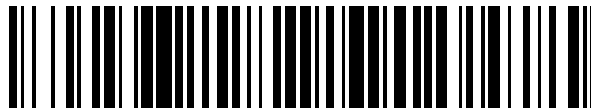


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 744 241**

51 Int. Cl.:

H01M 8/0234 (2006.01)

H01M 8/0239 (2006.01)

H01M 8/1018 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **30.09.2013 PCT/US2013/062641**

87 Fecha y número de publicación internacional: **10.04.2014 WO14055416**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **30.09.2013 E 13774591 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **07.08.2019 EP 2904656**

54 Título: **Estructuras de flujo resilientes para celdas electroquímicas**

30 Prioridad:

05.10.2012 US 201261710073 P

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

24.02.2020

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

**DOMIT, ED y
BLANCHET, SCOTT**

74 Agente/Representante:

SÁEZ MAESO, Ana

ES 2 744 241 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

Estructuras de flujo resilientes para celdas electroquímicas

Campo técnico

5 La presente divulgación está dirigida a celdas electroquímicas, y más específicamente, al diseño de estructuras de flujo resilientes para uso en celdas electroquímicas.

Antecedentes

10 Las celdas electroquímicas, usualmente clasificadas como celdas de combustible, son dispositivos utilizados para generar corriente eléctrica a partir de reacciones químicas. La tecnología de celdas de combustible ofrece una alternativa prometedora a las fuentes de energía tradicionales para una gama de tecnologías, por ejemplo, vehículos de transporte y aplicaciones portátiles de suministro de energía. Una celda de combustible convierte la energía química de un combustible (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 de combustible básica comprende un ánodo cargado negativamente, un cátodo cargado positivamente y un material conductor de iones llamado electrolito.

15 Las diferentes tecnologías de celdas de combustible utilizan diferentes materiales electrolíticos. Una celda de combustible de Membrana de Intercambio de Protones (PEM), por ejemplo, utiliza una membrana polimérica conductora de iones como el electrolito. En una celda de combustible de PEM de hidrógeno, los átomos de hidrógeno se dividen electroquímicamente en electrones y protones (iones de hidrógeno) en el ánodo. La reacción electroquímica en el ánodo es: $2\text{H}_2 \rightarrow 4\text{H}^+ + 4\text{e}^-$.

20 Los electrones producidos por la reacción fluyen a través de un circuito de carga eléctrica hacia el cátodo, produciendo electricidad de corriente continua. Los protones producidos por la reacción se difunden a través de la membrana electrolítica hacia el cátodo. Se puede configurar un electrolito para prevenir el paso de electrones cargados negativamente mientras se permite el paso de iones cargados positivamente.

25 Después del paso de los protones a través del electrolito, los protones pueden reaccionar en el cátodo con electrones que han pasado a través del circuito de carga eléctrica. La reacción electroquímica en el cátodo produce agua y calor, representada por: $\text{O}_2 + 4\text{H}^+ + 4\text{e}^- \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}$.

30 En funcionamiento, una sola celda de combustible generalmente puede generar aproximadamente 1 voltio. Para obtener la cantidad deseada de energía eléctrica para una aplicación particular, las celdas de combustible individuales se combinan para formar un apilamiento de celdas de combustible. Las celdas de combustible se apilan juntas secuencialmente, incluyendo cada celda un cátodo, una membrana electrolítica y un ánodo. Cada conjunto de cátodo/membrana/ánodo constituye un "conjunto de electrodo de membrana" (MEA), que típicamente está soportado en ambos lados por placas bipolares. Los gases (hidrógeno y aire) se suministran a los electrodos del MEA a través de canales o ranuras formadas en las placas, que se conocen como campos de flujo. Además de proporcionar soporte mecánico, las placas bipolares (también conocidas como placas de campo de flujo o placas separadoras) separan físicamente las celdas individuales en un apilamiento mientras las conectan eléctricamente. Las placas bipolares también pueden actuar como colectores de corriente, proporcionar canales de acceso para el combustible y el oxidante a las superficies de los electrodos respectivos, y proporcionar canales para la eliminación del agua formada durante el funcionamiento de la celda. Típicamente, las placas bipolares están hechas de metales, por ejemplo, acero inoxidable, titanio, etc., y de conductores eléctricos no metálicos, por ejemplo, grafito.

40 Además, un apilamiento de celdas de combustible típica incluye colectores y puertos de entrada para dirigir el combustible y el oxidante a los campos de flujo del ánodo y el cátodo, respectivamente. El apilamiento también puede incluir un colector y un puerto de entrada para dirigir un fluido refrigerante a los canales interiores dentro del apilamiento para absorber el calor generado durante el funcionamiento de las celdas individuales. Un apilamiento de celdas de combustible también incluye colectores de escape y puertos de salida para expulsar el exceso de gases y el agua refrigerante.

50 La FIG. 1 es un esquema en despiece que muestra los diversos componentes de una celda 10 de combustible de PEM. Como se muestra, las placas 2 bipolares flanquean el MEA, que comprende un ánodo 7A, un cátodo 7C y una membrana 8 electrolítica. Los átomos de hidrógeno suministrados al ánodo 7A son electroquímicamente divididos en electrones y protones (iones de hidrógeno). Los electrones fluyen a través de un circuito eléctrico (no mostrado) al cátodo 7C y generan electricidad en el proceso, mientras que los protones se mueven a través de la membrana 8 electrolítica al cátodo 7C. En el cátodo, los protones se combinan con electrones y oxígeno (suministrados al cátodo) para producir agua y calor.

55 Además, la celda 10 de combustible de PEM comprende capas 5 de difusión de gas eléctricamente conductoras (GDL) dentro de la celda de combustible en cada lado del MEA. Las GDL 5 sirven como medios de difusión que permiten el transporte de gases y líquidos dentro de la celda, proporcionan conducción eléctrica entre las placas bipolares 2 y la

membrana 8 electrolítica, ayudan a eliminar el calor y procesan el agua de la celda y, en algunos casos, brindan soporte mecánico a la membrana 8 electrolítica.

En una celda de combustible típica, los gases reactivos en cada lado de la membrana del electrolito fluyen a través de los campos de flujo y luego se difunden a través de las GDL porosas para llegar a la membrana del electrolito. Dado que el campo de flujo y las GDL están posicionados contiguamente y están acoplados por las corrientes de fluido internas, el campo de flujo y las GDL se denominan colectivamente "estructura de flujo" en lo sucesivo, a menos que se especifique lo contrario. Sin embargo, está dentro del alcance de la presente divulgación usar campos de flujo de tipo canal tradicionales en combinación con GDL metálicas porosas tridimensionales, usar campos de flujo metálicos porosos tridimensionales en combinación con GDL tradicionales, o usar tres sustratos metálicos porosos dimensionales como campos de flujo y GDL.

Los gases reactivos en cada lado de la membrana electrolítica a menudo están presentes a diferentes presiones, por lo tanto, se crea un diferencial de presión a través del MEA. El diferencial de presión crea una fuerza sobre el MEA que hace que el MEA se aleje de la alta presión hacia la baja presión. Una consecuencia de este movimiento puede ser una reducción en la presión de contacto y la separación de la superficie de contacto del MEA de la estructura de flujo en el lado de alta presión. Se cree que la reducción de la presión y la posterior separación entre las superficies de contacto del MEA y la estructura de flujo de alta presión reduce la conducción eléctrica y aumenta la resistencia de contacto entre las dos, reduciendo la eficiencia de la celda de combustible. La reducción en la presión de contacto y la separación debido a la operación a alta presión ha creado una necesidad continua de mejorar el diseño de las estructuras de flujo para las celdas electroquímicas para superar esta ineficiencia.

La presente divulgación está dirigida al diseño de estructuras de flujo mejoradas para su uso en celdas electroquímicas. En particular, la presente divulgación está dirigida al diseño de estructuras de flujo resilientes para uso con celdas electroquímicas. Dichos dispositivos se pueden usar en celdas electroquímicas que operan bajo altas presiones diferenciales, que incluyen, entre otras, celdas de combustible, celdas de electrólisis, purificadores de hidrógeno, expansores de hidrógeno y compresores de hidrógeno.

El documento JP-A-2005/317416 se relaciona con una batería de combustible para controlar la distribución de humedad. En una celda de batería de combustible, un separador del lado del ánodo y un separador del lado del cátodo tienen nervaduras con diferentes alturas dentro de los separadores respectivos. Cuando los separadores presionan una capa de difusión del lado del ánodo y una capa de difusión del lado del cátodo hacia una membrana de intercambio de protones, las capas de difusión respectivas tendrán espesores diferentes de sus formas originales dependiendo del área. Se afirma que un área con un espesor menor en comparación con la forma original tiene una porosidad más pequeña y una mejor retención de agua, por lo que se puede proporcionar una distribución de porosidad deseada a una capa de difusión.

El documento WO-A2-02/27813 se relaciona con una celda electroquímica que incluye un primer electrodo, un segundo electrodo, una membrana de intercambio de protones dispuesta entre y en contacto íntimo con los electrodos, y una almohadilla de presión dispuesta en comunicación eléctrica con el primer electrodo. La almohadilla de presión es una lámina eléctricamente conductora y es de una estructura que se adapta a las variaciones de presión dentro de la celda.

El documento WO-A1-2011/036426 se relaciona con un dispositivo de electrólisis que comprende un conjunto de elementos formado por un elemento de membrana rodeado a cada lado por un electrodo, una placa conductora rígida, al menos un conductor eléctrico insertado entre dicho conjunto elemental y siendo rígida dicha placa conductora, y dicho conductor eléctrico hecho de una placa corrugada adecuada para deformar y asegurar el contacto eléctrico entre dicho conjunto de elementos y dicha placa conductora rígida.

El documento JP-A-2006/070322 se relaciona con un dispositivo de producción de hidrógeno a alta presión equipado con medios de presión para presionar un cuerpo de alimentación de energía del cátodo contra una membrana sólida de polímero alto y pegarlos firmemente, donde cada medio de presión se proporciona en un paso de fluido y se compone de un miembro elástico que energiza el cuerpo de alimentación de energía del cátodo al lado de la membrana sólida de polímero alto, teniendo el miembro elástico conductividad y siendo un resorte de disco o un resorte helicoidal.

El documento US-A1-2005/164068 se relaciona con un conjunto para mantener la compresión para el contacto eléctrico del área activa de una celda electroquímica, en el que una estructura de celda electroquímica tiene una primera cámara de fluido y un miembro resiliente dispuesto en la primera cámara de fluido, con una abertura que permite la comunicación del fluido hacia la primera cámara de fluido, y donde una cavidad anódica y una cavidad catódica están en comunicación fluida con la cámara de fluido a través de la abertura.

El documento US-A1-2007/184329 se relaciona con una celda de combustible de unidad de alimentación de líquido orgánico directo que comprende un colector de corriente anódica, un colector de corriente catódica, un conjunto de electrodo de membrana y una capa de suministro de combustible para diluir una corriente de combustible concentrada y suministrar la corriente de combustible al ánodo a una concentración uniforme a través de la extensión plana del ánodo, independientemente de la orientación de la celda de combustible.

Resumen

Un aspecto de la presente divulgación está dirigido a una celda electroquímica como se establece en la reivindicación 1.

5 En una realización, la primera estructura de flujo puede configurarse para expandirse elásticamente en relación con un desplazamiento del conjunto de electrodo de membrana causado por un diferencial de presión entre la primera estructura de flujo y la segunda estructura de flujo para permitir que la primera estructura de flujo mantenga contacto físico con el conjunto de electrodo de membrana.

En otra realización, la primera estructura de flujo puede incluir al menos dos capas de material, y al menos una de las al menos dos capas de material tiene una rigidez menor que la del segundo material de estructura de flujo.

10 En otra realización, la al menos una segunda capa puede tener una longitud mayor que la segunda estructura de flujo o un módulo elástico menor que el de la segunda estructura de flujo. En otra realización, la primera estructura de flujo puede estar en el lado del cátodo de la celda electroquímica y la segunda estructura de flujo puede estar en el lado del ánodo de la celda electroquímica.

15 En otra realización, la primera estructura de flujo puede comprender lana de acero. En otra realización, la primera estructura de flujo puede comprender espuma metálica que incluye níquel y cromo. En otra realización, la primera estructura de flujo puede comprender al menos uno de un paño, un papel y una lana hecha de fibra de carbono. En otra realización, una medición de resistencia de celda para la celda electroquímica cuando opera a una presión diferencial de hasta 14,000 psi (96.5 MPa) puede ser menos de seis veces una medición de resistencia de celda para la celda electroquímica cuando opera a una presión diferencial de 0 psi/MPa.

20 Otro aspecto de la presente divulgación está dirigido a un método de operación para una celda electroquímica como se establece en la reivindicación 9.

En una realización, una medición de resistencia de celda para la celda electroquímica cuando opera a una presión diferencial de hasta 14,000 psi (96.5 MPa) puede ser menos de seis veces una medición de resistencia de celda para la celda electroquímica cuando opera a 0 psi/MPa de presión diferencial. En otra realización, la segunda estructura de flujo puede tener una rigidez mayor que la primera estructura de flujo.

25 Debe entenderse 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 divulgación, como se reivindica.

Breve descripción de los dibujos

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

30 La FIG. 1 es una vista esquemática en despiece de una celda de combustible, que muestra los diversos componentes de una celda de combustible de Membrana de Intercambio de Protones (PEM).

La FIG. 2 es una vista esquemática de parte de una celda electroquímica, de acuerdo con una realización a manera de ejemplo.

35 La FIG. 3A es una vista esquemática de parte de una celda electroquímica, de acuerdo con una realización a manera de ejemplo que incluye un mecanismo de resorte.

La FIG. 3B es una ilustración de parte de una placa bipolar y un mecanismo de resorte, de acuerdo con una realización a manera de ejemplo.

La FIG. 3C es una vista esquemática de parte de una celda electroquímica, de acuerdo con una realización a manera de ejemplo que incluye un mecanismo de resorte de hoja.

40 La FIG. 3D es una vista esquemática de parte de una celda electroquímica, de acuerdo con una realización a manera de ejemplo que incluye un mecanismo de resorte ondulado.

La FIG. 3E es una ilustración de una placa con hoyuelos, de acuerdo con una realización a manera de ejemplo.

La FIG. 4 es una vista esquemática de parte de una celda electroquímica, de acuerdo con una realización a manera de ejemplo.

45 La FIG. 5 es una vista esquemática de parte de una celda electroquímica, de acuerdo con una realización a manera de ejemplo.

La FIG. 6 es una vista esquemática de parte de una celda electroquímica, de acuerdo con una realización a manera de ejemplo.

50 La FIG. 7 es un gráfico que ilustra la resistencia de la celda frente a la presión aplicada al cátodo para tres combinaciones de estructura de flujo, de acuerdo con una realización a manera de ejemplo.

La FIG. 8 es una imagen de una estructura de flujo de lana de acero, de acuerdo con una realización a manera de ejemplo.

Descripción de las realizaciones

- Ahora se hará referencia en detalle a las realizaciones a manera de ejemplo actuales de la divulgación, cuyos ejemplos se ilustran en los dibujos adjuntos. Siempre que sea posible, se utilizarán los mismos números de referencia en todos los dibujos para referirse a las mismas partes o partes similares. Aunque se describe en relación con una celda de combustible de PEM que emplea hidrógeno, oxígeno y agua, se entiende que los dispositivos y métodos de la presente divulgación se pueden emplear con varios tipos de celdas electroquímicas, incluyendo aquellas que operan bajo altas presiones diferenciales.
- La presente divulgación está dirigida al diseño de estructuras de flujo resilientes para uso en celdas electroquímicas. En tales celdas electroquímicas, las estructuras de flujo resilientes están configuradas de manera que se pueda mantener una presión de contacto suficiente entre cada estructura de flujo y el MEA en general con el fin de mantener una conducción eléctrica adecuada de la celda y reducir la resistencia de la celda a través de un intervalo de diferenciales de presión.
- La FIG. 2 es un esquema en despiece de una celda 200 de combustible de PEM, de acuerdo con una realización a manera de ejemplo. La celda 200 de combustible puede comprender dos placas 210, 220 bipolares. La placa 210 bipolar se coloca en el lado de alta presión y la placa 220 bipolar se coloca en el lado de baja presión de la celda 200 de combustible. Las placas bipolares pueden estar hechas de aluminio, acero, acero inoxidable, titanio, cobre, aleación de Ni-Cr o cualquier otro material eléctricamente conductor.
- Además de las placas 210, 220 bipolares, la celda 200 de combustible puede comprender un conjunto 230 de electrodo de membrana ("MEA"), que puede estar flanqueado por una primera estructura 240 de flujo a la derecha y una segunda estructura 250 de flujo a la izquierda. Como se muestra, la primera estructura 240 de flujo está dispuesta entre MEA 230 y la placa 210 bipolar, mientras que la segunda estructura 250 de flujo está dispuesta entre MEA 230 y la placa 220 bipolar. Las placas 210, 220 bipolares separan la celda 200 de combustible de las celdas de combustible vecinas (no se muestran) en el apilamiento de combustible. En algunas otras realizaciones (no mostradas), dos celdas de combustible adyacentes en un apilamiento de celdas pueden compartir una placa bipolar.
- El MEA 230 puede comprender un ánodo 231, un cátodo 232 y una PEM 233. La PEM 233 puede estar dispuesta entre el ánodo 231 y el cátodo 232 aislando eléctricamente el ánodo y el cátodo entre sí. La PEM 233 puede comprender una membrana de polímero puro o una membrana compuesta donde otro material, por ejemplo, sílice, heteropoliácidos, fosfatos metálicos en capas, fosfatos de circonio se pueden incrustar en una matriz de polímero. La PEM 233 puede ser permeable a los protones mientras no conduce electrones. El ánodo 231 y el cátodo 232 pueden comprender electrodos de carbono porosos que contienen un catalizador. El material catalizador, por ejemplo, platino, puede acelerar la reacción de oxígeno y combustible. Las dimensiones de MEA 230 se pueden ampliar o reducir según la aplicación y los requisitos de carga. El espesor de MEA 230 puede basarse en el espesor de PEM 233, así como la concentración de material catalítico en el ánodo 231 y el cátodo 232.
- La primera estructura 240 de flujo y la segunda estructura 250 de flujo proporcionan conducción eléctrica entre las placas 210, 220 bipolares y MEA 230 mientras que también proporcionan un medio para el transporte de gases y líquidos dentro de la celda 200 de combustible. Además, la primera estructura 240 de flujo y la segunda estructura 250 de flujo pueden proporcionar soporte mecánico a MEA 230.
- La primera estructura 240 de flujo y la segunda estructura 250 de flujo pueden comprender metales densamente sinterizados de tipo "frita". Además, también se pueden usar estructuras de flujo en capas (es decir, paquetes de criba y metales expandidos). También es posible el uso de sustratos porosos tridimensionales fabricados con espumas metálicas u otros sustratos metálicos porosos. El material metálico poroso puede comprender un metal, tal como acero inoxidable, titanio, aluminio, níquel, hierro, etc. o una aleación metálica, tal como aleación de níquel y cromo, etc. En celdas de alta presión o alta presión diferencial, se pueden usar espumas metálicas o sustratos metálicos porosos tridimensionales como reemplazo de los campos de flujo de tipo canal tradicional.
- En ciertas realizaciones, la estructura de flujo de alta presión puede estar compuesta de una lana metálica, tal como lana de acero. La estructura de flujo de lana puede estar hecha de diferentes calidades de acero o puede estar hecha de otros metales, tal como acero inoxidable, titanio, aluminio, níquel, hierro, níquel y cromo u otra aleación de metal. Además, la estructura de flujo de lana puede estar hecha de metales con recubrimiento resistente a la corrosión, tal como carbono, oro, nitruro de titanio. En otras realizaciones, la estructura de flujo puede estar hecha de fibras de carbono en la forma de una estructura de flujo de tela, papel o lana.
- En realizaciones a manera de ejemplo, la celda 200 de combustible puede usarse para operaciones de alta presión diferencial, durante la cual, la primera estructura 240 de flujo en la celda 200 de combustible está expuesta a una presión de fluido más alta durante la operación que la segunda estructura 250 de flujo en el lado opuesto de MEA 230. Para los propósitos de la presente divulgación, la primera estructura de flujo constituirá la "estructura de flujo de alta presión" y la segunda estructura de flujo constituirá la "estructura de flujo de baja presión".

Se contempla que la celda 200 de combustible puede operar a una presión diferencial de hasta 15,000 psi (103.4 MPa). Dichas condiciones de funcionamiento pueden hacer que las estructuras de flujo en la celda 200 de combustible se compriman a un nivel de tensión igual o mayor a aproximadamente 15,000 psi (103.4 MPa). En realizaciones a manera de ejemplo de celdas de combustible de alta presión diferencial, la estructura de flujo de baja presión (es decir, la segunda estructura 250 de flujo o lado del ánodo de la celda de combustible) puede formarse con una densidad mayor que la de la estructura de flujo de alta presión (es decir, la primera estructura 240 de flujo o lado del cátodo de la celda de combustible).

Como se describió anteriormente, la primera estructura 240 de flujo y la segunda estructura 250 de flujo pueden proporcionar soporte mecánico a MEA 230 además de servir como medio para la conducción eléctrica entre placas 210, 220 bipolares y MEA 230. En una realización a manera de ejemplo, el fluido de alta presión que actúa sobre MEA 230 desde la primera estructura 240 de flujo en el lado de alta presión puede oponerse al soporte estructural proporcionado por la segunda estructura 250 de flujo en el lado de baja presión.

La FIG. 3A ilustra una realización a manera de ejemplo de celda 300 de combustible. Como en la FIG. 2, la celda 300 de combustible puede comprender dos placas 310 y 320 bipolares, un MEA 330, una primera estructura 340 de flujo y una segunda estructura 350 de flujo. Sin embargo, la realización divulgada en la FIG. 3A también puede incluir un mecanismo 360 de resorte. El mecanismo 360 de resorte se puede instalar entre la primera estructura 340 de flujo y la placa bipolar 310 de alta presión.

El Mecanismo 360 de resorte puede comprender, por ejemplo, un resorte 365 de disco en espiral como se muestra en la FIG. 3B, un resorte 366 tipo hoja como se muestra en la FIG. 3C, un resorte 367 ondulado como se muestra en la FIG. 3D, una placa 368 con hoyuelos como se muestra en la FIG. 3E u otros mecanismos equivalentes. El mecanismo 360 de resorte se puede configurar para aplicar una fuerza 370 sustancialmente paralela a un eje 380 longitudinal de la primera estructura 340 de flujo. Cuando la celda 300 de combustible funciona a una presión alta (es decir, hasta 15,000 psi (103.4 MPa)) y, en consecuencia, una presión diferencial alta, como se describió anteriormente, el campo de flujo de baja presión se flexionará y se volverá más delgado a medida que MEA 330 se mueva hacia el lado de baja presión debido a la fuerza impulsora de la presión del lado del cátodo. Para limitar la reducción de la presión de contacto y la separación en una superficie 390 de contacto, entre MEA 330 y la primera estructura 340 de flujo, el mecanismo 360 de resorte puede ejercer una fuerza 370 sobre la primera estructura de flujo para que la primera estructura de flujo se mueva hacia el lado de baja presión de la celda 300 de combustible, en efecto, siguiendo el movimiento de MEA 330. El mecanismo 360 de resorte puede estar hecho de aluminio, acero, acero inoxidable, titanio, cobre, aleación de Ni-Cr, fibra de carbono o cualquier otro equivalente estructural y material eléctricamente conductor.

La FIG. 3B ilustra una realización a manera de ejemplo del mecanismo 360 de resorte, en la que el mecanismo 360 de resorte puede comprender una placa 310 y al menos un resorte 365 de disco en espiral. Se puede utilizar una pluralidad del resorte 365 de disco en espiral. La placa 310 se puede configurar para que sea una placa 310 sustancialmente plana con al menos uno o una pluralidad de rebajes en la placa y cada rebaje puede ser adecuado para recibir un resorte 365 de disco en espiral. La placa 310 y el resorte 365 de disco en espiral pueden formar un conjunto, que se puede colocar entre la placa 310 bipolar y la primera estructura 340 de flujo. La placa 310 puede distribuir uniformemente la fuerza del uno o más resortes 365 de disco en espiral sobre la primera estructura 340 de flujo adyacente. En una realización alternativa (no mostrada), el resorte 365 de disco en espiral o la pluralidad de resortes se pueden grabar en la placa 310 plana. Las dimensiones del resorte 365 de disco en espiral y la placa 310 pueden ser tales que el espesor total de la celda 300 de combustible no se incrementa sustancialmente.

En una realización a manera de ejemplo, el mecanismo 360 de resorte puede actuar como un medio de conducción eléctrica entre la primera estructura 340 de flujo y la placa 310 bipolar para limitar el aumento de la resistencia de celda mediante la separación de la superficie 390 de contacto.

Además, el mecanismo 360 de resorte puede estar compuesto por múltiples resortes individuales o puede incluir un solo resorte. El mecanismo 360 de resorte se puede configurar para proporcionar una fuerza uniforme en toda la primera estructura 340 de flujo. El mecanismo 360 de resorte puede tener una constante o constante de resorte variable. El mecanismo de resorte se puede amortiguar para permitir que la posición de la celda de combustible regrese rápidamente al equilibrio o limitar las oscilaciones causadas por variaciones en la presión de la celda de combustible.

La FIG. 3E ilustra una realización a manera de ejemplo del mecanismo 360 de resorte, en el que el mecanismo de resorte puede comprender una placa 368 con hoyuelos. La placa con hoyuelos se puede formar estampando una lámina con salientes con hoyuelos. La placa de hoyuelos puede exhibir propiedades de resorte. La placa con hoyuelos puede estar hecha de aluminio, acero, acero inoxidable, titanio, cobre, aleación de Ni-Cr u otro material eléctricamente conductor. Se pueden usar una o más placas con hoyuelos para producir fuerza 370.

La FIG. 4 muestra una realización alternativa de la celda 400 de combustible. Como en la FIG. 2 y 3A, la celda 400 de combustible puede comprender dos placas 410 y 420 bipolares, un MEA 430, una primera estructura 440 de flujo y una segunda estructura 450 de flujo. Sin embargo, la realización divulgada en la FIG. 4 no utiliza un mecanismo de resorte como se ilustra en la FIG. 3A. En cambio, la primera estructura 440 de flujo puede configurarse de manera que la primera estructura 440 de flujo funcione sustancialmente de manera similar a la de un resorte al exhibir propiedades

estructurales más flexibles en relación con la segunda estructura 450 de flujo, que exhibe propiedades estructurales más rígidas.

La rigidez de un elemento material es una propiedad de la estructura de ese elemento. Es decir, la rigidez (k) es una función del área (A) de sección transversal, la longitud (L) del elemento y el módulo (E) elástico, como se muestra en la ecuación (1) a continuación.

$$k = \frac{AE}{L} \quad (1)$$

La rigidez de una estructura o elemento puede afectar el diseño, por lo que el módulo de elasticidad puede afectar la selección del material. Se puede buscar un alto módulo de elasticidad cuando la deflexión o la compresión no son deseables, mientras que se puede buscar un bajo módulo de elasticidad cuando se necesita flexibilidad o expansión.

Como se muestra en la Fig. 4 en un ejemplo que no forma parte de la invención, la primera estructura 440 de flujo puede tener una longitud L_1 mayor que una longitud L_2 de la segunda estructura 450 de flujo. Con base en la ecuación (1), dos elementos con la misma área de sección transversal y el mismo módulo elástico tendrán una diferencia en la rigidez (k) que depende de la diferencia en la longitud de los elementos. Por ejemplo, si la primera estructura 440 de flujo tiene una longitud L_1 que es el doble de la longitud L_2 de la segunda estructura 450 de flujo, el resultado será que la segunda estructura 450 de flujo será dos veces más "rígida" que la primera estructura de flujo.

La primera estructura 440 de flujo y la segunda estructura 450 de flujo como se muestra en la FIG. 4 tienen sustancialmente la misma área de sección transversal y sustancialmente el mismo módulo elástico. Por lo tanto, la primera estructura 440 de flujo y la segunda estructura 450 de flujo pueden operar dentro de la celda 400 de celda de la siguiente manera. A medida que aumenta la presión diferencial en MEA 430, la fuerza creada por la presión hará que MEA 430 se mueva hacia la segunda estructura 450 de flujo. En el caso de la realización mostrada en la FIG. 4, la segunda estructura 450 de flujo es sustancialmente "más rígida" que la de primera estructura 440 de flujo. La segunda estructura 450 de flujo "más rígida" se comprimirá ligeramente y se deformará elásticamente como resultado de la fuerza creada por la presión diferencial. Mientras que la segunda estructura 450 de flujo puede sufrir una compresión mínima, la primera estructura 440 de flujo "elástica" puede flexionarse o expandirse más significativamente en respuesta al movimiento de MEA 430. La expansión de la primera estructura 440 de flujo que corresponde al movimiento de MEA 430 puede mantener la presión de contacto y la conducción eléctrica entre MEA 430 y la primera estructura 440 de flujo a medida que aumenta la presión diferencial de la celda 400 de celda.

En una realización de la invención, la primera estructura 440 de flujo y la segunda estructura 450 de flujo como se muestra en la FIG. 4 tienen sustancialmente la misma área de sección transversal, la primera estructura 440 de flujo tiene un módulo elástico menor que el de la segunda estructura 450 de flujo, y la longitud L_1 de la primera estructura 440 de flujo es mayor que la longitud L_2 de la segunda estructura 450 de flujo. Con base en la ecuación (1), la segunda estructura 450 de flujo será más rígida que la primera estructura 450 debido a la diferencia en longitud y módulo elástico de la primera estructura 440 de flujo y la segunda estructura 450 de flujo.

La FIG. 5 muestra en un ejemplo que no forma parte de la celda 500 de combustible de la invención. Como en la FIG. 4, la celda 500 de combustible puede comprender dos placas 510 y 520 bipolares, un MEA 530, una primera estructura 540 de flujo y una segunda estructura 550 de flujo. Sin embargo, la realización mostrada en la FIG. 5 incluye la primera estructura 540 de flujo y la segunda estructura 550 de flujo que tienen diferentes composiciones de materiales. Por ejemplo, la primera estructura 540 de flujo puede comprender material con un módulo elástico menor que el de la segunda estructura 550 de flujo. Con base en la ecuación (1), la longitud L_1 de la primera estructura 550 de flujo puede ser sustancialmente igual a la longitud L_2 de la segunda estructura 550 de flujo y aún exhibir propiedades físicas "elásticas" en relación con el segundo campo 550 de flujo "más rígido" dependiendo sobre la diferencia en el módulo elástico para la primera estructura 540 de flujo y la segunda estructura 550 de flujo. Por ejemplo, si las estructuras 540, 550 de flujo primera y segunda tienen la misma área (A) de sección transversal y la misma longitud (L), pero la primera estructura 540 de flujo tiene un módulo elástico que es la mitad del valor del módulo elástico para la segunda estructura 550 de flujo, de modo que la segunda estructura 550 de flujo será aproximadamente el doble de "rígida" que la primera estructura 540 de flujo.

Con base en la ecuación (1), la longitud L_1 de la primera estructura 540 de flujo puede ser menor que la longitud L_2 de la segunda estructura 550 de flujo y aún exhibir propiedades físicas "elásticas" en relación con la segunda estructura 550 de flujo "más rígida". Por ejemplo, si el área de sección transversal (A) de ambas estructuras de flujo es la misma, la longitud L_2 de la segunda estructura 550 de flujo es aproximadamente el doble de la longitud L_1 de la primera estructura 540 de flujo, y si la primera estructura 540 de flujo tiene un módulo elástico que es una cuarta parte de la segunda estructura 550 de flujo que la segunda estructura 550 de flujo será aproximadamente el doble de "rígido" que la primera estructura 540 de flujo.

La FIG. 6 muestra un ejemplo que no forma parte de la invención de celda 600 de combustible. Como en la FIG. 4 y la FIG. 5, la celda 600 de combustible puede comprender dos placas 610 y 620 bipolares, un MEA 630, una primera estructura 640 de flujo y una segunda estructura 650 de flujo. Sin embargo, la realización divulgada en la FIG. 5, la primera estructura 640 de flujo puede comprender dos capas, la primera capa 660 y la segunda capa 670, laminadas

o acopladas de otro modo, en la que las dos capas que comprenden la primera estructura 640 de flujo cuando se combinan son "elásticas" en comparación con la estructura de flujo "rígida" relativa. Por ejemplo, la primera capa 660 puede estar compuesta de un material con un módulo elástico menor que el de la segunda estructura 650 de flujo y la segunda capa 670 puede tener una longitud L4 mayor que la longitud L2 de la segunda estructura 650 de flujo. Además, la primera capa 660 puede estar compuesta de material con un módulo elástico menor que el de la segunda estructura 650 de flujo y la segunda capa 670 puede tener un módulo elástico mayor que el de la segunda estructura 650 de flujo.

Los ejemplos de las diferentes construcciones posibles entre la primera estructura de flujo y la segunda estructura de flujo presentadas son solo a manera de ejemplo, y la presente divulgación no se limita a los ejemplos dados, en su lugar, la presente divulgación incluye todas las variaciones de las cuales las estructuras de flujo primera y segunda podrían construirse para lograr una relación deseada de rigidez entre las estructuras de flujo primera y segunda y que están dentro del alcance de las reivindicaciones.

En diversas realizaciones con base en la ecuación (1), el módulo de elasticidad y la longitud de la primera estructura de flujo y la segunda estructura de flujo pueden cambiarse para optimizar la relación de conformidad entre las dos estructuras de flujo. La relación de cumplimiento adecuada asegura que la presión de contacto entre el MEA y cada estructura de flujo se mantenga a través del intervalo completo de presión diferencial de operación, lo que limita un aumento en la resistencia de la celda.

Los factores adicionales que pueden considerarse al diseñar las estructuras de flujo más allá del módulo elástico pueden incluir el tamaño de poro del material, la rugosidad de la superficie, la resistividad térmica, la conductividad eléctrica, la resistencia a la corrosión, etc.

Como se discutió anteriormente con respecto a la ecuación (1), variar la longitud (L) y el módulo (E) elástico de un elemento material afectará la rigidez de la estructura de flujo. En otras realizaciones, el área (A) de sección transversal podría modificarse para alterar la rigidez (k) de una estructura de flujo. Por ejemplo, en lugar de variar la longitud o el módulo elástico de las estructuras de flujo, el área de la sección transversal se puede variar para lograr una rigidez o una relación de cumplimiento beneficiosas para las estructuras de flujo. Además de variar el área (A) de sección transversal, las estructuras de flujo pueden comprender un área (A) de sección transversal no uniforme, que puede variar en área a lo largo de la estructura de flujo. Por ejemplo, una estructura de flujo con un área de sección transversal no uniforme a lo largo de la estructura de flujo puede tener extremos convexos, que bajo presión se aplanan aumentando el área de superficie de contacto para la estructura de flujo en cada extremo.

La aplicación de las realizaciones descritas anteriormente puede permitir un rendimiento mejorado de las celdas electroquímicas, particularmente las células electroquímicas que funcionan bajo condiciones de alta presión. Las pruebas preliminares han demostrado que una estructura de flujo de cátodo resiliente puede limitar el aumento de la resistencia de la celda a medida que aumenta la presión de funcionamiento dentro de la celda electroquímica. La FIG. 7 es un gráfico que ilustra los resultados de probar tres configuraciones diferentes de estructura de flujo. Las tres configuraciones de estructura de flujo comprenden una estructura de flujo de ánodo rígido combinada con tres configuraciones diferentes de estructura de flujo de cátodo. Las tres configuraciones diferentes de estructura de flujo de cátodo comprenden una estructura de flujo rígida, un mecanismo de resorte y una estructura de flujo elástica. La estructura de flujo rígida comprende una estructura de flujo de cátodo de espuma metálica. El mecanismo de resorte comprende una placa con hoyuelos como se describe en una realización a manera de ejemplo. La estructura de flujo elástica comprende una estructura de flujo con un módulo elástico menor que el de la estructura de flujo del ánodo y una longitud mayor que la de la estructura de flujo del ánodo. La celda consistía en las estructuras de flujo de ánodo y cátodo indicadas anteriormente junto con un electrodo de ánodo, un electrodo de cátodo y una membrana conductora de protones. Se usaron dos placas bipolares para encapsular la celda y se usaron placas de compresión estructural y caminos de amarre para comprimir la celda y enganchar los sellos de gas.

La prueba incluyó presurizar el lado del cátodo de la celda electroquímica con gas hasta una presión de al menos 13,000 psi (89.6 MPa). La resistencia de celda se midió usando un medidor de AC miliohm, ya que la presión se incrementó para cada configuración de estructura de flujo. Los resultados de la prueba se ilustran en la FIG. 7, que muestra gráficos de resistencia de celda frente a presión aplicada al cátodo. La FIG. 7 muestra que la estructura de flujo rígida experimentó el mayor aumento en la resistencia de celda como resultado del aumento de la presión al cátodo al aumentar desde aproximadamente 45 miliohm a aproximadamente 465 miliohm. La estructura de flujo elástica funcionó mejor que la estructura de flujo rígida, pero no tan bien como el mecanismo de resorte. El mecanismo de resorte funcionó mejor durante la prueba. Durante la prueba del mecanismo de resorte, la resistencia de celda aumentó de aproximadamente 7 miliohm a aproximadamente 38 miliohm.

Además del mecanismo de resorte que exhibe el menor aumento en la resistencia de celda, la resistencia inicial del mecanismo de resorte es menor que la de cualquiera de las otras estructuras de flujo probadas.

La FIG. 7 ilustra que la combinación de una estructura de flujo de ánodo "rígida" y una estructura de flujo de cátodo que es "elástica" o combinada con un mecanismo de resorte puede limitar el aumento de la resistencia de la celda con respecto a la presión permitiendo un mejor rendimiento y eficiencia de la celda electroquímica.

- La FIG. 8 muestra una imagen de una estructura 800 de flujo de lana de acero, de acuerdo con una realización a manera de ejemplo. La estructura 800 de flujo de lana de acero puede estar compuesta por una pluralidad de filamentos finos de acero blando hilados y agrupados en una almohadilla. La geometría periférica de la estructura 800 de flujo de lana de acero y su espesor se pueden variar con base en el diseño y la aplicación de la celda. En
- 5 realizaciones alternativas, una estructura de flujo de lana puede estar hecha de diferentes calidades de filamentos de acero o puede estar hecha de otros filamentos eléctricamente conductores, tales como acero inoxidable, titanio, aluminio, níquel, hierro, níquel y cromo, otra aleación metálica o fibras de carbono. Las realizaciones alternativas pueden incluir diferentes estructuras con propiedades sustancialmente similares, por ejemplo, espumas metálicas compuestas de diferentes aleaciones metálicas.
- 10 Otras realizaciones de la invención serán evidentes para los expertos en la técnica a partir de la consideración de la especificación y la práctica de la invención divulgada aquí. Se pretende que la especificación y ejemplos se consideren solo a modo de ejemplo, definiéndose un verdadero alcance de la invención mediante las siguientes reivindicaciones.

REIVINDICACIONES

1. Una celda (400, 500, 600) electroquímica que comprende:

5 una primera estructura (440, 540, 640) de flujo, una segunda estructura (450, 550, 650) de flujo y un conjunto (430, 530, 630) de electrodos de membrana dispuesto entre las estructuras de flujo primera y segunda; en la que la segunda estructura (450, 550, 650) de flujo tiene una rigidez (k) mayor que la primera estructura (440, 540, 640) de flujo, en la que la rigidez (k) se determina de acuerdo con la ecuación 1:

$$k = \frac{AE}{L} \quad (1)$$

en la que A es el área de sección transversal, L es la longitud elemental y E es el módulo elástico;

caracterizada porque:

10 la primera estructura (440, 540, 640) de flujo está construida de un material que tiene un módulo elástico más bajo que la segunda estructura (450, 550, 650) de flujo, y una longitud de la primera estructura de flujo es mayor que una longitud de la segunda estructura de flujo, en la que la longitud de la primera estructura de flujo y la longitud de la segunda estructura de flujo se miden a lo largo de un eje longitudinal que va desde el centro de la primera estructura de flujo hasta el centro de la segunda estructura de flujo, y

15 en la que la rigidez de la primera estructura de flujo y la segunda estructura de flujo se miden en una dirección paralela al eje longitudinal que va desde el centro de la primera estructura de flujo hasta el centro de la segunda estructura de flujo.

20 2. La celda electroquímica de acuerdo con la reivindicación 1, en la que la primera estructura (440, 540, 640) de flujo está configurada para expandirse elásticamente en relación con un desplazamiento del conjunto (430, 530, 630) de electrodo de membrana causado por un diferencial de presión entre la primera estructura de flujo y la segunda estructura (450, 550, 650) de flujo para permitir que la primera estructura de flujo mantenga contacto físico con el conjunto de electrodo de membrana.

25 3. La celda electroquímica de acuerdo con la reivindicación 1, en la que la primera estructura (440, 540, 640) de flujo incluye al menos dos capas de material, y al menos una de las al menos dos capas de material tiene una rigidez menor que la del segundo material de estructura de flujo.

4. La celda electroquímica de acuerdo con la reivindicación 3, en la que la al menos una segunda capa tiene una longitud mayor que la segunda estructura (450, 550, 650) de flujo o un módulo elástico menor que el de la segunda estructura de flujo.

30 5. La celda electroquímica de acuerdo con la reivindicación 1, en la que la primera estructura (440, 540, 640) de flujo está en el lado del cátodo de la celda electroquímica y la segunda estructura (450, 550, 650) de flujo está en el lado del ánodo de la celda electroquímica.

6. La celda electroquímica de acuerdo con la reivindicación 1, en la que la primera estructura (440, 540, 640) de flujo comprende lana de acero.

35 7. La celda electroquímica de acuerdo con la reivindicación 1, en la que la primera estructura (440, 540, 640) de flujo comprende espuma metálica que incluye níquel y cromo.

8. La celda electroquímica de acuerdo con la reivindicación 1, en la que la primera estructura (440, 540, 640) de flujo comprende al menos uno de un paño, un papel y una lana hecha de fibra de carbono.

40 9. Un método de operación para una celda electroquímica que comprende una primera estructura (440, 540, 640) de flujo, una segunda estructura (450, 550, 650) de flujo y un conjunto (430, 530, 630) de electrodos de membrana dispuesto entre las estructuras de flujo primera y segunda; en el que la segunda estructura (450, 550, 650) de flujo tiene una rigidez (k) mayor que la primera estructura (440, 540, 640) de flujo, en el que la rigidez (k) se determina de acuerdo con la ecuación 1:

$$k = \frac{AE}{L} \quad (1)$$

en el que A es el área de sección transversal, L es la longitud elemental y E es el módulo elástico;

45 el método se caracteriza por:

comprimir la primera estructura (440, 540, 640) de flujo desde una primera posición a una segunda posición diferente de la primera, en la que la primera estructura de flujo permanece en contacto con el conjunto (430, 530, 630) de electrodo de membrana durante la transición desde la primera posición a la segunda posición; en el que

5 durante la transición desde la primera posición a la segunda posición, la segunda estructura (450, 550, 650) de flujo en el lado opuesto del conjunto (430, 530, 630) de electrodo de membrana permanece en contacto con el conjunto de electrodo de membrana; y

la presurización de la primera estructura (440, 540, 640) de flujo provoca la transición de la primera estructura de flujo desde la primera posición a la segunda posición y crea una presión diferencial a través del conjunto (430, 530, 630) de electrodo de membrana; en el que

10 la primera estructura (440, 540, 640) de flujo está construida de un material que tiene un módulo elástico más bajo que la segunda estructura (450, 550, 650) de flujo, y una longitud de la primera estructura de flujo es mayor que una longitud de la segunda estructura de flujo, en el que la longitud de la primera estructura de flujo y la longitud de la segunda estructura de flujo se mide a lo largo de un eje longitudinal que va desde el centro de la primera estructura de flujo hasta el centro de la segunda estructura de flujo.

15 10. El método de acuerdo con la reivindicación 9, en el que la segunda estructura (450, 550, 650) de flujo tiene una rigidez mayor que la primera estructura (440, 540, 640) de flujo.

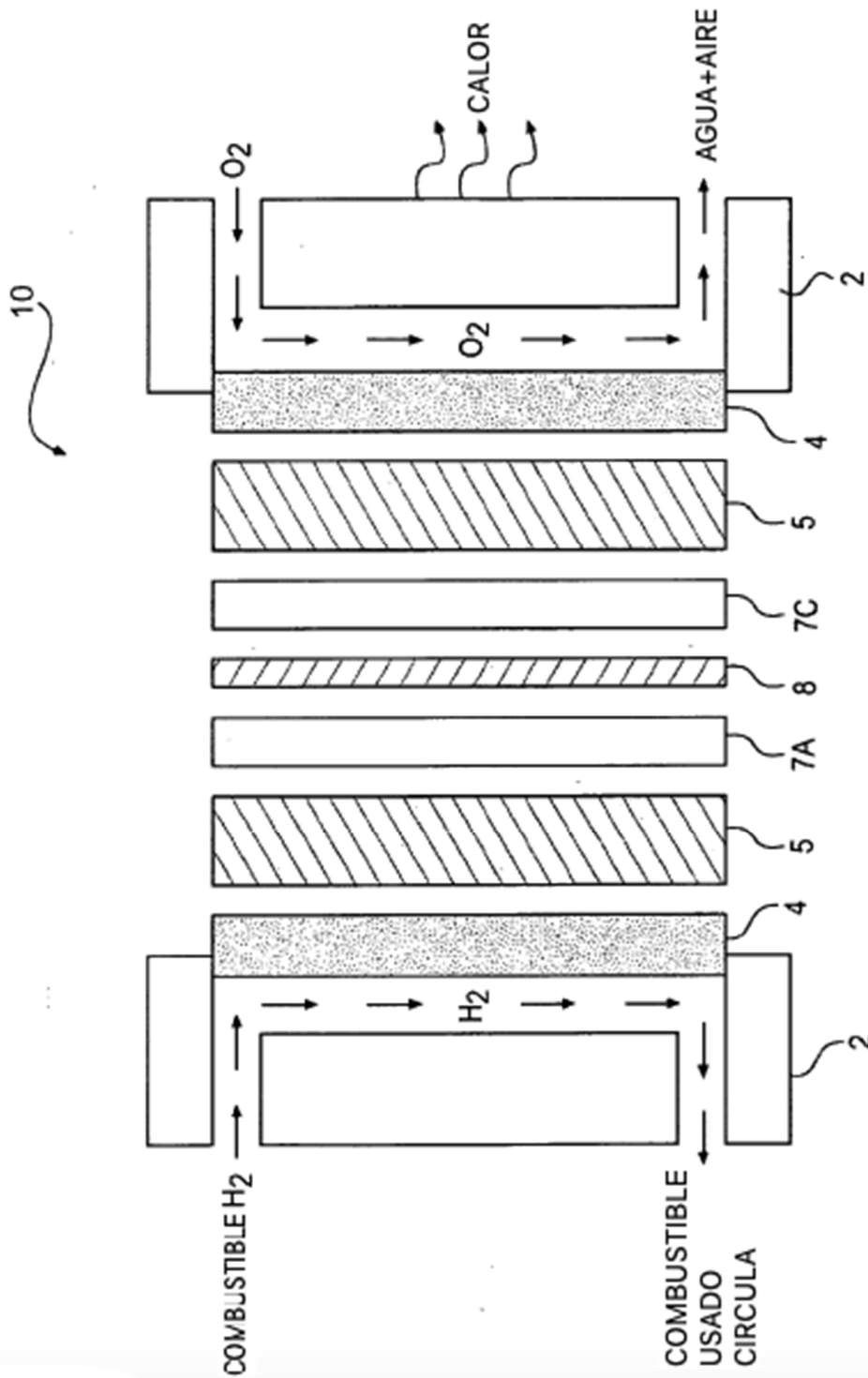


FIG. 1

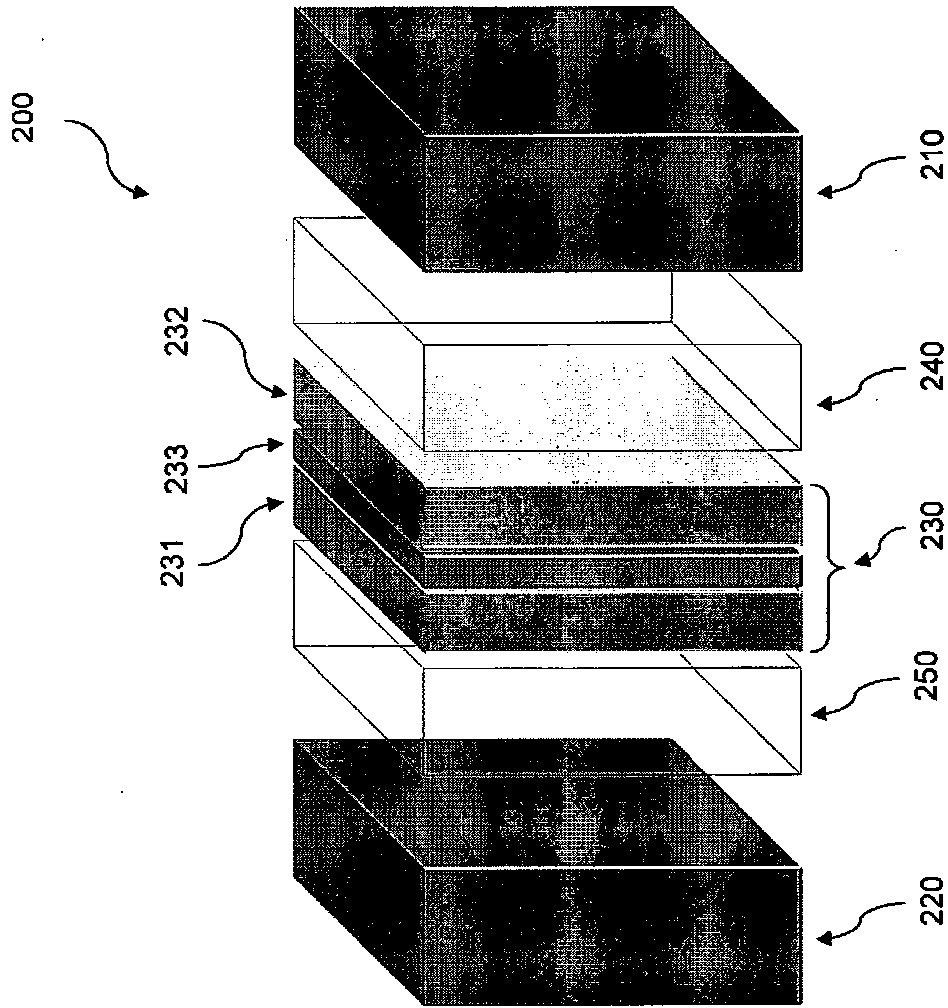


FIG. 2

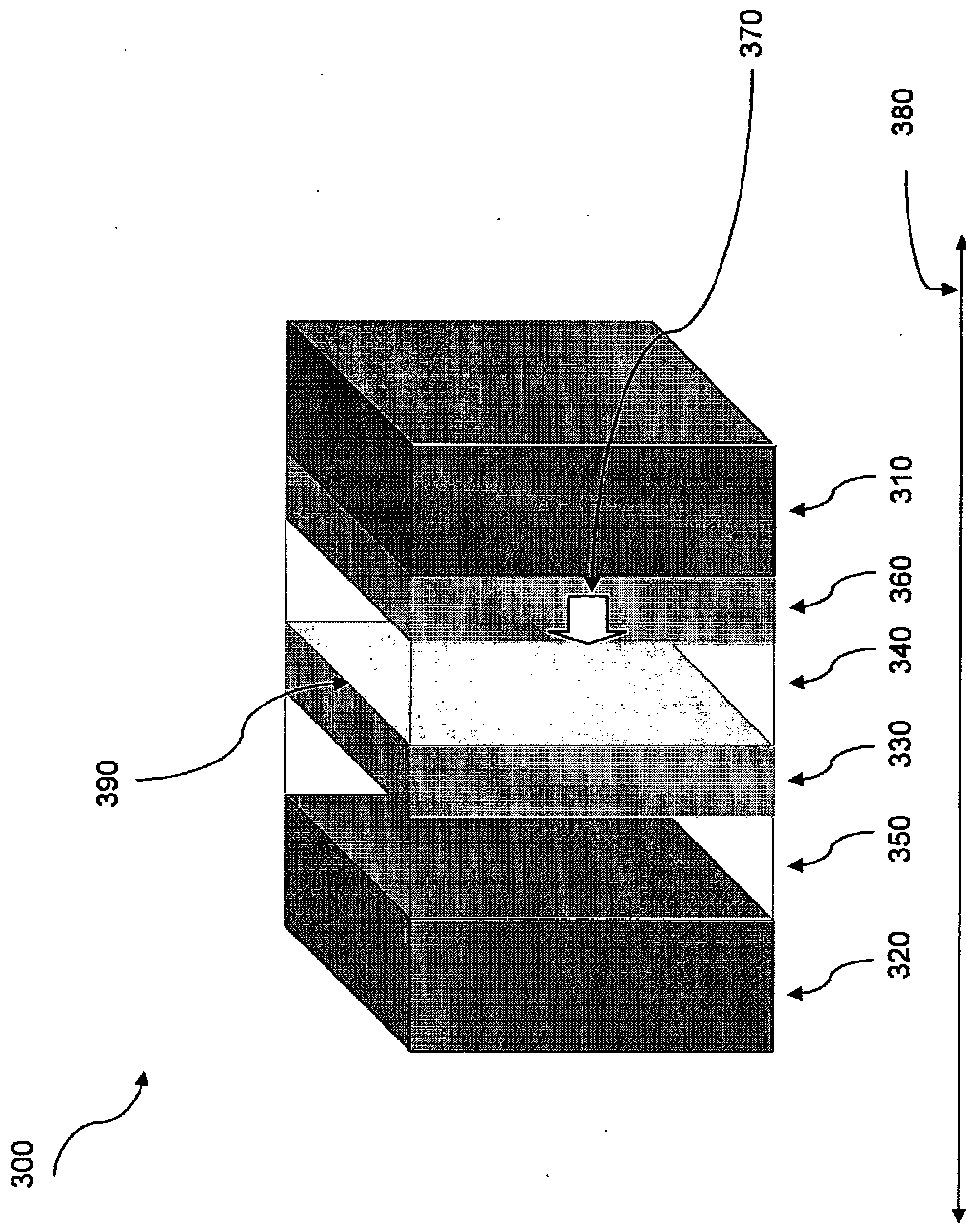


FIG. 3A

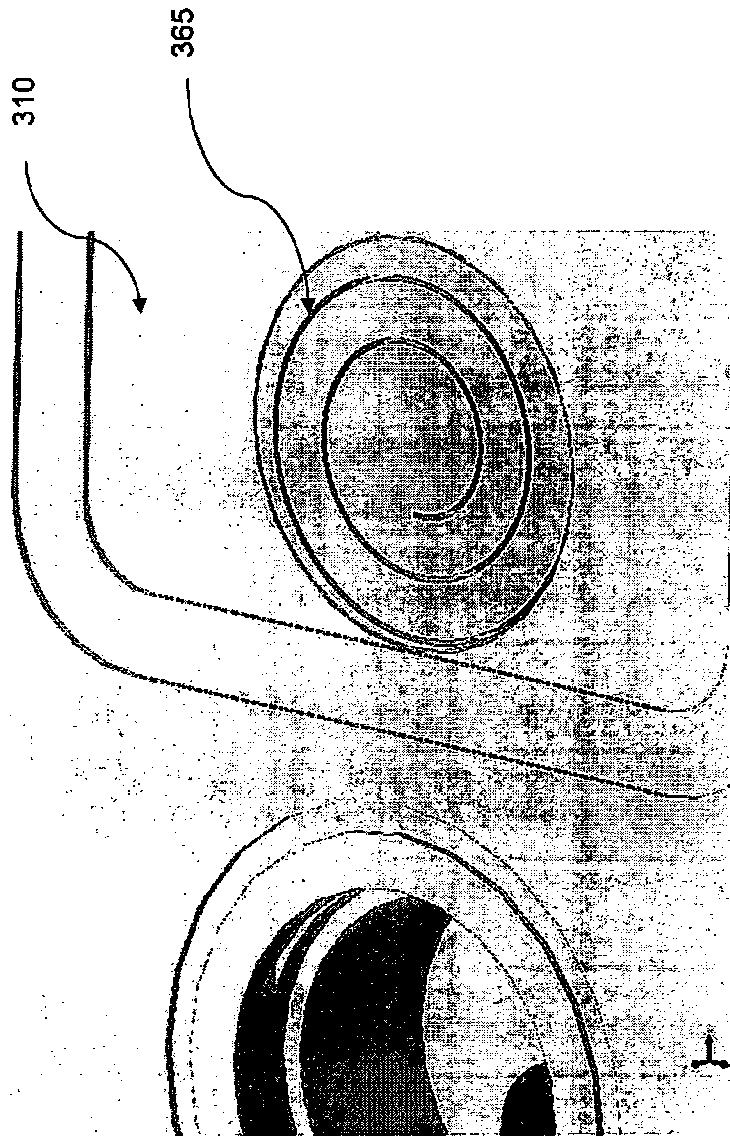


FIG. 3B

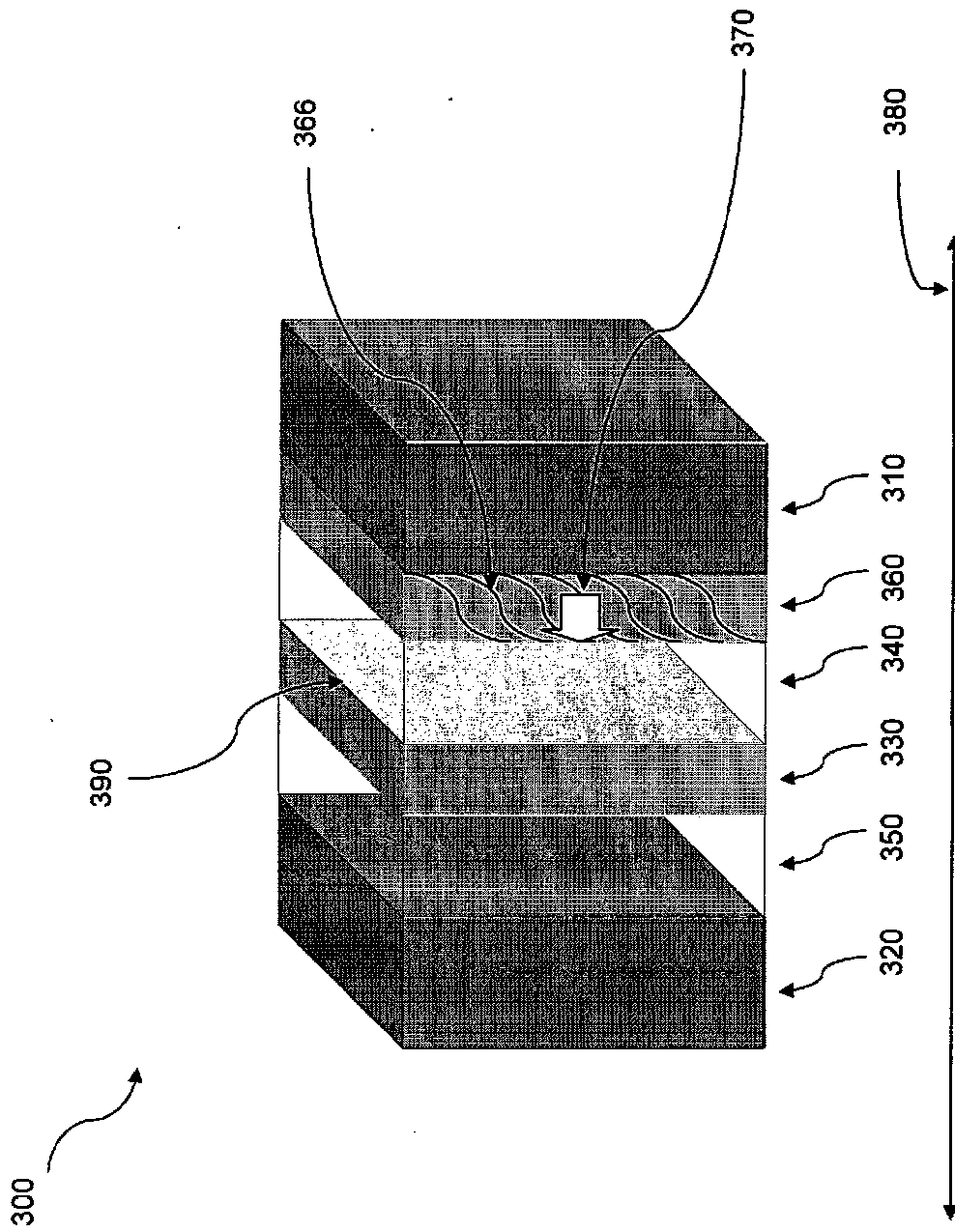


FIG. 3C

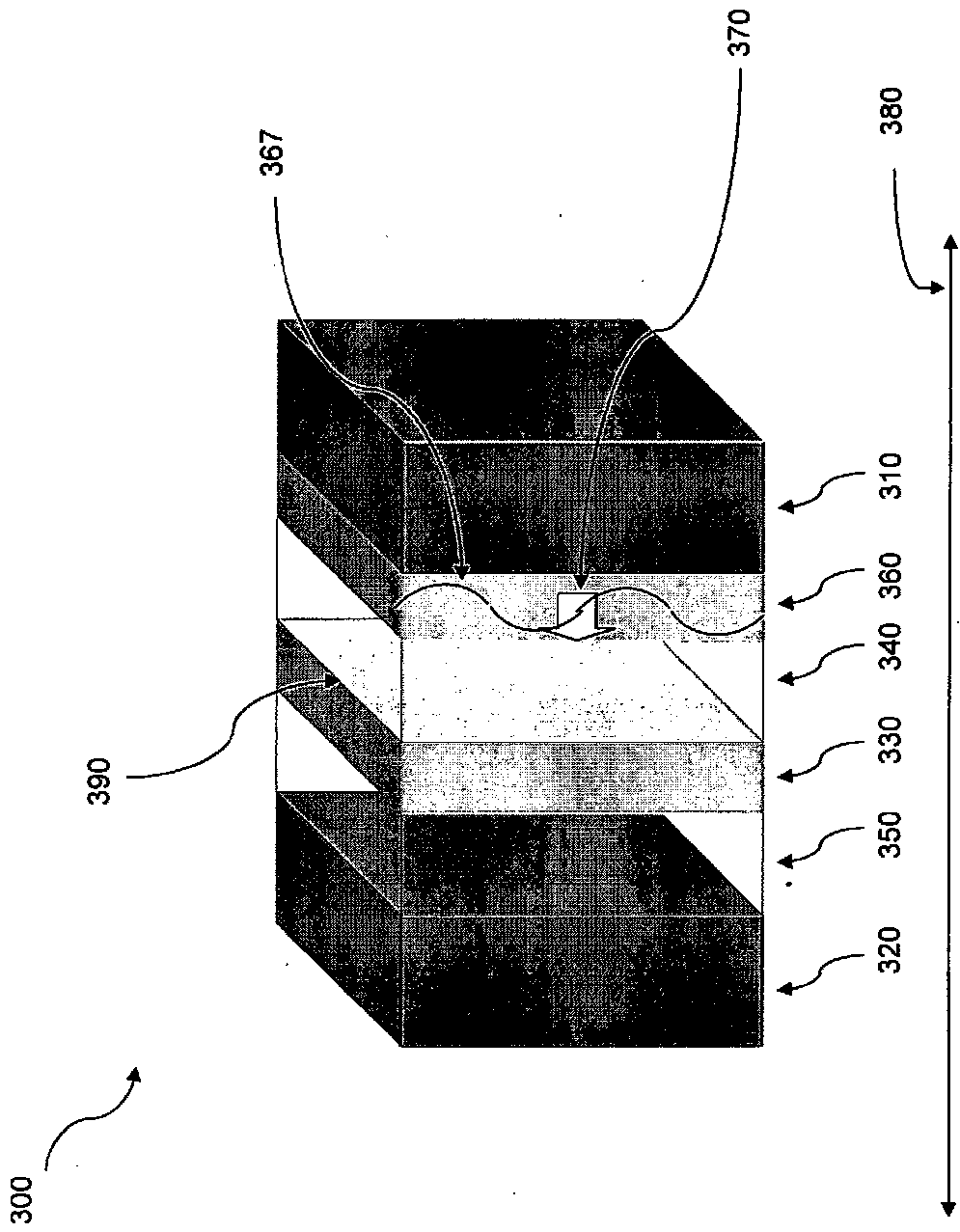


FIG. 3D

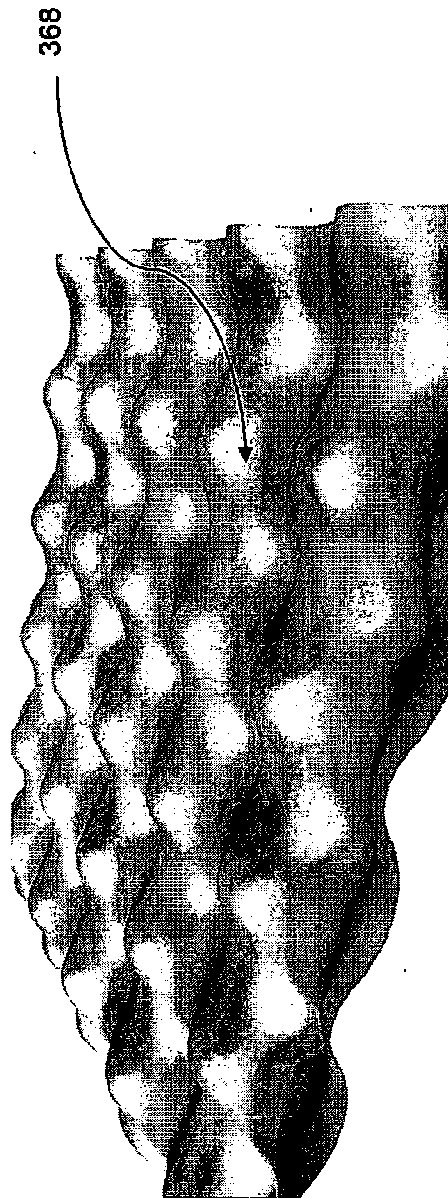


FIG. 3E

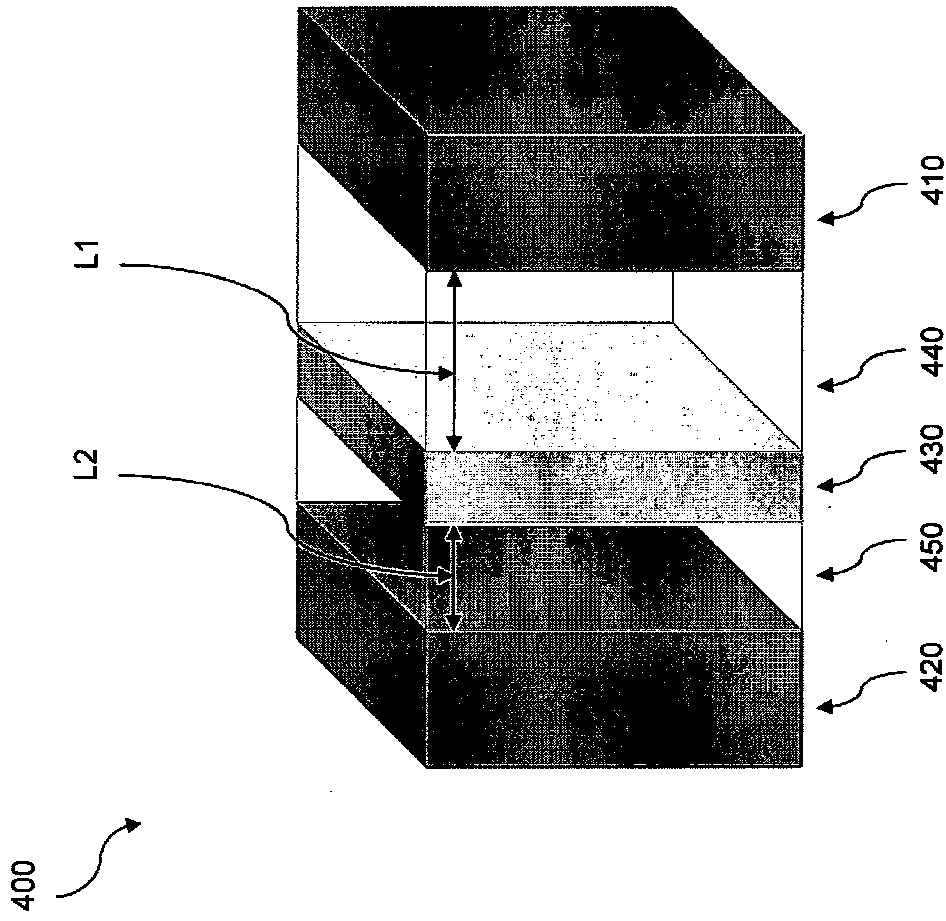


FIG. 4

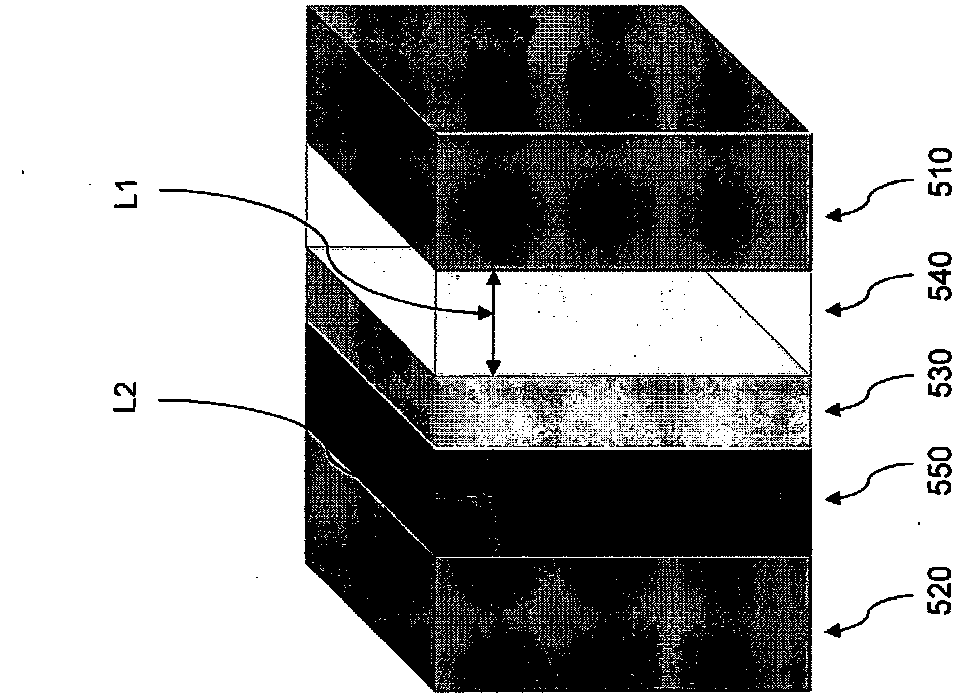


FIG. 5

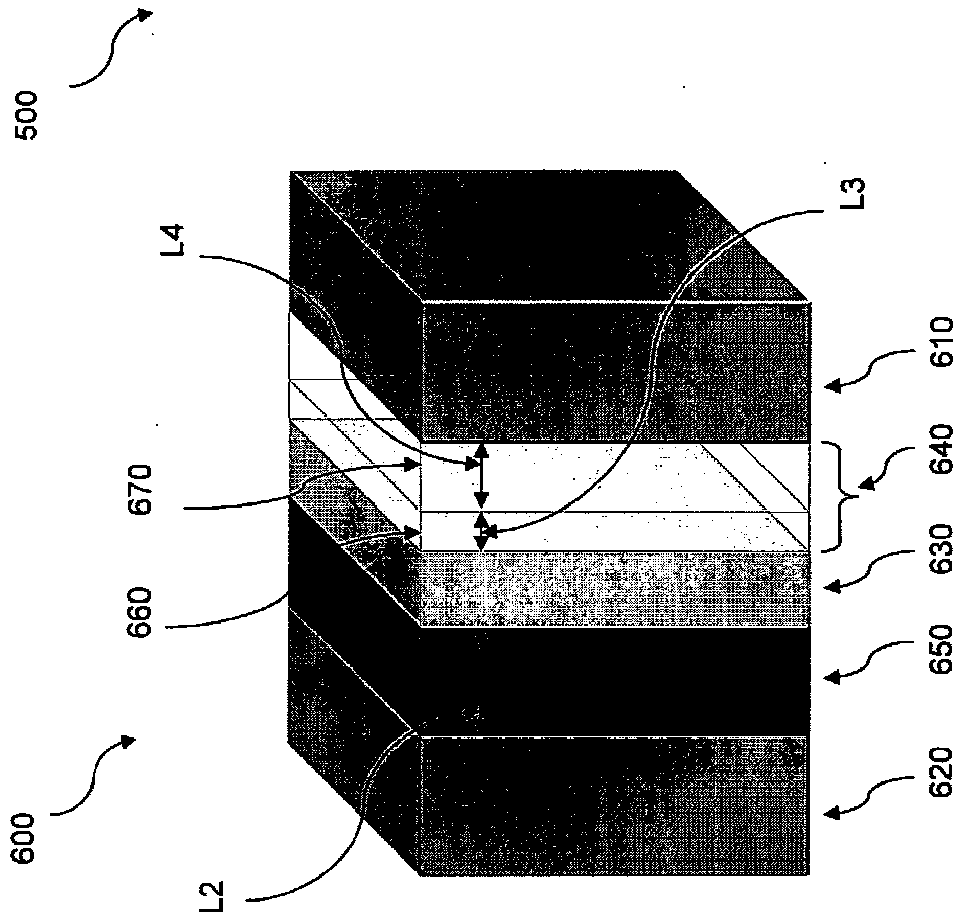


FIG. 6

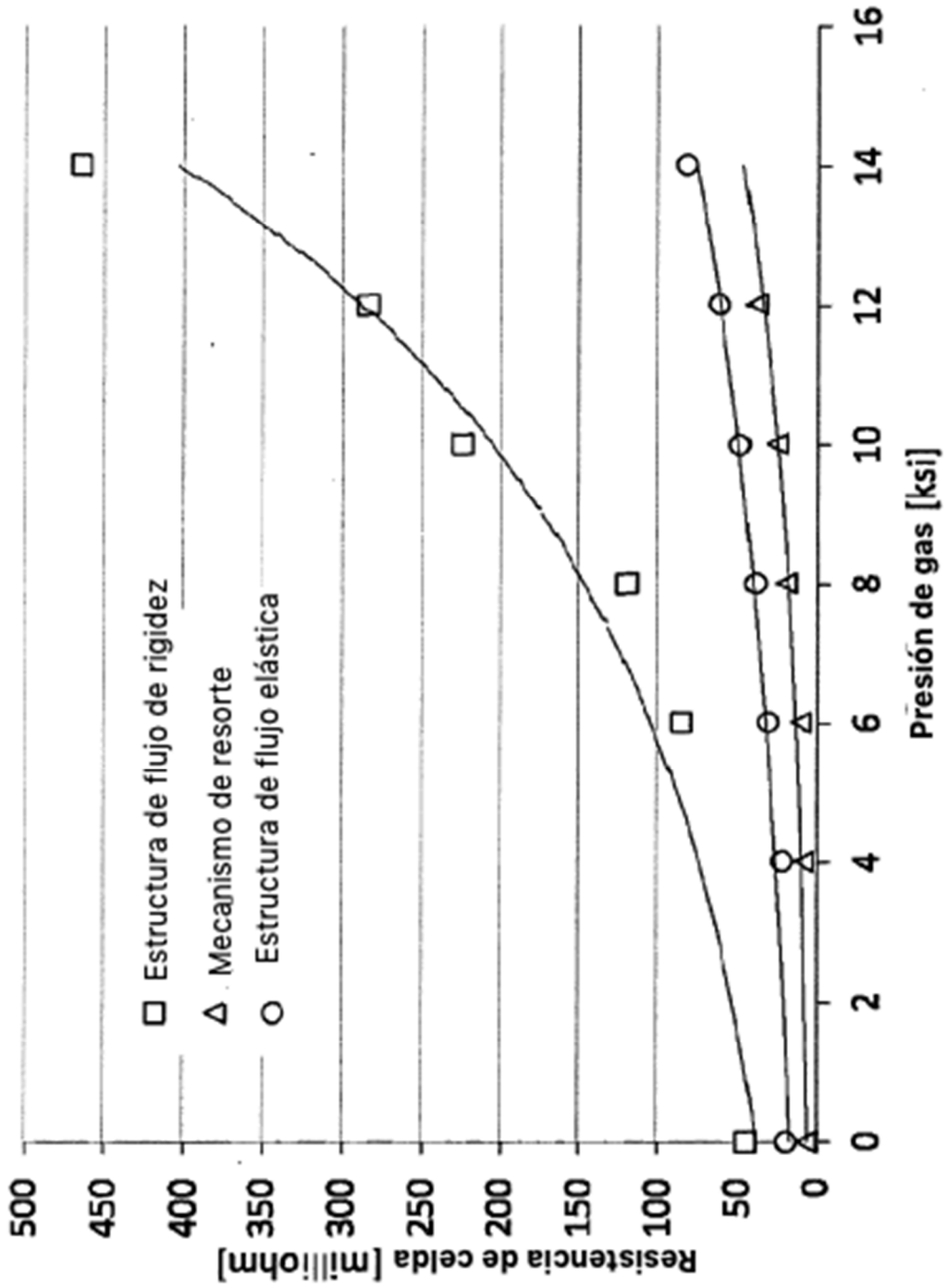


FIG. 7

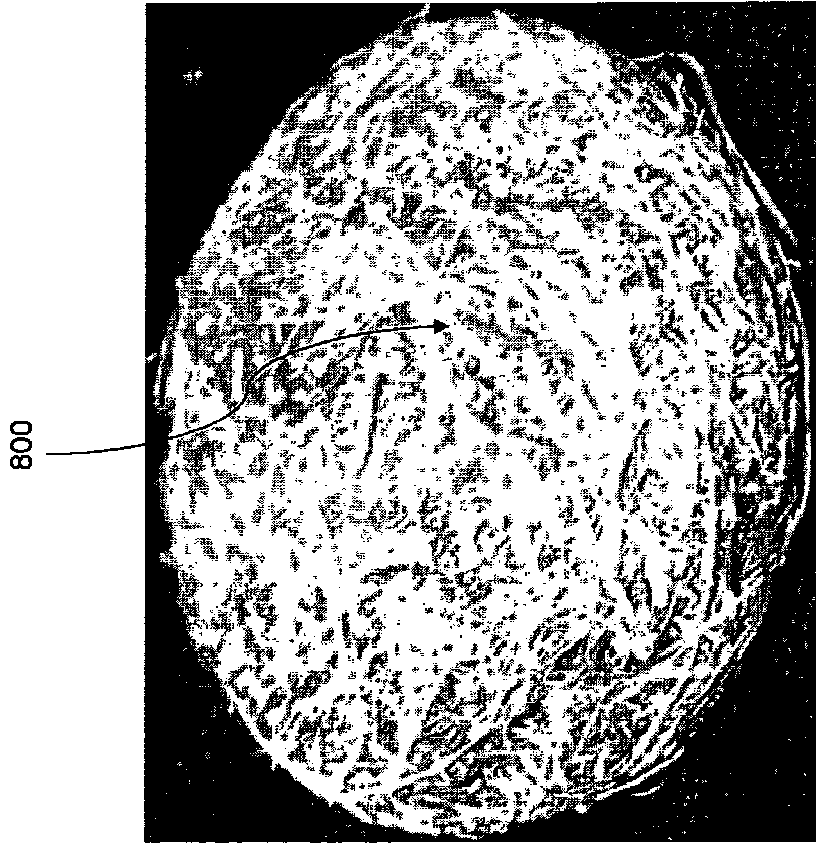


FIG. 8