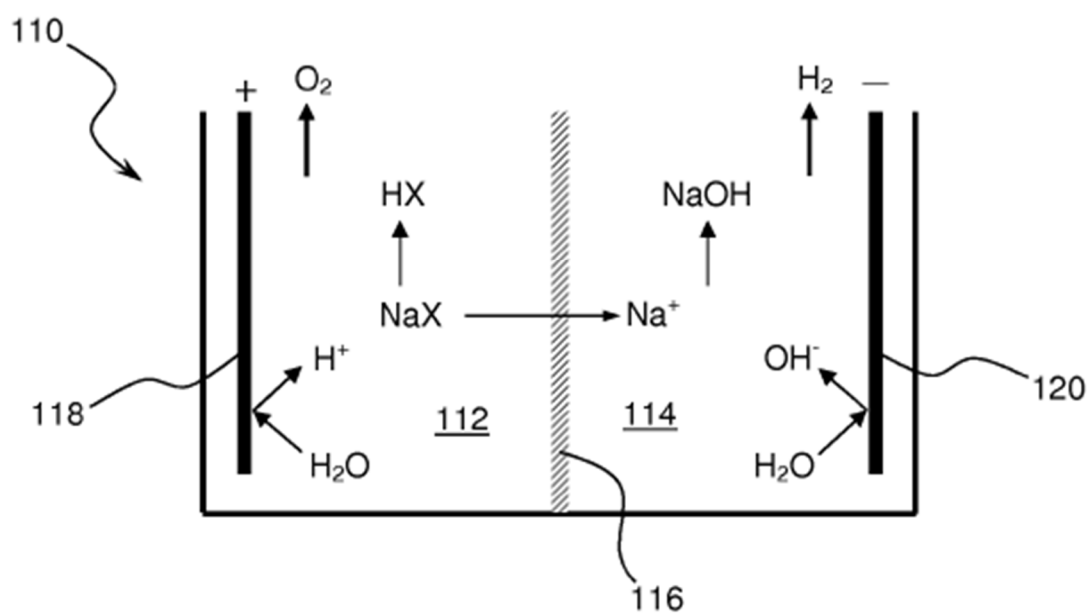


Fig. 1 (Técnica Anterior)

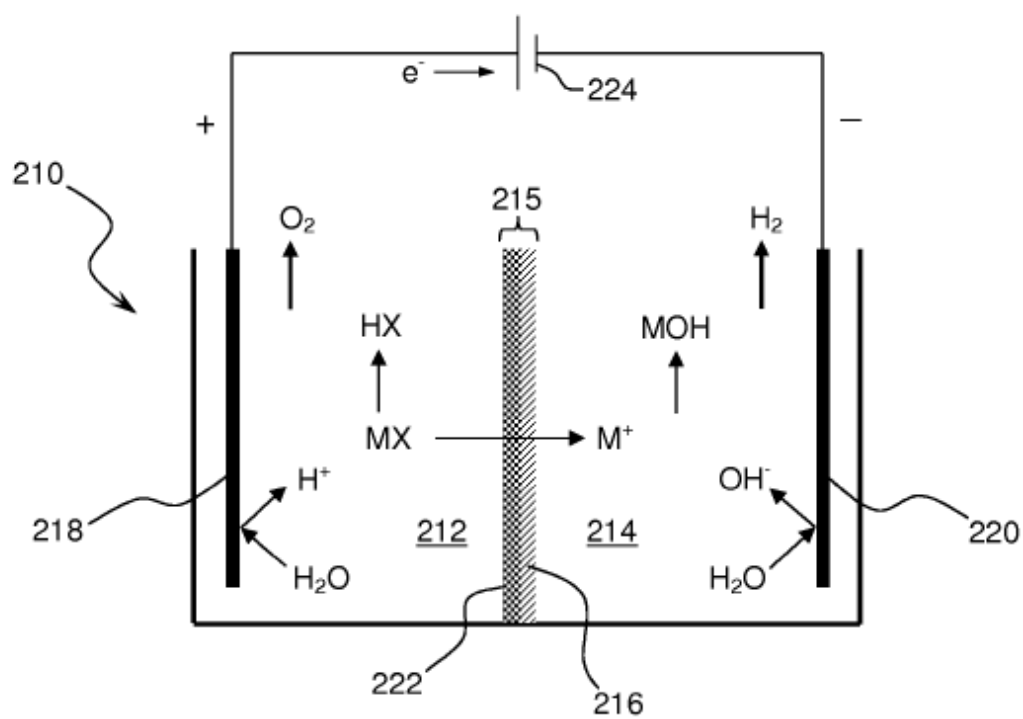


Fig. 2

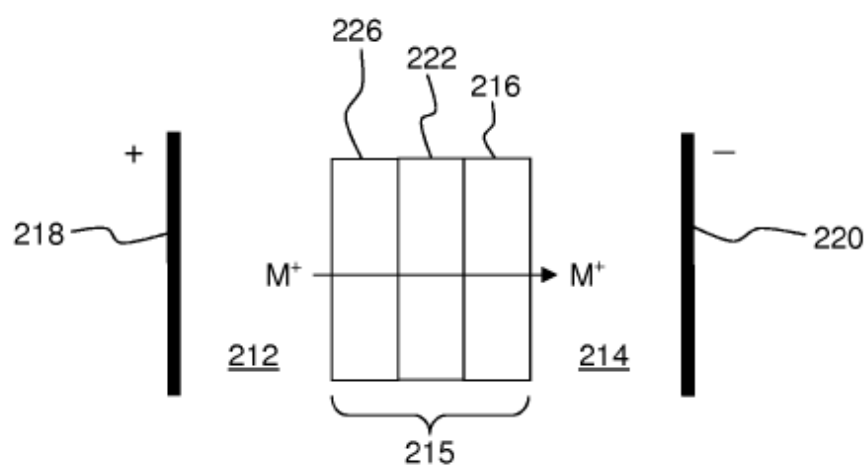


Fig. 3

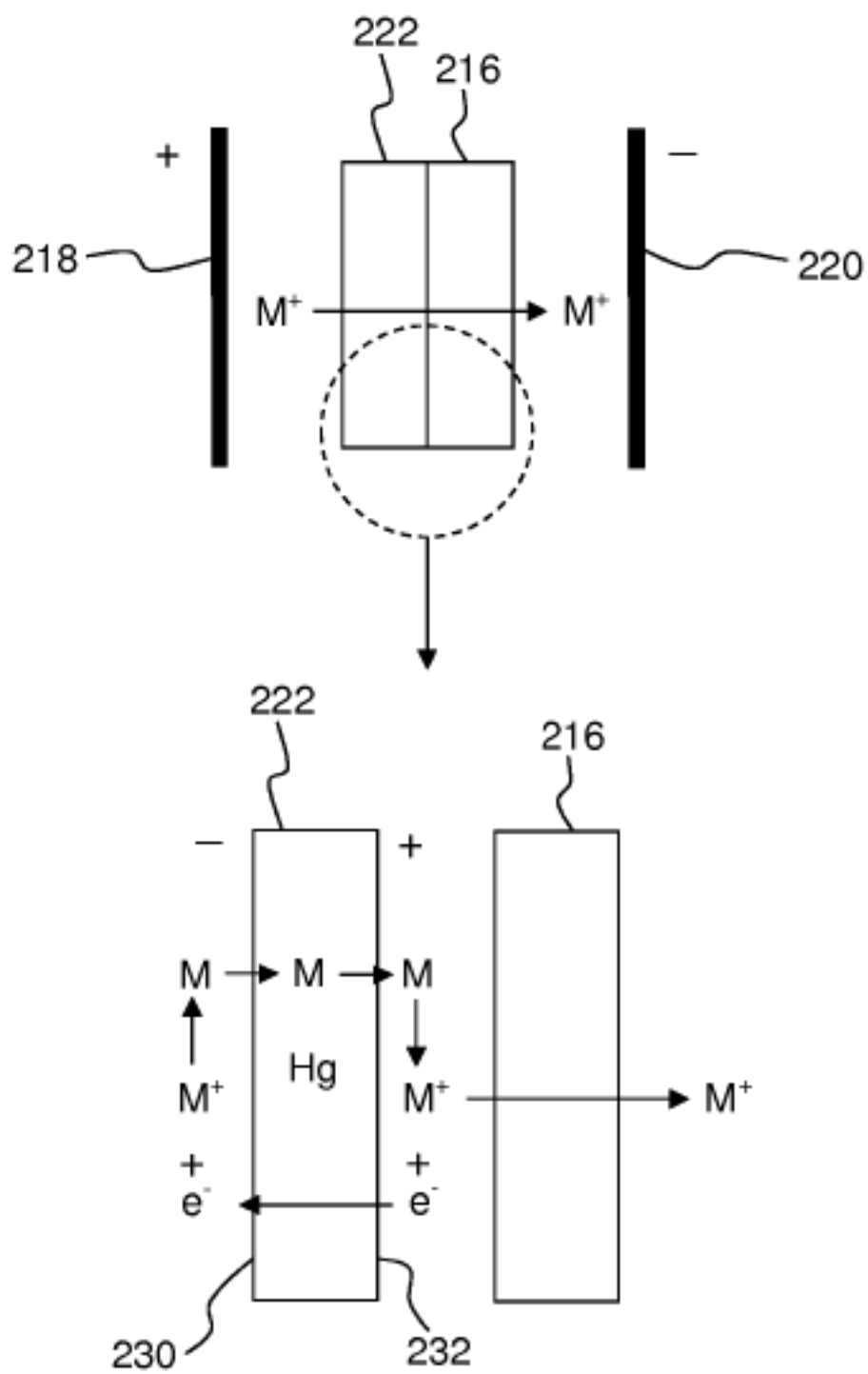


Fig. 4

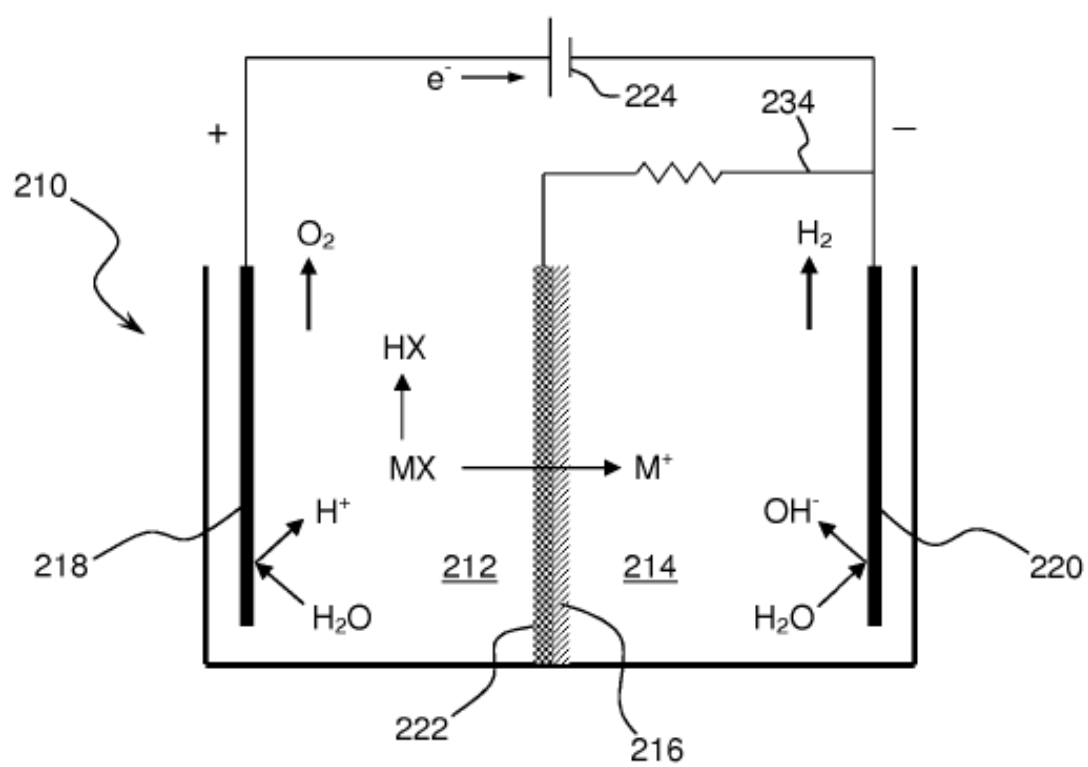


Fig. 5

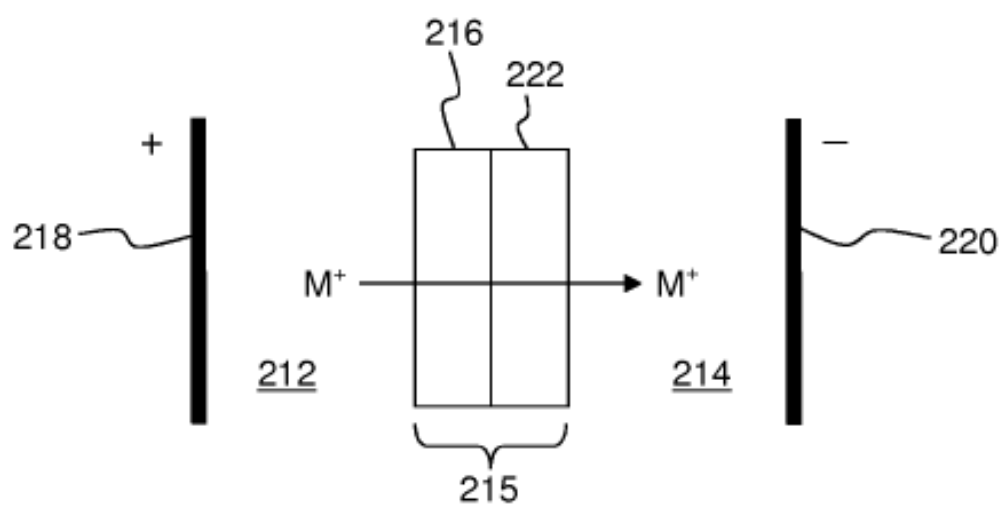


Fig. 6

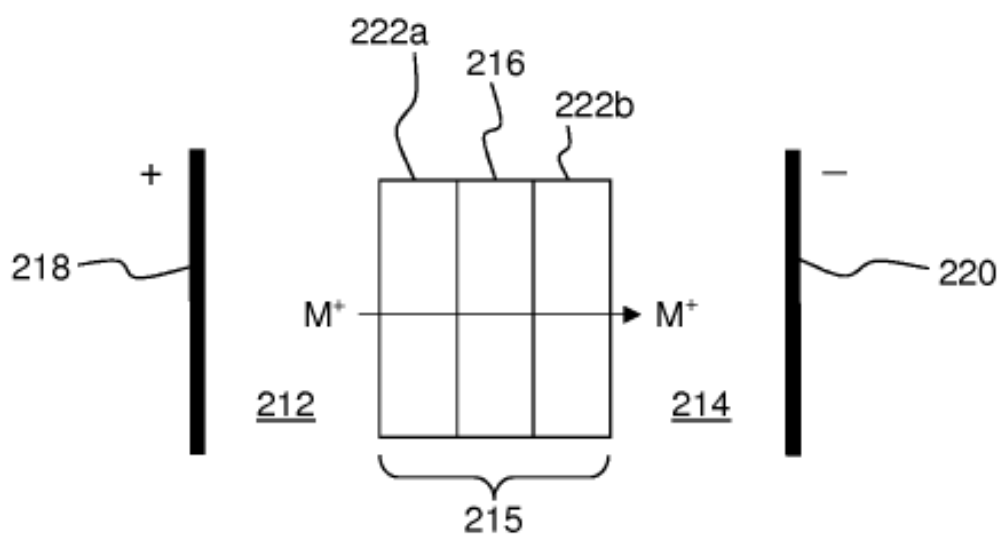


Fig. 7