

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 782 129**

51 Int. Cl.:

C25B 1/12	(2006.01)
H01M 8/00	(2006.01)
C25B 9/20	(2006.01)
H01M 8/02	(2006.01)
H01M 8/18	(2006.01)
H01M 8/24	(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **26.08.2015 PCT/US2015/046871**

87 Fecha y número de publicación internacional: **03.03.2016 WO16033147**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **26.08.2015 E 15757628 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **18.03.2020 EP 3186409**

54 Título: **Diseños de sello para placas bipolares de múltiples componentes de una celda electroquímica**

30 Prioridad:

28.08.2014 US 201462042884 P

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

10.09.2020

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

**DOMIT, EDWARD;
BLANCHET, SCOTT;
VAN BOEYEN, ROGER y
BEVERAGE, KEVIN**

74 Agente/Representante:

SÁEZ MAESO, Ana

ES 2 782 129 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

Diseños de sello para placas bipolares de múltiples componentes de una celda electroquímica

Esta solicitud reivindica el beneficio de la Solicitud Provisional de los Estados Unidos No. 62/042,884, presentada el 28 de agosto de 2014.

5 La presente divulgación está dirigida a diseños de sello, y más específicamente, diseños de sellado para placas bipolares de múltiples componentes de una celda electroquímica.

10 Las celdas electroquímicas, generalmente clasificadas como celdas de combustible o celdas de electrólisis, son dispositivos utilizados para generar corriente a partir de reacciones químicas o para inducir una reacción química utilizando un flujo de corriente. Una celda de combustible convierte la energía química de un combustible (por ejemplo, hidrógeno, gas natural, metanol, gasolina, etc.) y un oxidante (aire u oxígeno) en electricidad y productos de desecho de 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 PEM de hidrógeno, los átomos de hidrógeno pueden dividirse electroquímicamente en electrones y protones (iones de hidrógeno) en el ánodo. Los electrones fluyen a través del circuito hacia el cátodo y generan electricidad, mientras que los protones se difunden a través de la membrana electrolítica hacia el cátodo. En el cátodo, los protones de hidrógeno pueden reaccionar con los electrones y el oxígeno (suministrado al cátodo) para producir agua y calor.

20 Una celda de electrólisis representa una celda de combustible operada en reversa. Una celda de electrólisis básica puede funcionar como un generador de hidrógeno al descomponer el agua en gases de hidrógeno y oxígeno cuando se aplica un potencial eléctrico externo. La tecnología básica de una celda de combustible de hidrógeno o una celda de electrólisis se puede aplicar a la manipulación electroquímica de hidrógeno, tal como la compresión, purificación o expansión electroquímica de hidrógeno.

25 Un compresor electroquímico de hidrógeno (EHC), por ejemplo, puede usarse para transferir selectivamente hidrógeno de un lado de una celda a otro. Un EHC puede comprender una membrana de intercambio de protones intercalada entre un primer electrodo (es decir, un ánodo) y un segundo electrodo (es decir, un cátodo). Un gas que contiene hidrógeno puede entrar en contacto con el primer electrodo y se puede aplicar una diferencia de potencial eléctrico entre los electrodos primero y segundo. En el primer electrodo, las moléculas de hidrógeno pueden oxidarse y la reacción puede producir dos electrones y dos protones. Los dos protones son conducidos electroquímicamente a través de la membrana al segundo electrodo de la celda, donde se reincorporan por dos electrones redirigidos y se reducen para formar una molécula de hidrógeno. Las reacciones que tienen lugar en el primer electrodo y el segundo electrodo pueden expresarse como ecuaciones químicas, como se muestra a continuación.

Primera reacción de oxidación del electrodo: $H_2 \rightarrow 2H^+ + 2e^-$

35 Segunda reacción de reducción de electrodos: $2H^+ + 2e^- \rightarrow H_2$

Reacción electroquímica global: $H_2 \rightarrow H_2$

40 Los EHC que funcionan de esta manera a veces se denominan bombas de hidrógeno. Cuando el hidrógeno acumulado en el segundo electrodo está restringido a un espacio confinado, la celda electroquímica comprime el hidrógeno o aumenta la presión. La presión máxima o la tasa de flujo que una celda individual es capaz de producir se puede limitar con base en el diseño de la celda.

45 Para lograr una mayor compresión o una presión más alta, se pueden unir múltiples celdas en serie para formar un EHC de múltiples etapas. En un EHC de múltiples etapas, la ruta del flujo de gas, por ejemplo, puede configurarse de modo que el gas de salida comprimido de la primera celda pueda ser el gas de entrada de la segunda celda. Alternativamente, las celdas de una sola etapa se pueden vincular en paralelo para aumentar la capacidad de rendimiento (es decir, la tasa de flujo de gas total) de un EHC. Tanto en un EHC de una etapa como de múltiples etapas, las celdas se pueden apilar y cada celda puede incluir un cátodo, una membrana electrolítica y un ánodo. Cada conjunto de cátodo/membrana/ánodo constituye un "conjunto de electrodo de membrana" o "MEA", que normalmente está soportado en ambos lados por placas bipolares. Además de proporcionar soporte mecánico, las placas bipolares separan físicamente las celdas individuales en una pila mientras las conectan eléctricamente. Las placas bipolares también actúan como colectores/conductores de corriente y proporcionan pasajes para el combustible. Típicamente, las placas bipolares están hechas de metales, por ejemplo, acero inoxidable, titanio, etc., y de conductores eléctricos no metálicos, por ejemplo, grafito.

55 La manipulación electroquímica del hidrógeno se ha convertido en una alternativa viable a los sistemas mecánicos utilizados tradicionalmente para la gestión del hidrógeno. La comercialización exitosa del hidrógeno como portador de energía y la sostenibilidad a largo plazo de una "economía del hidrógeno" depende en gran medida de la eficiencia y

la rentabilidad de las celdas de combustible, las celdas de electrólisis y otros sistemas de manipulación/gestión de hidrógeno (es decir, EHC). El hidrógeno gaseoso es una forma conveniente y común para el almacenamiento de energía, usualmente mediante contención presurizada. Ventajosamente, almacenar hidrógeno a alta presión produce alta densidad de energía.

5 La compresión mecánica es un medio tradicional para lograr la compresión. Sin embargo, existen desventajas en la compresión mecánica. Por ejemplo, uso sustancial de energía, desgaste en piezas móviles, ruido excesivo, equipos voluminosos y fragilización por hidrógeno. La presurización por ciclos térmicos es una alternativa a la compresión mecánica, pero al igual que la compresión mecánica, el uso de energía es sustancial. Por el contrario, la compresión electroquímica es silenciosa, escalable, modular y puede lograr una alta eficiencia energética.

10 El documento US2007/0298310 divulga una celda de combustible en la cual un electrodo y un separador se apilan juntos en una pluralidad de celdas, cada una de las cuales tiene un electrolito intercalado entre los separadores por medio de una nervadura (nervaduras de la ruta del flujo de gas).

15 Un desafío para la compresión electroquímica de hidrógeno es la preocupación de seguridad con respecto al gas de hidrógeno presurizado. El gas de hidrógeno es extremadamente inflamable y el gas de hidrógeno a alta presión plantea problemas de seguridad. Una preocupación importante puede incluir la fuga o la liberación no intencional del gas a alta presión del compresor electroquímico. Una liberación catastrófica podría representar un peligro para la seguridad.

Además, incluso una pequeña fuga que puede no alcanzar el nivel de un problema de seguridad significativo reduce la eficiencia del compresor electroquímico. Por lo tanto, existe la necesidad de prevenir o reducir las fugas de hidrógeno.

20 En consideración de las circunstancias mencionadas anteriormente, la presente divulgación se dirige hacia una celda electroquímica que tiene una configuración del sello en cascada construida para limitar la liberación no intencional de hidrógeno desde la celda. Además, la configuración del sello en cascada puede permitir la recolección y el reciclaje de hidrógeno que se escapa de la celda.

25 Un aspecto de la presente divulgación está dirigido a un método de sellado de un componente bipolar de múltiples componentes de acuerdo con la reivindicación 1.

30 Otro aspecto de la presente divulgación está dirigido a un sistema de placa bipolar de acuerdo con el componente de la reivindicación 8, en el que el primer sello está alineado con una primera pluralidad de salientes formadas en al menos uno del primer componente y el segundo componente. El sistema también puede configurarse de modo que la compresión del primer componente y el segundo componente esté configurada para causar la penetración de la primera pluralidad de salientes en el primer sello, causando así la deformación plástica del primer sello y creando una superficie de sellado entre el primer componente y el segundo componente.

Otro aspecto de la presente divulgación está dirigido a una celda electroquímica de acuerdo con la reivindicación 14.

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 limitan la divulgación, como se reivindica.

35 Los dibujos adjuntos, que se incorporan en 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.

La FIG. 1 es una vista lateral de parte de una celda electroquímica, que muestra varios componentes de una celda electroquímica.

40 La FIG. 2A es una vista frontal de parte de una celda electroquímica, que muestra los diversos sellos y zonas de presión de la celda, de acuerdo con una realización a manera de ejemplo.

La FIG. 2B es una vista frontal de parte de una celda electroquímica, que muestra los diversos sellos y zonas de presión de la celda, de acuerdo con una realización a manera de ejemplo.

La FIG. 3A es una vista en sección transversal de parte de una celda electroquímica, de acuerdo con una realización a manera de ejemplo.

45 La FIG. 3B es una vista en sección transversal de parte de una celda electroquímica, que muestra varias fuerzas, de acuerdo con una realización a manera de ejemplo.

La FIG. 4A es una vista en sección transversal de parte de una celda electroquímica, que muestra una primera configuración, de acuerdo con una realización a manera de ejemplo.

50 La FIG. 4B es una vista en sección transversal de parte de una celda electroquímica, que muestra una segunda configuración, de acuerdo con una realización a manera de ejemplo.

La FIG. 4C es una vista en sección transversal de parte de una celda electroquímica, que muestra una tercera configuración, de acuerdo con una realización a manera de ejemplo.

La FIG. 5 es un diagrama esquemático que muestra un sistema electroquímico de recuperación de hidrógeno, de acuerdo con una realización a manera de ejemplo,

- 5 La FIG. 6 es un diagrama de flujo que ilustra un método para controlar la presión dentro de una celda electroquímica, de acuerdo con una realización a manera de ejemplo.

La FIG. 7 es una vista frontal de parte de una celda electroquímica, que muestra los diversos sellos y zonas de presión de la celda, de acuerdo con otra realización.

- 10 La FIG. 8 es una vista isométrica de una placa bipolar de dos piezas, de acuerdo con una realización a manera de ejemplo.

Las FIGS. 9A, 9B, 9C, and 9D son diagramas de vista en sección transversal de parte de una placa bipolar, de acuerdo con realizaciones a manera de ejemplo.

Las FIGS. 10A, 10B, and 10C son diagramas de vista en sección transversal de parte de una placa bipolar, de acuerdo con realizaciones a manera de ejemplo.

- 15 Las FIGS. 11 es un diagrama de vista en sección transversal de parte de una placa bipolar, de acuerdo con una realización a manera de ejemplo,

Ahora se hará referencia en detalle a las realizaciones a manera de ejemplo actuales de la presente divulgación, ejemplos de las cuales 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 electroquímica que emplea hidrógeno, se entiende que los dispositivos y métodos de la presente divulgación se pueden emplear con varios tipos de celdas de combustible y celdas electroquímicas, que incluyen, entre otras, celdas de electrólisis, purificadores de hidrógeno, expansores de hidrógeno y compresores de hidrógeno.

- 20 La FIG. 1 muestra una vista lateral en despiece de una celda 100 electroquímica, de acuerdo con una realización a manera de ejemplo. La celda 100 electroquímica puede comprender un ánodo 110, un cátodo 120 y una membrana 130 de intercambio de protones (PEM) dispuesta entre el ánodo 110 y el cátodo 120. El ánodo 110, el cátodo 120 y la PEM 130 combinados pueden comprender un conjunto 140 de electrodo de membrana (MEA). La PEM 130 puede comprender una membrana de polímero puro o una membrana compuesta donde otro material, por ejemplo, sílice, heteropoliácidos, fosfatos metálicos en capas, fosfatos y fosfatos de circonio se pueden incrustar en una matriz de polímero. La PEM 130 puede ser permeable a los protones mientras no conduce electrones. El ánodo 110 y el cátodo 120 pueden comprender electrodos de carbono porosos que contienen una capa de catalizador. El material catalizador, por ejemplo platino, puede aumentar a la tasa de las reacciones electroquímicas.

- 25 La celda 100 electroquímica puede comprender además dos placas 150, 160 bipolares. Las placas 150, 160 bipolares pueden actuar como placas de soporte, conductores, proporcionar pasajes a las superficies de electrodos respectivas para el hidrógeno, y proporcionar pasajes para la eliminación del hidrógeno comprimido. Las placas 150, 160 bipolares también pueden incluir canales de acceso para el líquido refrigerante (es decir, agua, glicol o mezcla de glicol de agua). Las placas bipolares pueden estar hechas de aluminio, acero, acero inoxidable, titanio, cobre, aleación de Ni-Cr, grafito o cualquier otro material eléctricamente conductor. Las placas 150, 160 bipolares pueden separar la celda 100 electroquímica de las celdas vecinas en una pila electroquímica (no mostrada). En algunas realizaciones, una placa 150, 160 bipolar puede funcionar como las placas bipolares para dos celdas vecinas de modo que cada lado de una placa 150, 160 bipolar esté en contacto con un MEA 140 diferente. Por ejemplo, se pueden vincular múltiples celdas 100 electroquímicas en serie para formar un compresor de hidrógeno electroquímico de múltiples etapas (EHC) o apilado en paralelo para formar un EHC de una sola etapa. Al utilizar una placa (150, 160) bipolar para dos celdas 100 electroquímicas adyacentes, la pila puede ser más compacta y tener una huella reducida en comparación con una pila donde cada celda electroquímica puede tener su propio conjunto de placas bipolares.

- 35 En operación, de acuerdo con una realización a manera de ejemplo, se puede suministrar gas de hidrógeno al ánodo 110 a través de la placa 150 bipolar. Se puede aplicar un potencial eléctrico entre el ánodo 110 y el cátodo 120, en el que el potencial en el ánodo 110 es mayor que el potencial en el cátodo 120. El hidrógeno en el ánodo 110 se puede oxidar haciendo que el hidrógeno se divida en electrones y protones. Los protones son transportados electroquímicamente o "bombeados" a través de PEM 130, mientras que los electrones se redirigen alrededor de PEM 130. En el cátodo 120 en el lado opuesto de PEM 130, los protones transportados y los electrones redirigidos se reducen para formar hidrógeno. A medida que se forma más y más hidrógeno en el cátodo 120, el hidrógeno puede comprimirse y presurizarse dentro de un espacio confinado.

- 45 Dentro de la celda 100 electroquímica, una pluralidad de zonas de presión diferentes y una pluralidad de sellos pueden definir una o más zonas de presión diferentes. La FIG. 2A muestra la pluralidad de diferentes sellos y zonas de presión dentro de la celda 100 electroquímica. Como se muestra en la FIG. 2A, la pluralidad de sellos puede incluir un primer sello 171, un segundo sello 181 y un tercer sello 191. El primer sello 171 puede estar contenido completamente dentro

del segundo sello 181 y el segundo sello 181 puede estar contenido completamente dentro del tercer sello 191. Además, la pluralidad de sellos puede incluir además primeros sellos 175, 176 auxiliares. Los sellos 175 y 176 auxiliares pueden ubicarse fuera del primer sello 171, pero dentro del segundo sello 181.

5 El primer sello 171 puede definir la zona 170 de alta presión y configurarse para contener un primer fluido 172 (por ejemplo, hidrógeno) dentro de la zona 170 de alta presión. El primer sello 171 puede delimitar los límites exteriores de la zona 170 de alta presión. La zona 170 de alta presión puede corresponder al lado del cátodo 120 de alta presión de PEM 130. El hidrógeno formado en el cátodo 130 puede recogerse en la zona 170 de alta presión y contener el primer sello 171. El hidrógeno dentro de la zona 170 de alta presión puede ser contenido y como resultado, aumenta la presión a medida que se forma más y más hidrógeno en la zona 170 de alta presión. El hidrógeno en la zona 170 de alta presión se puede comprimir a una presión superior a 103,421 kPa (15,000 psi).

10 Los primeros sellos 175, 176 auxiliares pueden definir dos zonas 177, 178 auxiliares de alta presión que pueden estar en comunicación fluida con la zona 170 de alta presión. Las zonas 177, 178 auxiliares de alta presión pueden ser pasajes comunes configurados para descargar el primer fluido 172 de la zona 170 de alta presión. Las zonas 177, 178 auxiliares de alta presión pueden estar en comunicación fluida con pasajes comunes de la celda electroquímica adyacente en un compresor electroquímico de múltiples celdas.

15 El segundo sello 181 puede definir la zona 180 de presión intermedia y estar configurado para contener un segundo fluido 182 dentro de la zona 180 de presión intermedia. El segundo sello 181 puede delimitar los límites exteriores de la zona 180 de presión intermedia. La zona 180 de presión intermedia puede corresponder al lado del ánodo 110 de baja presión del PEM 130. El segundo fluido 182 (por ejemplo, hidrógeno o mezcla de gases que contiene hidrógeno) suministrado al ánodo 110 puede estar contenido en la zona 180 de presión intermedia por el segundo sello 181 hasta que se oxida y se "bombea" a través de PEM 130 hasta el cátodo 120 y la zona 170 de alta presión. El segundo fluido 182 dentro de la zona 180 de presión intermedia puede variar con base en la presión que se suministra. Independientemente, el segundo fluido 182 en la zona 180 de presión intermedia puede ser generalmente una presión más baja que el primer fluido 172 en la zona 170 de alta presión.

20 El tercer sello 191 puede definir la zona 190 de baja presión y estar configurado para contener un tercer fluido 192 dentro de la zona 190 de baja presión. El tercer sello 191 puede delimitar los límites exteriores de la zona 190 de baja presión. La zona 190 de baja presión puede comprender pasajes de fluido refrigerante y el tercer fluido 192 puede comprender fluido refrigerante. El fluido refrigerante puede incluir agua, glicol o una combinación de los mismos. En un sistema de alta temperatura, el aceite se puede usar como fluido refrigerante. El tercer fluido 192 generalmente se puede mantener a una presión menor que la presión del segundo fluido 182 en la zona 180 de presión intermedia y el primer fluido 172 en la zona 170 de alta presión. La zona 190 de baja presión puede incluir un pasaje de entrada y un pasaje de salida (no mostrados) configurados para que el tercer fluido 192 pueda circular a través de la zona 190 de baja presión.

25 En una realización alternativa como se muestra en la FIG. 2B, la zona 190 de baja presión puede ubicarse no dentro de celda 100 electroquímica, sino más bien en el área que rodea la celda 100 electroquímica o una pluralidad de celdas que forman una pila. Por ejemplo, la zona 190 de baja presión puede contener nitrógeno 192 formando una capa de nitrógeno que rodea la celda 100 electroquímica o en otras realizaciones que rodean una pila de celdas.

30 La FIG. 3A muestra una vista en sección transversal de la celda 100 electroquímica a lo largo del plano A de la FIG. 2A. Como se describe en la FIG. 2A, la celda 100 electroquímica puede comprender la MEA 140 y las placas 150, 160 bipolares. Entre las placas 150, 160 bipolares puede estar el primer sello 171 configurado para sellar la zona 170 de alta presión, el segundo sello 181 está configurado para sellar la zona 180 de presión intermedia y el tercer sello 191 está configurado para sellar la zona 190 de baja presión. En la FIG. 3A, el primer sello 171, el segundo sello 181 y el tercer sello 191 se pueden mostrar como dos secciones transversales separadas de un solo sello continuo como se muestra previamente en la FIG. 2A.

35 Como se muestra en la FIG. 3A, el primer sello 171 se puede colocar contra un primer hombro 173. El primer hombro 173 se puede configurar para mantener la posición del primer sello 171 a medida que se puede acumular presión dentro de la zona 170 de alta presión. La presión dentro de la zona 170 de alta presión puede aplicar una fuerza hacia afuera contra el primer sello 171. La altura del primer hombro 173 puede variar desde aproximadamente 98 % hasta aproximadamente 25 % del grosor sin comprimir del primer sello 171.

40 En la realización particular mostrada en la FIG. 3A no hay un hombro ubicado en el interior del primer sello 171. La ausencia de un hombro interior como se muestra en la FIG. 3A puede permitir que el primer sello 171 sea combinado, unido, conectado o integral a la MEA 140 o parte del mismo. Tener el primer sello 171 integrado a MEA 140 puede facilitar el ensamblaje simplificado, eficiente y aerodinámico de la celda 100 electroquímica. Sin embargo, en realizaciones alternativas, se puede colocar un hombro adicional en el interior del primer sello 171 que se puede configurar para crear una ranura en la que se puede colocar el primer sello 171.

45 Con referencia nuevamente a la FIG. 3A, el segundo sello 181 puede colocarse en una segunda ranura 183 formada entre dos hombros en la placa 160 bipolar. Al interior de la segunda ranura 183 y el segundo sello 181 puede estar la zona 180 de presión intermedia y al exterior de la segunda ranura 183 183 y el segundo sello 181 puede estar la zona

190 de baja presión. La profundidad de la segunda ranura 183 puede variar desde aproximadamente 98 % hasta aproximadamente 25 % del grosor sin comprimir del segundo sello 181.

5 El tercer sello 191 como se muestra en la FIG. 3A, se puede colocar en una tercera ranura 193 formada entre dos hombros en la placa 160 bipolar. Al interior de la tercera ranura 193 y el tercer sello 191 puede estar la zona 190 de baja presión y al exterior de la tercera ranura 193 y el tercer sello 191 puede estar el entorno circundante de la celda 100 electroquímica. La profundidad de la tercera ranura 193 puede variar desde aproximadamente 98% hasta aproximadamente 25 % del grosor sin comprimir del tercer sello 191.

10 Durante el montaje, el primer sello 171, el segundo sello 181 y el tercer sello 191 entre las placas 150, 160 bipolares se pueden comprimir en un porcentaje predeterminado de su grosor sin comprimir seleccionando la altura apropiada de sus respectivos hombros 173 o la profundidad de sus respectivas ranuras, 183 y 193. El primer hombro 173 y los hombros que forman la segunda ranura 183 y la tercera ranura 193 pueden actuar como tope, como se muestra en la FIG. 3A, para la placa 150 bipolar. Al actuar como una tope, se puede reducir la posibilidad de sobrecomprimir los sellos. La elevación del primer hombro 173 y los hombros que forman la segunda ranura 183 y la tercera ranura 193 pueden ser iguales, de modo que la placa 150 bipolar puede hacer contacto con todas las superficies de los hombros de la placa 160 bipolar a la vez cuando las superficies son paralelas.

15 Como se muestra en las FIGS. 3A y 3B, la placa 160 bipolar se puede configurar de modo que todas o la mayoría de las características (por ejemplo, primer hombro 173, segunda ranura 183, tercera ranura 193, etc.) se formen en la placa 160 bipolar. Al formar todas o la mayoría de las características en una placa individual (por ejemplo, placa 160 bipolar), la otra placa se puede simplificar y se puede reducir el coste de fabricación. En realizaciones alternativas (no mostradas), la segunda ranura 183 y la tercera ranura 193 pueden formarse en la placa 150 bipolar en lugar de la placa 160 bipolar. En otra realización, la segunda ranura 183 se puede formar en cualquier placa 150, 160 bipolar, mientras que la tercera ranura 193 se forma en la otra placa. En otra realización más, partes de la segunda ranura 183 y la tercera ranura 193 pueden formarse en ambas placas 150, 160 bipolares.

20 La segunda ranura 183 y la tercera ranura 193 pueden tener una geometría de sección transversal que corresponde a la forma del segundo sello 181 y el tercer sello 191. Por ejemplo, la geometría de la sección transversal del sello y la ranura puede ser un cuadrado, rectángulo, triángulo, polígono, círculo u óvalo. En diversas realizaciones, el ancho del segundo sello 181 y el tercer sello 191 puede ser menor que la ranura correspondiente. El espacio adicional en las ranuras puede permitir la expansión y contracción de los sellos causadas por el cambio de temperatura, el cambio de presión de los fluidos internos y el cambio de presión de la compresión de la placa bipolar. Como se muestra en la FIG. 3A, típicamente los sellos se pueden forzar hacia afuera a la posición más externa dentro de las ranuras porque los sellos experimentan una mayor presión desde el lado interior que desde el lado exterior.

25 En otras realizaciones, la profundidad de las ranuras (por ejemplo, la segunda ranura 183 y la tercera ranura 193) puede reducirse a cero o eliminarse y el primer sello 171, el segundo sello 181 y el tercer sello 191 pueden estar formados por material de junta plana que se puede cortar en un patrón de ampliación configurado para mantener la configuración en cascada. Por ejemplo, el primer fluido filtrado más allá del primer sello 171 se puede recolectar en la zona 180 de presión intermedia.

30 El primer sello 171, el segundo sello 181 y el tercer sello 191 pueden ser una junta, una junta tórica u otro componente de sellado. El primer sello 171, el segundo sello 181 y el tercer sello 191 pueden estar hechos de un material de sellado elastomérico o polimérico, por ejemplo, silicona, EPDM (etilenopropileno-dieno-monómero), fluoroelastómero, caucho de nitrilo (Buna-N), PTFE (politetrafluoroetileno), polisulfona, polieterimida, sulfuro de polietileno, PEEK (poliéter éter cetona), poliimida, PET (tereftalato de polietileno), PEN (naftalato de polietileno), HDPE (polietileno de alta densidad), poliuretano, neopreno, acetal, nylon, tereftalato de polibutileno, NBR (caucho de acrilonitrilo-butadieno), etc. El material de cada sello puede ser diferente al material de los otros sellos, el material puede ser el mismo para solo dos de los sellos, o el material puede ser el mismo para todos los sellos.

35 Como el material, el grosor de cada sello puede ser diferente al de los otros sellos. El grosor se puede medir a lo largo de un eje vertical (Y) de la celda 100 electroquímica. Como se muestra en la FIG. 3A, el grosor del segundo sello 181 es mayor que el grosor del primer sello 171 y el grosor del tercer sello 191 es mayor que el grosor del segundo sello 181. En consecuencia, el sello más externo, el tercer sello 191, puede tener el mayor grosor y el sello más interno, el primer sello 171, puede tener el grosor más pequeño. Por ejemplo, el grosor del primer sello 171 puede variar entre aproximadamente 0.01 mm y aproximadamente 1.0 mm, el grosor del segundo sello 181 puede variar entre aproximadamente 0.02 mm y aproximadamente 2.0 mm, y el grosor del tercer sello 191 puede variar entre aproximadamente 0.03 mm y 3.0 mm.

40 Para realizaciones donde la geometría de la sección transversal del primer sello 171, el segundo sello 181 y el tercer sello 191 puede ser un círculo u óvalo, el grosor como se describió anteriormente puede referirse al diámetro del círculo o sección transversal ovalada.

45 Como se muestra en la FIG. 3B, durante el funcionamiento de la celda 100 electroquímica, la presión del primer fluido 172, el segundo fluido 182 y el tercer fluido 192 aplicados dentro de cada zona correspondiente entre las placas 150, 160 bipolares puede producir una fuerza 200 de apertura. La fuerza 200 de apertura sin oposición puede provocar que

las placas 150, 160 bipolares se separen. Con el fin de evitar que la fuerza 200 de apertura separe las placas 150, 160 bipolares, se puede aplicar una fuerza 200 de cierre a las placas para oponerse y vencer la fuerza 200 de apertura. Se entiende que la presión del primer fluido 172, el segundo fluido 182 y el tercer fluido 192 produciría más fuerzas que las representadas por la pluralidad de flechas que representan la fuerza 200 de apertura, por ejemplo, fuerzas laterales (no mostradas) perpendiculares a la fuerza 200 de apertura se produciría, así como otras fuerzas apuntando hacia afuera desde cada zona de presión en todas las direcciones posibles.

La FIG. 4A muestra una sección transversal de celda 100 electroquímica en una primera configuración. La celda 100 electroquímica puede mantener la primera configuración cuando la fuerza 200 de cierre es suficiente para superar la fuerza 200 de apertura y mantener las placas 150, 160 bipolares sustancialmente juntas. Mientras que en la primera configuración, el primer sello 171, el segundo sello 181 y el tercer sello 191 pueden mantener contacto con las superficies de sellado superior e inferior de la placa 150, 160 bipolar, evitando fugas o sobrepasos del primer fluido 172, el segundo fluido 182 o el tercer fluido 192. En esta situación particular, todos los sellos están cumpliendo su función.

Cuando la celda 100 electroquímica está en la primera configuración, como se describió anteriormente, la medición real de la separación entre las superficies de las placas 150, 160 bipolares puede variar. Por ejemplo, la separación puede variar desde aproximadamente 0,00 mm hasta aproximadamente 0.01 mm, hasta aproximadamente 0.05 mm, hasta aproximadamente 0.10 mm. La separación puede ser una separación física real o una deformación elástica localizada del material de la placa bipolar a medida que el equilibrio de fuerzas 210 y 200 se desplaza a través del intervalo de operación.

La FIG. 4B muestra una sección transversal de celda 100 electroquímica en una segunda configuración. La celda 100 electroquímica puede cambiar a la segunda configuración cuando se reduce la fuerza 200 de cierre o se aumenta la fuerza 200 de apertura (por ejemplo, el primer fluido 172 aumenta la presión) haciendo que las placas 150, 160 bipolares se separen. Como se muestra en la FIG. 4B, la primera separación de las placas 150, 160 bipolares puede hacer que el primer sello 171 se desprenda permitiendo el sobrepaso del primer fluido 172 desde la zona 170 de alta presión a la zona 180 de presión intermedia. En la realización particular mostrada en la FIG. 4B, se muestra que el primer sello 171 se desprende de la placa 160 bipolar primero, permitiendo el flujo del primer fluido 172 debajo y alrededor del primer sello 171. Sin embargo, se entiende que en realizaciones alternativas (no mostradas), el primer sello 171 se puede desprender de la placa 150 bipolar primero, permitiendo el flujo del primer fluido 172 sobre el primer sello 171 pasando entre el primer sello 171 y el MEA 140.

El flujo del primer fluido 172 desde la zona 170 de alta presión hasta la zona 180 de presión intermedia puede ser causado por la diferencia de presión entre el primer fluido 172 y el segundo fluido 182 y puede viajar a lo largo de la ruta de menor resistencia. El primer sello 171 se puede configurar para que sea el primero de los sellos que se desprenda al tener un grosor menor que el segundo sello 181 y el tercer sello 191. También puede ser el primero en experimentar una presión de fluido que supere la tensión interna del material 171 del sello. Esto puede permitir que el tercer sello 191 y el segundo sello 181 mantengan contacto con ambas superficies de sellado evitando que el fluido sobrepase cualquiera de los sellos a pesar de la primera separación de las placas 150, 160 bipolares presentes en la segunda configuración.

Cuando la celda 100 electroquímica está en la segunda configuración, como se describió anteriormente, la medición real de la primera separación que existe entre las placas 150, 160 bipolares puede variar. Por ejemplo, la primera separación puede variar desde aproximadamente 0.01 mm hasta aproximadamente 0.05 mm, hasta aproximadamente 0.10 mm, hasta aproximadamente 0.25 mm. Alternativamente, la separación física podría ser desde aproximadamente 0.00 mm siempre que la capacidad del material del sello para mantener un contacto íntimo con las superficies de sellado sea superada por la presión del fluido, por ejemplo, cuando la presión del fluido es mayor que la tensión interna en el material del sello.

La FIG. 4C muestra una sección transversal de celda 100 electroquímica en una tercera configuración. La celda 100 electroquímica puede cambiar a la tercera configuración cuando la fuerza 200 de cierre se reduce aún más o la fuerza 200 de apertura se incrementa aún más, provocando que las placas 150, 160 bipolares sufran una segunda separación. La separación puede ser una separación física real o una deformación elástica localizada del material de la placa bipolar a medida que el equilibrio de fuerzas 210 y 200 se desplaza a través del intervalo de operación. Como se muestra en la FIG. 4C, la segunda separación de las placas 150, 160 bipolares puede hacer que tanto el primer sello 171 como el segundo sello 181 se desprendan permitiendo sobrepaso del primer fluido 172 de la zona 170 de alta presión y el segundo fluido 182 de la zona 180 de presión intermedia a la zona 190 de baja presión. En la realización particular mostrada en la FIG. 4C, se muestra que el segundo sello 181 se desprende de la placa 150 bipolar primero, permitiendo el flujo del segundo fluido 182 sobre el segundo sello 181. Sin embargo, se entiende que en realizaciones alternativas (no mostradas), el segundo sello 181 puede desprenderse de la placa 160 bipolar primero, permitiendo el flujo del segundo fluido 182 debajo y alrededor del segundo sello 181.

El flujo del segundo fluido 182 desde la zona 180 de presión intermedia hasta la zona 190 de baja presión puede ser causado por la diferencia de presión entre el segundo fluido 182 y el tercer fluido 192. El segundo sello 181 puede configurarse para ser el segundo sello que se desprende siendo más grueso que el primer sello 171, pero no tan grueso como el tercer sello 191. Por lo tanto, debido a que el tercer sello 191 puede ser más grueso que el primer

sello 171 y el segundo sello 181, el tercer sello 191 puede mantener el contacto con ambas superficies de sellado evitando que el flujo sobrepase a pesar de la segunda separación de placas 150, 160 bipolares.

5 Cuando la celda 100 electroquímica está en la tercera configuración, como se describió anteriormente, la medición real de la segunda separación puede variar. Por ejemplo, la segunda separación puede variar desde aproximadamente 0.05 mm hasta aproximadamente 0.25 mm, hasta aproximadamente 0.50 mm. Alternativamente, la separación física podría ser desde aproximadamente 0.00 mm siempre que la presión del fluido supere la capacidad del material de sello para mantener un contacto íntimo con las superficies de sellado.

10 La celda 100 electroquímica se puede configurar para la transición desde la primera configuración hasta la segunda configuración y la segunda configuración hasta la tercera configuración con base en la magnitud cambiante de la fuerza 200 de cierre y la fuerza 200 de apertura durante la operación. Además, la celda 100 electroquímica también puede pasar desde la tercera configuración hasta la segunda configuración y la segunda configuración hasta la primera configuración con base en la magnitud cambiante de la fuerza 200 de cierre y la fuerza 200 de apertura. Se contempla que la transición entre la primera configuración, la segunda configuración y la tercera configuración puede ocurrir continuamente durante la operación en respuesta a la magnitud cambiante de la fuerza 200 de cierre y la fuerza 200 de apertura.

15 En otras realizaciones, se contempla que el módulo de elasticidad de los sellos pueda ser diferente en lugar del grosor de los sellos para permitir el desprendimiento disperso de los sellos. En otra realización más, se pueden variar tanto el grosor como el módulo de elasticidad.

20 En otras realizaciones, puede producirse una fuga sin separación física de las placas y/o debido a un cambio en la altura del sello. Por ejemplo, puede producirse una fuga entre los sellos como resultado de que el fluido (por ejemplo, primer fluido 172) esté a una presión mayor que la tensión interna del sello (por ejemplo, primer sello 171) causando que el fluido se filtre a través del sello.

25 La disposición de los sellos como se describió anteriormente puede clasificarse como una configuración de sello en cascada. La configuración del sello en cascada puede proporcionar varias ventajas. Por ejemplo, la configuración de sello en cascada puede limitar el potencial del hidrógeno a alta presión que escapa de la celda 100 electroquímica al proporcionar redundancia de sello en forma de tres niveles de protección de sellado. La reducción del potencial de fugas de hidrógeno puede beneficiar la seguridad y la eficiencia energética.

30 Además, la configuración del sello en cascada también puede permitir la autorregulación de la presión. La autorregulación de la presión puede lograrse debido a la disparidad en el grosor del sello y el desprendimiento disperso resultante del primer sello 171, segundo sello 181 y tercer sello 191. Por ejemplo, cuando el celda 100 electroquímica está en la segunda configuración como se muestra en la FIG. 4B, el primer sello 171 se puede desprender, permitiendo que el primer fluido 172 se filtre en la zona 180 de presión intermedia. El primer fluido 172 que se filtra a la zona 180 de presión intermedia puede purgar la presión de la zona 170 de alta presión. Al purgar la presión de la zona 170 de alta presión, se puede reducir la fuerza 200 de apertura. La caída en la fuerza 200 de apertura puede permitir la inversión de la primera separación de placas 150, 160 bipolares, provocando la transición de la celda 100 electroquímica de la segunda configuración a la primera configuración y el reasentamiento del primer sello 171.

35 También se contempla que la autorregulación de la presión se puede lograr sin desprender los sellos (por ejemplo, el primer sello 171 y el segundo sello 181) con base en la presión de sellado frente a la presión del fluido. Por ejemplo, puede producirse una fuga entre los sellos como resultado de que el fluido (por ejemplo, primer fluido 172) esté a una presión mayor que la tensión interna del sello (por ejemplo, el primer sello 171) causando que el fluido se filtre a través del sello. La fuga a través del sello puede continuar hasta que la presión del fluido esté equilibrada o sea menor que la tensión interna del sello.

40 El primer fluido 172 que se filtra por el primer sello 171 puede combinarse con el segundo fluido 182 y ser utilizado por la celda 100 electroquímica, en efecto, el primer líquido filtrado 172 puede reciclarse. Una consecuencia de esta filtración y el posterior reciclaje puede ser una pérdida en eficiencia de compresión porque el hidrógeno filtrado se "bombea" a través de PEM 130 dos veces. Sin embargo, la pérdida potencial en la eficiencia de compresión es aun menor que la pérdida general en la eficiencia de lo que sería, si el hidrógeno filtrado no se recuperara y se filtrara al exterior de la celda 100 electroquímica y se perdiera.

45 En el caso de que la purga de presión de la zona 170 de alta presión no sea suficiente para provocar la transición desde la segunda configuración hasta la primera configuración, puede producirse una segunda separación haciendo que la celda electroquímica pase de la segunda configuración a la tercera configuración. En la tercera configuración como se muestra en la FIG. 4C, la segunda separación de las placas 150, 160 bipolares puede provocar que el segundo sello 181 se desprenda permitiendo que el segundo fluido 182 se filtre en la zona 190 de baja presión. El segundo fluido 182 que se filtra en la zona 190 de baja presión puede purgar la presión de la zona 180 de presión intermedia. Al purgar la presión de la zona 180 de presión intermedia, la fuerza 200 de apertura puede reducirse aún más. La caída en la fuerza 200 de apertura puede permitir que se invierta la segunda separación de las placas 150, 160 bipolares, causando la transición de la celda 100 electroquímica de la tercera configuración a la segunda configuración y el reasentamiento de al menos el segundo sello 181.

La consecuencia de la purga del segundo fluido 182 de la zona 180 de presión intermedia a la zona 190 de baja presión puede ser una pérdida de eficiencia de la celda. Sin embargo, un beneficio puede ser la reducción de la posibilidad de que el segundo fluido 182 (es decir, el hidrógeno gaseoso) escape de la celda 100 electroquímica.

5 En diversas realizaciones, se puede monitorizar la presión del tercer fluido 192 en la zona 190 de baja presión. El desprendimiento del segundo sello 181 puede resultar en un aumento de presión en la zona 190 de baja presión causado por la purga de la presión del segundo fluido 182 en la zona 190 de baja presión. Por lo tanto, al controlar la presión del tercer fluido 192, se puede detectar el desprendimiento del segundo sello 181 y la fuga del segundo fluido 182. Además, la celda 100 electroquímica se puede configurar para que se apague antes de que la presión en la zona 190 de baja presión alcance una presión crítica. La presión crítica se puede establecer justo por debajo de la presión a la que se desprenderá el tercer sello 191 permitiendo que el primer fluido 172, el segundo fluido 182 y el tercer fluido 192 escapen a la celda 100 electroquímica. En otra realización, la composición del tercer fluido 192 puede monitorizarse para detectar la presencia de un fluido extraño (por ejemplo, el primer fluido 172 o segundo fluido 182). Se puede usar un sensor de detección (por ejemplo, el sensor de hidrógeno) para detectar la presencia de fluido extraño en la zona 190 de baja presión.

15 La monitorización de la presión puede lograrse en una variedad de medios. Por ejemplo, un transmisor de presión podría configurarse para leer la presión en la zona 190 de baja presión, y cuando la presión alcanza el punto de ajuste de presión crítica, el potencial eléctrico para el ánodo 110 y el cátodo 120 podría apagarse evitando que se bombee más hidrógeno a través de PEM 130.

20 En otras realizaciones, la presión del segundo fluido 182 en la zona 180 de presión intermedia y el primer fluido 192 en la zona 190 de alta presión también se puede controlar. Por ejemplo, la monitorización de la presión del segundo fluido 182 puede permitir que la celda se apague antes de que la presión alcance el punto donde el segundo sello 181 podría desprenderse.

25 En diversas realizaciones, cuando el primer fluido 172 o el segundo fluido 182 (por ejemplo, hidrógeno a alta o baja presión) purga en la zona 190 de baja presión, puede combinarse con el tercer fluido 192 (por ejemplo, fluido refrigerante) y puede llevarse a cabo a partir de zona 190 de baja presión por el tercer fluido 192 circulante.

30 La FIG. 5 muestra un sistema 500 de recuperación de hidrógeno electroquímico (EHRS), de acuerdo con una realización a manera de ejemplo. El EHRS 500 puede comprender una celda 100 electroquímica como se describió anteriormente que tiene una configuración de sello en cascada. Además de la celda 100 electroquímica, EHRS 500 puede comprender un aparato 510 de recuperación de hidrógeno. El aparato 510 puede estar en comunicación fluida con la zona 190 de baja presión y la zona 180 de presión intermedia de la celda 100 electroquímica. El aparato 510 puede recibir el tercer fluido 192 descargado de la zona 190 de baja presión y puede configurarse para recuperar al menos una porción de cualquier segundo fluido 182 contenido en el tercer fluido 192. Después de que el tercer fluido 192 pase a través del aparato 510 de recuperación de hidrógeno, el tercer fluido se puede reabastecer a la zona 190 de baja presión. Cualquier segundo fluido 182 recuperado del tercer fluido 192 por el aparato 510 de recuperación de hidrógeno puede reintroducirse en la zona 180 de presión intermedia mediante una línea 520 de reciclaje configurada para conectar de manera fluida el aparato 510 de recuperación de hidrógeno y la zona 180 de presión intermedia. Reciclar el segundo fluido 182 puede mejorar la eficiencia general del sistema. Cuando el segundo fluido 182 es hidrógeno gaseoso, por ejemplo, el reciclaje del segundo fluido 182 reduce la cantidad del nuevo hidrógeno requerido.

40 El aparato 510 de recuperación de hidrógeno puede usar una variedad de tecnologías para separar el segundo fluido 182 del tercer fluido 192. Por ejemplo, la separación de gas disuelto del refrigerante líquido o la membrana de separación de hidrógeno de una capa de nitrógeno.

45 En diversas realizaciones, EHRS 500 puede configurarse para monitorizar la presión del tercer fluido 192 en la zona 190 de baja presión. Al monitorizar la presión del tercer fluido 192 en la zona 190 de baja presión, el aparato 510 de recuperación de hidrógeno puede configurarse para que solo se acople o energice cuando se haya detectado un aumento de presión, lo que puede indicar que el segundo sello 182 se ha desprendido y el segundo fluido se filtró en la zona 190 de baja presión. Al limitar el uso del aparato de recuperación de hidrógeno, se puede aumentar la eficiencia general del sistema.

50 En otras realizaciones, cuando el primer fluido 172 o el segundo fluido 182 (por ejemplo, hidrógeno a alta o baja presión) purga en la zona 190 de baja presión y se combina con el tercer fluido 192 (por ejemplo, fluido refrigerante), puede circular con el tercer fluido 192 y permanecer circulando hasta que se descargue el tercer fluido 192 en lugar de recuperarse o regenerarse a partir del tercer fluido 192.

55 La celda 100 electroquímica puede operar a presiones diferenciales superiores a aproximadamente 15,000 psi. Por ejemplo, una presión diferencial se puede medir como la diferencia entre la presión del segundo fluido 182 (es decir, la presión de entrada de hidrógeno) que puede variar desde aproximadamente -10 psia hasta aproximadamente 0 psia, o desde aproximadamente 0 psia hasta aproximadamente 25 psia, aproximadamente 100 psia, aproximadamente 500 psia, aproximadamente 1,000 psia, o aproximadamente 6,000 psia y presión del primer fluido 172 (es decir, presión de hidrógeno comprimido) que puede variar desde el límite inferior de la presión de entrada de hidrógeno hasta más de aproximadamente 15,000 psia. La presión diferencial como se describió anteriormente puede ser la presión

diferencial experimentada por el primer sello 171. El segundo sello 181 puede experimentar una presión diferencial entre el segundo fluido 182 y el tercer fluido 192 que varía entre aproximadamente 0 psi y aproximadamente 25 psi, aproximadamente 100 psi, aproximadamente 500 psi, aproximadamente 1,000 psi, o aproximadamente 6,000 psi.

5 La configuración de sellado en cascada descrita anteriormente puede permitir que la fuerza 200 de cierre se ajuste (es decir, aumente o disminuya) a una fuerza 200 de apertura particular. Tradicionalmente, la fuerza 200 de cierre se puede configurar para entregar una precarga en el primer sello 171, segundo sello 181 y tercer sello 191 suficiente para resistir la fuerza 200 de apertura esperada causada por la presión interna. Sin embargo, al cambiar la precarga o ajustar la fuerza 200 de cierre durante la operación de celda 100 electroquímica, se puede ajustar la presión en la cual el primer sello 171, el segundo sello 181 y el tercer sello 191 se desprenden, por lo que cada uno de ellos se
10 desprende y filtra a una presión particular preferida.

La capacidad de ajustar de la celda 100 electroquímica se puede utilizar para mejorar la seguridad del dispositivo. Como se describió anteriormente, el desprendimiento de los sellos permite la purga de alta presión y el reasentamiento de los sellos. Por lo tanto, al ajustar la fuerza 200 de cierre, la celda electroquímica se puede configurar para que los sellos sean el primer componente en reaccionar ante un aumento de presión en lugar de otro componente que, si falla,
15 podría provocar la liberación de hidrógeno.

La FIG. 6 muestra un diagrama 600 de flujo, para un método de ajuste de los sellos de celda 100 electroquímica. El método puede incluir proporcionar la celda 100 electroquímica, que puede tener una pluralidad de sellos en una configuración de sello en cascada como se describió anteriormente. A continuación, el método puede incluir la aplicación de una fuerza de cierre inicial a la celda electroquímica con base en la presión operativa esperada. Después
20 de aplicar una fuerza de cierre inicial, la celda puede energizarse y comenzar la operación. Durante el funcionamiento, la presión de las zonas de baja, intermedia y alta presión dentro de la celda 100 electroquímica se puede controlar de forma continua o intermitente. Con base en las presiones monitorizadas y la fuerza de apertura resultante, la fuerza de cierre se puede ajustar. El ajuste de la fuerza de cierre puede cambiar la presión a la que al menos uno de la pluralidad de sellos se desprende. Este proceso puede continuar durante toda la operación de la celda electroquímica o puede configurarse para que se ejecute solo durante un período finito inicialmente en el arranque. Según se requiera,
25 se puede finalizar la operación de la celda electroquímica.

Se contemplan más o menos sellos y zonas de presión. Por ejemplo, en otra realización como se muestra en la FIG. 7, la celda 100 electroquímica puede comprender un primer sello 171 y un segundo sello 181. En consecuencia, la celda 100 electroquímica como se muestra en la FIG. 7 puede comprender un primer sello 171 que define una zona
30 170 de alta presión. El primer sello 171 puede ubicarse entre las placas 150, 160 bipolares y configurarse para contener un primer fluido 172 con la zona 170 de alta presión. La celda 100 electroquímica puede comprender además un segundo sello 181 que define una zona 180 de presión intermedia. El segundo sello 182 puede ubicarse entre las placas 150, 160 bipolares y configurarse para contener el segundo fluido 182 dentro de la zona 180 de presión intermedia. El primer sello 171 puede estar contenido completamente con el segundo sello 181. La celda 100 electroquímica puede comprender además primeros sellos 175, 176 auxiliares. Los sellos 175 y 176 auxiliares pueden
35 ubicarse fuera del primer sello 171, pero dentro del segundo sello 181

Además, con respecto a la celda 100 electroquímica, el primer fluido 172 puede estar a una presión más alta que el segundo fluido 182. El primer sello 171 y el segundo sello 181 pueden tener una sección transversal generalmente rectangular. El grosor del segundo sello 181 puede ser mayor que el primer sello 171. El primer sello 171 puede configurarse para filtrar el primer fluido 172 en la zona 180 de presión intermedia cuando el primer sello 171 se desprende. En una realización de este tipo, la celda 100 electroquímica se puede configurar para apagarse antes del desprendimiento del segundo sello 181, reduciendo la posibilidad de filtración del segundo fluido 182 desde la zona
40 180 de presión intermedia.

El primer sello 171 y el segundo sello 181 dentro de la celda 100 electroquímica pueden configurarse para permanecer asentados evitando la filtración del primer fluido 172 y el segundo fluido 182 cuando una fuerza de cierre que se aplica a las placas 150, 160 bipolares es mayor que la fuerza de apertura dentro placas 150, 160 bipolares. Cuando la fuerza de cierre aplicada a las placas 150, 160 bipolares se aproxima a la fuerza de apertura dentro de las placas 150, 160 bipolares, el primer sello 171 se puede configurar para que se desprenda antes de que el segundo sello 181 se desprenda, causando que el primer fluido 172 se filtre más allá del primer sello 171 en la zona 180 de presión intermedia. El primer fluido 172 que se filtra del primer sello 171 puede combinarse con el segundo fluido 182 y reciclarse.
45 50

En otras realizaciones, se puede utilizar una configuración de sello en cascada similar a la descripción anterior con una placa bipolar de dos piezas. Por ejemplo, las placas 150 y 160 bipolares, de acuerdo con algunas realizaciones, pueden estar formadas cada una de dos piezas. Una placa bipolar de dos piezas puede ser ventajosa por varias razones. Por ejemplo, menor coste de fabricación, flexibilidad en la fabricación, menor coste de material, mayor capacidad de servicio y mejor capacidad de selección de material (por ejemplo, conductividad eléctrica y resistencia a la corrosión). En otras realizaciones, las placas 150 y 160 bipolares pueden estar formadas por una pluralidad de piezas.
55

Una configuración de sellado en cascada entre las dos piezas de la placa bipolar se puede configurar para capturar, recuperar o rescatar el fluido (por ejemplo, hidrógeno) que se filtró entre las dos piezas, como se describe más adelante. De lo contrario, el fluido filtrado de la celda o pila electroquímica podría crear un problema potencial de seguridad. Además, podría acumularse un volumen de fluido entre las dos piezas de la placa bipolar si el líquido no puede salir. El fluido de alta presión atrapado puede causar daños a la placa bipolar y potencialmente causar más fugas.

La FIG. 8 muestra una realización de las placas 150 y 160 bipolares que comprenden una placa 800 bipolar de dos piezas que comprende un primer componente 801 (por ejemplo, marco) y un segundo componente 802 (por ejemplo, base) configurado para una configuración de sellado en cascada. El primer componente 801 puede formar un vacío 803 donde se puede colocar una estructura de flujo.

Celda 100 electroquímica, como se muestra en la FIG. 1, puede comprender además capas de difusión de gas eléctricamente conductoras (GDL) (no mostradas) dentro de la celda 100 electroquímica a cada lado de MEA 140. Las GDL pueden servir como medios de difusión que permiten el transporte de gases y líquidos dentro de la celda, proporcionan conducción eléctrica entre las placas 150 y 160 bipolares y PEM 130, ayudan a eliminar el calor y el agua de proceso de la celda y, en algunos casos, proporcionan soporte mecánico a PEM 140. Además, los canales (no mostrados), conocidos como campos de flujo, en las placas 150 y 160 bipolares pueden configurarse para suministrar gases al ánodo 110 y al cátodo 120 de MEA 140. Los gases reactivos en cada lado de PEM 130 pueden fluir a través de campos de flujo y difundirse a través de los GDL porosos. Los campos de flujo y los GDL se pueden colocar de forma contigua y acoplados por las corrientes de fluido internas. En consecuencia, el campo de flujo y el GDL pueden formar colectivamente la estructura de flujo y, aunque no se muestran, pueden colocarse en 805.

El primer componente 801 y el segundo componente 802 pueden ser generalmente planos y tener un perfil generalmente rectangular. En otras realizaciones, los componentes 801 y 802 pueden tener un perfil con forma de cuadrado, una "pista de carreras" (es decir, una forma sustancialmente rectangular con lados semielípticos posteriores), círculo, óvalo, elíptica u otra forma. La forma del primer componente 801 y el segundo componente 802 puede corresponder a los otros componentes de celda 100 electroquímica (por ejemplo, cátodo, ánodo, PEM, estructura de flujo, etc.) o pila de celdas electroquímicas.

El primer componente 801 y el segundo componente 802 pueden estar formados por uno o más materiales. El primer componente 801 y el segundo componente 802 pueden estar formados por los mismos materiales o materiales diferentes. Los componentes 801 y 802 pueden estar formados por un metal, tal como acero inoxidable, titanio, aluminio, níquel, hierro, etc., o una aleación metálica, tal como una aleación de níquel cromo, aleación de níquel-estaño, o una combinación de los mismos. El componente 801 también puede estar formado por polímeros, materiales compuestos, cerámica o cualquier material capaz de soportar la fuerza 200 de cierre.

El primer componente 801 y el segundo componente 802 pueden comprender un material revestido, por ejemplo, revestimiento de aluminio con acero inoxidable en una o más regiones. El revestimiento puede proporcionar las ventajas de ambos metales, por ejemplo, en el caso de una placa bipolar fabricada de aluminio revestido de acero inoxidable, el acero inoxidable protege el núcleo de aluminio de la corrosión durante el funcionamiento de la celda, al tiempo que proporciona las propiedades de materiales superiores del aluminio, tal como, alta relación resistencia-peso, alta conductividad térmica y eléctrica, etc. En otras realizaciones, el primer componente 801 puede comprender aluminio anodizado, sellado e imprimado. En otra realización, el primer componente 801 puede comprender aluminio cromado y recubierto por pulverización.

En algunas realizaciones, el primer componente 801 puede estar formado de un compuesto, tal como fibra de carbono, grafito, polímero reforzado con vidrio, compuestos termoplásticos. En algunas realizaciones, el primer componente 801 puede estar formado de un metal que está recubierto para evitar tanto la corrosión como la conducción eléctrica.

De acuerdo con diversas realizaciones, el primer componente 801 puede ser generalmente no conductor reduciendo la probabilidad de cortocircuito entre las celdas electroquímicas. El segundo componente 802 puede estar formado por uno o más materiales que proporcionan conductividad eléctrica y resistencia a la corrosión durante el funcionamiento de la celda. Por ejemplo, el segundo componente 802 puede configurarse para que sea eléctricamente conductor en la región donde se encuentran los componentes de la celda activa (por ejemplo, estructura de flujo, MEA, etc.).

El primer componente 801 y el segundo componente 802 pueden configurarse para acoplamiento coplanar. El primer componente 801 y el segundo componente 802 pueden acoplarse de forma liberable o acoplarse de manera fija. Se pueden usar uno o más mecanismos de fijación que incluyen, por ejemplo, material de unión, soldadura, soldadura fuerte, soldadura blanda, soldadura por ultrasonidos, soldadura láser, estampado, remachado, soldadura por resistencia o sinterización. En algunas realizaciones, el material de unión puede incluir un adhesivo. Los adhesivos adecuados incluyen, por ejemplo, colas, epoxis, cianoacrilatos, láminas termoplásticas (incluyendo láminas termoplásticas unidas por calor) uretanos, anaerobios, curado por UV y otros polímeros. En algunas realizaciones, el primer componente 801 y el segundo componente 802 pueden acoplarse mediante un ajuste por fricción. Por ejemplo, uno o más sellos entre los componentes pueden producir una fuerza de fricción adecuada entre los componentes cuando se comprimen para evitar un deslizamiento involuntario.

En otras realizaciones, el primer componente 801 y el segundo componente 802 se pueden acoplar de manera liberable usando sujetadores, por ejemplo, tornillos, pernos, clips u otros mecanismos similares. En otras realizaciones, las barras y tuercas de compresión pueden pasar a través de la placa 800 bipolar o a lo largo del exterior y usarse para comprimir el primer componente 801 y el segundo componente 802 juntos como la celda 100 electroquímica o una pluralidad de celdas 100 electroquímicas se comprimen en una pila.

El primer componente 801 acoplado y el segundo componente 802 pueden formar una pluralidad de zonas de presión diferentes y una pluralidad de sellos pueden definir una o más zonas de presión diferentes. La FIG. 8 muestra la pluralidad de diferentes sellos y zonas de presión. Como se muestra en la FIG. 8, la pluralidad de sellos puede incluir un primer sello 871, un segundo sello 881 y un tercer sello 891. El primer sello 871 puede estar contenido completamente dentro del segundo sello 881 y el segundo sello 881 puede estar contenido completamente dentro del tercer sello 891. La forma del primer sello 871, el segundo sello 881 y el tercer sello 891 generalmente pueden corresponder a la forma de la placa 800 bipolar, como se muestra en la FIG. 8.

El primer sello 871 puede definir una porción de la zona 870 de alta presión y configurarse para contener un primer fluido 872 (por ejemplo, hidrógeno) dentro de la zona 870 de alta presión. El primer sello 871 puede delimitar los límites exteriores de la zona 870 de alta presión al menos entre los componentes 801 y 802. La zona 870 de alta presión puede incluir la estructura de flujo que se extiende a través del vacío 803 cuando el primer componente 801 y el segundo componente 802 están acoplados. El primer fluido 872 puede fluir a través de la zona 870 de alta presión a través de la estructura de flujo desde el cátodo 130.

El hidrógeno formado en el cátodo 130 se puede recoger en la zona 870 de alta presión y la conexión entre el primer componente 801 y el segundo componente 802 se puede sellar con el primer sello 871. El hidrógeno dentro de la zona 870 de alta presión se puede comprimir y, como resultado, aumenta la presión a medida que se forma más y más hidrógeno en la zona 870 de alta presión. El hidrógeno en la zona 870 de alta presión se puede comprimir a una presión superior a 103,421 kPa (15,000 psi). La presión dentro de la zona 870 de alta presión puede aplicar una fuerza de separación entre el segundo componente 802 y un segundo componente de una celda adyacente.

Como se muestra en la FIG. 8, el primer sello 871 puede configurarse para extenderse alrededor del exterior de los pasajes 804 comunes. Los pasajes 804 comunes pueden configurarse para suministrar o descargar el primer fluido 872 desde la zona 870 de alta presión. Los pasajes 804 comunes pueden estar en comunicación fluida con pasajes comunes de celdas electroquímicas adyacentes en un compresor electroquímico de celdas múltiples.

El segundo sello 881 puede definir la circunferencia exterior de la zona 880 de presión intermedia. La zona 880 de presión intermedia puede comprender un volumen 883 de presión intermedia delimitado por el primer sello 871, el segundo sello 881, el primer componente 801 y el segundo componente 802. La zona 880 de presión intermedia puede configurarse para contener un segundo fluido 882. La zona 880 de presión intermedia puede comprender además uno o más puertos 884 de presión intermedia.

El volumen 883 de presión intermedia puede configurarse para recoger y dirigir el segundo fluido 882 a los puertos 884 de presión intermedia. Como se muestra en la FIG. 8, el volumen 883 de presión intermedia puede extenderse alrededor de la circunferencia de la zona 870 de alta presión separada por el primer sello 871. El área de la sección transversal y el volumen del volumen 883 de presión intermedia pueden variar con base en la geometría del primer componente 801, segundo componente 802, primer sello 871 y segundo sello 881.

En otras realizaciones, el volumen 883 de presión intermedia se puede separar en una pluralidad de volúmenes 883 de presión intermedia, por ejemplo, 2, 3, 4 o más volúmenes 883 de presión intermedia. La pluralidad de volúmenes 883 de presión intermedia puede estar separada por una pluralidad de sellos. Como se muestra en la FIG. 8, el volumen 883 de presión intermedia se puede separar en dos volúmenes 883 de presión intermedia. Por ejemplo, como se muestra en la FIG. 8, el primer sello 871 puede extenderse a través del volumen 883 de presión intermedia hasta el segundo sello 881. Las porciones del primer sello 881 que se extienden alrededor de los pasajes 804 comunes pueden conectarse con el segundo sello 882 separando el volumen 883 de presión intermedia en dos volúmenes 883 de presión intermedia.

Como se muestra en la FIG. 8, el uno o más volúmenes 883 de presión intermedia pueden estar cada uno en comunicación fluida con uno o más puertos 884 de presión intermedia. Los puertos 884 de presión intermedia se pueden configurar para descargar el segundo fluido 882 contenido dentro de los volúmenes 883 de presión intermedia. La forma de los puertos 884 de presión intermedia puede variar. Por ejemplo, los puertos 884 de presión intermedia pueden ser cuadrados, rectángulos, triángulos, polígonos, círculos, ovals u otras formas. El número de puertos 884 de presión intermedia por volumen 883 de presión intermedia puede variar desde 1 hasta aproximadamente 25 o más. El área de la sección transversal de los puertos 884 de presión intermedia puede variar. Por ejemplo, el diámetro de los puertos 884 de presión intermedia circulares puede variar desde menos de aproximadamente 0.254 hasta 2.54 cm (0.1 pulgadas hasta aproximadamente 1 pulgada) o más. Como se muestra en la FIG. 8, los puertos 884 de presión intermedia pueden espaciarse uniformemente entre el primer sello 871 y el segundo sello 881 y distribuirse uniformemente a lo largo de la placa 800 bipolar. En otras realizaciones, los puertos 884 de presión intermedia pueden extender la circunferencia completa de la zona 880 de presión intermedia.

5 El segundo fluido 882 descargado a través de los puertos 884 de presión intermedia se puede reabastecer a los puertos 100 electroquímica. Por ejemplo, el segundo fluido 882 puede regresar a la zona 180 de presión intermedia. En otras realizaciones, el segundo fluido 882 descargado a través de los puertos 884 de presión intermedia puede recogerse y reciclarse. El segundo fluido 882 en la zona 880 de presión intermedia generalmente puede tener una presión más baja que el primer fluido 872 en la zona 870 de alta presión.

10 El tercer sello 891 puede definir la zona 890 de baja presión y estar configurado para contener un tercer fluido 892 dentro de la zona 890 de baja presión. La zona 890 de baja presión puede comprender un volumen 893 de baja presión delimitado por el segundo sello 881, el tercer sello 891, el primer componente 801 y el segundo componente 802. La zona 890 de baja presión puede configurarse para contener un tercer fluido 892. La zona 890 de baja presión puede comprender además uno o más puertos 894 de baja presión.

15 El volumen 893 de baja presión puede configurarse para recoger y dirigir el tercer fluido 892 al puerto 894 de baja presión. Como se muestra en la FIG. 8, el volumen 893 de baja presión puede extenderse alrededor de la circunferencia de la zona 880 de presión intermedia separada por el segundo sello 881. El área de la sección transversal y el volumen del volumen 893 de baja presión pueden variar con base en la geometría del primer componente 801, segundo componente 802, segundo sello 881 y tercer sello 891. De acuerdo con diversas realizaciones, el volumen 883 de presión intermedia puede ser mayor o menor que el volumen del volumen 893 de baja presión.

20 En otras realizaciones, el volumen 893 de baja presión se puede separar en una pluralidad de volúmenes 893 de presión intermedia, por ejemplo, 2, 3, 4 o más volúmenes 893 de baja presión. La pluralidad de volúmenes 893 de baja presión puede estar separada por una pluralidad de sellos. Como se muestra en la FIG. 8, el volumen 893 de baja presión se puede separar en dos volúmenes 893 de baja presión. Por ejemplo, uno o más sellos 895 de puente pueden extenderse a través del volumen 883 de baja presión desde el segundo sello 881 hasta el tercer sello 891.

25 Como se muestra en la FIG. 8, el uno o más volúmenes 893 de baja presión pueden estar en comunicación fluida con uno o más puertos 894 de baja presión, el puerto 894 de baja presión puede configurarse para descargar el tercer fluido 892 contenido dentro de los volúmenes 893 de baja presión. La forma del puerto 894 de baja presión puede variar. Por ejemplo, el puerto 894 de baja presión puede ser cuadrado, rectángulo, triángulo, polígono, círculo, óvalo u otra forma. El número del puerto 894 de baja presión por volumen 893 de baja presión puede variar de 1 a aproximadamente 50 o más. El área de la sección transversal del puerto 894 de baja presión puede variar. Por ejemplo, el diámetro del puerto 894 de baja presión circular puede variar desde menos de aproximadamente 0.254 hasta aproximadamente 2.54 cm (0.1 pulgada hasta aproximadamente 1 pulgada) o más. Como se muestra en la FIG. 8, el puerto 894 de baja presión puede espaciarse entre el segundo sello 881 y el tercer sello 891 y escalonarse uniformemente a lo largo de la longitud de la placa 800 bipolar. En otras realizaciones, el puerto 894 de baja presión puede extender la circunferencia completa de la zona 890 de baja presión.

35 El tercer fluido 892 descargado a través del puerto 894 de baja presión puede reabastecerse a la celda 100 electroquímica. Por ejemplo, el tercer fluido 892 puede regresar a la zona 190 de baja presión. En otras realizaciones, el tercer fluido 892 descargado a través de puertos de presión intermedia 894 se puede recoger y reciclar. El tercer fluido 892 en la zona 890 de baja presión generalmente puede tener una presión más baja que el primer fluido 872 en la zona 870 de alta presión y el segundo fluido 882 en la zona 880 de presión intermedia.

40 De acuerdo con realizaciones a manera de ejemplo, el primer sello 871, el segundo sello 881 y el tercer sello 891 pueden ser parte de un conjunto de componentes de sellado capaces de sellar zonas (por ejemplo, la zona 870 de alta presión, la zona 880 de presión intermedia, y la zona 890 de baja presión) de la placa 800 bipolar, y soportar presiones superiores a 15,000 psig por largos períodos de tiempo (por ejemplo, mayores de 10 años) y resisten muchos ciclos de presión (por ejemplo, mayores de 1,000 ciclos).

45 Las Figs. 9A-9D ilustran secciones transversales de realizaciones a manera de ejemplo de los componentes de sellado y disposiciones de un sello (por ejemplo, primer sello 871, segundo sello 881 y tercer sello 891). Para los fines de esta descripción, el primer sello 871 será el sello ilustrado y referenciado en las FIGS. 9A-9D; sin embargo, todo lo descrito puede ser igualmente aplicable al segundo sello 881 y al tercer sello 891. Los componentes de sellado pueden incluir el primer componente 801, el segundo componente 802 y el primer sello 871. El primer sello 871 puede configurarse de modo que, bajo compresión por el primer componente 801 y el segundo componente 802, el primer sello 871 sufre principalmente deformación plástica. En particular, el primer sello 871 puede estar hecho de un material "duro" con un alto módulo de fluencia y límite elástico de compresión. Por ejemplo, el primer sello 871 puede estar hecho de un material que tenga un límite elástico de compresión de 68948 a 137895 kPa (10,000 a 20,000 psi) y que tenga un módulo de fluencia en un intervalo suficiente para soportar una presión mayor de 103,421 kPa (15,000 psi).

55 En algunas realizaciones, el primer sello 871 puede estar hecho de un material de sellado polimérico que incluye, pero no se limita a, Torlon®, poliéter éter cetona (PEEK), polietilenimina (PEI), tereftalato de polietileno (PET), policarbonato, poliimida, y polisulfona. Los materiales poliméricos pueden ser resistentes al ácido y no deben lixiviar materiales que sean perjudiciales para el funcionamiento de celda 100 electroquímica. En otras realizaciones, el primer sello 871 puede estar hecho de material metálico que incluye, pero no se limita a, estaño, aleaciones de estaño, acero inoxidable, plata, platino y oro. Los materiales de la junta metálica pueden ser resistentes a la corrosión o tener un

recubrimiento resistente a la corrosión. En otra realización más, el primer sello 871 puede estar hecho de un compuesto de materiales poliméricos y/o metálicos. En otra realización, la superficie inferior del primer sello 871 que entra en contacto con el segundo componente 802 puede incluir un material laminado. Las propiedades del material del material laminado pueden ser diferentes a las propiedades del material del primer sello 871. Por ejemplo, el material laminado puede ser más blando que el primer sello 871, de modo que se forma un sello blando entre el segundo componente 802 y la superficie inferior del primer sello 871.

En otras realizaciones, la superficie inferior del primer sello 871 puede estar recubierta con un adhesivo configurado para ayudar a sellar la superficie superior del segundo componente 802. El adhesivo puede ser, por ejemplo, un adhesivo activado por presión o calor.

Las dimensiones del primer sello 871 incluyendo la forma, el grosor y el ancho del primer sello 871 pueden variar, y pueden basarse en las dimensiones de la celda 100 electroquímica y la placa 800 bipolar. En algunas realizaciones como se muestra en las FIGS. 9A-9D, el primer sello 871 puede tener una sección transversal sustancialmente rectilínea.

Como se muestra en las FIGS. 9A-9D, el primer componente 801 puede tener uno o más salientes 901 configurados para aplicar presión suficiente para deformar plásticamente el primer sello 871 y formar superficies de sellado entre el primer componente 801 y el segundo componente 802. Aunque las FIGS. 9A-9D ilustran los salientes 901 que se forman en el primer componente 801, en otras realizaciones (no mostradas) se contempla que los salientes 901 podrían formarse en el segundo componente 802. Los salientes 901 pueden ser una característica integral del primer componente 801 y formarse por la geometría del primer componente 801. Aunque al menos tres salientes 901 se representan en las Figs. 9A-9D, se entiende que se puede proporcionar un número mayor o menor de salientes.

Los salientes 901 pueden tener cualquier geometría conocida, suficiente para deformar el primer sello 871. Por ejemplo, los salientes 901 pueden tener una configuración 901A triangular (FIG. 10A), una configuración 901B de cúspide (FIG. 10B) o una configuración 901C de cuchilla plana (FIG. 10C). Se contempla que la configuración de cada saliente puede ser diferente a la configuración de los otros salientes, o la misma para todos los salientes. Aunque la altura de cada conjunto de salientes en las FIGS. 10A-10C es sustancialmente la misma, se contempla que en otras realizaciones la altura de los salientes puede variar. Por ejemplo, cualquier otro saliente puede tener la misma altura, los salientes más externos pueden ser más altos y estar a la misma altura, el uno o más salientes internos pueden ser más altos, los salientes pueden descender o ascender en altura moviéndose de izquierda a derecha o de derecha a izquierda, o cada saliente puede estar a una altura diferente. Las realizaciones que tienen salientes de diferentes alturas pueden configurarse para tener en cuenta mejor la variabilidad en las tolerancias de mecanizado de los otros componentes (por ejemplo, primer componente 801 y segundo componente 802).

Durante el ensamblaje inicial, los salientes 901 y el primer sello 871 se pueden colocar uno respecto al otro para dejar un pequeño espacio entre los salientes 901 y una superficie superior del primer sello 871. Durante el ensamblaje final, los salientes 901 se pueden comprimir contra el primer sello 871 haciendo que al menos una porción de los salientes 901 se presionen en la superficie superior del primer sello 871 y formando así una primera superficie 905 de sellado entre el primer componente 801 y la superficie superior del primer sello 871. Se pueden formar tensiones suficientes para causar que el primer sello 871 deforme plásticamente y cree la primera superficie 905 de sellado. Por ejemplo, una presión de compresión de aproximadamente 172,369 kPa (25,000 psi) puede ser suficiente para crear un sello capaz de sellar aproximadamente 82727 kPa (12,000 psi). Se puede formar una segunda superficie de sellado entre la superficie inferior del primer sello 871 y el segundo componente 802.

En una realización a manera de ejemplo, la primera superficie 905 de sellado puede ser una superficie de sellado del borde de la cuchilla que tiene uno o más salientes 901 mecanizados hasta un borde de cuchilla afilado (por ejemplo, la FIG. 10A). Durante el montaje, los salientes 901 se pueden comprimir contra el primer sello 871, haciendo que el borde de la cuchilla de cada saliente 901 se presione y selle con la superficie superior del primer sello 871. A medida que se aplican fuerzas de compresión adicionales al primer componente 801 y/o al segundo componente 802, se pueden formar tensiones suficientes para causar que el primer sello 871 se deforme plásticamente y cree la primera superficie 905 de sellado. Los salientes 901 pueden funcionar como concentradores de tensión y cuando se presionan en el primer sello 871 pueden crear tensión localizada en el material mayor que una presión de sellado objetivo. Los salientes 901 pueden disponerse de manera que apliquen una presión de compresión relativamente uniforme al primer sello 871. La segunda superficie de sellado también puede formarse como resultado de las fuerzas de compresión aplicadas al primer componente 801 y/o al segundo componente 802.

De acuerdo con la realización a manera de ejemplo mostrada en la FIG. 9A, la punta de cada saliente 901 puede estar al ras de la elevación con la superficie inferior del primer componente 801. Dada una compresión suficiente, esta disposición puede permitir que el saliente 901 presione en el primer sello 871 y corte a través del primer sello 871 hasta la superficie inferior del primer componente 801, y una superficie superior del segundo componente 802 entre en contacto directo.

Puede ser ventajoso controlar o limitar la penetración de los salientes 901 en el primer sello 871 con el fin de evitar que atraviesen el primer sello 871, lo que puede comprometer la superficie 905 de sellado. Además, puede ser ventajoso mantener una brecha entre el primer componente 801 y el segundo componente 802 como se describe aquí

para formar diferentes zonas (por ejemplo, zona 880 de presión intermedia y zona 870 de baja presión). El espacio puede tener una altura de brecha, por ejemplo, desde aproximadamente 0.010 hasta 0.013 cm, 0.008 hasta 0.013 cm, 0.0051 hasta 0.013 cm, 0.00254 hasta 0.013 cm, 0.00254 hasta más de 0.013 cm, o menos de 0.00254 cm (0.004 a 0.005 pulgadas, 0.003 a 0.005 pulgadas, 0.002 a 0.005 pulgadas, 0.001 a 0.005 pulgadas, 0.001 a más de 0.005 pulgadas, o menos de 0.001 pulgadas).

Se ilustra una forma de controlar la penetración de los salientes 901 y la altura del espacio en la FIG. 9B. La realización a manera de ejemplo mostrada en la FIG. 9B incorpora un adhesivo 902 en los componentes de sellado. El adhesivo 902 puede comprender, por ejemplo, un material plástico delgado o una junta plana. El adhesivo 902 puede insertarse entre el primer componente 801 y el segundo componente 802. El adhesivo 902 puede funcionar como un "tope suave" configurado para controlar (por ejemplo, limitar) la distancia que los salientes 901 penetran en el primer sello 871. Por ejemplo, el adhesivo 902 puede configurarse para sufrir cierta deformación (por ejemplo, compresión) debido a la fuerza de compresión aplicada a los componentes 801 y/o 802, pero el adhesivo 902 puede configurarse de modo que la profundidad de compresión diseñada corresponda a la profundidad de penetración deseada de los salientes 901 y la altura de separación deseada. En otras realizaciones, si se utiliza un sello de tipo junta plana, el segundo sello 881 puede funcionar como adhesivo 902.

El adhesivo 902 puede estar hecho de los mismos materiales que el primer sello 871 como se enumera aquí o materiales diferentes. El grosor del adhesivo 902 puede ser igual o diferente al primer sello 871, que puede depender de las propiedades del material de cada uno. Por ejemplo, el grosor del adhesivo 902 puede ser menor, igual o mayor que el primer sello 871.

La FIG. 9C ilustra otra realización a modo de ejemplo configurada para controlar la distancia entre los salientes 901 y la presión en el primer sello 871. La realización a modo de ejemplo mostrada en la FIG. 9C incluye al menos un saliente 903 que se extiende por debajo de la superficie inferior del primer componente 801 más allá de los otros salientes 901. El saliente 903 puede configurarse para funcionar como un "tope rígido" entrando en contacto con la superficie superior del segundo componente 801 en el que se puede evitar el movimiento adicional de punto del primer componente 801 hacia el segundo componente 802 y, por lo tanto, se restringe la penetración adicional de los otros salientes 901 en el primer sello 871. Aunque no se muestra en la FIG. 9C, el saliente 903 puede tener una forma diferente que los otros salientes 901. Por ejemplo, 903 puede tener una superficie de acoplamiento plana configurada para acoplarse al ras con la superficie superior del segundo componente 802. Aunque se muestra como un solo saliente en la FIG. 9C, se contempla que se puedan formar uno o más salientes 903 en el primer componente 801. Como se muestra en la FIG. 9C, esta realización a manera de ejemplo también puede usarse junto con el adhesivo 902 o en otra realización (no mostrada) el adhesivo 902 puede estar ausente.

La FIG. 9D ilustra otra realización a manera de ejemplo configurada para controlar los salientes 901 de profundidad que penetran en el primer sello 871. La realización a manera de ejemplo mostrada en la FIG. 9D incluye un espaciador 904 colocado en el espacio vacío entre el primer componente 801 y el segundo componente 802. El espaciador 904 puede configurarse para funcionar como un "tope rígido" controlando la profundidad de penetración de los salientes 901 mientras que también mantiene una brecha mínima entre los componentes 801 y 802. El grosor del espaciador 904 puede seleccionarse para establecer la profundidad de penetración deseada y la altura de la brecha entre los componentes 801 y 802. El espaciador 904 puede estar hecho de los mismos materiales que el primer sello 871 como se enumera aquí o materiales diferentes. Como se muestra en la FIG. 9D, esta realización a manera de ejemplo también puede incorporar adhesivo 902 o en otra realización (ahora mostrada) el adhesivo 902 puede estar ausente.

La FIG. 11 ilustra un conjunto de salientes 901 que pueden formarse en el primer componente 801 y/o el segundo componente 802, de acuerdo con una realización a manera de ejemplo. Como se muestra en la FIG. 11, cada saliente 901 puede tener una cierta altura H, espaciarse una cierta distancia D entre sí, y los lados inclinados de cada saliente 901 pueden formar un ángulo α . De acuerdo con diversas realizaciones, la altura de los salientes puede variar, por ejemplo, desde aproximadamente 0.0152 hasta 0.0203 cm, 0.0127 a 0.0203 cm, 0.00254 hasta 0.0254 cm o 0.00254 hasta más de 0.0254 cm (desde aproximadamente 0.006 hasta 0.008 pulgadas, 0.005 hasta 0.008 pulgadas, 0.001 hasta 0.010 pulgadas, o 0.001 hasta más de 0.010 pulgadas). De acuerdo con diversas realizaciones, la distancia entre salientes puede variar, por ejemplo, desde aproximadamente 0.0559 hasta 0.0711 cm, 0.0510 hasta a 0.0762 cm, o 0.0254 hasta 0.127 cm, o 0.0254 hasta más de 0.127 cm (aproximadamente 0.022 hasta 0.028 pulgadas, 0.020 hasta 0.030 pulgadas, o 0.01 hasta 0.05 pulgadas, o 0.01 hasta más de 0.05 pulgadas). De acuerdo con diversas realizaciones, el ángulo α puede variar, por ejemplo, desde aproximadamente 85 hasta 95 grados, 75 hasta 105 grados, 65 hasta 115 grados, 55 hasta 125 grados, o menos de 55 hasta 125 grados.

Los componentes de sellado y el diseño del sello descritos aquí (por ejemplo, las FIGS 9A-9D) pueden permitir una amplia selección de materiales para ser usados en el sello (por ejemplo, el primer sello 871, el segundo sello 881 y el tercer sello 891), adhesivo 902 y espaciador 904, así como los componentes 801 y 802. Los factores y propiedades que se van a considerar al seleccionar el material y la geometría para los componentes de sellado enumerados pueden incluir al menos los requisitos de carga de compresión, compatibilidad de materiales y presión de sellado. La variedad de materiales adaptados por el diseño del sello descrito aquí puede permitir la selección de materiales de bajo coste en lugar de materiales más exóticos. Esto puede permitir una reducción en el material y el coste de fabricación.

Se entiende que las características descritas aquí pueden usarse para sellar otros componentes de la celda electroquímica y/o pueden usarse en celdas que no emplean la configuración de sello en cascada.

5 La configuración de sello en cascada entre el primer componente 801 y el segundo componente 802 como se describió anteriormente se puede implementar en las placas 150 y 160 bipolares de la celda 100 electroquímica, como se describió anteriormente. En otras realizaciones, la configuración de sello en cascada entre los componentes 801 y 802 puede implementarse en otras celdas electroquímicas en las que no se utiliza una configuración de sello en cascada entre las dos placas bipolares. Por lo tanto, ambas configuraciones de sello en cascada, como se describió anteriormente, pueden ser independientes entre sí, de modo que cualquiera de ellas puede utilizarse individualmente en una celda electroquímica o pueden utilizarse conjuntamente en la misma celda electroquímica.

10 En algunas realizaciones, el primer componente 801 y el segundo componente 802 pueden incluir características de enclavamiento. Las características de enclavamiento pueden formar una geometría de acoplamiento suficiente para asegurar el primer componente 801 y el segundo componente 802 juntos. Por ejemplo, el primer componente 801 puede comprender una o más proyecciones, y el segundo componente 802 puede comprender una o más hendiduras. Sin embargo, se contempla además que el primer componente 801 y el segundo componente 802 pueden comprender diversos mecanismos de acoplamiento. Las características de enclavamiento pueden comprender varias formas y tamaños. Por ejemplo, las proyecciones y hendiduras pueden tener forma cilíndrica, redonda, elíptica, rectangular o cuadrada. Además, las proyecciones e hendiduras pueden incluir varias formas poligonales.

15 Las características de enclavamiento pueden incluir varias conexiones configuradas para sellar el primer componente 801 y el segundo componente 802. Por ejemplo, las características de enclavamiento pueden incluir el primer sello 871, el segundo sello 881 y el tercer sello 891 y la cavidad de sello correspondiente en la que pueden descansar. El primer componente 801 y el segundo componente 802 pueden incluir una pluralidad de cavidades de sello configuradas para recibir al menos una porción del primer sello 871, el segundo sello 881 y el tercer sello 891. Cada cavidad de sello puede comprender una extrusión en el primer componente 801, el segundo componente 802 o ambos componentes 801 y 802. Las dimensiones y la geometría de la extrusión pueden corresponder a las dimensiones y la geometría de la sección transversal del primer sello 871, el segundo sello 881 y el tercer sello 891.

20 En otras realizaciones, el número de zonas de presión entre el primer componente 801 y el segundo componente 802 puede ser mayor o menor que tres (es decir, alto, intermedio y bajo). Por ejemplo, un primer componente 801 y un segundo componente 802 podrían comprender solo dos zonas de presión (por ejemplo, alta y baja) o podrían comprender cuatro o más zonas de presión (por ejemplo, muy alta, alta, intermedia y baja). En otra realización más, las zonas de presión podrían caer en cascada, pero no caer en cascada secuencialmente bajo presión.

25 Una placa bipolar similar a la placa 800 bipolar que tiene solo dos zonas de presión podría comprender un primer componente, un segundo componente, un sello formado entre los dos componentes que separan las dos zonas de presión, un volumen que rodea el sello y al menos un puerto en comunicación fluida con el volumen configurado para descargar fluido recogido en el volumen.

30 En otras realizaciones, se contempla que el volumen circundante puede configurarse para extenderse alrededor de solo una porción del sello. Por ejemplo, las cámaras de volumen podrían distribuirse alrededor de la circunferencia de cada sello dentro de cada zona de presión.

35 Durante la operación, la configuración del sello en cascada entre el primer componente 801 y el segundo componente 802, como se describió anteriormente, puede permitir la recolección y el reciclaje o la recuperación del fluido filtrado desde la zona 870 de alta presión hasta la zona 880 de presión intermedia y la zona 890 de baja presión entre los componentes 801 y 802. Como se mencionó anteriormente, el primer fluido 872 dentro de la zona 870 de alta presión se puede comprimir a presiones superiores a 15,000 psi. La presión del primer fluido 872 puede aplicar una fuerza de separación en el primer sello 871, el primer componente 801 y el segundo componente 802. Cuando la fuerza de acoplamiento del primer componente 801 y el segundo componente 802 es suficiente para contrarrestar la fuerza de separación y mantener la conexión, y el primer sello 871 funciona correctamente, entonces se puede evitar que el primer fluido 871 se filtre desde la zona 870 de alta presión más allá del primer sello 871 hacia la zona 880 de presión intermedia.

40 Por otro lado, cuando la fuerza de acoplamiento es insuficiente para mantener la conexión o el primer sello 871 no funciona bien, el primer fluido 872 puede filtrarse desde la zona 870 de alta presión más allá del primer sello 871 en la zona 880 de presión intermedia. El primer fluido 872 filtrado en la zona 880 de presión intermedia puede recogerse en el volumen 883 de presión intermedia y constituir el segundo fluido 882. El primer fluido 872/segundo fluido 882 recogido en el volumen 883 de presión intermedia puede fluir hacia adentro y hacia afuera a través de los puertos 884 de presión intermedia. El fluido descargado (es decir, el primer fluido 872/segundo fluido 882) puede reciclarse o recuperarse en lugar de perderse, lo que tradicionalmente era el caso en otros diseños bipolares.

45 La zona 890 de baja presión puede proporcionar un nivel adicional de protección contra filtraciones. El segundo fluido 882 que se filtra más allá del segundo sello 881 puede recogerse en el volumen 893 de baja presión y constituir el tercer fluido 892. El segundo fluido 882/tercer fluido 892 recogido puede fluir hacia dentro y hacia afuera a través del puerto 894 de baja presión. Al igual que el otro fluido descargado, el segundo fluido 882/tercer fluido 892 puede

reciclarse o recuperarse. El flujo a través de los puertos 884 de presión intermedia y puerto 894 de baja presión puede controlarse corriente abajo. Por ejemplo, una o más válvulas pueden abrirse o cerrarse para permitir que se descargue el fluido. El flujo a través de los puertos 884 de presión intermedia puede ser continuo o intermitente.

5 El método de usar la configuración de sello en cascada puede comprender recoger fluido (por ejemplo, primer fluido 872, segundo fluido 882 y tercer fluido 892) dentro de diferentes volúmenes (por ejemplo, volumen 883 de presión intermedia o volumen 893 de baja presión) separados mediante una pluralidad de sellos (por ejemplo, primer sello 871, segundo sello 881 y tercer sello 891) y descargar el fluido recolectado a través de puertos de presión (por ejemplo, puertos 884 de presión intermedia y puerto 894 de baja presión) y luego reciclar el fluido descargado.

10 Otras realizaciones de la presente divulgación serán evidentes para los expertos en la técnica a partir de la consideración de la especificación y la práctica de la presente divulgación aquí. Se pretende que la especificación y los ejemplos se consideren solo a modo de ejemplo, con un verdadero alcance de la presente divulgación que se indica mediante las siguientes reivindicaciones.

REIVINDICACIONES

1. Un método para sellar una placa bipolar de múltiples componentes, donde el método comprende:
- 5 insertar un primer sello entre un primer componente y un segundo componente, en el que el primer sello está alineado con una primera pluralidad de salientes formadas sobre una superficie de al menos uno del primer componente y el segundo componente;
- comprimir el primer componente y el segundo componente para causar la penetración de la primera pluralidad de salientes en el primer sello; y
- deformar plásticamente el primer sello con el fin de crear una primera superficie de sellado entre el primer componente y el segundo componente;
- 10 donde el método se caracteriza por:
- insertar un espaciador entre el primer componente y el segundo componente, en el que el espaciador está configurado para controlar una profundidad de penetración de la primera pluralidad de salientes en el primer sello y determinar una altura de brecha entre el primer componente y el segundo componente.
2. El método de la reivindicación 1, que comprende además:
- 15 insertar un segundo sello entre el primer componente y el segundo componente, en el que el segundo sello está alineado con una segunda pluralidad de salientes formados en al menos uno del primer componente y el segundo componente, en el que comprimir el primer componente y el segundo componente con suficiente fuerza provoca la penetración de la segunda pluralidad de salientes en el segundo sello y la formación de una segunda superficie de sellado.
- 20 3. El método de la reivindicación 1, que comprende además:
- insertar un adhesivo entre el primer componente y el segundo componente, en el que el adhesivo está configurado para controlar una profundidad de penetración de la primera pluralidad de salientes en el primer sello.
4. El método de la reivindicación 3, en el que el adhesivo incluye el mismo material que el primer sello y es más grueso que el primer sello.
- 25 5. El método de la reivindicación 1, en el que la primera pluralidad de salientes incluye salientes de diferentes alturas.
6. El método de la reivindicación 1, en el que la primera pluralidad de salientes son salientes en forma de borde de cuchillo.
7. El método de la reivindicación 3, en el que el adhesivo funciona como un segundo sello entre el primer componente y el segundo componente.
- 30 8. Un sistema de placa bipolar, que comprende:
- un primer componente y un segundo componente; y
- un primer sello configurado para insertarse entre el primer componente y el segundo componente, en el que el primer sello está alineado con una primera pluralidad de salientes formados en al menos uno del primer componente y el segundo componente;
- 35 en el que la compresión del primer componente y el segundo componente está configurada para causar la penetración de la primera pluralidad de salientes en el primer sello, causando así la deformación plástica del primer sello y creando una primera superficie de sellado entre el primer componente y el segundo componente;
- caracterizado porque el sistema comprende además un espaciador insertado entre el primer componente y el segundo componente, en el que el espaciador está configurado para controlar una profundidad de penetración de la primera pluralidad de salientes en el primer sello y determinar una altura de brecha entre el primer componente y el segundo componente.
- 40 9. El sistema de la reivindicación 8, que comprende además un segundo sello configurado para insertarse entre el primer componente y el segundo componente, en el que el segundo sello está alineado con una segunda pluralidad de salientes formados en al menos uno del primer componente y el segundo componente, y en el que la compresión del primer componente y el segundo componente está configurada para causar la penetración de la segunda pluralidad de salientes en el segundo sello creando una segunda superficie de sellado entre el primer componente y el segundo componente.
- 45

10. El sistema de la reivindicación 8, que comprende además un adhesivo entre el primer componente y el segundo componente, en el que el adhesivo está configurado para controlar una profundidad de penetración de la primera pluralidad de salientes en el primer sello.
- 5 11. El sistema de la reivindicación 10, en el que el adhesivo incluye el mismo material que el primer sello y es más grueso que el primer sello.
12. El sistema de la reivindicación 8, en el que la primera pluralidad de salientes incluye salientes de diferentes alturas.
13. El sistema de la reivindicación 8, en el que la primera pluralidad de salientes son salientes en forma de borde de cuchilla.
- 10 14. Una celda electroquímica que comprende un sistema como se reivindica en cualquiera de las reivindicaciones 8-13.

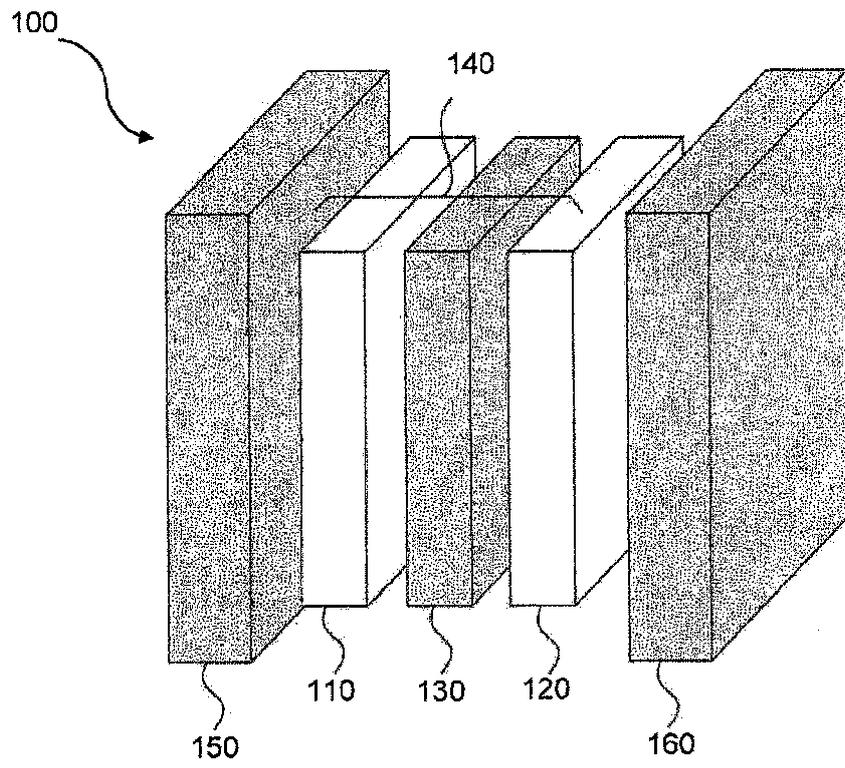


FIG. 1

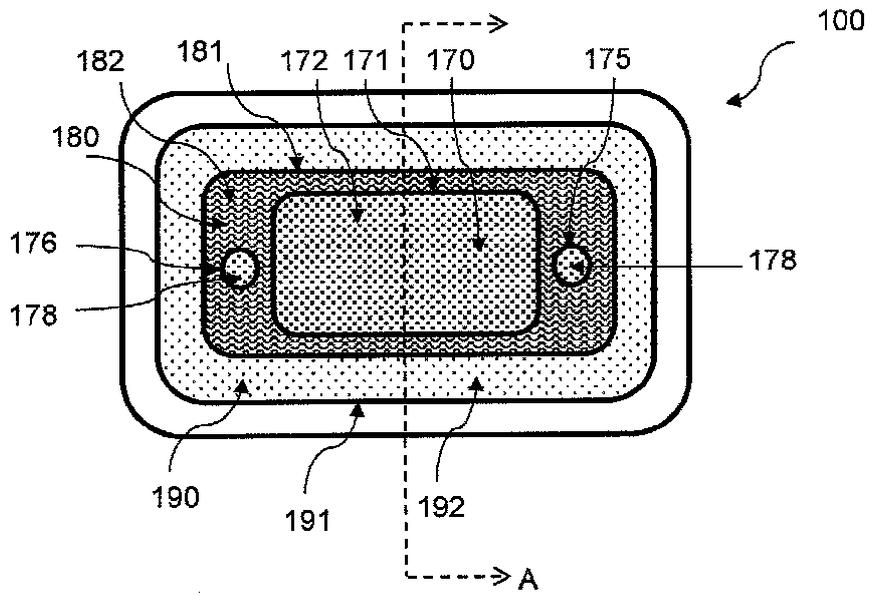


FIG. 2A

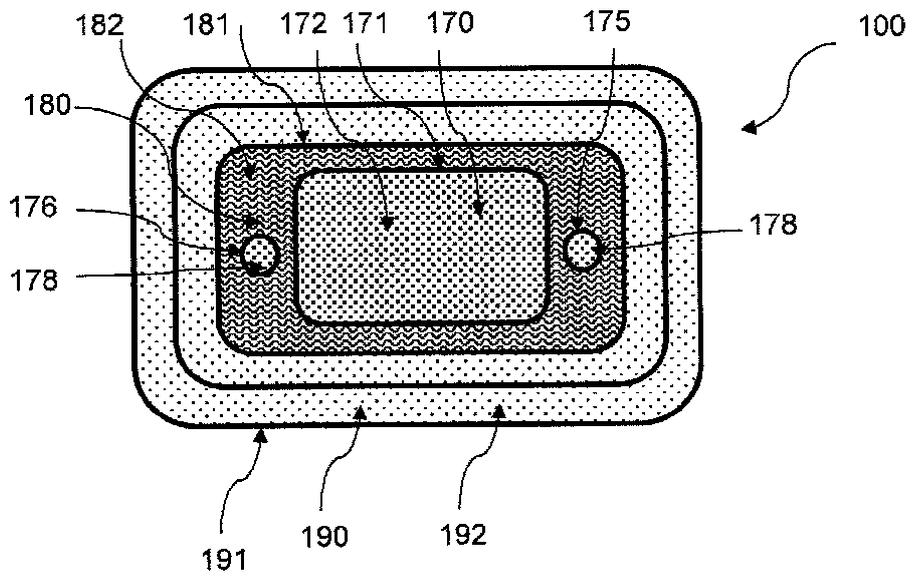


FIG. 2B

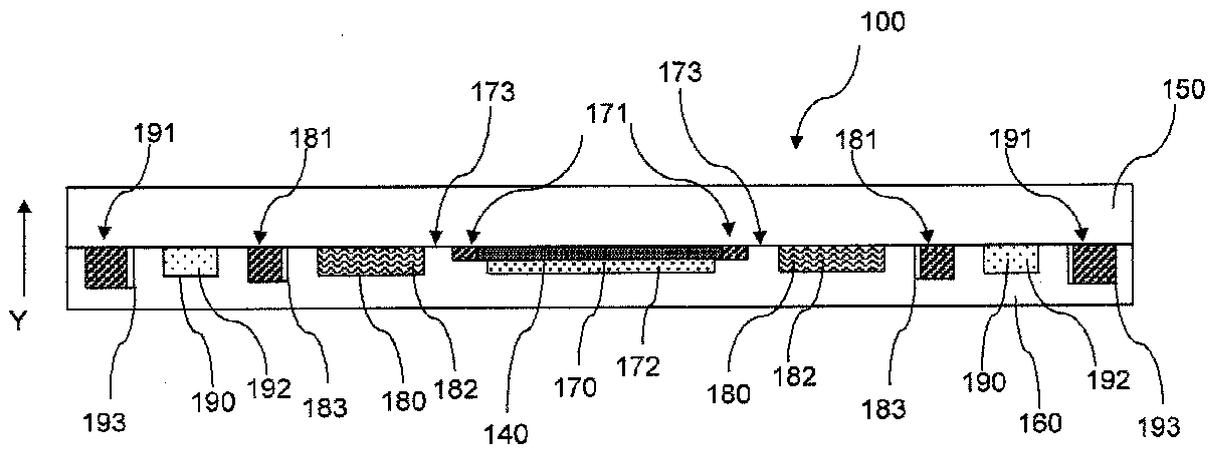


FIG. 3A

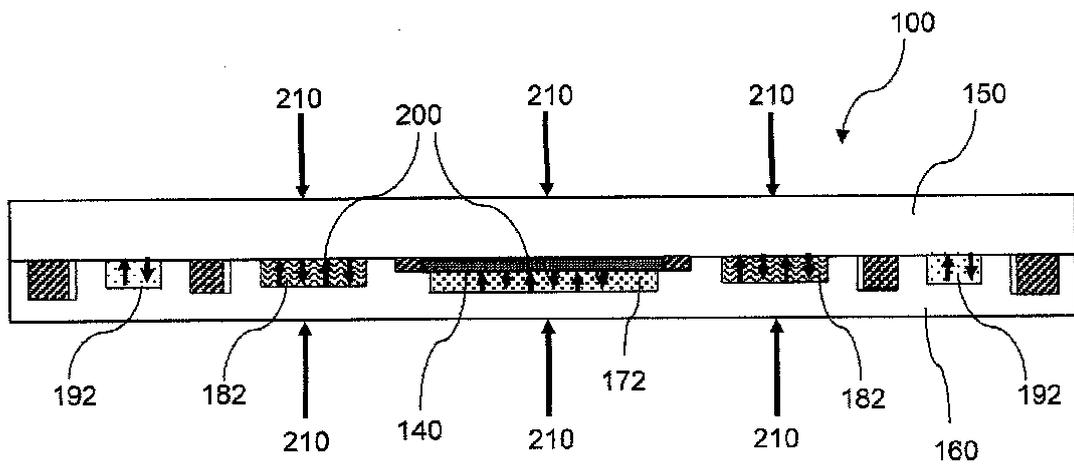


FIG. 3B

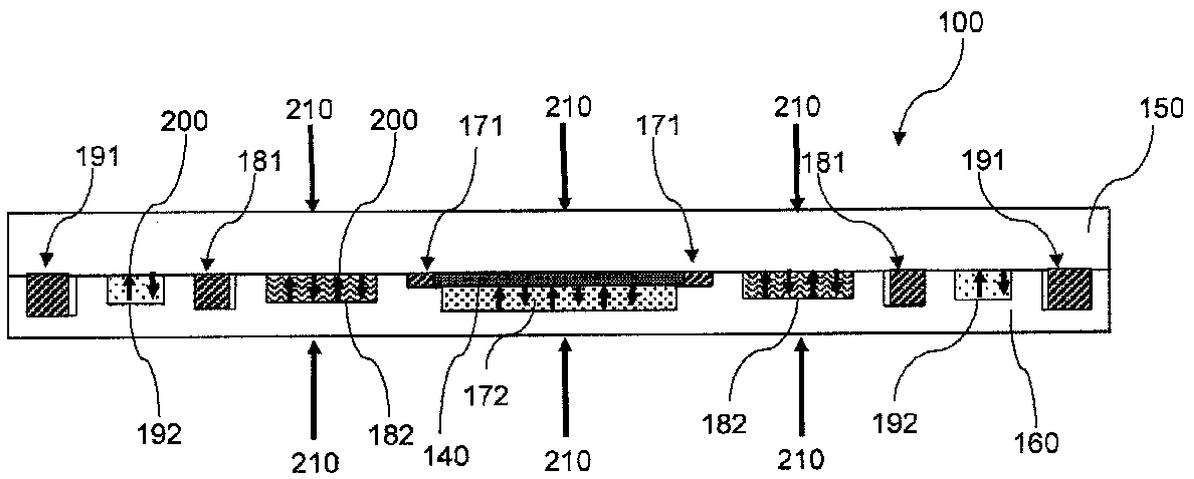


FIG. 4A

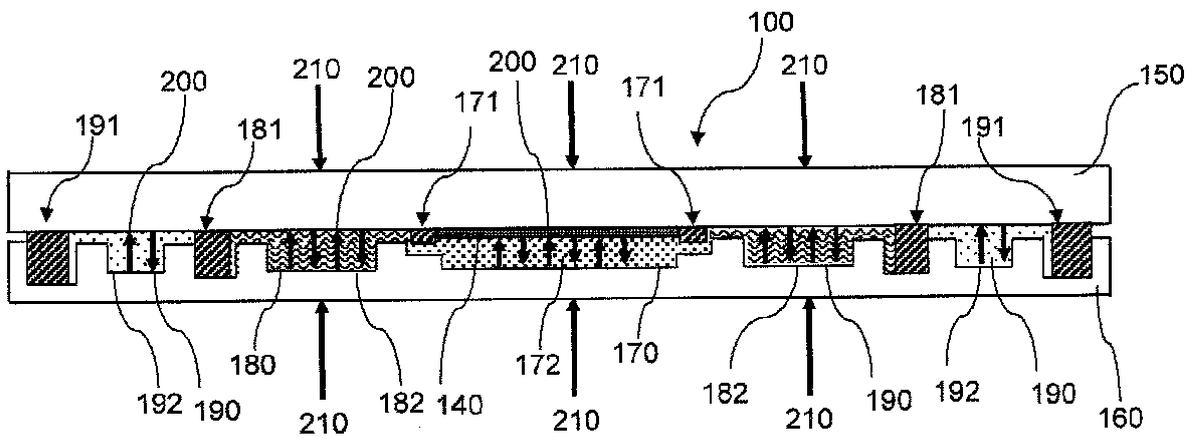


FIG. 4B

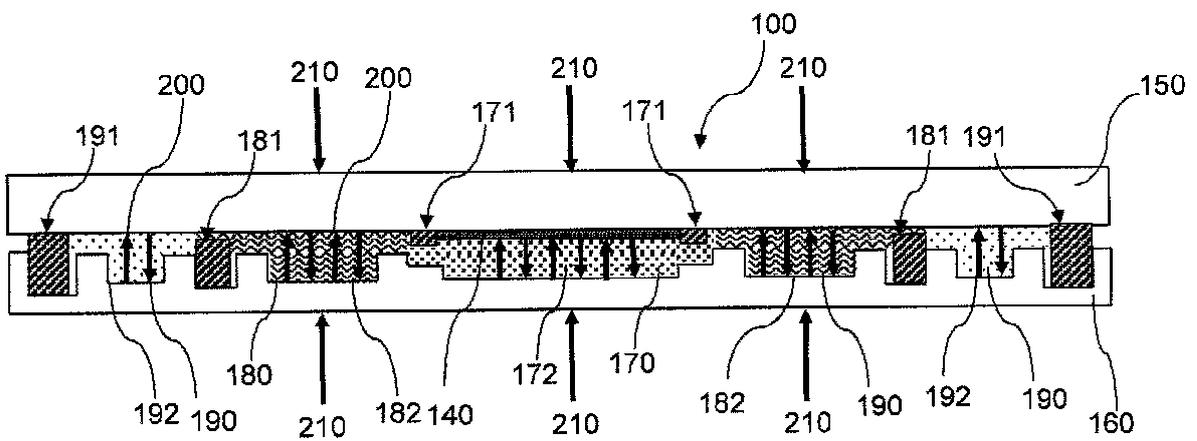


FIG. 4C

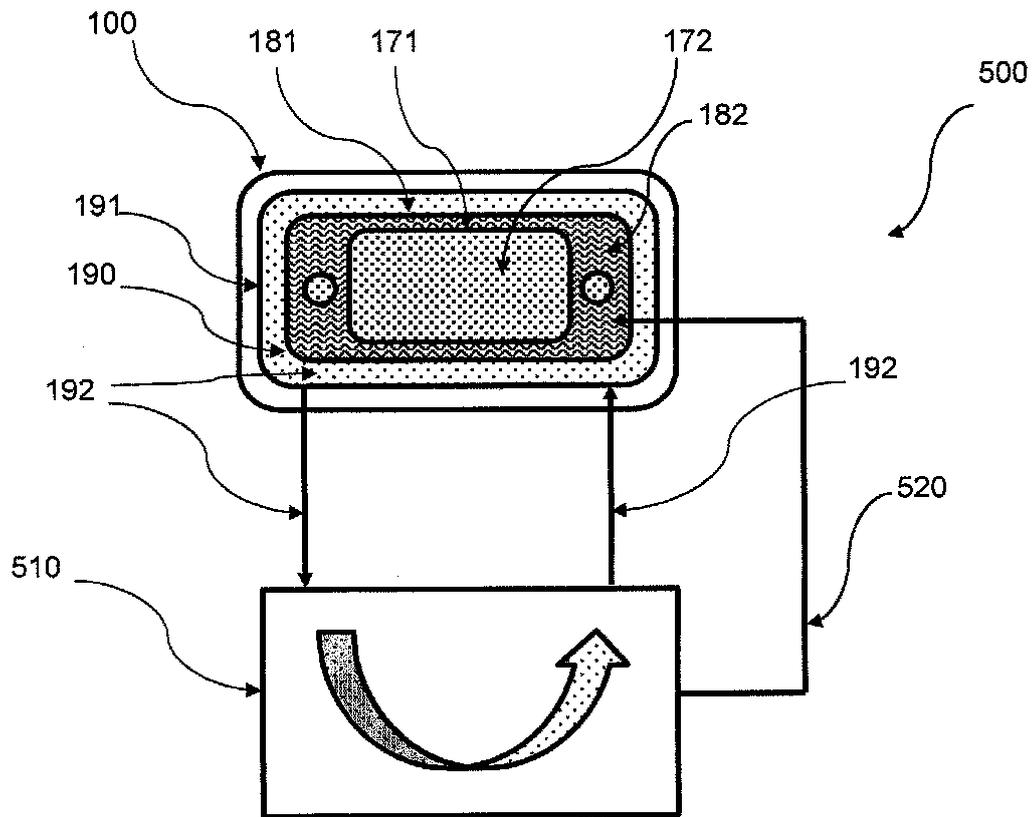


FIG. 5

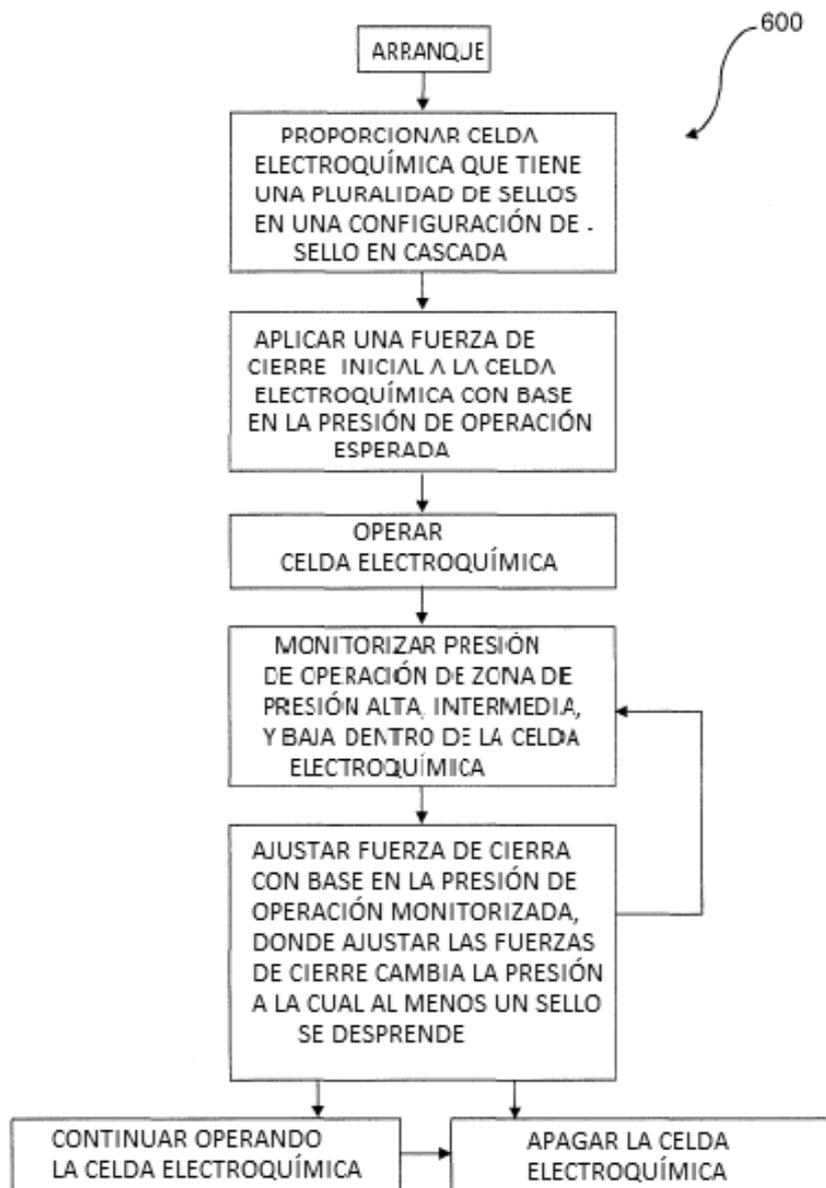


FIG. 6

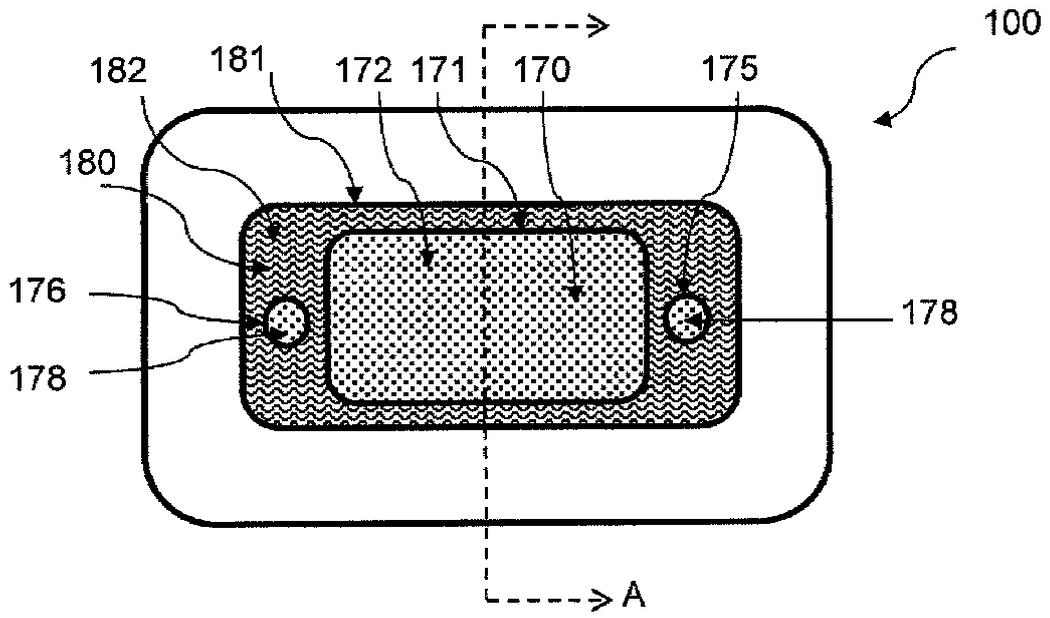


FIG. 7

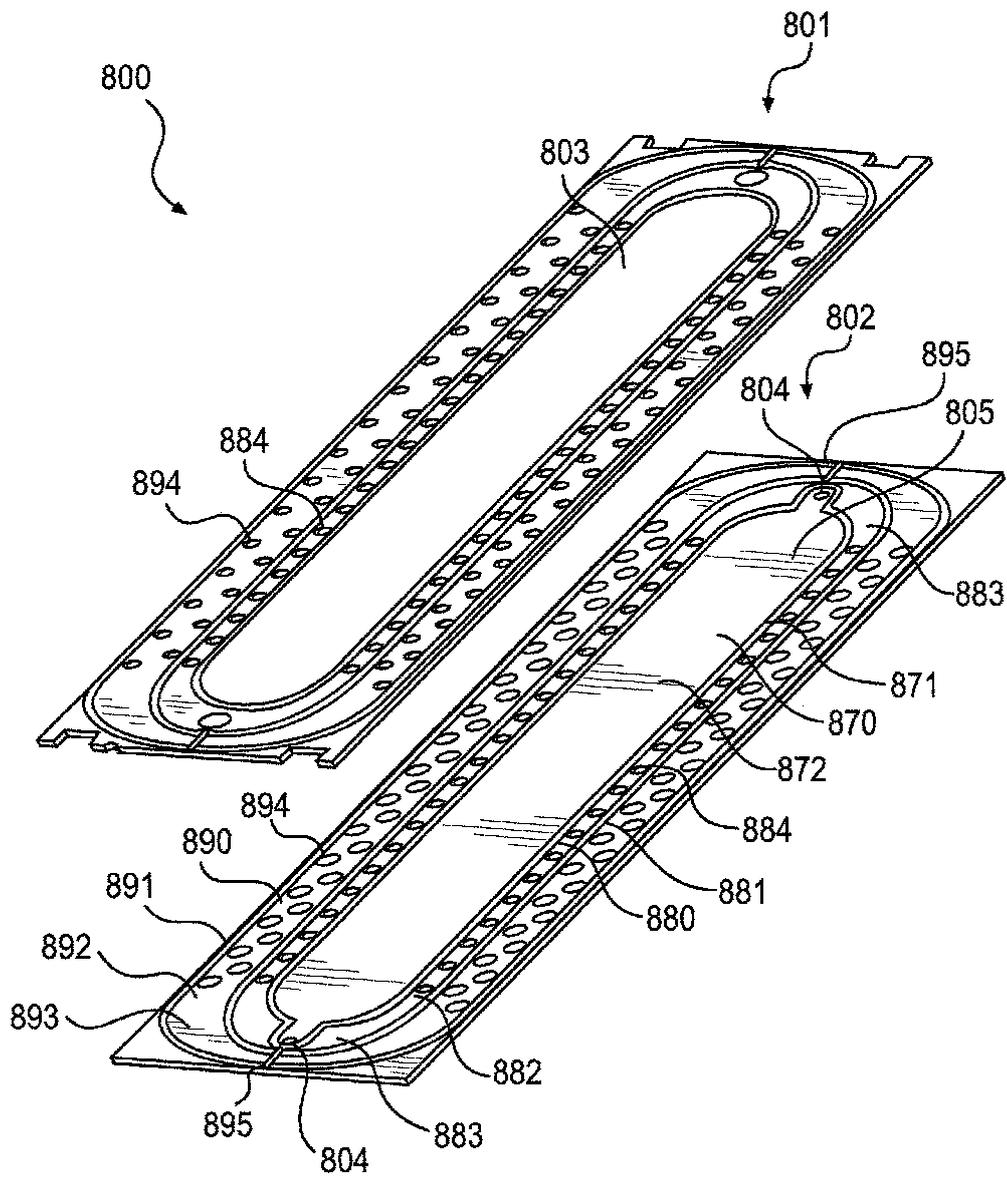


FIG. 8

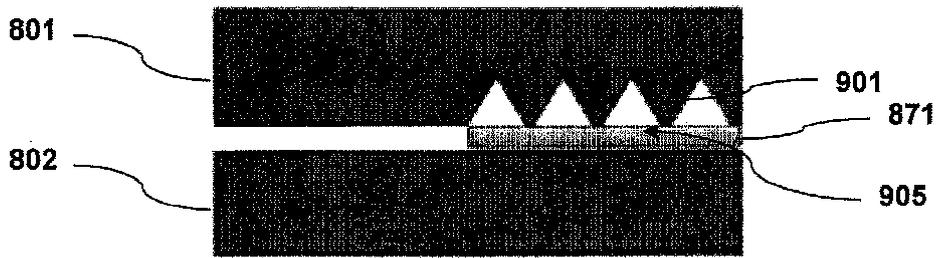


FIG. 9A

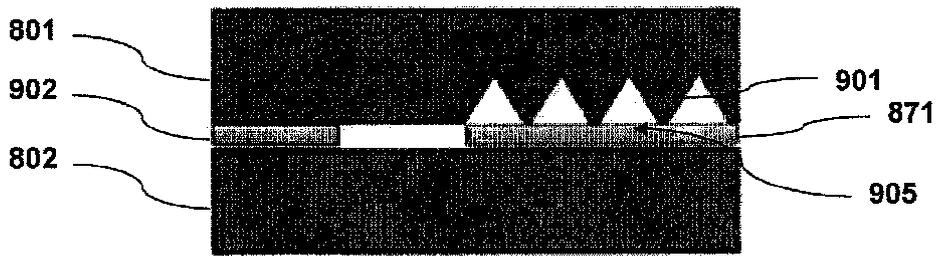


FIG. 9B

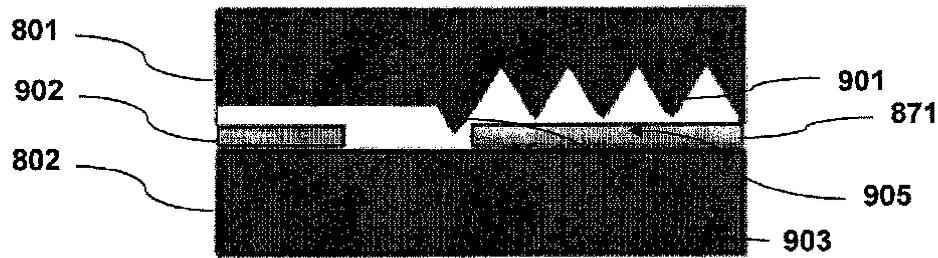


FIG. 9C

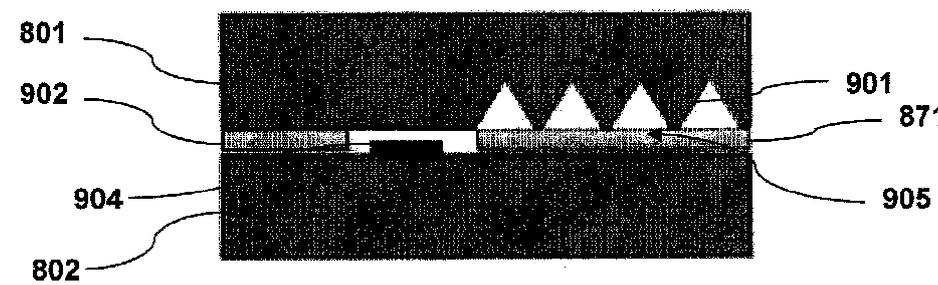


FIG. 9D

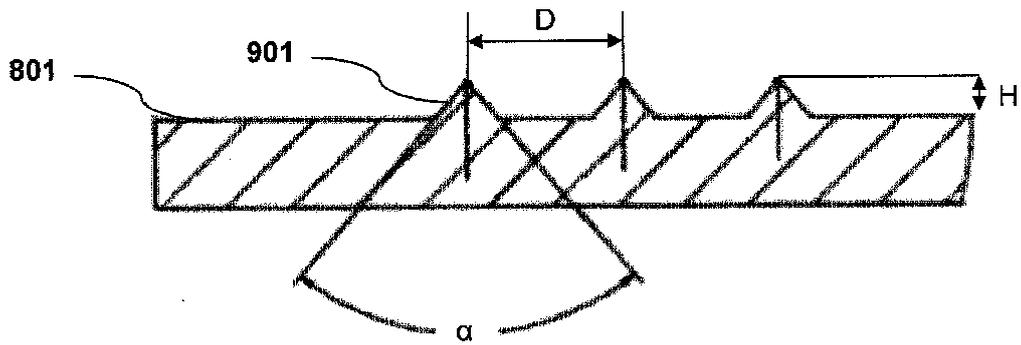
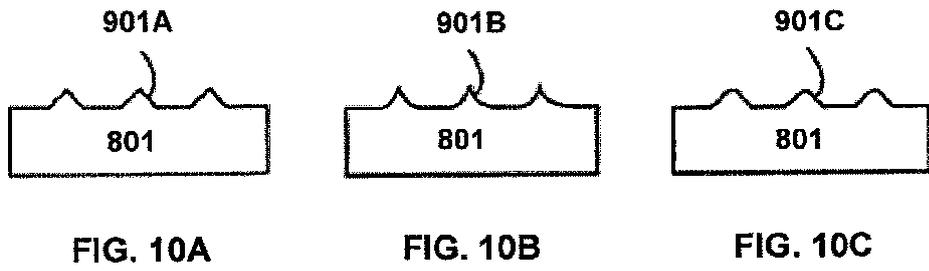


FIG. 11