(19) OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

(11) Número de publicación: **2 734 527**

(51) Int. CI.:

H01M 8/24 (2006.01)

(12) TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA T3

(86) Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **19.02.2014 PCT/US2014/017195**

(87) Fecha y número de publicación internacional: **12.09.2014 WO14137601**

(96) Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **19.02.2014 E 14709057 (5)**

(97) Fecha y número de publicación de la concesión europea: **19.06.2019 EP 2965378**

(54) Título: **Apilamiento electroquímico**

(30) Prioridad:

08.03.2013 US 201361775068 P

(45) Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
10.12.2019

(73) Titular/es:

NUVERA FUEL CELLS, LLC (100.0%)
129 Concord Road, Building 1
Billerica, MA 01821, US

(72) Inventor/es:

BLANCHET, SCOTT;
DOMIT, EDWARD y
LAWRIE, DUNCAN

(74) Agente/Representante:

SÁEZ MAESO, Ana

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

Apilamiento electroquímico

Las realizaciones de la presente divulgación se relacionan con celdas electroquímicas, y más particularmente, con sistemas para aplicar una fuerza de compresión a apilamientos de celdas electroquímicas de alto diferencial de presión.

Las celdas electroquímicas se utilizan para generar una corriente eléctrica a partir de reacciones químicas. La tecnología de celdas electroquímicas, como las celdas de combustible y los compresores de hidrógeno, ofrece una alternativa prometedora a las fuentes de energía tradicionales, tal como los combustibles fósiles, para una gama de tecnologías, que incluyen, por ejemplo, vehículos de transporte, suministros de energía portátiles y producción de energía estacionaria. Una celda electroquímica convierte la energía química de una fuente de protones (por ejemplo, hidrógeno, gas natural, metanol, gasolina, etc.) en electricidad a través de una reacción química con oxígeno u otro agente oxidante. La reacción química típicamente produce electricidad, calor y agua.

Una celda electroquímica básica de alto diferencial de presión comprende un ánodo cargado negativamente, un cátodo cargado positivamente y un material conductor de iones llamado electrolito. Las diferentes tecnologías de celdas electroquímicas utilizan diferentes materiales de electrólitos. Una celda de Membrana de Intercambio de Protones (PEM), por ejemplo, utiliza una membrana polimérica, conductora de iones como el electrolito.

Para generar electricidad, un combustible, tal como el gas de hidrógeno, por ejemplo, puede suministrarse a un lado del ánodo de una celda electroquímica. Aquí, el hidrógeno se puede dividir en protones cargados positivamente y electrones cargados negativamente. Luego, los protones pueden pasar a través de una membrana de electrólito, tal como una PEM, a un lado del cátodo de la celda. La PEM puede configurarse para permitir que solo los protones cargados positivamente pasen a través del lado del cátodo de la celda. Los electrones cargados negativamente pueden ser forzados a pasar a través de un circuito de carga eléctrica externa para alcanzar el lado del cátodo de la celda, y al hacerlo, pueden generar una corriente eléctrica utilizable. El oxígeno puede ser administrado al lado del cátodo de la celda, donde puede reaccionar con los protones y los electrones para formar moléculas de agua y calor como desperdicio.

El cátodo, la membrana de electrolito y el ánodo de una celda electroquímica individual pueden formar colectivamente un "conjunto de electrodo de membrana" (MEA), que puede ser soportado en ambos lados por placas bipolares. Los gases, tal como el hidrógeno y el oxígeno, pueden suministrarse a los electrodos del MEA a través de canales o ranuras formadas en las placas bipolares.

Una sola celda generalmente puede producir un potencial eléctrico relativamente pequeño, aproximadamente de 0.2-1 voltios, dependiendo de la corriente. Para aumentar la salida de voltaje total, las celdas electroquímicas individuales pueden apilarse juntas, típicamente en serie, para formar un apilamiento de celdas electroquímicas. El número de celdas individuales en un apilamiento puede depender de la aplicación y la cantidad de salida requerida del apilamiento para esa aplicación.

El apilamiento de celdas electroquímicas puede recibir flujos de hidrógeno y oxígeno, que pueden distribuirse a las celdas individuales. El funcionamiento correcto del apilamiento de celdas puede requerir el mantenimiento de sellos efectivos entre las celdas individuales, los componentes de las celdas y los conductos de flujo. Por consiguiente, las celdas electroquímicas en un apilamiento pueden necesitar ser comprimidas una contra otra para mantener un contacto eléctrico suficiente entre los componentes internos de cada celda. La cantidad de compresión entre las celdas puede afectar la resistencia de contacto, la conducción eléctrica y la porosidad de la membrana, y por lo tanto puede afectar el rendimiento general de las celdas electroquímicas. Por consiguiente, para mantener el contacto entre las celdas y aumentar el rendimiento, la compresión uniforme se distribuye típicamente sobre el apilamiento de celdas electroquímicas.

A menudo, se pueden usar barras de unión, bandas y/o resortes para aplicar una fuerza de compresión a un apilamiento de celdas. Estos mecanismos de compresión requieren típicamente el uso de placas de extremo ubicadas en ambos extremos del apilamiento de celdas electroquímicas. Por ejemplo, las placas de extremo pueden cubrir cada extremo de un apilamiento de celdas, y las barras de unión pueden extenderse de una placa de extremo a otra, ya sea externa al apilamiento a lo largo de la periferia, o dentro del apilamiento pasando a través de las aberturas de las celdas. Las barras de unión se pueden apretar o aflojar para mover las placas de extremo una o otra para ajustar la cantidad de compresión ejercida sobre el apilamiento. En algunos casos, las bandas también pueden enrollarse alrededor del apilamiento, extendiéndose de placa de extremo a placa de extremo, para mantener la compresión. Para resistir las fuerzas de compresión de barras de unión y/o bandas, pueden requerirse placas de extremo y barras más gruesas para prevenir que se doblen o se agrieten. Esto puede aumentar el tamaño y el peso del apilamiento de celdas, así como el coste del sistema de celdas electroquímicas. Los problemas de la compresión del apilamiento pueden complicarse aún más en los apilamientos de celdas electroquímicas de alta presión, debido a que la operación a alta presión puede causar un aumento de la separación de las celdas. Por lo tanto, se necesita un sistema de compresión de bajo coste, compacto y liviano. Además, se necesita un sistema que sea capaz de mantener la

compresión en un apilamiento de celdas electroquímicas durante un período prolongado de tiempo y bajo un intervalo de condiciones operativas.

El documento US5993987 describe un apilamiento de celdas de combustible electroquímicas con bandas de compresión.

El documento US2006/093890 describe sistemas de compresión de apilamiento de celdas de combustible, y apilamientos de celdas de combustible y sistemas de celdas de combustible que incorporan el mismo.

El documento WO2008/089977 describe una estructura de sujeción de apilamiento de celdas de combustible y un apilamiento de celdas de combustible de óxido sólido.

El documento DE102006030605 describe una disposición de un apilamiento de celdas de combustible y un método para sujetar un apilamiento de celdas de combustible.

La presente invención proporciona un sistema, que comprende: una pluralidad de celdas electroquímicas dispuestas en serie a lo largo de un eje para formar un apilamiento electroquímico; y un sistema de compresión que comprende una estructura que tiene una forma definida que está configurada para recibir y contener: el apilamiento electroquímico ubicada entre los bloques de extremo; y al menos un mecanismo de compresión configurado para aplicar una fuerza de compresión al apilamiento electroquímico situada adyacente a y a lo largo del eje del apilamiento electroquímico; en el que la estructura está formada por fibras enrolladas que forman un borde continuo que rodea el apilamiento electroquímico y el al menos un mecanismo de compresión; caracterizado porque el mecanismo de compresión comprende mandíbulas insertadas entre el apilamiento y un bloque de extremo, teniendo cada mandíbula una superficie plana y una superficie opuesta, en ángulo; en el que la superficie plana de una mandíbula se encuentra adyacente al apilamiento; y en el que la superficie en ángulo de otra mandíbula está inclinada en un ángulo complementario a la superficie en ángulo de una mandíbula y se inserta adyacente a la superficie en ángulo de dicha mandíbula.

La presente divulgación está dirigida hacia el diseño de sistemas de compresión mejorados para su uso con celdas electroquímicas. En particular, la presente divulgación está dirigida hacia el diseño de estructuras de compresión ajustables para uso con celdas electroquímicas. Dichos dispositivos se pueden usar en celdas electroquímicas que operan bajo altas presiones diferenciales, que incluyen, entre otros, compresores de hidrógeno, celdas de combustible, celdas de electrólisis, purificadores de hidrógeno y expansores de hidrógeno.

Las realizaciones de la presente divulgación se dirigen a un sistema para aplicar fuerza de compresión a apilamientos de celdas electroquímicas.

De acuerdo con una realización, un sistema de compresión de apilamiento de celdas electroquímicas puede incluir un marco hueco integral configurado para contener una pluralidad de celdas electroquímicas dispuestas a lo largo de un eje en una configuración de apilamiento, en el que el marco tiene una forma definida y forma un borde continuo alrededor de una periferia del apilamiento de celdas electroquímicas cuando se inserta, y en el que el marco está formado por una pluralidad de fibras.

Las diversas realizaciones de la divulgación pueden incluir uno o más de los siguientes aspectos: el marco puede estar formado por una pluralidad de fibras compuestas de diferentes materiales; el marco puede incluir múltiples capas formadas de fibras; el marco puede incluir una capa reductora de la fricción ubicada entre al menos una de las múltiples capas formadas por fibras; el marco puede incluir al menos dos superficies de pared opuestas; el marco puede configurarse además para contener al menos un bloque de extremo situado en una región extrema del marco; el marco puede configurarse además para contener al menos un mecanismo de compresión configurado para aplicar una fuerza de compresión al apilamiento de celdas electroquímicas; el mecanismo de compresión puede incluir al menos una mandíbula; el mecanismo de compresión puede configurarse para expandirse cuando se calienta; el mecanismo de compresión puede incluir uno o más tornillos internos de la unidad que se extienden entre dos porciones separadas, en el que al girar los tornillos internos de la unidad en una dirección, las dos porciones se alejan una de la otra y al girar los tornillos internos de la unidad en la dirección opuesta, las dos porciones se acercan más la una a la otra y el marco puede configurarse para adaptarse a múltiples tamaños diferentes de apilamientos de celdas electroquímicas.

De acuerdo con otra realización, un sistema de compresión de apilamiento electroquímico puede incluir una estructura que tiene una forma definida que está configurada para recibir y contener una pluralidad de celdas electroquímicas dispuestas en serie a lo largo de un eje para formar un apilamiento electroquímico y al menos una un mecanismo de compresión configurado para aplicar una fuerza de compresión al apilamiento electroquímico ubicada adyacente a y a lo largo del eje del apilamiento electroquímico, en el que la estructura forma un borde continuo que rodea el apilamiento electroquímico y el al menos un mecanismo de compresión cuando está contenido.

Varias realizaciones de la divulgación pueden incluir uno o más de los siguientes aspectos: el mecanismo de compresión puede incluir al menos una mandíbula; el mecanismo de compresión puede incluir un bloque que está configurado para expandirse en respuesta a un aumento de la temperatura; el mecanismo de compresión puede incluir tornillos internos de la unidad configurados para aumentar el tamaño del mecanismo de compresión cuando los tornillos internos de la unidad se giran en una primera dirección y para disminuir el tamaño del mecanismo de

compresión cuando los tornillos internos de la unidad se giran en una segunda dirección opuesta a la primera dirección; la estructura puede estar formada por fibras enrolladas; las fibras pueden ser no conductoras; las fibras pueden ser de carbono; y una altura de la estructura a lo largo del eje del apilamiento electroquímico puede cambiar en respuesta a una carga aplicada por el mecanismo de compresión al apilamiento electroquímico cuando se recibe el mecanismo de compresión.

Un método para precargar varias realizaciones de la divulgación puede incluir insertar el apilamiento electroquímico en la estructura, insertar el al menos un mecanismo de compresión en la estructura, configurar el mecanismo de compresión para aplicar una carga predeterminada dentro del sistema de compresión y medir un cambio en la altura de la estructura a lo largo del eje del apilamiento electroquímico para determinar la carga que está aplicando el mecanismo de compresión.

Varias realizaciones del método pueden incluir además: insertar al menos un bloque de extremo en la estructura; el mecanismo de compresión puede incluir dos mandíbulas y configurar el mecanismo de compresión puede incluir encajar las dos mandíbulas entre sí; la configuración del mecanismo de compresión puede incluir aumentar la temperatura del sistema de compresión para expandir el mecanismo de compresión; y la configuración del mecanismo de compresión incluye la rotación de una pluralidad de tornillos internos de la unidad para expandir el mecanismo de compresión.

De acuerdo con otra realización de la presente divulgación, un sistema de compresión de apilamiento electroquímico puede incluir una estructura hueca integral que tiene una forma definida y está formada por una pluralidad de fibras enrolladas; una pluralidad de celdas electroquímicas dispuestas en serie a lo largo de un eje para formar un apilamiento electroquímico, en el que el apilamiento electroquímico está contenida dentro de la estructura; al menos un bloque de extremo contenido dentro de la estructura y ubicado en una región de extremo de la estructura; y al menos un mecanismo de compresión contenido dentro de la estructura, en el que el al menos un mecanismo de compresión está configurado para aplicar una fuerza de compresión al apilamiento electroquímico, y en el que el apilamiento electroquímico, el al menos un bloque de extremo, y el al menos un mecanismo de compresión están contenidos en serie dentro de la estructura, de modo que la estructura forma un borde continuo alrededor y adyacente a una periferia del apilamiento electroquímico, el al menos un bloque de extremo y el al menos un mecanismo de compresión.

Diversas realizaciones de la divulgación pueden incluir uno o más de los siguientes aspectos: las fibras pueden configurarse para estirarse y contraerse en respuesta a cambios en la fuerza de compresión; el al menos un mecanismo de compresión puede incluir una mandíbula; y el al menos un mecanismo de compresión puede configurarse para expandirse.

Los objetos y ventajas adicionales de las realizaciones se expondrán en parte en la descripción que sigue, y en parte serán evidentes a partir de la descripción, o se pueden aprender mediante la práctica de las realizaciones. Los objetos y ventajas de las realizaciones se realizarán y se lograrán por medio de los elementos y combinaciones particularmente señalados en las reivindicaciones adjuntas.

Se debe entender que tanto la descripción general anterior como la siguiente descripción detallada son solo a manera de ejemplo y a manera de explicación y no son restrictivas de la invención, como se reivindica.

Los dibujos adjuntos, que se incorporan en y constituyen una parte de esta especificación, ilustran realizaciones de la divulgación, y junto con la descripción, sirven para explicar los principios de la divulgación.

La Figura 1 ilustra una vista en despiece de una celda electroquímica a manera de ejemplo, de acuerdo con una realización de la presente divulgación.

La Figura 2A ilustra un sistema de compresión de celdas electroquímicas a manera de ejemplo, de acuerdo con una realización de la presente divulgación.

La Figura 2B ilustra un sistema de compresión de celdas electroquímicas a manera de ejemplo, de acuerdo con una realización de la presente divulgación.

La Figura 2C ilustra un corte transversal del sistema de compresión de celdas electroquímicas a manera de ejemplo de la Figura 2A.

La Figura 3A ilustra un mecanismo de compresión a manera de ejemplo para un sistema de compresión de celdas electroquímicas de acuerdo con una realización a manera de ejemplo de la presente divulgación.

La Figura 3B ilustra una vista alternativa del mecanismo de compresión a manera de ejemplo de la Figura 3A.

La Figura 4 ilustra un mecanismo de compresión a manera de ejemplo para un sistema de compresión de celdas electroquímicas de acuerdo con una realización a manera de ejemplo de la presente divulgación.

Ahora se hará referencia en detalle a las realizaciones a manera de ejemplo de la presente divulgación descrita a continuación e ilustradas en los dibujos adjuntos. Siempre que sea posible, se utilizarán los mismos números de referencia en todos los dibujos para referirse a partes iguales o similares.

Aunque la presente divulgación se describe aquí con referencia a realizaciones ilustrativas de una celda electroquímica PEM que emplea hidrógeno, oxígeno y agua, se entiende que los dispositivos y métodos de la presente divulgación pueden emplearse con varios tipos de celdas electroquímicas, incluyendo, pero no limitado a, compresores de hidrógeno, celdas de combustible, celdas de electrólisis, purificadores de hidrógeno y expansores de hidrógeno. Aquellos que tengan experiencia ordinaria en la técnica y tengan acceso a las enseñanzas proporcionadas aquí reconocerán modificaciones, aplicaciones, realizaciones y sustituciones adicionales de equivalentes que caen dentro del alcance de la divulgación. Por consiguiente, la divulgación no debe considerarse limitada por las descripciones anteriores o siguientes.

Otras características y ventajas y usos potenciales de la presente divulgación se harán evidentes para alguien experto en la técnica a partir de la siguiente descripción de la divulgación, que se refiere a los dibujos adjuntos.

La Figura 1 representa una celda 10 electroquímica individual, de acuerdo con una realización de la presente divulgación. En la vista lateral en despiece ordenado que se muestra en la Figura 1, la celda 10 incluye una membrana 8 de electrolito central. La membrana 8 de electrolito se puede colocar entre un ánodo 7A y un cátodo 7B. Juntos, la membrana 8 de electrolito, el ánodo 7A y el cátodo 7B pueden formar MEA 3. Los átomos de hidrógeno suministrados al ánodo 7A pueden dividirse electroquímicamente en electrones y protones. Los electrones pueden fluir a través de un circuito eléctrico (no mostrado) al cátodo 7B, generando electricidad en el proceso, mientras que los protones pueden pasar a través de la membrana 8 del electrolito al cátodo 7B. En el cátodo 7B, los protones pueden reaccionar con los electrones y el oxígeno suministrado al cátodo 7B para producir agua y calor.

La membrana 8 de electrolito puede aislar eléctricamente el ánodo 7A del cátodo 7B. La membrana 8 de electrolito puede ser cualquier membrana adecuada, incluyendo, por ejemplo, una membrana de PEM. La membrana 8 de electrolito se puede formar de una membrana de polímero puro o una membrana compuesta, que puede incluir, por ejemplo, sílice, heteropoliácidos, fosfatos metálicos en capas, fosfatos y fosfatos de circonio, incrustados en una matriz de polímero. La membrana 8 de electrolito puede ser permeable a los protones, pero no puede conducir electrones. El ánodo 7A y el cátodo 7B pueden incluir electrodos de carbono porosos que contienen un catalizador. El material catalizador, por ejemplo, platino o cualquier otro material adecuado, puede acelerar la reacción del oxígeno y el combustible.

El tamaño y la forma de MEA 3 pueden aumentarse o disminuirse dependiendo de la aplicación de la celda 10 y los requisitos de carga dados. Por ejemplo, el espesor, la longitud o el ancho de MEA 3 pueden ajustarse de acuerdo con la aplicación y los requisitos dados. Además, la concentración de material catalizador en el ánodo 7A y el cátodo 7B se puede ajustar de acuerdo con la aplicación dada. La concentración de material catalizador en el ánodo 7A y el cátodo 7B y el espesor de la membrana 8 de electrolito pueden afectar el espesor total de MEA 3.

En algunas realizaciones, la celda 10 electroquímica puede incluir opcionalmente una o más estructuras 5 de flujo eléctricamente conductoras en cada lado del MEA 3. Las estructuras de flujo 5 pueden servir como medios de difusión que permiten el transporte de gases y líquidos dentro de la celda 10. Las estructuras 5 de flujo también puede promover la conducción eléctrica, ayudar en la eliminación de calor y agua de la celda 10 electroquímica, y proporcionar soporte mecánico a la membrana 8 de electrolito. Las estructuras 5 de flujo pueden incluir, por ejemplo, campos de flujo, capas de difusión de gas (GDL), o cualquier combinación adecuada de las mismas. Las estructuras 5 de flujo pueden estar formadas por metales sinterizados de tipo "frito", estructuras en capas, por ejemplo, paquetes de tamizado y metales expandidos, y sustratos porosos tridimensionales. Un sustrato metálico poroso a manera de ejemplo puede consistir en dos capas distintas que tienen diferentes tamaños de poros promedio. Tales estructuras 5 de flujo pueden estar formadas por cualquier material adecuado, incluyendo, por ejemplo, metales o aleaciones de metales, tales como, por ejemplo, acero inoxidable, titanio, aluminio, níquel, hierro y aleaciones de níquel-cromo, o cualquier combinación de los mismos. Además, las estructuras 5 de flujo pueden incluir un recubrimiento adecuado, tal como un recubrimiento resistente a la corrosión, como carbono, oro o nitruro de titanio.

Los gases reactivos en cada lado de la membrana del electrolito a menudo están presentes a diferentes presiones, por ejemplo, las presiones de operación pueden variar de aproximadamente 0 psid a 15,000 psid, creando un diferencial de presión a través de MEA 3. Por ejemplo, cuando una celda electroquímica esta configurada como un compresor de hidrógeno, la estructura de flujo en el lado del cátodo de la membrana está expuesta a presiones más altas que la estructura de flujo en el lado del ánodo. El diferencial de presión puede crear una fuerza en MEA 3 que hace que MEA 3 se aleje del lado de alta presión hacia el lado de baja presión. Este movimiento puede causar una reducción en la presión de contacto y la separación de la superficie de contacto de MEA 3 de las estructuras 5 de flujo en el lado de alta presión. La reducción de la presión y la subsiguiente separación entre las superficies de contacto de MEA 3 y las estructuras 5 de flujo de alta presión pueden reducir la conducción eléctrica y aumentar la resistencia de contacto entre las dos, reduciendo la eficiencia de la celda 10 electroquímica.

Las estructuras 5 de flujo flanqueantes y MEA 3, y la celda 10 también pueden incluir dos placas 2A, 2B bipolares. La placa 2A bipolar se puede colocar en el lado de alta presión y la placa 2B bipolar se puede colocar en el lado de baja presión de la celda 10 electroquímica. Las placas 2A, 2B bipolares pueden separar la celda 10 de las celdas electroquímicas vecinas (no mostradas) en un apilamiento. En algunas realizaciones, dos celdas adyacentes en un apilamiento de celdas electroquímicas pueden compartir una placa bipolar común.

Las placas 2A, 2B bipolares pueden actuar como colectores de corriente, pueden proporcionar canales de acceso para que el combustible y el oxidante alcancen las superficies respectivas del electrodo, y pueden proporcionar canales para la eliminación del agua formada durante el funcionamiento de la celda 10 electroquímica por medio de escape de gas. Las placas 2A, 2B bipolares también pueden proporcionar canales de acceso para refrigerar fluidos, tales como, por ejemplo, agua, glicol o una combinación de los mismos. Las placas 2A, 2B bipolares pueden estar hechas de aluminio, acero, acero inoxidable, titanio, cobre, aleación de níquel-cromo, grafito, o cualquier otro material adecuado eléctricamente conductor o combinación de materiales.

Las Figuras 2A a 2C muestran sistemas 20 de compresión de apilamiento de celdas electroquímicas a modo de ejemplo, de acuerdo con realizaciones de la presente divulgación. Cada celda 10 individual puede apilarse dentro del sistema 20 de compresión para formar un apilamiento 11 de celdas electroquímicas. El apilamiento 11 puede estar compuesta por cualquier número adecuado de celdas 10. el apilamiento 11 puede ubicarse entre los bloques 12A y 12B de extremo, que pueden ubicarse en cada extremo del apilamiento 11. Los bloques 12A, 12B de extremo puede estar formados por cualquier material metálico, plástico o cerámico adecuado que tenga una resistencia a la compresión adecuada, por ejemplo, aluminio, acero, acero inoxidable, hierro fundido, titanio, cloruro de polivinilo, polietileno, polipropileno, nailon, poliéter éter cetona, alúmina o cualquier combinación de los mismos.

El apilamiento 11 y los bloques 12A, 12B de extremo se pueden alojar en una estructura 15. Una estructura 15 de fibra enrollada puede proporcionar un marco resiliente capaz de alojar un apilamiento de celdas electroquímicas de alta presión sin aumentar significativamente el peso o el tamaño del sistema de celdas electroquímicas. La estructura 15 puede formar un marco con una forma definida en la que se colocan el apilamiento 11 y los bloques 12A, 12B de extremo. La Figura 2A representa una estructura 15 alargada y redondeada, pero la estructura 15 puede ser de cualquier forma adecuada, incluyendo, por ejemplo, rectangular, ovalada, circular o cuadrada. Las paredes de la estructura 15 pueden formar un borde continuo a lo largo de la periferia del apilamiento 11 y los bloques 12A, 12B de extremo, y la estructura 15 y pueden o no encerrar las porciones delantera y/o trasera del apilamiento 11 y los bloques 12A, 12B de extremo. Los bloques 12A, 12B de extremo, el apilamiento 11 y cualquier otro componente alojado en la estructura 15 pueden configurarse para que queden al ras con las paredes de la estructura 15 en una cara abierta, o los componentes pueden estar rebajados dentro de la estructura 15 o pueden sobresalir de la estructura 15, o cualquier combinación adecuada de los mismos.

La estructura 15 se puede dimensionar para alojar los bloques 12A, 12B de extremo y el apilamiento 11, que pueden incluir cualquier número adecuado de celdas 10 electroquímicas. En algunas realizaciones, el tamaño, por ejemplo, la altura H, longitud L (que se muestra en la Figura 2C), y/o el ancho, de la estructura 15 puede variar, por ejemplo, la estructura 15 puede configurarse para estirarse durante la precarga, como se explica más adelante. La estructura 15 se puede dimensionar para ajustarse perfectamente a los contenidos deseados, por ejemplo, el apilamiento 11 electroquímico y los bloques 12A, 12B de extremo, para no aumentar sustancialmente el tamaño del sistema de celdas electroquímicas general.

En algunas realizaciones, la estructura 15 puede estar formada por fibras enrolladas que son capaces de estirarse y contraerse. Por ejemplo, la estructura 15 puede estar formada por fibras enrolladas, tales como, por ejemplo, fibras de carbono, vidrio o aramida (por ejemplo, KEVLAR®). Las fibras pueden ser no conductoras para reducir la probabilidad de cortocircuito en el apilamiento 11. En algunas realizaciones, la estructura 15 puede estar formada por fibras metálicas, tales como, por ejemplo, acero, acero inoxidable o aluminio, o aleaciones, como Inconel. La estructura 15 puede estar formada por fibras homogéneas o una mezcla de diferentes fibras. Además, la estructura 15 puede formarse con o sin una matriz epoxi u otro material adecuado para unir las fibras entre sí. Como se muestra en la Figura 2C, las paredes de la estructura 15 pueden tener un espesor 't'. Las propiedades del material de la fibra enrollada, como, por ejemplo, la resistencia a la tracción y el espesor de la pared t, pueden seleccionarse para lograr una fuerza de compresión deseada en el apilamiento 11. Las fibras que forman la estructura 15 pueden enrollarse juntas para formar una unidad de marco integral en la que el apilamiento 11 y varios otros componentes encajan.

En algunas realizaciones, como la que se muestra en la Figura 2B, la estructura 15 puede estar formada por múltiples capas 13A, 13B y 13C. Aunque la Figura 2B representa 3 capas, las realizaciones de múltiples capas de la estructura 15 pueden incluir cualquier número adecuado de capas. Cada capa puede estar formada por fibras homogéneas o por una combinación de diferentes fibras. Las capas se pueden unir entre sí, mediante, por ejemplo, mecanismos de unión o sujeción, o se pueden soltar y mantener juntas mediante, por ejemplo, fricción. Además, algunas capas pueden estar unidas, mientras que otras pueden estar sin unión. En las realizaciones de múltiples capas, la estructura 15 puede incluir uno o más planos 4 de deslizamiento entre las capas. El plano 4 de deslizamiento puede estar formado por una capa separada o por un recubrimiento en una de las capas, tal como, por ejemplo, un politetrafluoroetileno (por ejemplo, TEFLON®), poliéteretercetona, poliimida, nailon, polietileno o capa o recubrimiento de polímero, o cualquier otro material adecuado que reduzca la fricción para disminuir la fricción entre las capas. Si se incorpora, el plano 4 de deslizamiento se puede incluir entre cada capa o se puede incluir entre menos que todas las capas. La inclusión del plano 4 de deslizamiento puede reducir la cantidad de tensión dentro de la estructura 15 y el sistema 20 de compresión, particularmente en realizaciones que tienen paredes de estructura más gruesas.

En algunas realizaciones, los bloques 12A, 12B de extremo también pueden configurarse para encajar en la estructura 15, de modo que uno o ambos bloques 12A, 12B de extremo pueden moverse dentro de la estructura 15. Por ejemplo, se puede permitir que los bloques 12A, 12B de extremo se deslicen a lo largo de las paredes de la estructura 15. Esta

configuración puede disminuir la tensión en la estructura 15, lo que a su vez puede permitir que la estructura 15 incorpore paredes más delgadas. En tales realizaciones, los bloques 12A, 12B de extremo pueden incluir un material o recubrimiento reductor de fricción adecuado, por ejemplo, politetrafluoroetileno (por ejemplo, TEFLON®), poliéteretercetona, poliimida, nailon, polietileno. En otras realizaciones, los bloques 12A, 12B de extremo se pueden unir a las paredes de la estructura 15 o se pueden configurar de otra manera para que los bloques 12A, 12B de extremo no puedan deslizarse una vez que se inserten en la estructura 15.

De acuerdo con otro aspecto de la divulgación, el sistema 20 de compresión puede incluir una o más mandíbulas para promover la compresión uniforme del apilamiento 11 electroquímico dentro de la estructura 15. Las mandíbulas pueden actuar como una cuña para impulsar aparte dos planos paralelos en la estructura 15 a medida que las mandíbulas se encajan en una dirección perpendicular a los dos planos paralelos. Por ejemplo, como se muestra en las Figuras 2A a 2C, se pueden insertar mandíbulas 14A, 14B entre el apilamiento 11 de celdas electroquímicas y el bloque 12a de extremo para separar el apilamiento 11 y el bloque 12A de extremo mientras se mantiene su orientación paralela. La mandíbula 14B puede tener una superficie plana y una superficie opuesta, en ángulo. La mandíbula 14B puede insertarse en la estructura 15 de modo que la superficie plana quede adyacente al apilamiento 11 y la superficie en ángulo hacia arriba. La mandíbula 14B puede estar orientado de manera que la superficie orientada hacia arriba, en ángulo, se incline en dirección hacia abajo hacia la cara frontal de la estructura 15 que se está cargando. La mandíbula 14A se puede insertar junto a la mandíbula 14B, y las dos mandíbulas se pueden juntar. La mandíbula 14A también puede tener una superficie plana y una superficie opuesta, en ángulo, inclinada en un ángulo complementario a la superficie inclinada de la mandíbula 14B. La superficie en ángulo de la mandíbula 14A puede insertarse adyacente a la superficie en ángulo de la mandíbula 14B, de modo que la superficie en ángulo también se inclina en dirección hacia abajo hacia la cara frontal de la estructura 15. Por lo tanto, como la mandíbula 14A se inserta en la estructura 15 y se impulsa contra el 14B, las pendientes complementarias pueden deslizarse una contra otra, empujando las superficies planas de las mandíbulas 14A, 14B más alejadas entre sí y hacia el bloque 12A de extremo y el apilamiento 11. La Mandíbula 14A se puede insertar en la estructura 15 hasta que se ejerza una fuerza de compresión deseada en el apilamiento 11.

La mandíbula 14B también puede incluir una porción de agarre configurada para ayudar en la inserción y eliminación de las mandíbulas 14A, 14B de la estructura 15. En algunas realizaciones, la mandíbula 14B puede incluir uno o más mecanismos de agarre configurados para enganchar las paredes de la estructura 15 para reducir el movimiento de la mandíbula 14B a medida que se inserta la mandíbula 14A. Los mecanismos de agarre de la mandíbula 14B pueden enganchar una superficie interna de la estructura 15 o pueden extenderse desde la mandíbula 14B y enganchar un borde y/o una superficie exterior de la estructura 15. Por ejemplo, La Figura 2A muestra los ganchos 9 que sobresalen fuera de la mandíbula 14B y se enganchan en los bordes de las paredes opuestas de la estructura 15. Los ganchos 9 pueden prevenir que la mandíbula 14B se deslice aún más dentro de la estructura 15 cuando se inserta la mandíbula 14A. La mandíbula 14B puede incluir cualquier mecanismo de agarre adecuado o una combinación de mecanismos de agarre, tal como, por ejemplo, salientes como clavijas o ganchos, o superficies texturizadas para reducir el movimiento a medida que la mandíbula 14A se acuña contra la mandíbula 14B. Los mecanismos de agarre pueden ser de cualquier tamaño, forma y orientación adecuados. En algunas realizaciones, el extremo grueso de mandíbula 14B puede estar restringido contra una superficie fija a medida que se acciona la mandíbula 14A, evitando la traslación contra el apilamiento 11 de celdas.

Mientras que se representan dos mandíbulas 14A, 14B, cualquier número adecuado de mandíbulas puede incluirse en el sistema 20 de compresión. Además, las mandíbulas 14A, 14B se pueden incluir en cualquier posición adecuada, por ejemplo, las mandíbulas 14A, 14B se pueden colocar entre el apilamiento 11 y el bloque 12B de extremo, o los juegos de mandíbulas se pueden ubicar a ambos lados del apilamiento 11.

Las mandíbulas 14A, 14B pueden estar formadas por cualquier material adecuado, tal como, por ejemplo, acero, acero inoxidable, cerámica o aluminio. Las mandíbulas 14A, 14B también pueden tener cualquier recubrimiento adecuado, tal como un lubricante, para reducir el desgaste o para facilitar la inserción en el sistema 20 de compresión. Un material reductor de fricción adecuado de este tipo puede incluir, por ejemplo, politetrafluoroetileno (por ejemplo, TEFLON®), poliéteretercetona, poliimida, nailon, polietileno u otros recubrimientos poliméricos lubricantes, o cualquier otro material adecuado.

Las mandíbulas 14A, 14B pueden ser de cualquier forma y tamaño adecuados para la inserción en la estructura 15. Por ejemplo, en algunas realizaciones, el tamaño y la forma de las mandíbulas 14A, 14B pueden al menos en parte reflejar el tamaño y la forma de la región interior de la estructura 15. Las mandíbulas 14A, 14B pueden diseñarse con cualquier ángulo adecuado. El ángulo con el que están diseñados los topes 14A, 14B puede basarse, al menos en parte, en la precarga requerida del apilamiento 11, que puede basarse en la aplicación del apilamiento 11 y los requisitos de salida adjuntos. El tamaño y la forma de las mandíbulas 14A, 14B también pueden basarse, en parte, en el tamaño del apilamiento 11 en comparación con el tamaño de la estructura 15. Por ejemplo, la misma estructura de tamaño 15 se puede usar para alojar apilamientos 11 de diferentes tamaños. Por lo tanto, las mandíbulas más grandes 14A, 14B se pueden usar con apilamientos 11 más pequeños para aplicar una fuerza de compresión apropiada, y viceversa.

Las mandíbulas 14A, 14B se pueden usar para aplicar compresión al apilamiento 11, mantener una carga uniforme, estabilizar el sistema 20 y proporcionar planaridad. Durante el ensamblaje, los componentes del sistema 20 de

compresión, tal como el apilamiento 11 y los bloques 12A, 12B de extremo, pueden insertarse en la estructura 15. En este momento, la estructura 15 puede estar "precargada" o preestirada para aplicar una fuerza de compresión predeterminada para apilar 11 con el fin de mantener el contacto entre las celdas 10 electroquímicas. Esto se puede lograr usando mecanismos de compresión, tal como mandíbulas 14A, 14B. Una vez que se insertan los otros componentes, las mandíbulas 14A, 14B se pueden insertar en la estructura 15 para llenar cualquier espacio. Las mandíbulas 14A, 14B pueden encajarse entre sí hasta que sus superficies paralelas se separen lo suficiente para lograr una carga de compresión deseada en los componentes circundantes, por ejemplo, el apilamiento 11, dentro de la estructura 15. A medida que las mandíbulas 14A, 14B se impulsan juntas durante la precarga, la tensión dentro de las paredes de la estructura de 15 fibra enrollada puede aumentar y las fibras pueden estirarse. Esto puede aumentar la altura H de la estructura 15. La cantidad de expansión de la estructura 15 puede depender, al menos en parte, del espesor de la pared t y de los tipos de fibras que forman la estructura 15. La medición del cambio en la altura H de la estructura 15 durante la precarga puede indicar la fuerza de compresión que se está aplicando al apilamiento 11 y puede permitir un control más preciso de las condiciones de precarga. Por lo tanto, cuando la estructura 15 de fibra enrollada se usa junto con los mecanismos de compresión divulgados, el sistema 20 puede proporcionar un sistema liviano y de bajo coste para aplicar de manera precisa y de manera efectiva una carga compresiva al apilamiento 11.

Durante la operación, a medida que aumenta la presión de gas en el apilamiento, la carga de compresión en el apilamiento 11 puede disminuir hasta que las celdas 10 se separen. En este punto, la estructura 15 puede comenzar a estirarse más que su valor precargado. Por lo tanto, si el apilamiento 11 se calienta más que la estructura 15 durante la operación, la estructura 15 puede forzarse a estirarse más que el valor precargado debido a la expansión térmica diferencial y la fuerza aplicada al apilamiento aumentará. Por lo tanto, los materiales de la estructura 15 y cualquier mecanismo de compresión pueden seleccionarse con base en sus propiedades térmicas para reducir el potencial de pérdida de fuerza de compresión durante la operación.

En algunas realizaciones, el sistema 20 puede incluir otros mecanismos de compresión en lugar de, o además de, mandíbulas 14A, 14B. Por ejemplo, como se muestra en las Figuras 3A y 3B, en algunas realizaciones, uno o más bloques 21 de expansión térmica se pueden usar para aplicar compresión al apilamiento 11. El bloque 21 se puede enfriar a una temperatura inferior a la del apilamiento 11. Durante la precarga, el bloque 21 enfriado se puede insertar en el sistema 20 de compresión. A medida que aumenta la temperatura del bloque 21 dentro de la estructura 15, el bloque 21 puede expandirse, y en consecuencia, puede aplicar compresión al apilamiento 11. El bloque 21 puede estar formado por cualquier material o combinación de materiales que tengan características adecuadas de expansión térmica, tales como, por ejemplo, metales adecuados, aleaciones metálicas o cerámicas. En algunas realizaciones, el bloque 21 puede estar formado por materiales con un mayor coeficiente de expansión térmica que el de la estructura 15. En tales realizaciones, a medida que el apilamiento 11 y el bloque 21 alcanzan la temperatura de funcionamiento (generalmente entre 30 y 100°C), el bloque 21 puede expandirse más que la estructura 15. Dicha expansión puede resultar en una carga compresiva del apilamiento 11.

Una de las ventajas de los mecanismos de compresión activados térmicamente es que el bloque 21 puede ser más fácil de insertar en la estructura 15. Insertar el bloque 21 antes de la expansión térmica puede reducir el desgaste y la tensión en los componentes circundantes del sistema 20 de compresión. Por ejemplo, como se muestra en la Figura 3A, cuando el bloque 21 se inserta inicialmente durante la precarga, puede existir una brecha 17 en el sistema 20 de compresión. A medida que el bloque 21 se calienta, la brecha 17 puede desaparecer a medida que el bloque 21 se expande y llena el espacio circundante (que se muestra en la Figura 3B). Una vez que la brecha 17 desaparece, la expansión continua del bloque 21 puede comenzar a comprimir el apilamiento 11 y aplicar una carga de compresión. Las propiedades térmicas del bloque 21 se pueden elegir para impartir una carga de compresión deseada basada en el tamaño del apilamiento 11 y el tamaño de la brecha 17 en la estructura 15. Se entenderá que mientras que la brecha 17 se muestra entre el bloque 21 insertado y el bloque 12a de extremo, el bloque 21 puede estar orientado de manera que la brecha 17 se produzca en cualquiera de los lados del bloque 21, o en ambos lados del bloque 21. Además, la brecha 17 puede ocurrir en cualquier región dentro de la estructura 15.

Mientras que el bloque 21 se describe aquí como el miembro de expansión, uno o más de los bloques 12A o 12B de extremo pueden diseñarse para proporcionar compresión térmica en lugar de, o además de, el bloque 21. Además, las mandíbulas 14A, 14B también pueden estar hechas de material adecuado para permitirles aplicar compresión a través del uso como cuña, así como a través de la expansión térmica. Además, se pueden usar múltiples bloques 21 de expansión térmica, o se puede insertar una combinación de bloque 21 de expansión térmica y mandíbulas 14A, 14B en la estructura 15.

Otras realizaciones de la presente divulgación pueden incluir otros mecanismos de compresión. Como se muestra en la Figura 4, se puede usar una unidad 19 de compresión de tornillos con tornillos internos de la unidad para aplicar una carga de compresión. La unidad 19 de compresión puede configurarse para que se pueda retirar de la estructura 15 o puede unirse a la estructura 15. Como se muestra en la Figura 4, los tornillos 18 roscados pueden extenderse desde una base 16B de la unidad 19 de compresión. Los extremos opuestos de los tornillos 18 pueden extenderse en entradas roscadas complementarias (no mostradas) en el bloque 16A de la unidad 19 de compresión. Girar los tornillos 18 en una dirección puede hacer que los tornillos 18 se enrosquen aún más en las entradas roscadas del bloque 16A, moviendo el bloque 16A más cerca de la base 16B y disminuyendo el espacio entre 16A y 16B. Disminuir el espacio entre 16A y 16B puede reducir la fuerza de compresión aplicada al apilamiento 11. Girar los tornillos 18 en la dirección opuesta puede hacer que los tornillos 18 se desenrosquen de las entradas roscadas en el bloque 16A, alejando el

bloque 16A de la base 16B y aumentando la brecha entre 16A y 16B. El aumento de la brecha entre 16A y 16B puede aumentar la fuerza de compresión aplicada al apilamiento 11. Durante la precarga, la unidad 19 de compresión se puede insertar en la estructura 15 mientras haya poca o ninguna brecha entre el bloque 16A y la base 16B. Una vez insertados, los tornillos 18 se pueden girar para aumentar la brecha entre el bloque 16A y la base 16B para aplicar una fuerza de compresión deseada al apilamiento 11.

Si bien se representan cuatro tornillos 18 en la Figura 4, cualquier número adecuado de componentes roscados puede incluirse en la unidad 19 de compresión. Además, los componentes roscados se pueden distribuir en la base 16B en cualquier disposición adecuada. Los tornillos 18 pueden ser de cualquier forma o tamaño adecuados y pueden estar formados de cualquier material adecuado, por ejemplo, cualquier metal, aleación metálica o cerámica. Se puede incorporar cualquier número de unidades 19 de compresión en el sistema 20, y la unidad 19 de compresión se puede usar en lugar de, o además de cualquiera o ambas mandíbulas 14A, 14B y el bloque 21 de expansión térmica. Además, en algunas realizaciones, la unidad 19 de compresión también puede incorporarse en uno de los componentes o mecanismos de compresión descritos anteriormente. Por ejemplo, uno o más de los bloques 12A, 12B de extremo, mandíbulas 14A, 14B o bloque 21 pueden incluir tornillos internos de la unidad.

Una ventaja adicional de algunas de las realizaciones del sistema 20 de compresión divulgado (aparte de la reducción en el tamaño y peso total del apilamiento) es que el sistema 20 de compresión puede alojar apilamientos electroquímicos de diferentes tamaños. Al incorporar mandíbulas 14A, 14B, el bloque 21 de expansión térmica y/o la unidad 19 de compresión, la estructura 15 puede configurarse para recibir apilamientos de celdas electroquímicas de diferentes tamaños con diferentes números de celdas electroquímicas adecuadas para diferentes aplicaciones y niveles de salida. Si un apilamiento 11 más pequeño con menos celdas 10 electroquímicas está contenida en la estructura 15, entonces se pueden insertar mecanismos de compresión más grandes o un número mayor de o una combinación de mecanismos de compresión alrededor del apilamiento 11 durante la precarga para llenar cualquier espacio adicional y aplicar una fuerza de compresión deseada. Alternativamente, si un apilamiento 11 de celdas electroquímicas más grande con más celdas 10 se aloja en la estructura 15, se pueden insertar mecanismos de compresión más pequeños o menos mecanismos de compresión alrededor del apilamiento 11. Por consiguiente, la misma estructura 15 básica puede ser capaz de alojar apilamientos de celdas electroquímicas de diferentes tamaños apropiadas para diferentes aplicaciones y diferentes niveles de salida. Esto puede reducir los costes de fabricación, debido a que se puede producir una estructura 15 estándar para alojar una variedad de tamaños de apilamientos de celdas electroquímicas adecuadas para una variedad de aplicaciones. Por lo tanto, la misma tecnología básica puede producir estructuras para apilamientos de diversos conteos de celdas y tamaños. Al incorporar diferentes números o diferentes tipos de mecanismos de compresión descritos anteriormente, la misma estructura 15 puede ser capaz de adaptarse a una gama de condiciones operativas durante un período de tiempo prolongado.

Adicionalmente, el espesor de pared de la estructura 15 y los tipos de fibras seleccionados para formar la estructura 15 pueden permitir que la estructura 15 se adapte a un intervalo de tamaños de apilamiento de celdas electroquímicas. Además, en realizaciones de múltiples capas de la estructura 15, la estructura 15 puede configurarse de modo que una o más de las capas se pueda retirar o se pueda separar de las otras capas. Por ejemplo, una o más de las capas pueden estar anidadas dentro de otra capa y se pueden retirar completamente de la capa circundante. En una realización como la que se muestra en la Figura 2B, la capa 13A puede estar anidada dentro y se puede retirar de la capa 13B, por ejemplo, y el plano 4 de deslizamiento puede facilitar el retiro. Dependiendo del tamaño del apilamiento 11 de celdas electroquímicas que se insertará en la estructura 15, se pueden quitar una o más capas para adaptar la estructura 15 a las condiciones operativas actualmente aplicables.

La aplicación de las realizaciones descritas anteriormente puede mejorar el rendimiento de las celdas electroquímicas, incluyendo las celdas electroquímicas que funcionan bajo condiciones de alta presión.

REIVINDICACIONES

1. Un sistema, que comprende:

una pluralidad de celdas (10) electroquímicas dispuestas en serie a lo largo de un eje para formar un apilamiento (11) electroquímico; y

un sistema (20) de compresión que comprende una estructura (15) que tiene una forma definida que está configurada para recibir y contener:

el apilamiento (11) electroquímico ubicado entre los bloques (12A, 12B) de extremo; y

al menos un mecanismo (14A, 14B) de compresión configurado para aplicar una fuerza de compresión al apilamiento (11) electroquímico situado adyacente a y a lo largo del eje del apilamiento (11) electroquímico;

en el que la estructura está formada por fibras enrolladas que forman un borde continuo que rodea el apilamiento (11) electroquímico y el al menos un mecanismo (14A, 14B) de compresión;

caracterizado porque el mecanismo de compresión comprende mandíbulas (14A, 14B) insertadas entre el apilamiento (11) y un bloque (12A) de extremo, teniendo las mandíbulas (14A, 14B) una superficie plana y una superficie opuesta en ángulo; en el que la superficie plana de una mandíbula (14B) se encuentra adyacente al apilamiento (11); y en el que la superficie en ángulo de otra mandíbula (14A) está inclinada en un ángulo complementario a la superficie en ángulo de una mandíbula (14B) y se inserta adyacente a la superficie en ángulo de dicha mandíbula (14A).

2. El sistema de compresión de la reivindicación 1, en el que las fibras no son conductoras.

3. El sistema de compresión de la reivindicación 1, en el que las fibras son carbono.

4. El sistema de compresión de la reivindicación 1, en el que la altura de la estructura (15) a lo largo del eje del apilamiento (11) electroquímico cambia en respuesta a una carga aplicada por el mecanismo de compresión al apilamiento electroquímico cuando se recibe el mecanismo de compresión.

5. El sistema de la reivindicación 1, en el que dicha mandíbula (14B) incluye uno o más mecanismos de agarre configurados para enganchar la pared de la estructura 15.

6. El sistema de la reivindicación 5, en el que el mecanismo de agarre incluye ganchos (9) que sobresalen de dicha mandíbula (14B) y se acoplan a los bordes de paredes opuestas de la estructura (15).

7. El sistema de la reivindicación 1, en el que los conjuntos de mandíbulas están situados a ambos lados del apilamiento (11).

8. Un método para precargar el sistema de la reivindicación 1, donde el método comprende:

insertar el apilamiento (11) electroquímico en la estructura (15);

insertar al menos un bloque (12A, 12B) de extremo en la estructura (15);

insertar el al menos un mecanismo de compresión en la estructura (15);

configurar el mecanismo de compresión para aplicar una carga predeterminada dentro del sistema de compresión encajando las mandíbulas (14A, 14B) entre sí; y

medir un cambio en la altura de la estructura a lo largo del eje del apilamiento electroquímico para determinar la carga que está aplicando el mecanismo de compresión.

9. El método de la reivindicación 8, en el que configurar el mecanismo de compresión incluye aumentar la temperatura del sistema de compresión para expandir el mecanismo de compresión.

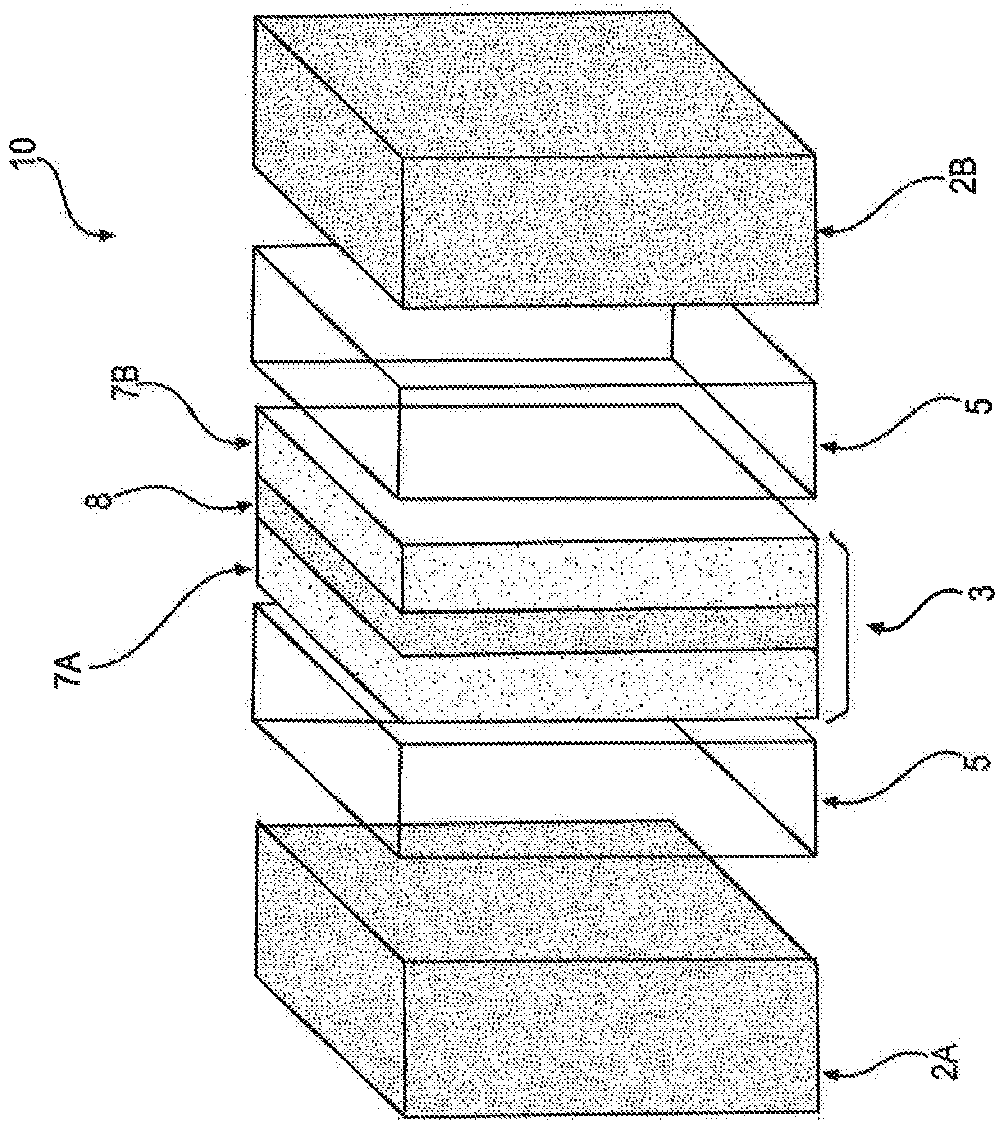

FIG. 1

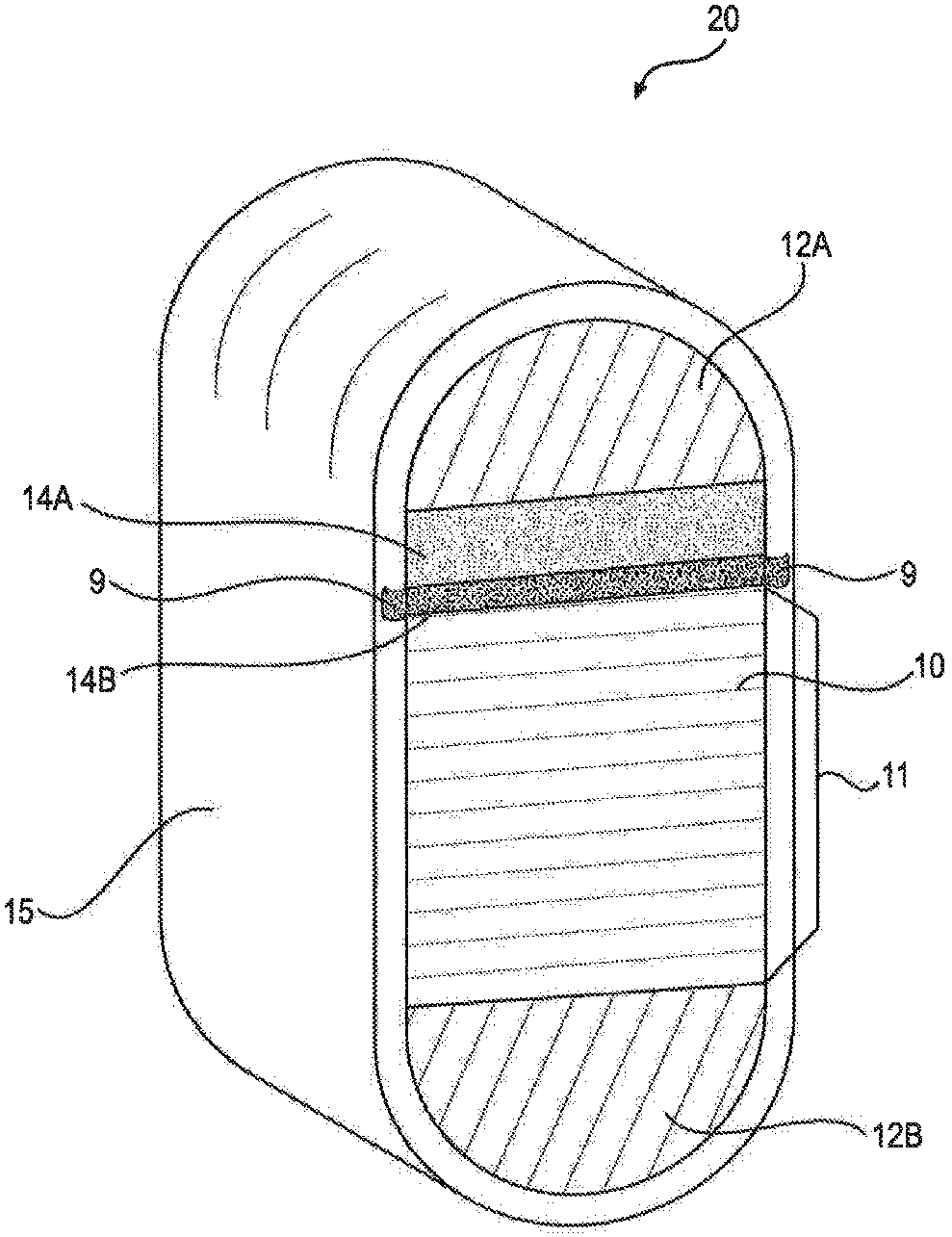

FIG. 2A

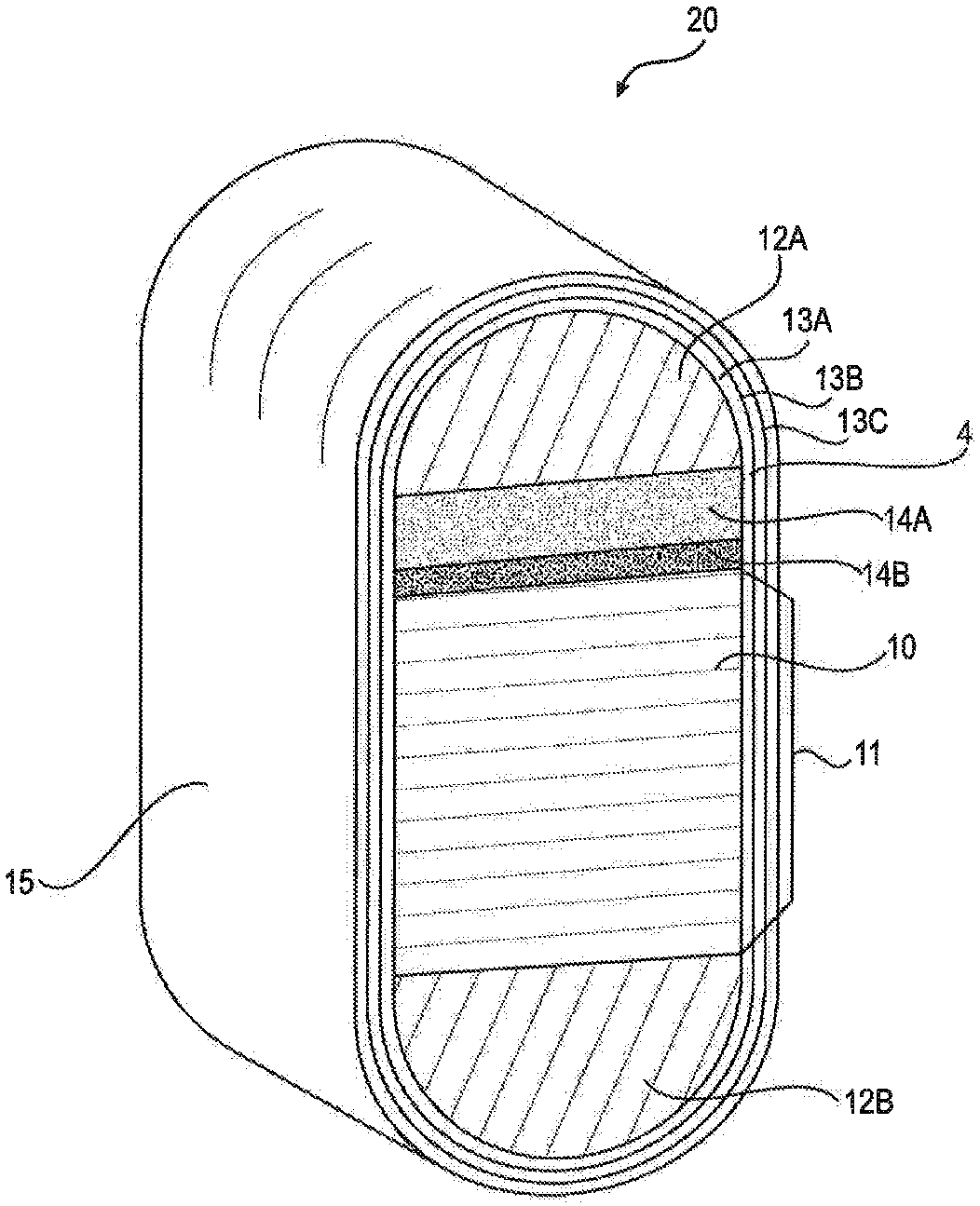

FIG. 2B

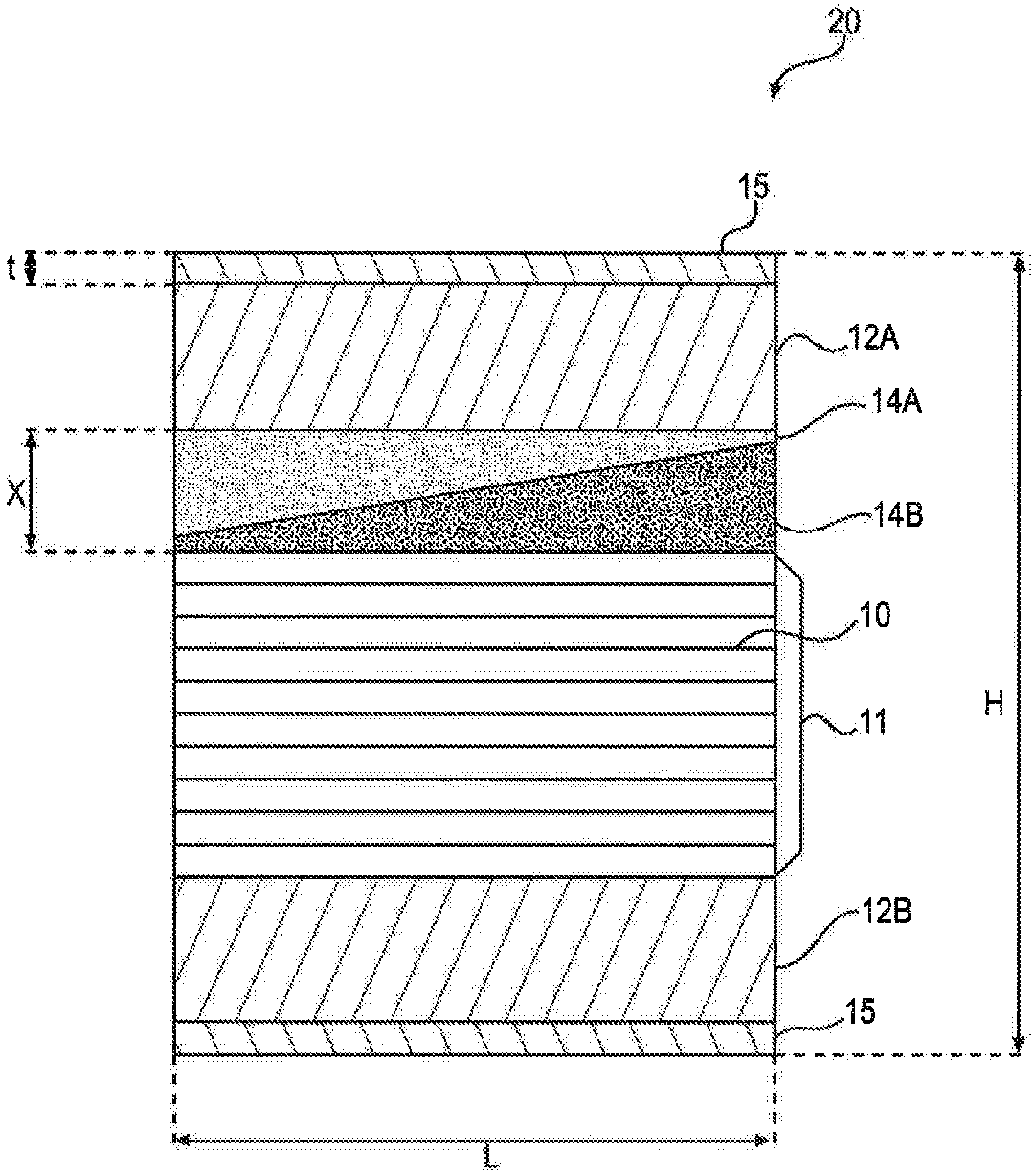

FIG. 2C

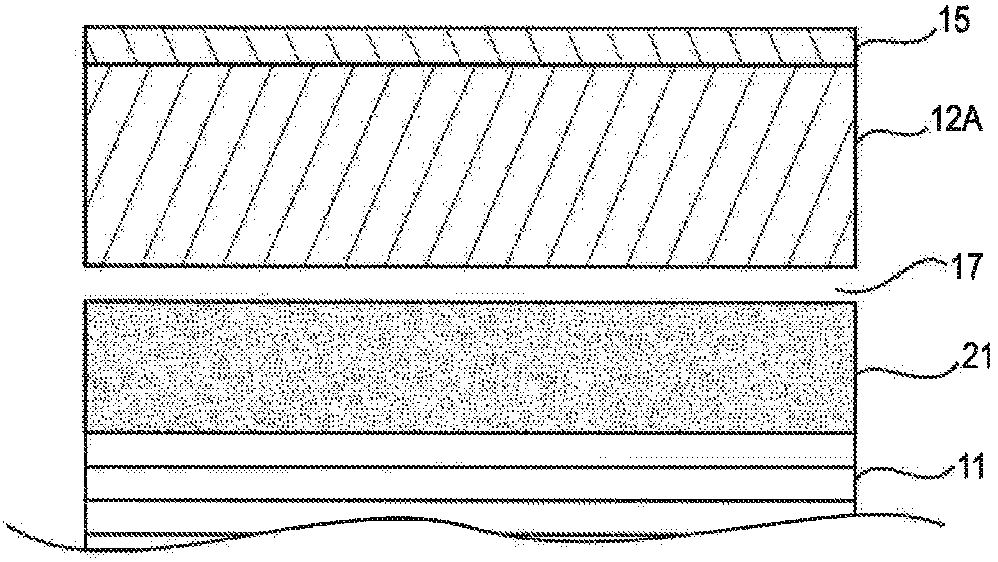

FIG. 3A

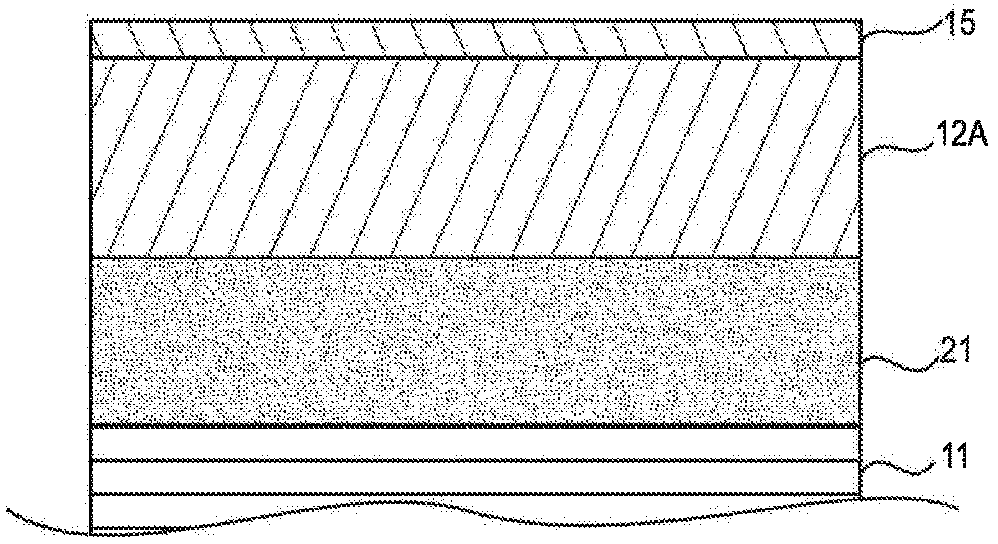

FIG. 3B

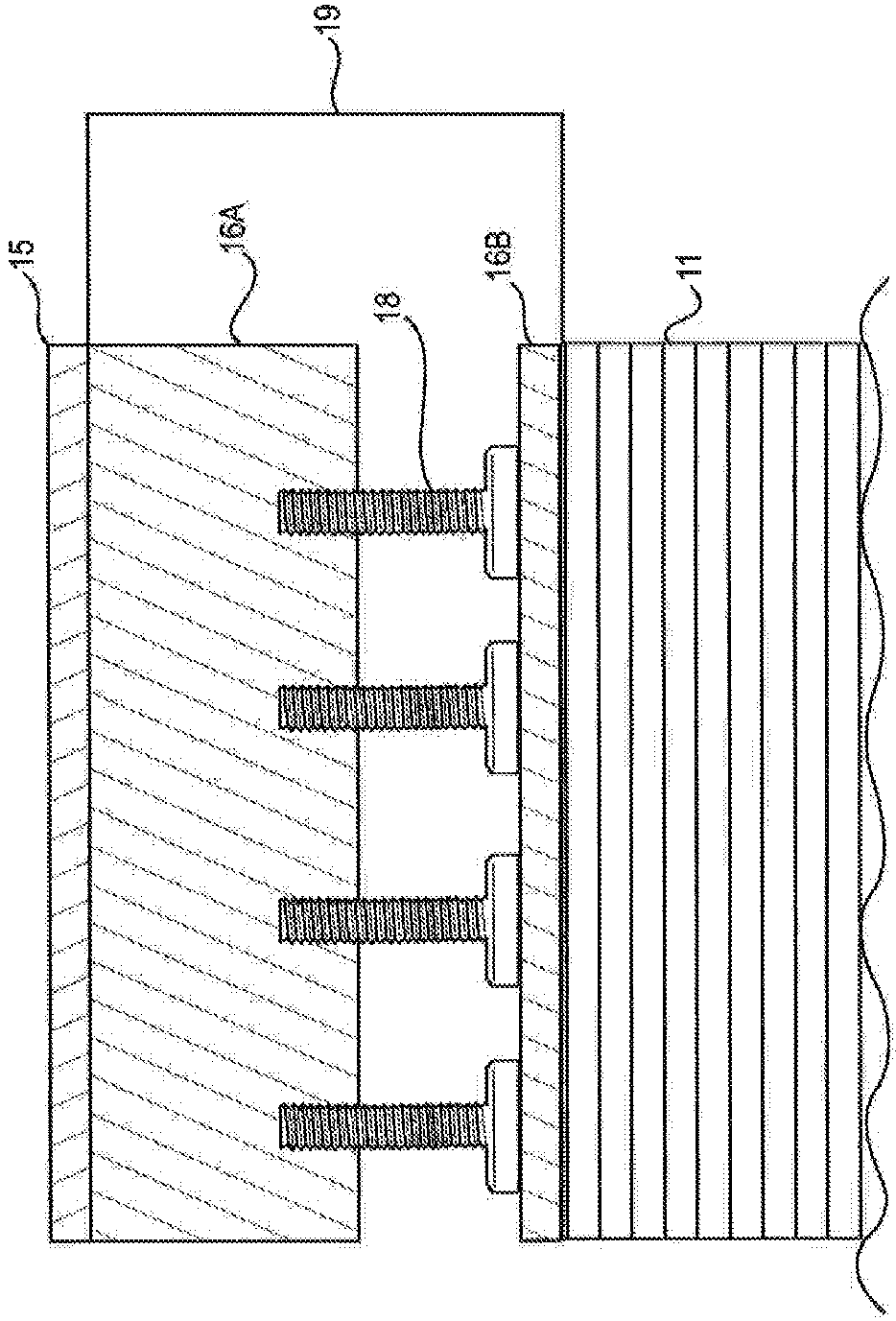

FIG. 4