

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 883 702**

51 Int. Cl.:

**H01M 8/1004** (2006.01)

**H01M 8/1062** (2006.01)

**H01M 8/0271** (2006.01)

**H01M 8/0289** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **17.12.2018 E 18212856 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **19.05.2021 EP 3518331**

54 Título: **Apilamiento de pilas de combustible con aislamiento mejorado**

30 Prioridad:

**08.01.2018 LU 100673**

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

**09.12.2021**

73 Titular/es:

**THYSSENKRUPP MARINE SYSTEMS GMBH  
(50.0%)  
Wertstraße 112-114  
24143 Kiel, DE y  
THYSSENKRUPP AG (50.0%)**

72 Inventor/es:

**WALTER, ANDREAS**

74 Agente/Representante:

**GONZÁLEZ PECES, Gustavo Adolfo**

ES 2 883 702 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

Apilamiento de pilas de combustible con aislamiento mejorado

5 La invención se refiere a un apilamiento de pilas de combustible que comprende una sucesión de elementos en forma de placa, concretamente unidades de electrodos de membrana y placas bipolares. Una aplicación típica de este apilamiento es la siguiente: Cada unidad de electrodos de membrana se alimenta con un gas combustible, por lo general hidrógeno, y un oxidante, por ejemplo aire ambiente u oxígeno puro. El apilamiento de pilas de combustible produce agua y suministra corriente eléctrica y calor.

10 En el documento US 2004/0013932 A1 se describe un apilamiento de pilas de combustible (plurality of stacked fuel cells 1). Cada pila de combustible 1 comprende una unidad de electrodos de membrana en forma de placa (membrane electrode assembly 5) con un ánodo (anode membrane 3) y un cátodo (cathode membrane 4), entre las cuales está dispuesta una membrana (solid polymer electrolyte 2). La unidad de electrodos de membrana 5 está intercalada entre una "anode gas separator plate 6A" (placa separadora de gas anódica) y una "cathode gas separator plate 6B" (placa separadora de gas catódica). Las dos placas 5A y 5B son de grafito o de metal y tienen resistencia a la flexión diferente o un módulo de flexión diferente.

20 En el documento US 2010/0068588 A1 se describe un apilamiento de pilas de combustible (stack-type fuel cell in which the cells are stacked and fastened). Cada apilamiento de pilas de combustible 100 comprende una unidad de electrodos de membrana (Membrane-Electrode-Assembly - MEA 5) con un ánodo y un cátodo (anode 4a and cathode 4b of MEA 5), entre los que está dispuesta una membrana (polymer electrolyte membrane 1). Cada MEA 5 se encuentra entre un "anode separator 6a" y un "cathode separator 6b". La membrana 1 está reforzada cerca de sus bordes con dos elementos de refuerzo (reinforcing member 10a, reinforcing member 10b) que sobresalen del ánodo 4a y del cátodo 4b.

30 En el documento DE 102013215605 A1 se describe un procedimiento para fabricar una pila de combustible. La figura 1 muestra un apilamiento que comprende una pluralidad de pilas de combustible. El apilamiento comprende una pluralidad de placas bipolares 1, una disposición de electrodos de membrana 4 y varias capas de difusión de gas 2 y 3. Las capas de difusión de gas 2 y 3 aportan y descargan fluidos de reacción en las regiones 2b y 3b, respectivamente. Las placas bipolares 1 y las disposiciones de electrodos de membrana 4 sobresalen de las capas de difusión de gas 2 y 3, de modo que se forma una pluralidad de espacios libres. Algunos de estos espacios libres, concretamente las regiones 9, deben estar sellados de manera que no pueda penetrar ningún fluido en ellos. Un material de sellado 5 puede ser inyectado, con ayuda de boquillas 6, en estas zonas 9 que hay que sellar. El material de sellado inyectado 5 rellena al menos parcialmente las zonas 9 y sella las capas 2 y 3 hacia el exterior.

40 La figura 1 del documento DE 1020090169341 A1 muestra una única pila de combustible de un apilamiento. Una unidad de electrodos de membrana 2 está dispuesta entre dos placas bipolares 5 y 6 y comprende un cátodo, un ánodo y una membrana que separa el cátodo del ánodo. La unidad de electrodos de membrana 2 está insertada en un marco de sellado 3, por ejemplo mediante soldadura, y está alineada con una ranura 4. Las placas bipolares 5 y 6 suministran un combustible a la ranura 4 y un oxidante al cátodo. De cada placa bipolar 5 y 6 sobresalen unas costillas 7, entre las cuales se forman canales para un reactivo. El marco de sellado 3 y las placas bipolares 5 y 6 entran en contacto entre sí en una zona de contacto 10 con una pendiente 11, véase la figura 2. Durante la fabricación, se introducen las placas 2, 5 y 6 en el marco de sellado 3 y se presionan entre sí mediante una fuerza 14, véase la figura 3.

50 En el documento DE 10151380 B4 se describen varios procedimientos para montar una junta en una pila de combustible. Una junta 10A en forma de un marco rectangular separa los pasajes de gas herméticos formados entre una unidad de electrodos de membrana 20 y una placa separadora no mostrada, véanse las Figura 1A y Figura 1E. La junta 10A y la unidad de electrodos de membrana 20 se mantienen entre dos matrices 30 y 40.

55 Las figuras 1 y 3 del documento DE 102011051309 A1 muestran en sección transversal una unidad de electrodos de membrana 1 para una pila de combustible. La unidad de electrodos de membrana 1 comprende un ánodo 2, un cátodo 3 y una membrana 4 entre el ánodo 2 y el cátodo 3. Una junta anular perfilada 5 rodea el ánodo 2, el cátodo 3 y la membrana 4. La membrana 4 sobresale sobre el ánodo 2 y el cátodo 3 en una región circunferencial 6. Esta región saliente 6 penetra en la junta anular 5. Los canales 8, a través de los cuales puede fluir un gas, se introducen en un cuerpo de sellado 9 del junta anular 5. Además, en el cuerpo de estanqueidad 9 están dispuestas unas nervaduras de sellado circunferenciales 10 y 11, así como unas nervaduras de sellado transversales 12, véase la figura 2. La figura 4 muestra un molde de fundición 14 con dos mitades de molde de fundición 15 y 16, que proporcionan un molde negativo para la unidad de electrodos de membrana 1. La mitad superior 15 tiene un canal de inyección 18 y un canal de ventilación 19.

60 La figura 1 del documento DE 102013014083 A1 muestra una unidad de electrodos de membrana (MEA) 1 con dos electrodos de difusión de gas 2 y 3 y una membrana 4 entre los dos electrodos 2 y 3. Además, la figura 1 muestra un marco de sellado 12 con tres capas 5, 6, 7 aún no conectadas entre sí. Un hueco 8 abierto hacia el borde exterior del MEA 1 aloja un material de sellado 9. En un paso del proceso B, esta disposición es presionada entre dos placas de

prensado bajo suministro de calor. En este proceso, el material de sellado 9 y 5 se funde y penetra en el hueco 8, así como en un hueco d entre el MEA 1 y el marco de sellado 12, cf. Figura 2. El material de sellado líquido 9 cierra la estructura de poros abierta de los electrodos de difusión de gas 2 y 3 a ambos lados de la membrana 4.

5 La figura 1 del documento US 2015/0349355 A1 muestra una célula de batería 10 que tiene una disposición de electrodos (membrane electrode assembly 12), un separador anódico (anode separator 14) y un separador catódico (cathode separator 16). Un primer elemento de sellado (first sealing member 36) está unido a las superficies 14a y 14b del separador anódico 14 y rodea el separador anódico 14, y un segundo miembro de sellado (second sealing member 38) está unido a las superficies 16a y 16b del separador catódico 16 y rodea el separador catódico 16.

10 La figura 1 del documento EP 1652258 B1 muestra una unidad de electrodos de membrana para la electrólisis del agua. Una membrana conductora de iones 1 tiene una cara frontal (lado del cátodo) y una cara posterior (lado del ánodo). Para el desprendimiento del hidrógeno, se aplica una primera capa de catalizador 2 en el lado del cátodo. Para el desprendimiento del oxígeno, se aplica una segunda capa catalizadora 3 en el lado del ánodo. Un primer sustrato distribuidor de gas 4 linda con la primera capa catalizadora 2, un segundo sustrato distribuidor de gas 5 linda con la segunda capa catalizadora 3. El primer sustrato distribuidor de gas 4 es más pequeño que la membrana 1, el segundo sustrato distribuidor de gas 5 tiene aproximadamente el mismo tamaño que la membrana 1. Un material de sellado 7 encierra la unidad de electrodos de membrana, véase la figura 2.

20 Es un objetivo de la invención proporcionar un apilamiento de pilas de combustible que tenga las características del preámbulo de la reivindicación 1, en el que se mejora el aislamiento eléctrico entre dos unidades de electrodos de membrana adyacentes del apilamiento y, por tanto, se reduce el riesgo de flujo de corriente no deseado entre estas unidades.

25 Este objetivo se consigue mediante un apilamiento de pilas de combustible con las características dadas en la reivindicación 1. Perfeccionamientos ventajosos resultan de las reivindicaciones dependientes, de la siguiente descripción y de los dibujos.

30 El apilamiento de pilas de combustible según la invención comprende una sucesión de elementos en forma de placa, siendo cada elemento de la sucesión una unidad de electrodos de membrana o una placa bipolar. La sucesión del apilamiento de pilas de combustible se extiende en una dirección de apilamiento.

Cada unidad de electrodos de membrana comprende, respectivamente.

- 35 • un cátodo,
- un ánodo y
- una membrana.

40 La membrana está dispuesta entre el cátodo y el ánodo de una unidad de electrodos de membrana. La membrana de una unidad de electrodos de membrana sobresale en el plano de extensión tanto del ánodo como del cátodo de dicha unidad de electrodos de membrana.

45 Cada placa bipolar es eléctricamente conductora. La membrana de una unidad de electrodos de membrana actúa como aislante eléctrico y tiene una interacción electroquímica reducida con una placa bipolar adyacente, en comparación con el ánodo y el cátodo.

La rigidez a la flexión de la membrana de una unidad de electrodos de membrana, o al menos la de la parte que sobresale de la membrana, es menor que la rigidez a la flexión de una placa bipolar.

50 En la sucesión que comprende los elementos tipo placa que forman parte del apilamiento de pilas de combustible, cada unidad de electrodos de membrana está situado entre dos placas bipolares. El ánodo y el cátodo están conectados eléctricamente cada uno de ellos a una placa bipolar adyacente. Cada unidad de electrodos de membrana y cada placa bipolar se extiende en un plano de extensión respectivo. Este plano de extensión es perpendicular a la dirección de apilamiento. Por lo tanto, los planos de expansión de los elementos en forma de placa son paralelos entre sí.

55 Cada placa bipolar sobresale de la membrana respectiva de cada unidad de electrodos de membrana adyacente. Este voladizo se produce en al menos una dirección de visión que se encuentra en el plano de extensión de la placa bipolar y, por tanto, es perpendicular a la dirección de apilamiento. En una realización, cada placa bipolar sobresale de las dos membranas de las dos unidades de electrodos de membrana adyacentes en cada dirección del plano de extensión.

60 La membrana que sobresale proporciona el aislamiento eléctrico del ánodo frente al cátodo de una unidad de electrodos de membrana, y el aislamiento del ánodo y el cátodo del entorno de la unidad de electrodos de membrana. En particular, la parte que sobresale de la membrana aísla eléctricamente el ánodo y el cátodo de un recubrimiento eléctricamente conductor del apilamiento de pilas de combustible usado en muchos casos.

Según la solución, la membrana de una unidad de electrodos de membrana sobresale en el plano de extensión de dicho unidad de electrodos de membrana sobre el ánodo y el cátodo de dicho unidad de electrodos de membrana. Así, la membrana que sobresale reduce el riesgo de que se produzca un flujo de corriente no deseado entre las dos placas bipolares adyacentes a dicho unidad de electrodos de membrana o entre el ánodo y el cátodo de dicho unidad de electrodos de membrana.

Además, la membrana puede estar diseñada para dificultar o imposibilitar el paso del fluido, de manera que se impida el flujo no deseado de fluido hacia o desde la unidad de electrodos de membrana hacia o más allá de las placas bipolares adyacentes.

Según la solución, las placas bipolares sobresalen de las membranas de las unidades de electrodos de membrana y tienen mayor rigidez a la flexión que las regiones sobresalientes de estas membranas. Cada unidad de electrodos de membrana, y por tanto cada membrana, está situada entre dos placas bipolares más resistentes a la flexión y que sobresalen de la unidad de electrodos de membrana. A la inversa, esto significa que siempre hay una placa bipolar entre dos unidades de electrodos de membrana con membranas salientes que son adyacentes en la sucesión, con la excepción de la primera y de la última placa bipolar de la sucesión. Cada una de las placas bipolares de mayor rigidez a la flexión que sobresale impide que las dos unidades de electrodos de membrana adyacentes entren en contacto entre sí, creando así un cortocircuito indeseable entre un ánodo y un cátodo. Este efecto protector deseado también se produce cuando, durante el apilamiento de las unidades de electrodos de membrana y las placas bipolares para formar el apilamiento de pilas de combustible, una unidad de electrodos de membrana no se coloca exactamente en la posición deseada en una placa bipolar, sino de tal manera que se dispone con un ligero desplazamiento lateral y/o se gira alrededor de un eje paralelo a la dirección de apilamiento. Gracias a las placas bipolares de mayor rigidez a la flexión que sobresalen, se garantiza el aislamiento eléctrico deseado entre las unidades de electrodos de membrana.

Normalmente, el apilamiento de pilas de combustible se hace fabricando por separado las unidades de electrodos de membrana y las placas bipolares y, después, disponiéndolas en capas y apilándolas una encima de las otras en la dirección de apilamiento. En este proceso, una unidad de electrodos de membrana y una placa bipolar se colocan siempre alternativamente en el apilamiento ya formado. Dado que, según la solución, las placas bipolares tienen una mayor rigidez a la flexión y sobresalen por encima de las unidades de electrodos de membrana con las membranas más flexibles, es posible, durante el apilamiento, erigir las placas bipolares que sobresalen en un borde de apilamiento rígido. Este borde de apilamiento se extiende en paralelo a la dirección de apilado. Una alineación de este tipo en un borde de apilamiento no sería posible en absoluto o solo con dificultad con las membranas flexibles que sobresalen de las unidades de electrodos de membrana. Este borde rígido de apilamiento puede estar dispuesto de tal manera que forme un ángulo con respecto a la vertical y esté situado de modo que la gravedad desplace las placas bipolares oblicuamente hacia abajo hacia el borde de apilamiento. Las placas bipolares que sobresalen impiden que una membrana flexible entre en contacto con el borde de la pila y se doble o roce a lo largo del borde del apilamiento, y especialmente cuando el apilamiento se comprime en la dirección de apilamiento. Más bien, la membrana permanece a una distancia del borde del apilamiento y no entra en contacto con el mismo. Es posible, pero no necesario gracias a la invención, dejar una ranura en la membrana que sobresale de cada unidad de electrodos de membrana para alinear las unidades de electrodos de membrana al hacer el apilamiento de pilas de combustible. Gracias al borde de apilamiento, es posible obtener mayores tolerancias al fabricar el apilamiento y, en particular, al colocar los elementos en forma de placa.

La característica de que las placas bipolares con mayor rigidez a la flexión sobresalen por encima de las unidades de electrodos de membrana con las membranas de menor rigidez a la flexión también facilita la toma de contacto eléctrico con el apilamiento de pilas de combustible. En particular, se facilita la puesta en contacto de al menos un conductor de corriente rígido con las placas bipolares en una dirección paralela a la dirección de apilamiento y/o perpendicular a los planos de expansión. La realización de este contacto eléctrico sería mucho más difícil si hubiera que poner en contacto eléctricamente componentes con forma de placa que sobresalen y con poca rigidez a la flexión. En particular, no es necesario que este conductor de corriente se dirija a lo largo de la membrana que sobresale en el plano de extensión para entrar en contacto con los ánodos o los cátodos de las unidades de electrodos de membrana. Gracias a la mayor rigidez a la flexión, se puede presionar un conductor de corriente rígido contra las placas bipolares salientes, por ejemplo con ayuda de elementos de muelle, sin que las placas bipolares puedan ceder. Si es necesario, se puede deshacer de nuevo más fácilmente la conexión entre el conductor de corriente y el apilamiento de pilas de combustible.

Cada unidad de electrodos de membrana es preferentemente rectangular, teniendo así cuatro bordes exteriores en el plano de extensión, con los bordes exteriores perpendiculares a la dirección de apilamiento. En una realización preferida, la membrana rodea el cátodo y el ánodo por todos los lados y sobresale por todos los lados. Así, la parte que sobresale de la membrana tiene la forma de una tira cerrada rectangular que envuelve el cátodo y el ánodo. También son posibles otras formas geométricas para el ánodo, el cátodo y la región que sobresale de la membrana. Preferentemente, cada placa bipolar tiene también cuatro bordes exteriores situados en el plano de extensión y es preferentemente rectangular.

En una configuración, cada placa bipolar incluye un componente más pequeño en forma de placa y un componente más grande en forma de placa. En el apilamiento de pilas de combustible, estos dos componentes se extienden en

dos planos de expansión mutuamente paralelos y perpendiculares a la dirección de la pila. El componente más pequeño se apoya preferentemente en el componente más grande. Es posible que el componente más pequeño esté aislado eléctricamente del componente más grande. Preferentemente, estos dos componentes de una placa bipolar están unidos rígidamente entre sí. En la sucesión del apilamiento de pilas de combustible, cada unidad de electrodos de membrana está situado entre un componente más pequeño de una placa bipolar y un componente más grande de la siguiente placa bipolar. Con ello, el ánodo de la unidad de electrodos de membrana está conectado a un componente más pequeño y el cátodo a un componente más grande o, a la inversa, el ánodo está conectado a un componente más grande y el cátodo a un componente más pequeño. Al menos el componente más grande sobresale tanto del componente más pequeño como de la membrana de la unidad de electrodos de membrana adyacente en al menos una dirección, preferentemente en cada dirección, en el plano de extensión. Preferentemente, tanto el componente más pequeño como el más grande son rectangulares.

La configuración con el componente más grande y el componente más pequeño permite que los componentes más grandes sean fabricados por separado de los componentes más pequeños, especialmente en diferentes lugares y/o con diferentes equipos o procesos de fabricación. Esto facilita la adaptación de los dos componentes de una placa bipolar a las respectivas necesidades, posiblemente diferentes. Estos requisitos se derivan del hecho de que un componente de una placa bipolar entra en contacto con un ánodo y el otro con un cátodo de una unidad de electrodos de membrana. Por lo tanto, es posible que un componente más pequeño tenga que cumplir requisitos diferentes a los de un componente más grande.

Preferentemente, se ensamblan los dos componentes para formar una placa bipolar y se unen rígidamente para crear una pluralidad de placas bipolares, cada una de las cuales tiene un componente más pequeño y un componente más grande. A continuación, las placas bipolares y las unidades de electrodos de membrana producidos por la unión se apilan para formar el apilamiento de pilas de combustible. Es posible fabricar los componentes más grandes por separado de los componentes más pequeños y, a continuación, transportar ambos al lugar donde se van a apilar las unidades de electrodos de membrana y las placas bipolares para formar el apilamiento de pilas de combustible, y allí ensamblar los componentes más grandes y los más pequeños para formar las placas bipolares. También es posible producir las placas bipolares en un lugar ensamblando los dos componentes y apilar en otro lugar las placas bipolares y las unidades de electrodos de membrana en el apilamiento de pilas de combustible.

En una configuración, tanto cada componente más grande como cada componente más pequeño tiene una extensión en la dirección del apilamiento que es mayor que la extensión de una unidad de electrodos de membrana en la dirección del apilamiento. Como resultado, las regiones más grandes de la pila de combustible tienen las mayores rigideces de flexión. En otras palabras, cada componente más grande, así como cada componente más pequeño, es más grueso que cada unidad de electrodos de membrana. En una realización, cada componente más pequeño tiene la misma extensión en la dirección de apilamiento (mismo grosor) y/o la misma rigidez a la flexión que cada componente más grande.

En una forma de realización, cada unidad de electrodos de membrana sobresale del componente adyacente más pequeño en cualquier dirección perpendicular a la dirección de apilamiento. Así, el componente adyacente más grande sobresale de la unidad de electrodos de membrana, y esa unidad de electrodos de membrana a su vez sobresale del componente adyacente más pequeño. De este modo, se forma un hueco entre cada una de las unidades de electrodos de membrana y un componente más grande, adyacente en la sucesión y espaciado de la unidad de electrodos de membrana. Preferentemente, esta escotadura rodea toda la superficie periférica del componente más pequeño que se encuentra entre la unidad de electrodos de membrana y el componente más grande. Preferentemente, cada componente más pequeño sobresale a su vez del ánodo y/o del cátodo adyacente o vecino en cada dirección del plano de extensión. De este modo, el componente más pequeño también ayuda a evitar el flujo de corriente no deseado. Entre el ánodo y el cátodo, por un lado, y el hueco, por el otro, se produce un espaciado.

En una configuración, no hay ninguna parte situada dentro de esta escotadura entre una unidad de electrodos de membrana y un componente más grande, y el aire circundante u otro fluido pueden fluir a través de esta escotadura en una dirección perpendicular u oblicua a la dirección del apilamiento. Esta realización facilita el uso del aire ambiente o de un chorro de fluido para enfriar el apilamiento de pilas de combustible y para suministrar fluidos o para eliminar los fluidos que se filtran del apilamiento de pilas de combustible durante el funcionamiento. También es posible colocar al menos un tubo flexible en esta escotadura y usar este tubo flexible para suministrar un fluido al apilamiento de pilas de combustible o para descargar un fluido con fugas.

En otra configuración, al menos una junta está dispuesta dentro de dicha escotadura. Preferentemente, dicha junta rodea toda la superficie periférica del componente más pequeño, situado internamente en dicha escotadura. Preferentemente, dicha junta tiene un efecto de aislamiento eléctrico y, por tanto, reduce aún más el riesgo de que una unidad de electrodos de membrana entre en contacto no deseado con una unidad de electrodos de membrana adyacente. Preferentemente, la junta impide además que una membrana de una unidad de electrodos de membrana que sobresale del componente más pequeño, entre en contacto con un componente más grande adyacente y espaciado de una placa bipolar. De hecho, a menudo se desea que solo una superficie de la unidad de electrodos de membrana entre en contacto con un componente más grande, pero no la otra superficie.

En una configuración, la extensión en la dirección de apilamiento de la junta en la escotadura es al menos del mismo tamaño que la extensión de la escotadura en la dirección de apilamiento, es decir, al menos del mismo tamaño que la distancia entre la unidad de electrodos de membrana y el componente más grande. Preferentemente, la junta es deformable y se comprime en la dirección de apilamiento cuando se comprime el apilamiento. Esta realización, con la junta más grande que la escotadura, permite que una unidad de electrodos de membrana se mantenga en su posición y mantenga su forma de placa incluso cuando la membrana de la unidad de electrodos de membrana, o incluso todo la unidad de electrodos de membrana, está flexionado y se apoya desde abajo sobre un componente más pequeño. Además, las juntas soportan las placas bipolares y, en particular, impiden que se rompa una placa bipolar resistente a la flexión, por ejemplo, cuando las placas bipolares salientes hacen tope con un borde de pila rígido y el apilamiento se comprime en la dirección de apilamiento, de modo que al menos algunas placas bipolares se desplazan en la dirección de la pila a lo largo del borde de la pila. Además, se mejora el aislamiento eléctrico entre dos elementos adyacentes en forma de placa. El sellado impide además que un fluido fluya hacia o desde el componente más pequeño.

En una forma de realización, los componentes más grandes de las placas bipolares también sobresalen de las juntas en las escotaduras. Esta configuración facilita la alineación de las placas bipolares con un borde de la pila durante la fabricación del apilamiento de pilas de combustible, incluso cuando las juntas son elásticas y la membrana o las unidades de electrodos de membrana completos son flexibles. Las juntas no entran en contacto con un borde rígido del apilamiento.

En otra forma de realización, los componentes más grandes y las juntas forman un borde continuo en las escotaduras en al menos una dirección que es paralela a la dirección de apilamiento. Los componentes más grandes y las juntas se alinean con este borde. Esta configuración hace que sea especialmente fácil alinear los componentes en un borde de apilamiento rígido cuando se apilan las unidades de electrodos de membrana y las placas bipolares para formar el apilamiento de pilas de combustible, incluso cuando las membranas de las unidades de electrodos de membrana son flexibles y las juntas son deformables. Además, el borde continuo con las placas bipolares más rígidas a la flexión y las juntas deformables reduce aún más el riesgo de que una placa bipolar se rompa al formar el apilamiento y comprimirla posteriormente. En particular, estas ventajas se consiguen cuando las juntas se han adherido previamente a las unidades de electrodos de membrana y, cuando se forma el apilamiento, cada unidad de electrodos de membrana que incluye una junta se apila en una placa bipolar. Si las juntas son deformables, el apilamiento puede alinearse en el borde del apilamiento aunque una junta sobresalga ligeramente de una placa bipolar.

En una configuración, cada unidad de electrodos de membrana comprende dos superficies que se extienden paralelas al plano de extensión de la unidad de electrodos de membrana. Cada superficie incluye una región de interacción asociada al ánodo y al cátodo, respectivamente, en la que dicha superficie interactúa electroquímicamente con la respectiva placa bipolar adyacente. La membrana sobresale de las dos regiones de interacción y solo entra en una interacción electroquímica reducida con una placa bipolar adyacente. Según la solución, esta membrana tiene una rigidez a la flexión menor que las dos placas bipolares adyacentes. Preferentemente, esta membrana sobresale en al menos una dirección más allá del componente más pequeño de una placa bipolar adyacente, mientras que el componente más grande sobresale en esa dirección más allá de la membrana o está a ras de la membrana. Como resultado, se produce un espacio de separación entre una región de interacción y la placa bipolar adyacente a esa región de interacción. La membrana mejora el aislamiento eléctrico entre la región de interacción y la placa o cada placa bipolar adyacente.

En una configuración, cada placa bipolar está hecha de al menos un material metálico o de un plástico suficientemente resistente, tal como un plástico reforzado con fibra de vidrio. Toda la membrana puede estar hecha del mismo material. Alternativamente, la región entre el ánodo y el cátodo está hecha de un primer material y la región de la membrana que sobresale del cátodo está hecha de un segundo material.

El material de las juntas puede ser el mismo o un material de la membrana de las unidades de electrodos de membrana, o puede diferir del material de la membrana. Cuando el material es distinto, es posible adaptar el o cada material usado para las juntas a los requisitos de la fabricación y al uso del apilamiento de pilas de combustible, en particular si se usa oxígeno puro o aire ambiente u otro gas adecuado como oxidante para la generación de energía.

En una configuración, entre una unidad de electrodos de membrana y un componente más pequeño adyacente y/o un componente más grande adyacente, respectivamente, está dispuesta una capa de difusión. En una configuración, la junta que se pasa alrededor de este componente más pequeño impide el flujo de fluido desde el exterior a la capa de difusión y o la fuga de fluido de esta capa de difusión.

Son posibles diferentes realizaciones para fabricar el apilamiento de pilas de combustible y dotarla de las juntas.

En una forma de realización, se fija una junta a cada unidad de electrodos de membrana, y las unidades de electrodos de membrana con las juntas fijadas y las placas bipolares se apilan para formar el apilamiento de pilas de combustible. En una configuración, las unidades de electrodos de membrana y las juntas se fabrican por separado. A continuación, se fija una junta a la membrana de cada una de las unidades de electrodos de membrana, por ejemplo, por adhesión

o mediante calentamiento. En otra configuración, la membrana y la junta forman un único componente, que se fabrica preferentemente vertiendo una masa líquida en un molde, dejando que se enfríe y solidifique, y formando después una membrana con una junta unida a ella.

5 En particular, cuando la junta circunferencial rodea toda la superficie circunferencial de un componente más pequeño, la configuración en la que la junta esté previamente fijada al unidad de electrodos de membrana facilita el proceso de apilamiento de los elementos en forma de placa uno encima de otro y la colocación de cada elemento en forma de placa en el apilamiento ya formado con solo una ligera desviación de una posición deseada. Esto es cierto tanto  
10 en el respectivo apilamiento ya formado con un componente más pequeño orientado hacia arriba como elemento superior, como cuando se coloca una placa bipolar con un componente más pequeño orientado hacia abajo en el respectivo apilamiento ya formado con una unidad de electrodos de membrana con una junta orientada hacia arriba fijada por adelantado como elemento superior.

15 En otra configuración, las unidades de electrodos de membrana y las placas bipolares se apilan primero para formar un apilamiento de pilas de combustible sin juntas, de modo que las escotaduras inicialmente vacías se forman alrededor de los componentes más pequeños. Preferentemente, durante el apilamiento, las placas bipolares más rígidas están alineadas con un borde de apilamiento rígido. A continuación, las juntas se introducen en las escotaduras. Es posible que las juntas se fabriquen por separado del apilamiento de pilas de combustible y se prueben según sea  
20 necesario, y que adopten la forma de, por ejemplo, juntas tóricas de goma o de otro material elástico. Las juntas deformables prefabricadas se introducen en las escotaduras del apilamiento de pilas de combustible ya formado. También es posible que se introduzca un compuesto de sellado líquido en las escotaduras del apilamiento creado, por ejemplo, mediante moldeo por inyección, y que luego se enfríe y se solidifique. El compuesto de sellado solidificado forma las juntas. La configuración con un compuesto de sellado líquido facilita la adaptación de las juntas a la forma  
25 de las escotaduras y la compensación de pequeñas imprecisiones durante el apilado.

Preferentemente, el apilamiento de pilas de combustible según la solución forma parte de una disposición de pilas de combustible. Esta disposición de pilas de combustible comprende además un recubrimiento colocado alrededor del apilamiento de pilas de combustible, que puede ser eléctricamente conductor. Este recubrimiento puede estar formado  
30 por una camisa lateral y una placa inferior y otra superior. Preferentemente, la disposición de pilas de combustible comprende además al menos un conductor de corriente. El o cada conductor de corriente se extiende en una dirección paralela u oblicua a la dirección de apilamiento. El o los conductores de corriente entran en contacto eléctricamente con las placas bipolares que sobresalen y están situados entre el apilamiento de pilas de combustible y el revestimiento, preferentemente dentro del revestimiento. De este modo, el revestimiento circundante protege el  
35 apilamiento de pilas de combustible y también el o cada conductor de corriente. Gracias a la membrana que sobresale en cada dirección sobre los ánodos y los cátodos, la camisa puede ser eléctricamente conductora, en particular de un metal.

40 En una configuración, el apilamiento de pilas de combustible según la solución pertenece a un vehículo, en particular un vehículo terrestre o un vehículo acuático, que comprende además un motor eléctrico. El apilamiento de pilas de combustible proporciona energía eléctrica que impulsa el motor eléctrico.

A continuación, se explica con más detalle el apilamiento de pilas de combustible según la invención con referencia a un ejemplo de realización mostrada en los dibujos. Aquí muestran

45 La Fig. 1 una vista en perspectiva de una disposición de pilas de combustible con un apilamiento de pilas de combustible en un revestimiento;  
La Fig. 2 una sección de un apilamiento de pilas de combustible no según la solución;  
La Fig. 3 en una vista transversal, una sección de un apilamiento de pilas de combustible de acuerdo con la  
50 solución en una realización sin juntas adicionales;  
La Fig. 4, a modo de ejemplo, la manera de estratificación de los distintos componentes para formar un apilamiento de pilas de combustible, con los componentes más grandes alineados en un borde rígido del apilamiento;  
La Fig. 5, esquemáticamente, una ranura en una esquina de la placa base, usándose la ranura para alinear  
55 el apilamiento;  
La Fig. 6, esquemáticamente, una ranura en la placa base de la Fig. 5, usada también para la alineación, estando la ranura separada de la esquina;  
Fig. 7 en una vista lateral, una sección de un apilamiento de pilas de combustible de acuerdo con la solución en una forma de realización con juntas adicionales que llenan todas las escotaduras;  
60 La Fig. 8 la sección de la Fig. 7 vista transversalmente desde arriba;  
Fig. 9 la sección de la Fig. 7 en una representación transversal;  
La Fig. 10, en una vista transversal, una sección de un apilamiento de pilas de combustible según la solución en una forma de realización con juntas en forma de refuerzo que ocupan solo una parte de las escotaduras.

65 La Fig. 1 muestra una vista en perspectiva de una disposición de pilas de combustible 90 que incluye un apilamiento de pilas de combustible 100. El apilamiento de pilas de combustible 100 se extiende en una dirección de apilamiento

SR e incluye una sucesión de elementos en forma de placa aproximadamente rectangulares, preferentemente varios cientos de elementos en forma de placa. En cada caso, se muestran en la Fig. 1 algunos elementos en forma de placa superior y algunos elementos en forma de placa inferior del apilamiento de pilas de combustible 100, mientras que los elementos en forma de placa se omiten en el centro.

Cada elemento en forma de placa se extiende en un plano de extensión que es perpendicular a la dirección de apilamiento SR. Por lo tanto, estos planos de expansión son todos paralelos entre sí. Cada plano de extensión imaginario forma el plano central del elemento en forma de placa, es decir, el plano de extensión está situado a medio camino entre las dos superficies del elemento en forma de placa. Preferentemente, cada elemento en forma de placa tiene una longitud, es decir, una extensión máxima en el plano de extensión, que es de cuatro a ocho veces la anchura, es decir, la extensión perpendicular a la longitud en el plano de extensión. La anchura es al menos cinco veces, preferentemente diez veces, mayor que el espesor, es decir, la extensión en la dirección de apilamiento SR.

Una placa de cubierta 50 está situada por encima del apilamiento de pilas de combustible 100 y tiene preferentemente la forma de una placa de acero u otro metal. Preferentemente, dos polos eléctricos (terminales) están incrustados en la placa superior 50. Por debajo del apilamiento de pilas de combustible 100 se encuentra una placa inferior 51, preferentemente también en forma de placa metálica. De este modo, el apilamiento de pilas de combustible 100 se extiende entre la placa superior 50 y la placa inferior 51. Un revestimiento lateral 60 rodea el apilamiento de pilas de combustible 100 por los cuatro lados y está firmemente unido a ambas placas 50 y 51. El revestimiento lateral 60 está hecho preferentemente de un material conductor de la electricidad, tal como el aluminio. Mediante las placas 50 y 51 y el revestimiento 60, el apilamiento de pilas de combustible 100 se comprime en la dirección de apilamiento SR y se mantiene en esta situación de compresión.

La Fig. 1 muestra además dos barras colectoras alargadas 40 y 41 que se extienden paralelas a la dirección de apilamiento SR y que están dispuestas entre la cubierta 60 y el apilamiento de pilas de combustible 100. Otras dos barras colectoras alargadas (no mostradas) están situadas, vistas en la dirección de la Fig. 1, detrás del apilamiento de pilas de combustible 100 y también dentro del revestimiento 60. En estas barras 40, 41, ... la tensión eléctrica generada puede ser aprovechada.

Así, la disposición de pilas de combustible 90 del ejemplo de realización incluye el apilamiento de pilas de combustible 100, la cubierta lateral 60, las dos placas 50, 51, los polos no mostrados, así como las barras colectoras 40, 41 y otras barras colectoras no mostradas.

La Fig. 2 muestra un apilamiento de pilas de combustible 100 que no está configurada según la solución y, por lo tanto, que no consigue algunas ventajas de la invención. El apilamiento de pilas de combustible 100 de la Fig. 2 comprende, al igual que el apilamiento de pilas de combustible 100 según la solución, dos tipos de elementos rectangulares en forma de placa, cada uno de los cuales se extiende en un plano de extensión: por un lado, las unidades de electrodos de membrana 1.1, 1.2, ... y por otro lado las placas bipolares 2.1, 2.2, ... Cada unidad de electrodos de membrana 1.1, 1.2, ... comprende un cátodo, un ánodo y una membrana flexible 9.1, 9.2, .... La membrana 9.1, 9.2, ... está situado entre el cátodo y el ánodo y es permeable a los electrodos, pero no a un fluido suministrado o generado durante el funcionamiento de el apilamiento 100. La membrana 9.1, 9.2, .... sobresale tanto del ánodo como del cátodo en cada dirección del plano de extensión. Entre el ánodo y la membrana 9.1, 9.2, .... y entre el cátodo y la membrana 9.1, 9.2, .... puede haber una capa catalizadora. En cada unidad de electrodos de membrana 1.1, 1.2, ... se deja entrar al menos una escotadura, de modo que las escotaduras de las unidades de electrodos de membrana 1.1, 1.2, ... forman un canal continuo. En la realización de la Fig. 2, al menos un borde de una membrana 9.1, 9.2, .... de una unidad de electrodos de membrana 1.1, 1.2, ... se forma una ranura 22. Con la ayuda de esta ranura 22, las unidades de electrodos de membrana 1.1, 1.2, ... se alinean durante la fabricación del apilamiento de pilas de combustible 100. Para que esta alineación tenga éxito, las ranuras 22 deben estar alineadas con precisión cuando se ven en la dirección de apilamiento SR.

Cada placa bipolar 2.1, 2.2, ... es capaz de conducir la corriente eléctrica así como varios tipos de fluidos. Estos fluidos incluyen, por ejemplo, hidrógeno y oxígeno o aire, así como el agua generada. En la realización de la Fig. 2, las membranas 9.1, 9.2, ... de las unidades de electrodos de membrana 1.1, 1.2, ... se proyectan sobre las placas bipolares 2.1, 2.2, ..., en cualquier dirección perpendicular a la dirección del apilamiento SR. Los apilamientos de pilas de combustible 100 de los ejemplos de realización según la solución también tienen estos dos tipos de elementos en forma de placa.

En el ejemplo de la realización, la dirección de apilamiento SR se dirige vertical u oblicuamente hacia arriba. Los ánodos forman las superficies superiores de las unidades de electrodos de membrana 1.1, 1.2, ... y los cátodos forman las superficies inferiores de los mismos. Los términos "arriba" y "abajo" tienen el significado habitual. También es posible una disposición inversa, es decir, que los ánodos formen las superficies inferiores y los cátodos las superiores.

Hay que evitar que el ánodo de una unidad de electrodos de membrana 1.1, 1.2, ... entre en contacto con el cátodo de una unidad de electrodos de membrana adyacente 1.1, 1.2, .... Esto podría generar corrientes eléctricas indeseables e incluso un cortocircuito. Las membranas salientes 9.1, 9.2, ... de las unidades de electrodos de membrana 1.1, 1.2, ... tienen una baja rigidez a la flexión y pueden describirse como componentes de holgura a la

flexión. Por ejemplo, son de tipo goma o gel. Incluso es posible que cada unidad de electrodos de membrana 1.1, 1.2, ... en su conjunto sea flexible. Por lo tanto, en la configuración de la Fig. 2, el riesgo de que se produzca dicho contacto eléctrico no deseado es relativamente alto. Las placas bipolares 2.1, 2.2, ... tienen una rigidez a la flexión significativamente mayor que las membranas 9.1, 9.2, ... de las unidades de electrodos de membrana 1.1, 1.2, .... La invención reduce significativamente el riesgo de ese contacto eléctrico no deseado.

En la Fig. 3, se muestra una primera forma de realización de un apilamiento de pilas de combustible 100 según la solución en una vista en sección transversal. La dirección de visualización es paralela a dos bordes exteriores de los elementos en forma de placa rectangular y es perpendicular a los otros dos bordes exteriores, así como a la dirección de apilamiento SR.

Al igual que en la Fig. 2, cada unidad de electrodos de membrana 1.1, 1.2, ... de la primera forma de realización comprende un ánodo respectivo, un cátodo, una membrana flexible 9.1, 9.2, ... entre el ánodo y el cátodo y, opcionalmente, dos capas catalizadoras. En la Fig. 3, se muestra la región de proyección Ü en la que la membrana 9.1, 9.2, ... sobresale tanto sobre el ánodo como sobre el cátodo.

Cada placa bipolar 2.1, 2.2, ... comprende en el ejemplo de realización, un componente más pequeño 4.1, 4.2, ... y un componente más grande 3.1, 3.2, ... debajo del componente más pequeño 4.1, 4.2, .... Estos dos componentes 3.1, 3.2, ... y 4.1, 4.2, ... tienen forma de placa y cada una se extiende en un plano perpendicular a la dirección de apilamiento SR. El componente más pequeño 4.1, 4.2, ... de una placa bipolar 2.1, 2.2, ... está conectado de forma bidimensional y preferentemente fija al componente más grande 3.1, 3.2, ... de esta placa bipolar 2.1, 2.2, ... Ambos componentes 3.1, 3.2, ... y 4.1, 4.2, ... tienen cada uno de ellos una mayor rigidez a la flexión que la membrana 9.1, 9.2, ... de cada unidad de electrodos de membrana 1.1, 1.2, .... y son preferentemente de igual grosor y cada uno más grueso que una unidad de electrodos de membrana.

Cada unidad de electrodos de membrana 1.x está situada por debajo del componente más grande 3.x-1 de una placa bipolar 2.x-1 y por encima del componente más pequeño 4.x de la siguiente placa bipolar adyacente 2.x (x = 1, 2, ...). La Fig. 3 muestra además dos regiones 10.o.1 y 10.u.1 en las que la unidad de electrodos de membrana 1.1 interactúa electroquímicamente con la placa bipolar superior (no mostrada) y la placa bipolar inferior 2.1, respectivamente, a saber, el ánodo 10.o.1 y el cátodo 10.u.1. Las restantes unidades de electrodos de membrana 1.2, 1.3, ... tienen ánodos y cátodos colocados de forma correspondiente. El ánodo 10.o.x, orientado hacia arriba, de la unidad de electrodos de membrana 1.x se une al componente más grande 3.x-1 en forma plana, y el cátodo 10.u.x, orientado hacia abajo, se une al componente más pequeño 4.x. El ánodo 10.o.x y el cátodo 10.u.x están conectados eléctricamente a estos componentes 3.x-1 y 4.x, respectivamente, para que los electrodos fluyan. También es posible una disposición inversa, es decir, una disposición en la que los cátodos orientados hacia arriba, conectados a los componentes mayores 3.1, 3.2, ..., y los ánodos orientados hacia abajo, que están conectados eléctricamente a los componentes más pequeños 4.1, 4.2, ..., estén conectados eléctricamente.

La membrana 9.1 de la unidad de electrodos de membrana 1.1 sobresale de las regiones de interacción (ánodo y cátodo) 10.u.1 y 10.o.1 en una región Ü. La membrana 9.1 no puede interactuar electroquímicamente con una placa bipolar adyacente 2.1. Actúa como un aislante entre las dos placas bipolares adyacentes y evita el flujo de corriente no deseado, por ejemplo en forma de chispas, entre estas dos placas bipolares. Asimismo, cualquier otra unidad de electrodos de membrana 1.x tiene tales regiones (ánodo y cátodo) 10.o.x, 10.u.x de interacción electroquímica y tal región saliente Ü de la membrana 9.x. Entre una unidad de electrodos de membrana 1.1, 1.2, ... y cada placa bipolar adyacente 1.1, 1.2, ... una capa de difusión (no mostrada) está preferentemente dispuesta en cada caso.

En cualquier dirección perpendicular a la dirección de apilamiento SR, cada componente principal 3.1, 3.2, ... sobresale de la membrana flexible 9.1, 9.2, ... de cada unidad de electrodos de membrana 1.1, 1.2, .... La unidad de electrodos de membrana 1.1, 1.2, ... sobresale de cada componente más pequeño 4.1, 4.2, ... Véase la figura 3. Se forma con ello una escotadura A.1, A.2, ... entre una unidad de electrodos de membrana 1.1, 1.2, ... y el siguiente componente más grande adyacente y distanciado 3.1, 3.2, .... Esta escotadura A.1, A.2, ... rodea toda la superficie circunferencial de dicho componente más pequeño 4.1, 4.2, ... que se encuentra entre dicho componente más grande 3.1, 3.2, ... y esta unidad de electrodos de membrana 1.1, 1.2, ... . Cada componente más pequeño 3.x sobresale de las dos regiones de interacción 10.u.x, 10.o.x de la unidad de electrodos de membrana 1.x.

Los componentes mayores 3.1, 3.2, ... y también los componentes menores 4.1, 4.2, ... tienen una rigidez a la flexión considerablemente mayor que los diafragmas 9.1, 9.2, ... de las unidades de electrodos de membrana 1.1, 1.2, .... Ya que los componentes mayores 3.1, 3.2, ... tienen una rigidez a la flexión suficientemente grande, es posible, al apilar los elementos en forma de placa para formar el apilamiento de pilas de combustible 100, orientar los componentes más grandes 3.1, 3.2, ... a un borde de apilamiento rígido SK que se extiende paralelo a la dirección de apilamiento SR, véase la Fig. 4. Los componentes mayores 3.1, 3.2, ... se alinean a ras en al menos una dirección. Es posible alinear el apilamiento 100 en dos bordes del apilamiento, los cuales se extienden paralelos a la dirección de apilamiento SR y son perpendiculares entre sí, alineando así el apilamiento 100 en dos direcciones. Es posible, pero no necesario gracias a la alta rigidez a la flexión, proporcionar una ranura en cada componente más grande 3.1, 3.2, ... para la alineación, y alinear los componentes mayores 3.1, 3.2, ... con la ayuda de esta ranura.

Debido a su baja rigidez a la flexión, la gravedad puede hacer que la región saliente de una membrana 9.1, 9.2, ... de una unidad de electrodos de membrana 1.1, 1.2, ... se incline hacia abajo. Esto puede ocurrir, en particular, durante la fabricación del apilamiento de pilas de combustible 100, cuando los componentes en forma de placa se apilan unos encima de otros en la dirección de apilamiento SR y aún no se presionan entre sí, pero también durante el uso. Sin embargo, en la configuración según la Fig. 3, esto no puede conducir a un flujo de corriente no deseado o incluso a un cortocircuito. La zona saliente Ü de una membrana 9.1, 9.2, ..., que sigue desplazándose hacia abajo por la gravedad, permanece en la escotadura A.1, A.2, ... o toca desde arriba el componente más grande 3.1, 3.2, ... de la placa bipolar adyacente, pero no la siguiente unidad de electrodos de membrana.

La Fig. 4 muestra un ejemplo de cómo puede apilarse un apilamiento de pilas de combustible 100 según la forma de realización de la Fig. 3. Las unidades de electrodos de membrana 1.1, 1.2, ..., los componentes mayores 3.1, 3.2, ... y los componentes más pequeños 4.1, 4.2, ... se fabrican por separado y se transportan a un lugar donde se estratifican para formar el apilamiento de pilas de combustible 100. Las unidades de electrodos de membrana 1.1, 1.2, ... los componentes mayores 3.1, 3.2, ... y los componentes más pequeños 4.1, 4.2, ... se apilan unos encima de otros de forma que siempre se alterna una unidad de electrodos de membrana 1.1, 1.2, ... y una placa bipolar 2.1, 2.2, .... Las placas bipolares resistentes a la flexión 2.1, 2.2, ..., más exactamente los componentes mayores 3.1, 3.2, ..., están alineados en el borde de apilamiento SK. Preferentemente, el componente más grande 3.1, 3.2, ... antes de apilarlos se une firmemente al componente más pequeño 4.1, 4.2, ... de una placa bipolar 2.1, 2.2, ... de tal manera que también los componentes más pequeños 4.1, 4.2, ... están alineados con ayuda del borde de apilamiento SK, porque están firmemente unidos a los componentes mayores 3.1, 3.2, .... Además, cuando una unidad de electrodos de membrana 1.1, 1.2, ... con membrana flexible 9.1, 9.2, ... no está colocada exactamente en la posición deseada sobre el elemento superior del apilamiento ya formado, por ejemplo, se coloca el componente superior más grande 3.1, 3.2, ..., gracias al componente más grande que sobresale actualmente 3.1, 3.2, ..., que está alineado con el borde de la pila SK, y al componente superior 3.1, 3.2, ..., más pequeño, que está firmemente unido a él, el riesgo de un cortocircuito se reduce significativamente en comparación con la configuración de la Fig. 2. Los componentes más grandes 3.1, 3.2, ... sobresalen de las unidades de electrodos de membrana 1.1, 1.2, ... de modo que una unidad de electrodos de membrana no entra en contacto con el borde de apilamiento SK, sino que siempre queda una separación.

En la Fig. 4, se muestra una forma de alinear el apilamiento 100 con un borde de apilamiento rígido SK. Las figuras 5 y 6 muestran una forma adicional o alternativa de alinear los elementos tipo placa del apilamiento de pilas de combustible 100 durante su fabricación. En la placa inferior 51, debajo del apilamiento de pilas de combustible 100, se encuentra una ranura 20, 21. En el ejemplo de la Fig. 5, la ranura 20 está situada en una esquina de la placa inferior 51, y en el ejemplo de la Fig. 6, está situada a una cierta distancia de esta esquina. Otras ranuras pueden colocarse en otras esquinas de la placa base 51 o cerca de ellas. Antes del apilamiento, la placa base 51 puede ser llevada a la posición deseada poniendo en contacto la ranura 20, 21 con un elemento alargado rígido (no mostrado) que se extiende en la dirección de apilamiento SR. Este elemento alargado rígido puede usarse además, durante el apilamiento de las unidades de electrodos de membrana 1.1, 1.2, ... y de las placas bipolares, para orientar las placas bipolares rígidas 2.1, 2.2, ... a un borde.

En la primera configuración según la Fig. 3 y la Fig. 4, las escotaduras A.1, A.2, ... no están llenas, sino que pueden ser atravesadas por un fluido. Las figuras 7 a 9 muestran una primera forma de realización de las juntas 6.1, 6.2, ... de este tipo en las escotaduras A.1, A.2, .... La Fig. 10 muestra una segunda forma de realización de las juntas 7.1, 7.2, .... Las juntas 6.1, 6.2, ..., 7.1, 7.2, ... son preferentemente deformables y pueden ser del mismo material que las membranas 9.1, 9.2, ... de las unidades de electrodos de membrana 1.1, 1.2, ... o estar hecho de un material diferente.

Cada junta 6.1, 6.2, ..., 7.1, 7.2, ... tiene varias funciones en el ejemplo de realización:

- La junta 6.x, 7.x soporta la membrana flexible 9.x de la unidad de electrodos de membrana 1.x situada por encima de ella.
- La junta 6.x, 7.x es eléctricamente aislante e impide que la unidad de electrodos de membrana soportado 1.x entre en contacto eléctrico con la unidad de electrodos de membrana 1.x+1 que se encuentra por debajo, evitando así el flujo de corriente no deseado.
- La junta de aislamiento eléctrico 6.x, 7.x impide que se produzca un flujo de corriente eléctrica no deseado entre dos componentes principales adyacentes 3.x-1 y 3.x.
- La junta 6.x, 7.x reduce el flujo de fluido hacia y desde el componente adyacente más pequeño 4.x

En la primera forma de realización según las Figs. 7 a 9, las juntas 6.1, 6.2, ... ocupan sustancialmente toda la escotadura A.1, A.2, ... De este modo, cada junta 6.x en la escotadura A.x rodea toda la superficie periférica de un componente más pequeño 4.x y tiene un borde exterior periférico en forma de refuerzo. La Fig. 8 y la Fig. 9 muestran esquemáticamente la extensión de una junta 6.1, 6.2, ... en diferentes direcciones perpendiculares a la dirección de apilamiento SR. La vista en sección de la Fig. 9 muestra además las regiones de interacción 10.u.1, 10.o.1 (ánodo y cátodo) así como la membrana que sobresale 9.1 de la unidad de electrodos de membrana superior 1.1. En el ejemplo de realización, la membrana 9.1 y la junta 6.1 están dimensionadas de tal manera que solo la región que sobresale Ü

de la membrana 9.1 entra en contacto con la junta 6.1 y, por lo tanto, la junta 6.1 no entra en contacto con las regiones de interacción 10.u.1 y 10.o.1. Lo mismo ocurre con las restantes unidades de electrodos de membrana 1.2, 1.3, ... La figura 9 muestra además que los elementos mayores 3.1, 3.2,... y las juntas 6.1, 6.2, ... forman un borde continuo. Cuando se apilan los elementos tipo placa, este borde puede apoyarse en un borde de apilamiento rígido SK, véase la figura 4, de modo que los componentes del apilamiento 100 estén alineados. También es posible que los componentes mayores 3.1, 3.2, ... sobresalgan de las juntas 6.1, 6.2, ....

La Fig. 10 muestra una segunda forma de realización de las juntas, en la que las juntas 7.1, 7.2, ... ocupan solo una parte de las escotaduras A.1, A.2, ... Las juntas 7.1, 7.2, ... tienen forma de refuerzos. Cada junta en forma de refuerzo 7.x tiene, vista en la dirección de apilamiento SR, unas dimensiones mayores que la escotadura A.x en la que se encuentra la junta 7.x. El componente más grande 3.x sobresale por encima de la membrana 9.x, así como por encima de la junta 7.x. Entre la junta 7.x y el componente más pequeño 3.x se produce un hueco circunferencial.

En una configuración, la junta 7.x está unida a la membrana 9.x de la unidad de electrodos de membrana 1.x situada por encima. Preferentemente, la junta 7.x está unida a la unidad de electrodos de membrana 1.x por medio de, por ejemplo, una unión adhesiva en la región que sobresale de la membrana 9.x. La junta 7.x encaja desde arriba en una ranura circunferencial correspondiente (no mostrada) en la superficie superior del componente más grande 3.x situado por debajo. La fijación a la unidad de electrodos de membrana 1.x y el acoplamiento en la ranura del componente más grande 3.x colocan tanto la junta 7.x como la unidad de electrodos de membrana 1.x unida, en la posición correcta durante la fabricación del apilamiento de pilas de combustible 100, y posteriormente los mantienen en esa posición correcta.

En otra configuración, la junta 7.x está unida al componente más grande 3.x situado debajo y encaja en una ranura que se inserta en la superficie inferior de la membrana 9.x situada debajo en la porción que sobresale. Esta configuración también facilita la colocación de otra unidad de electrodos de membrana sobre el apilamiento 100 ya formado. La configuración de la Fig. 10 también puede llevarse a cabo sin una ranura en el componente exterior 3.x o en la membrana 9.x.

A continuación se describen varias configuraciones posibles de cómo se fabrican estas juntas 6.x, 7.x y se insertan en la escotadura A.x. Estas configuraciones pueden aplicarse tanto a la primera forma de realización (Fig. 7 a Fig. 9) como a la segunda forma de realización (Fig. 10).

En una configuración, estas juntas 6.1, 6.2, ..., 7.1, 7.2, ... se fabrican y prueban por separado de las unidades de electrodos de membrana 1.1, 1.2, ... y de las placas bipolares 2.1, 2.2, ..., por ejemplo, en forma de juntas tóricas de caucho u otro material elástico, y se introducen en las escotaduras A.1, A.2, ... después de que los elementos en forma de placa se hayan apilado para formar el apilamiento 100.

En otra configuración, las juntas 6.1, 6.2, ..., 7.1, 7.2, ... se conectan a las unidades de electrodos de membrana 1.1, 1.2, ... antes de que los elementos en forma de placa se apilen para formar el apilamiento de pilas de combustible 100. En cada caso, una unidad de electrodos de membrana 1.x junto con una junta 6.x, 7.x montada en la unidad de electrodos de membrana 1.x se coloca preferentemente en un componente más grande 3.x de forma que la junta 6.x, 7.x señale hacia abajo y rodee el componente más pequeño 4.x. Gracias a la junta 6.x, 7.x la unidad de electrodos de membrana 1.x permanece a una cierta distancia de este componente más grande 3.x. Preferentemente, se aplica desde arriba una presión sobre la unidad de electrodos de membrana 1.x para que la junta 6.x, 7.x rodee completamente el componente más pequeño 4.x situado debajo de ella y la unidad de electrodos de membrana flexible 1.x se mantenga así, dentro de ciertos límites, en la posición deseada. También es posible que una junta 6.x, 7.x esté unida de antemano a un componente más grande 3.x. El componente más grande 3.x con la junta 6.x, 7.x se coloca en la pila ya formada de tal manera que la junta 6.x, 7.x quede hacia arriba. La unidad de electrodos de membrana 1.x se coloca en el plano formado por el componente más pequeño 3.x y la junta 6.x, 7.x.

En otra configuración, las juntas 6.1, 6.2, ... se insertan posteriormente en las escotaduras A.1, A.2, ... del apilamiento de pilas de combustible 100 ya estratificado, introduciendo un material de sellado líquido en las escotaduras A.1, A.2, ..., por ejemplo, mediante moldeo por inyección, y se enfría y con ello solidifica. Por ejemplo, el material de sellado se calienta y se inyecta en las escotaduras A.1, A.2, ... o se presiona en ellas o se inserta de otra manera, por ejemplo del mismo modo que una espuma de construcción. El material de sellado solidificado forma las juntas 6.1, 6.2, ...

A continuación se presenta un esquema de una forma de realización de cómo proceder en el proceso de fabricación para formar el apilamiento de pilas de combustible 100 con las unidades de electrodos de membrana 1.1, 1.2, ..., las placas bipolares 2.1, 2.2, ... y las juntas 6.1, 6.2, ..., 7.1, 7.2, ... para obtener un conjunto de pila de combustible 90 listo para su uso, construido tal como se muestra en la Fig. 1. El apilamiento 100 se genera en la placa inferior 51. En la parte superior de el apilamiento 100, la placa superior 50 se coloca y se presiona hacia abajo para que el apilamiento 100 se comprima. En una configuración, las juntas se insertan ahora en las escotaduras. Las barras verticales 40, 41, ... se fijan entonces en al menos una superficie lateral de el apilamiento 100 y se conectan preferentemente a las placas bipolares salientes 2.1, 2.2, ... conectados, por ejemplo, con clips y/o muelles. Estas barras están conectadas a contactos eléctricos, preferentemente dispuestos en la placa de cubierta 50, que suministran la corriente eléctrica.

Preferentemente, se aplica a continuación un agente aislante a las cuatro superficies laterales de la pila comprimida 100 para aislar eléctricamente dichas superficies laterales de la cubierta 60. Un agente aislante de este tipo puede ser líquido y rociarse o aplicarse con pincel sobre las superficies laterales. También es posible colocar el apilamiento 100 en un baño de inmersión y aplicar el agente aislante en este baño de inmersión. El agente aislante ayuda preferentemente a impregnar la pila comprimida 100, y puede ser a base de una resina. Entonces, se coloca el revestimiento 60 alrededor de la pila comprimida e impregnada 100 y alrededor de las barras conductoras 40, 41,.... . Dado que las superficies laterales están aisladas eléctricamente por medio del agente aislante, este revestimiento 60 puede estar hecho de un material eléctricamente conductor, como por ejemplo, aluminio.

Símbolos de referencia

1.1, 1.2, ...	Unidades de electrodos de membrana, cada una de las cuales comprende un ánodo 10.o.1, ..., un cátodo 10.u.1, ... y una membrana 9.1, 9.2, ... que tiene una menor rigidez a la flexión que el ánodo y el cátodo y sobresale por encima del ánodo y el cátodo
2.1, 2.2, ...	Placas bipolares, cada una de ellas con un componente más grande 3.1, 3.2, ... y un componente más pequeño 4.1, 4.2, ..., y tienen una mayor rigidez a la flexión que las membranas 9.1, 9.2, ...
3.1, 3.2, ...	Componentes más grandes de las placas bipolares 2.1, 2.2, ..., están situados por encima de las membranas 9.1, 9.2, ... por encima
4.1, 4.2, ...	Componentes más pequeños de las placas bipolares 2.1, 2.2, ..., sobre las cuales sobresalen las membranas 9. 1, 9.2, ...
6.1, 6.2, ...	Primera forma de realización de juntas entre las unidades de electrodos de membrana 1.1, 1.2, ... y los componentes mayores 3.1, 3.2, ..., ocupan la totalidad de las escotaduras A.1, A.2, ...
7.1, 7.2, ...	Segunda forma de realización de juntas entre las unidades de electrodos de membrana 1.1, 1.2, ... y los componentes mayores 3.1, 3.2, ..., tienen la forma de refuerzos en las escotaduras A.1, A.2, ...
9.1, 9.2, ...	Membrana de una unidad de electrodos de membrana 1.1, 1.2, ..., está en cada dirección a través del ánodo y del cátodo
10.u.1, 10.o.1, ...	Zonas en las que una unidad de electrodos de membrana 1.1, 1.2, ... interactúa electroquímicamente con las dos placas bipolares adyacentes 2.1, 2.2, ...
20,21	Ranura en la placa base 51, usada para posicionar la placa base 51 y/o alinear el apilamiento de pilas de combustible 100
22	Ranura en una unidad de electrodos de membrana 1.1, 1.2, ...
40, 41	Barras conductoras de cobre, se extienden paralelas a la dirección de apilamiento SR, entran en contacto con las placas bipolares 2.1, 2.2, ...
50	Placa de cubierta sobre el apilamiento de pilas de combustible 100, preferentemente hecha de acero
51	Placa base bajo el apilamiento de pilas de combustible 100, preferentemente hecha de acero
60	Revestimiento lateral, rodea el apilamiento de pilas de combustible 100 por cuatro lados
90	Disposición de pila de combustible, que incluye el apilamiento de pilas de combustible 100, la cubierta lateral 60, las placas de cubierta 50, 51 y las barras colectoras 40, 41
100	Apilamiento de pilas de combustible, que comprende las unidades de electrodos de membrana 1.1, 1.2, ..., las placas bipolares 2.1, 2.2, ..., las placas de cubierta 50 y 51, y el revestimiento lateral
A.1, A.2, ...	Escotadura entre una unidad de electrodos de membrana 1.1, 1.2, ... y un componente adyacente de mayor tamaño distanciado 3.1, 3.2, ..., puede estar parcial o totalmente lleno con una junta 6.1, 6.2, ..., 7.1, 7.2, ...
SK	Borde de apilamiento al que se alinean los componentes mayores 3.1, 3.2, ... del apilamiento de pilas de combustible 100 durante el apilamiento
SR	Dirección de apilamiento en la que se extiende el apilamiento de pilas de combustible 100
Ü	Zona en la que una membrana 9. 1, 9. 2,... sobresale sobre el cátodo y el ánodo

**REIVINDICACIONES**

1. Apilamiento de pilas de combustible (100) que comprende  
 5       - una sucesión de unidades de electrodos de membrana en forma de placa (1.1, 1.2, ...) y  
       - una sucesión de placas bipolares (2.1, 2.2, ...),  
 en el que cada unidad de electrodos de membrana (1.1, 1.2, ...) comprende  
       - un cátodo (10.u.1),  
       - un ánodo (10.o.1) y  
       - una membrana entre el cátodo (10.u.1) y el ánodo (10.o.1)  
 10   en el que cada unidad de electrodos de membrana (1.1, 1.2,...) está dispuesta entre dos placas bipolares (2.1, 2.2, ...)  
 en el que cada placa bipolar (2.1, 2.2, ...)  
       - es eléctricamente conductora y  
       - está conectada eléctricamente a una unidad de electrodos de membrana (1.1, 1.2, ...) y  
 15   en el que el apilamiento de pilas de combustible (100) se extiende en una dirección de apilamiento (SR), y  
 en el que cada unidad de electrodos de membrana (1.1, 1.2, ...) y cada placa bipolar (2.1, 2.2, ...) se extiende en un  
 plano de extensión respectivo que es perpendicular a la dirección de apilamiento (SR), y  
 la respectiva membrana (9.1, 9.2, ...) de cada unidad de electrodos de membrana (1.1, 1.2, ...) en el plano de extensión  
 sobresale tanto por encima del ánodo (10.o.1) como por encima del cátodo (10.u.1),  
**caracterizado porque**  
 20   cada placa bipolar (2.1, 2.2, ...) sobresale en al menos una dirección en el plano de extensión sobre la respectiva  
 membrana (9.1, 9.2, ...) de cada unidad de electrodos de membrana adyacente (1.1, 1.2, ...),  
 en donde la respectiva rigidez a la flexión de cada placa bipolar (2.1, 2.2, ...) es mayor que la rigidez a la flexión de la  
 membrana (9.1, 9.2, ...) de una unidad de electrodos de membrana (1.1, 1.2, ...).
- 25   2. Apilamiento de pilas de combustible (100) según la reivindicación 1,  
**caracterizado porque**  
 cada placa bipolar (2.1, 2.2, ...), en la dirección perpendicular a la dirección de apilamiento (SR),  
 sobresale de la respectiva membrana (9.1, 9.2, ...) de cada unidad de electrodos de membrana adyacente (1.1, 1.2,  
 ...).
- 30   3. Apilamiento de pilas de combustible (100) según la reivindicación 1 o la reivindicación 2,  
**caracterizado porque**  
 cada placa bipolar (2.1, 2.2, ...) comprende  
       - un componente más pequeño en forma de placa (4.1, 4.2, ...) y  
 35       - un componente más grande en forma de placa (3.1, 3.2, ...)  
 en el que el componente más pequeño (4.1, 4.2, ...) es contiguo de manera plana al componente más grande (3.1,  
 3.2, ...) de la placa bipolar (2.1, 2.2, ...),  
 en el que cada unidad de electrodos de membrana (1.1, 1.2, ...) está dispuesta entre  
       - el componente más pequeño (4.1, 4.2, ...) de una primera placa bipolar (2.1, 2.2, ...) y  
 40       - el componente más grande (3.1, 3.2, ...) de una segunda placa bipolar (2.1, 2.2, ...),  
 en el que el componente más pequeño (4.1, 4.2, ...) y el componente más grande (3.1, 3.2, ...) de cada placa bipolar  
 (2.1, 2.2, ...) se extiende en un respectivo plano de extensión que es perpendicular a la dirección de apilamiento (SR),  
 en el que la respectiva rigidez a la flexión de cada componente más pequeño (4.1, 4.2, ...) y la de cada componente  
 45   más grande (3.1, 3.2, ...) son mayores que la rigidez a la flexión de una unidad de electrodos de membrana (1.1, 1.2,  
 ...),  
 en el que cada uno de los dos componentes (3.1, 3.2, ..., 4.1, 4.2, ...) de una placa bipolar (2.1, 2.2, ...)  
       - es eléctricamente conductor y  
       - está conectado eléctricamente a la respectiva unidad de electrodos de membrana adyacente (1.1, 1.2, ...)  
       y  
 50   en el que el componente más grande (3.1, 3.2, ...) de una placa bipolar (2.1, 2.2, ...) sobresale en al menos una  
 dirección perpendicular a la dirección de apilamiento (SR)  
 sobre el componente más pequeño (4.1, 4.2, ...) de esta placa bipolar (2.1, 2.2, ...) y sobre la respectiva membrana  
 (9.1, 9.2, ...) de cada unidad de electrodos de membrana adyacente (1.1, 1.2, ...).
- 55   4. Apilamiento de pilas de combustible (100) según la reivindicación 3,  
**caracterizado porque**  
 cada unidad de electrodos de membrana (1.1, 1.2, ...), en la dirección perpendicular a la dirección de apilamiento (SR),  
 sobresale por encima del componente adyacente más pequeño (4.1, 4.2, ...) de una placa bipolar (2.1, 2.2, ...)  
 de tal manera que se forma una escotadura (A.1, A.2, ...) entre el componente más grande adyacente (3.1, 3.2, ...) y  
 60   la unidad de electrodos de membrana adyacente (1.1, 1.2, ...),  
 que rodea toda la superficie periférica del componente más pequeño (4.1, 4.2, ...).
5. Apilamiento de pilas de combustible (100) según la reivindicación 4,  
**caracterizado porque**  
 65   en esta escotadura (A.1, A.2, ...) se recibe una junta eléctricamente aislante (6.1, 6.2, ..., 7.1, 7.2, ...).

- 5 6. Apilamiento de pilas de combustible (100) según la reivindicación 5,  
**caracterizado porque**  
 cada junta (6.1, 6.2, ..., 7.1, 7.2, ...) está unida de manera plana a una unidad de electrodos de membrana adyacente (1.1, 1.2, ...).
7. Apilamiento de pilas de combustible (100) según la reivindicación 5 o la reivindicación 6,  
**caracterizado porque**  
 la junta (6.1, 6.2, ..., 7.1, 7.2, ...) y la membrana (9.1, 9.2, ...) de la unidad de electrodos de membrana adyacente (1.1, 1.2, ...) forman un único componente.
8. Apilamiento de pilas de combustible (100) según una de las reivindicaciones 5 a 7,  
**caracterizado porque**  
 la junta (7.1, 7.2, ...) se encaja en una ranura de la superficie del componente más grande (3.1, 3.2, ...) adyacente a la escotadura (A.1, A.2, ...).
9. Apilamiento de pilas de combustible (100) según una de las reivindicaciones 5 a 8,  
**caracterizado porque**  
 la junta (6.1, 6.2, ...) rodea toda la superficie periférica del componente más pequeño (4.1, 4.2, ...).
10. Apilamiento de pilas de combustible (100) según la reivindicación 9,  
**caracterizado porque**  
 la junta (6.1, 6.2, ...) está conectada de forma plana a toda la superficie circunferencial del componente más pequeño (4.1, 4.2, ...).
11. Apilamiento de pilas de combustible (100) según una de las reivindicaciones 5 a 10,  
**caracterizado porque**  
 la junta (6.1, 6.2, ...) en al menos una dirección, que es perpendicular a la dirección de apilado (SR), está enrasada con el componente más grande adyacente (3.1, 3.2, ...).
12. Apilamiento de pilas de combustible (100) según la reivindicación 11,  
**caracterizado porque**  
 todas las juntas (6.1, 6.2, ...) y todos los componentes más grandes (3.1, 3.2, ...) están enrasados en esta dirección de manera que se forma un borde continuo.
13. Apilamiento de pilas de combustible (100) según una de las reivindicaciones 5 a 12,  
**caracterizado porque**  
 la junta (6.1, 6.2, ..., 7.1, 7.2, ...) en la escotadura (A.1, A.2, ...)
  - entra en contacto con la membrana (9.1, 9.2, ...) del o de cada unidad de electrodos de membrana adyacente (1.1, 1.2, ...) y
  - presenta una distancia a cada zona de interacción (10.o.1, 10.u.1).
14. Apilamiento de pilas de combustible (100) según una de las reivindicaciones anteriores,  
**caracterizado porque**  
 entre una placa bipolar (2.1, 2.2, ...) y cada unidad de electrodos de membrana adyacente (1.1, 1.2, ...) hay dispuesta una capa de difusión permeable a los fluidos.
15. Apilamiento de pilas de combustible (100) según una de las reivindicaciones anteriores,  
**caracterizado porque**  
 el apilamiento de pilas de combustible (100) comprende además al menos un conductor de corriente (40, 41) que es
  - es eléctricamente conductor y
  - se extiende en una dirección paralela a la dirección de apilamiento (SR),
 en el que cada placa bipolar (2.1, 2.2, ...) está conectada eléctricamente al o al menos a un conductor de corriente (40, 41).
16. Una disposición de pilas de combustible (90) que comprende un apilamiento de pilas de combustible (100) según una de las reivindicaciones anteriores, un recubrimiento (50, 51, 60) alrededor del apilamiento de pilas de combustible (100), y al menos un conductor de corriente (40, 41) que
  - es eléctricamente conductor y
  - se extiende en una dirección paralela a la dirección de apilamiento (SR),
 en la que cada placa bipolar (2.1, 2.2, ...) está conectada eléctricamente al o al menos a un conductor de corriente (40, 41), y en la que el o los conductores de corriente se encuentran entre el apilamiento de pilas de combustible (100) y el revestimiento (50, 51, 60).

17. Procedimiento de fabricación de un apilamiento de pilas de combustible (100) con los pasos siguientes:  
Proporcionar una sucesión de unidades de electrodos de membrana en forma de placa (1.1, 1.2, ...) en donde cada unidad de electrodos de membrana (1.1, 1.2, ...) comprende

- 5
- un cátodo (10.u.1),
  - un ánodo (10.o.1) y
  - una membrana entre el cátodo (10.u.1) y el ánodo (10.o.1),

Proporcionar una sucesión de placas bipolares (2.1, 2.2, ...) siendo cada placa bipolar (2.1, 2.2, ...) eléctricamente conductora, siendo la respectiva rigidez a la flexión de cada placa bipolar (2.1, 2.2, ...) mayor que la rigidez a la flexión de la membrana (9.1, 9.2, ...) de una unidad de electrodos de membrana (1.1, 1.2, ...);

- 10 Disponer cada unidad de electrodos de membrana (1.1, 1.2, ...) entre dos placas bipolares (2.1, 2.2, ...); de forma que cada placa bipolar esté conectada eléctricamente a una unidad de electrodos de membrana (1.1, 1.2, ...) y se forma un apilamiento de pilas de combustible (100) que se extiende en una dirección de apilamiento (SR) y en donde cada unidad de electrodos de membrana (1.1, 1.2, ...) y cada placa bipolar (2.1, 2.2, ...) se extienden cada una en un plano de extensión respectivo que es perpendicular a la dirección de apilamiento (SR) y de tal manera que la respectiva membrana (9.1, 9.2, ...) de cada unidad de electrodos de membrana (1.1, 1.2, ...) se extiende en el plano de extensión tanto sobre el ánodo (10.o.1) así como sobre el cátodo (10.u.1) y de manera que cada placa bipolar (2.1, 2.2, ...) sobresale en al menos una dirección en el plano de extensión sobre la respectiva membrana (9.1, 9.2, ...) de cada unidad de electrodos de membrana adyacente (1.1, 1.2, ...).
- 15
- 20

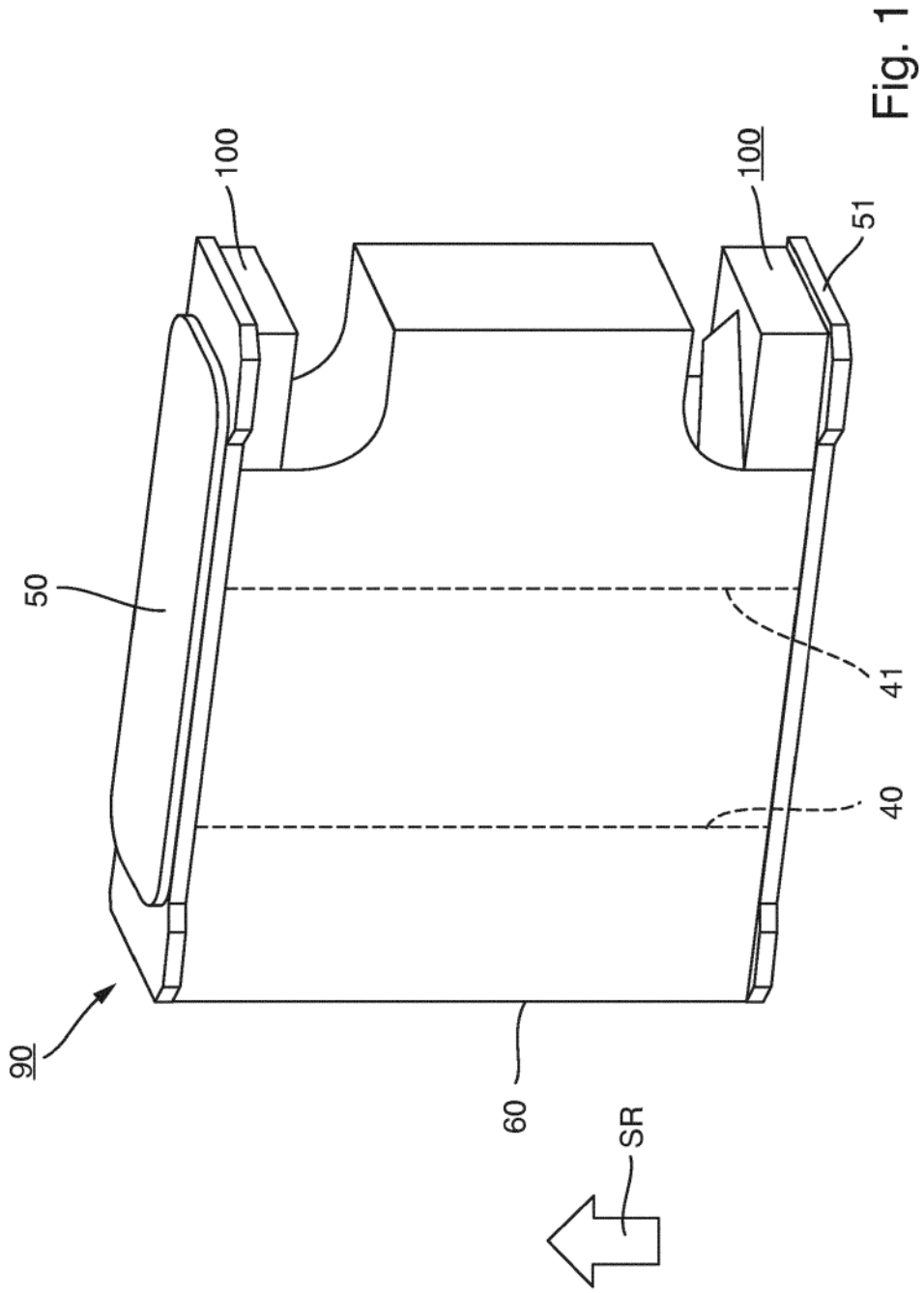


Fig. 1

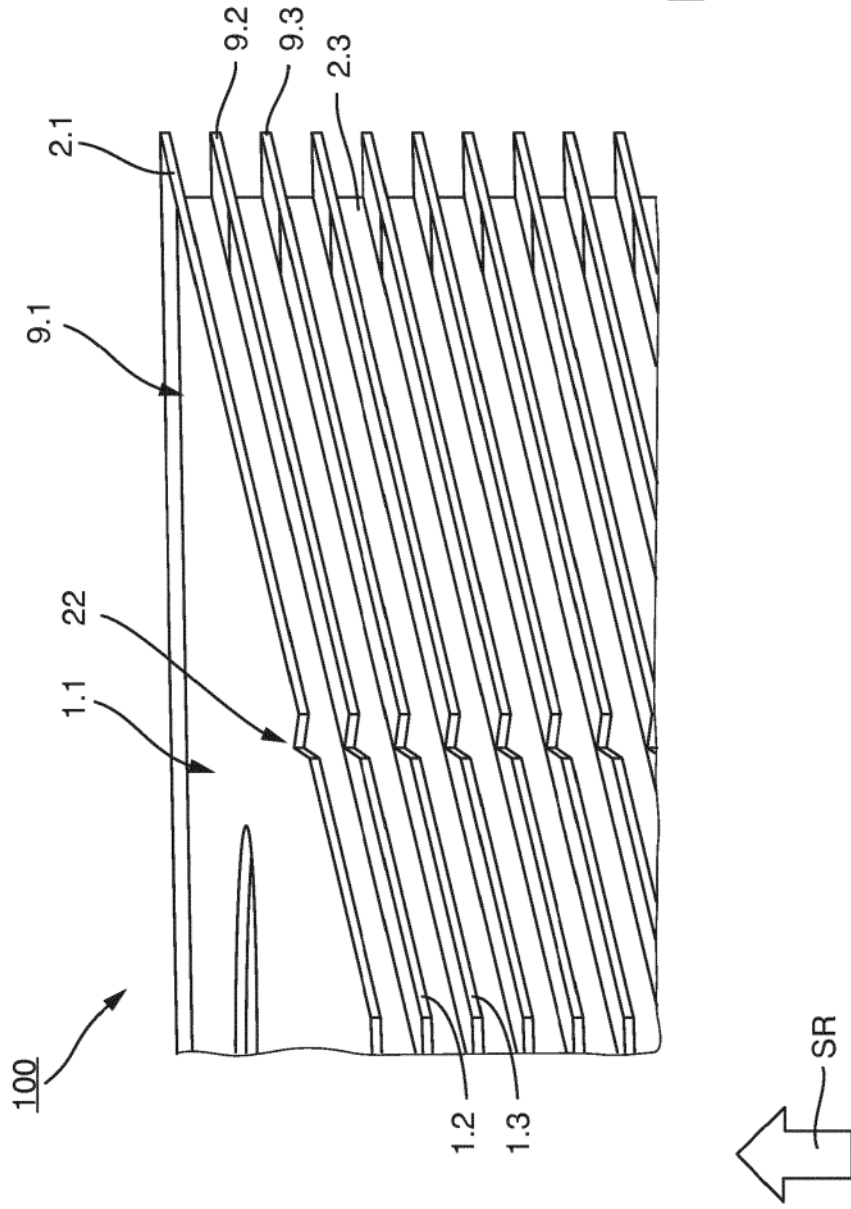


Fig. 2

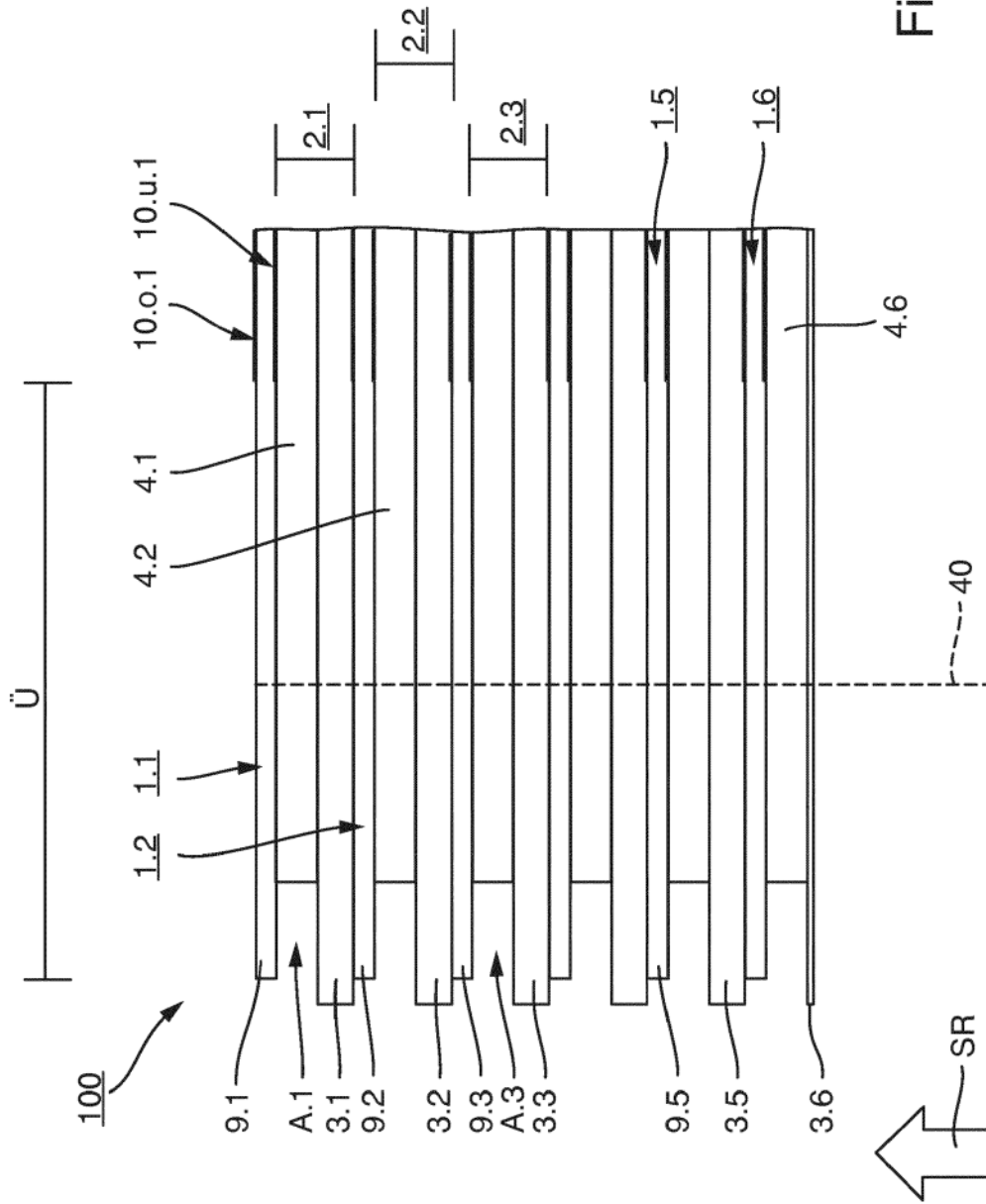


Fig. 3

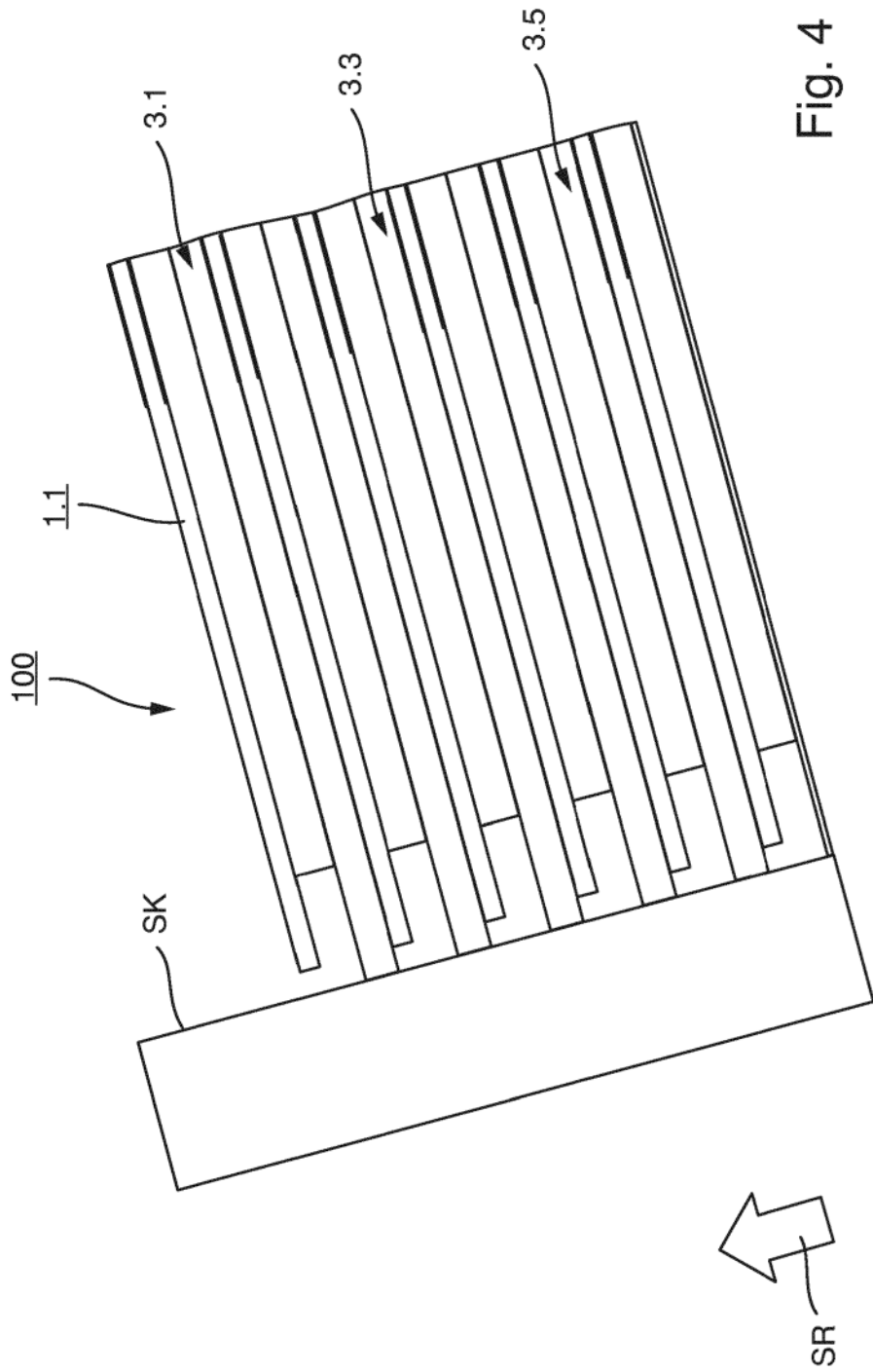
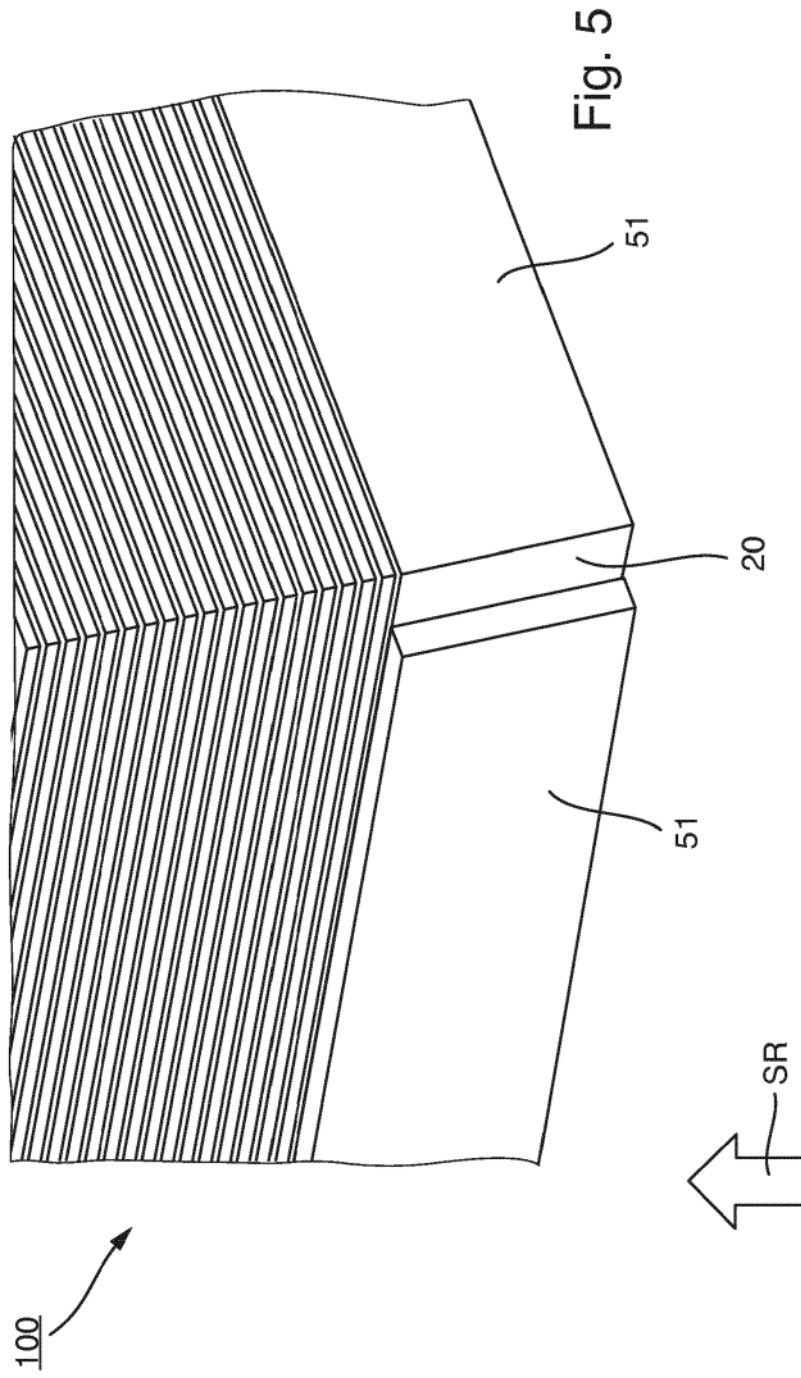
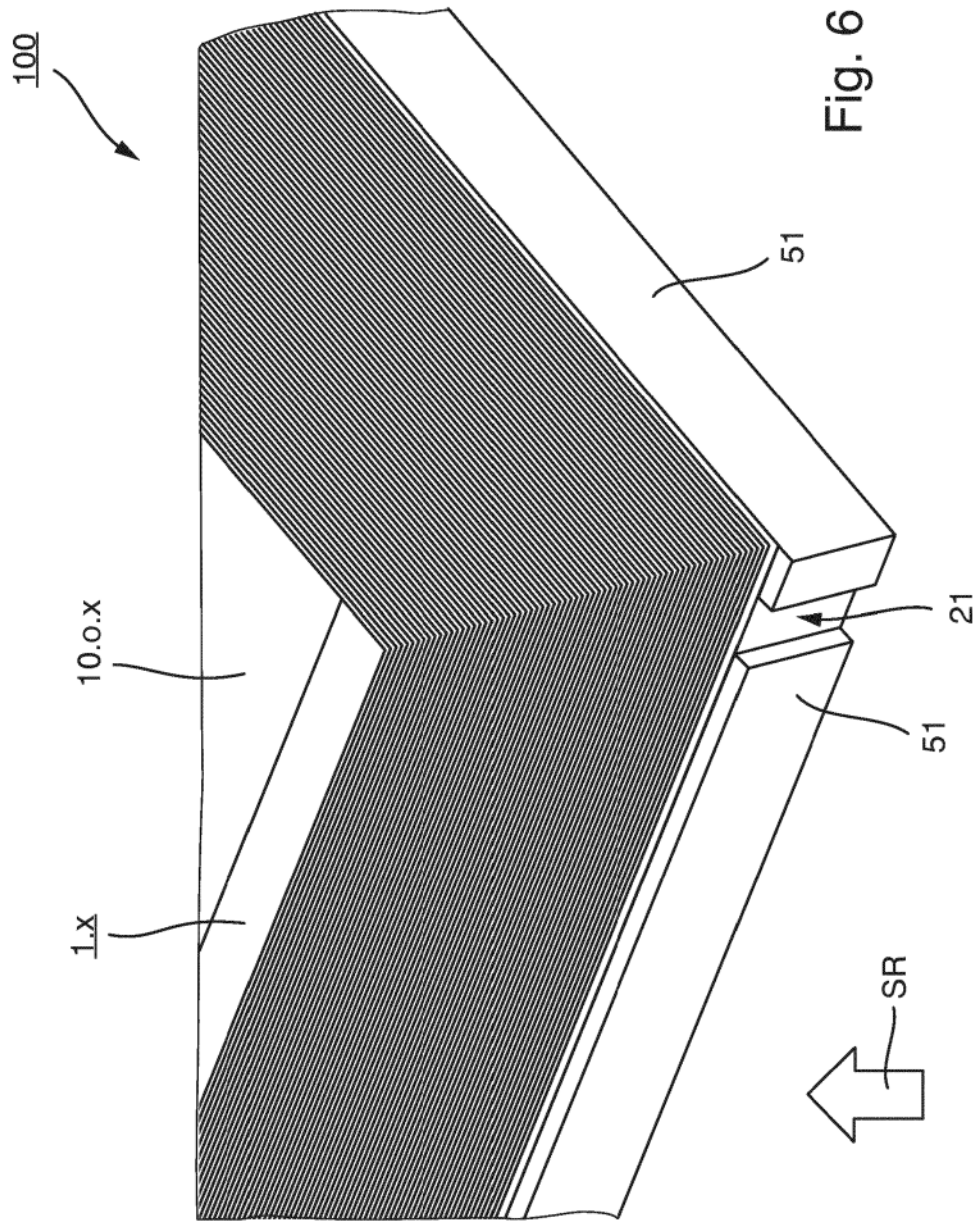


Fig. 4





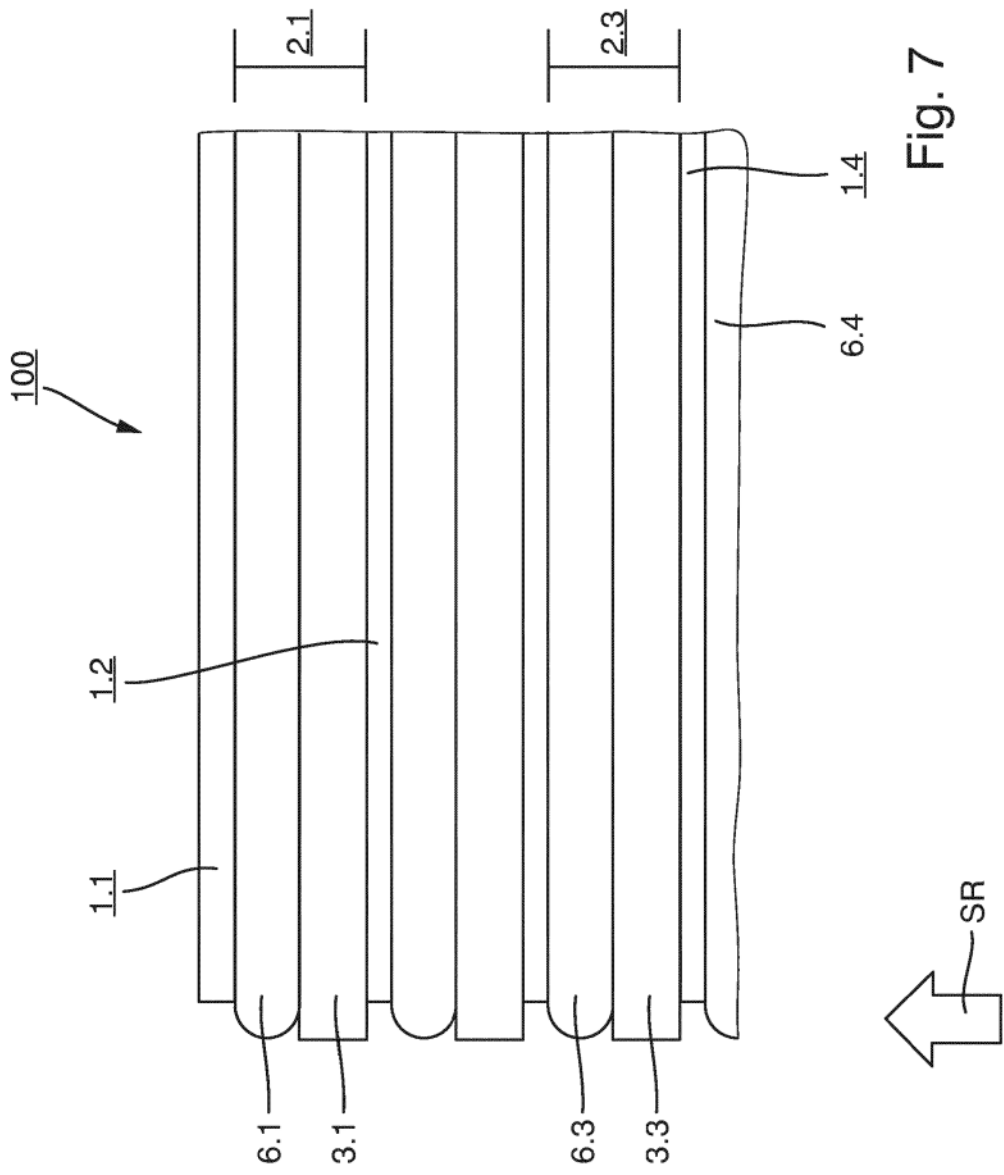


Fig. 7

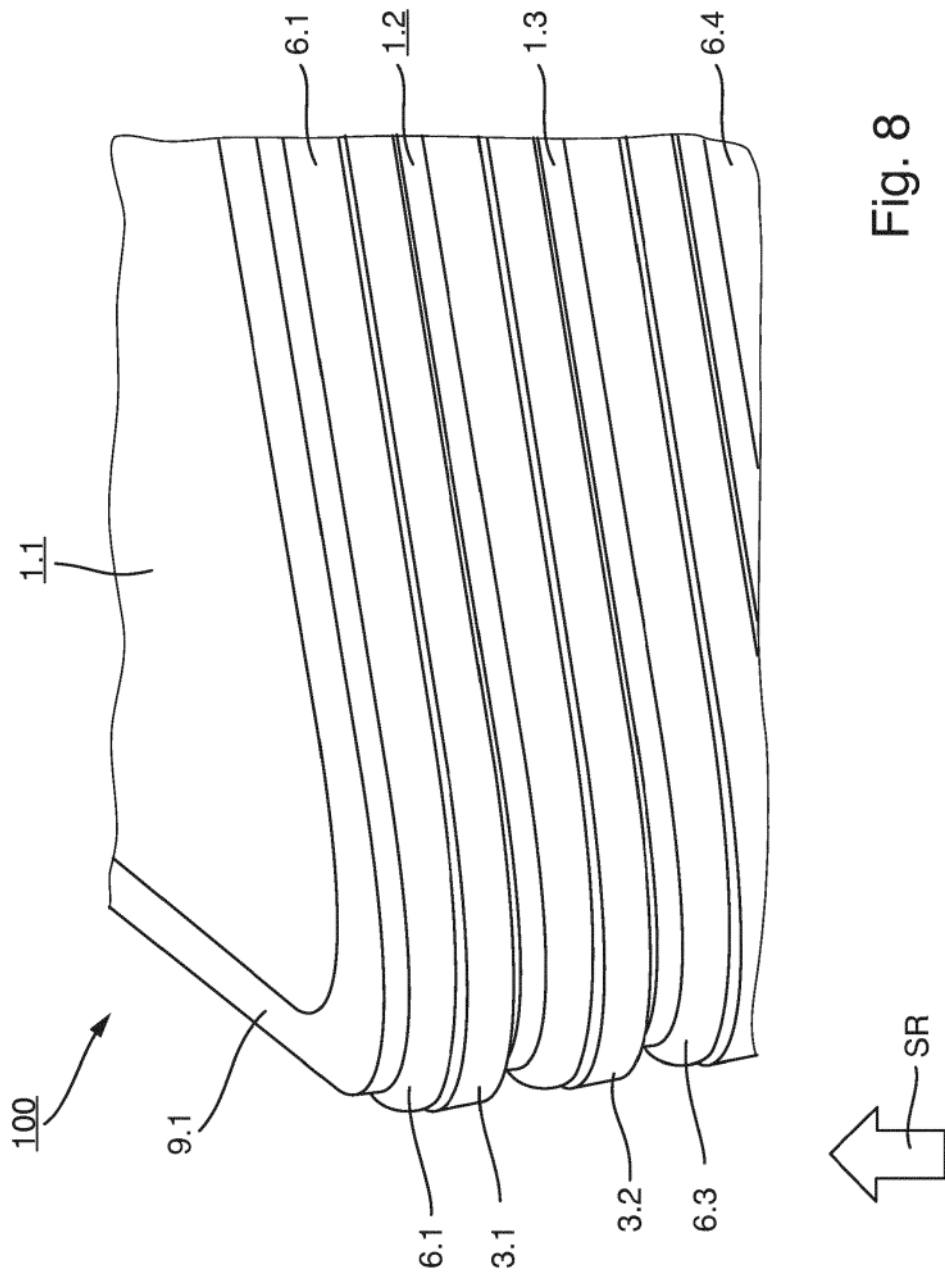


Fig. 8

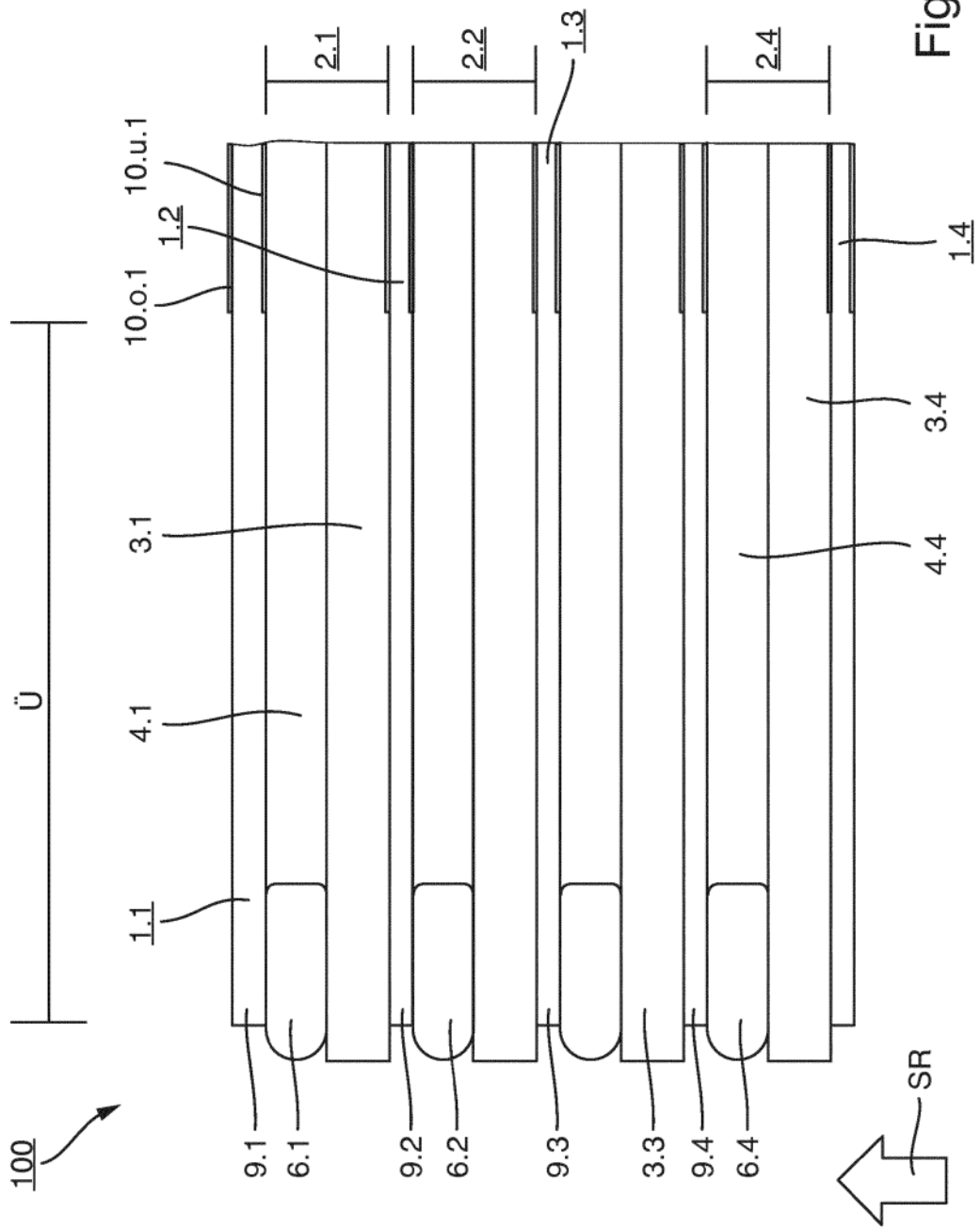


Fig. 9

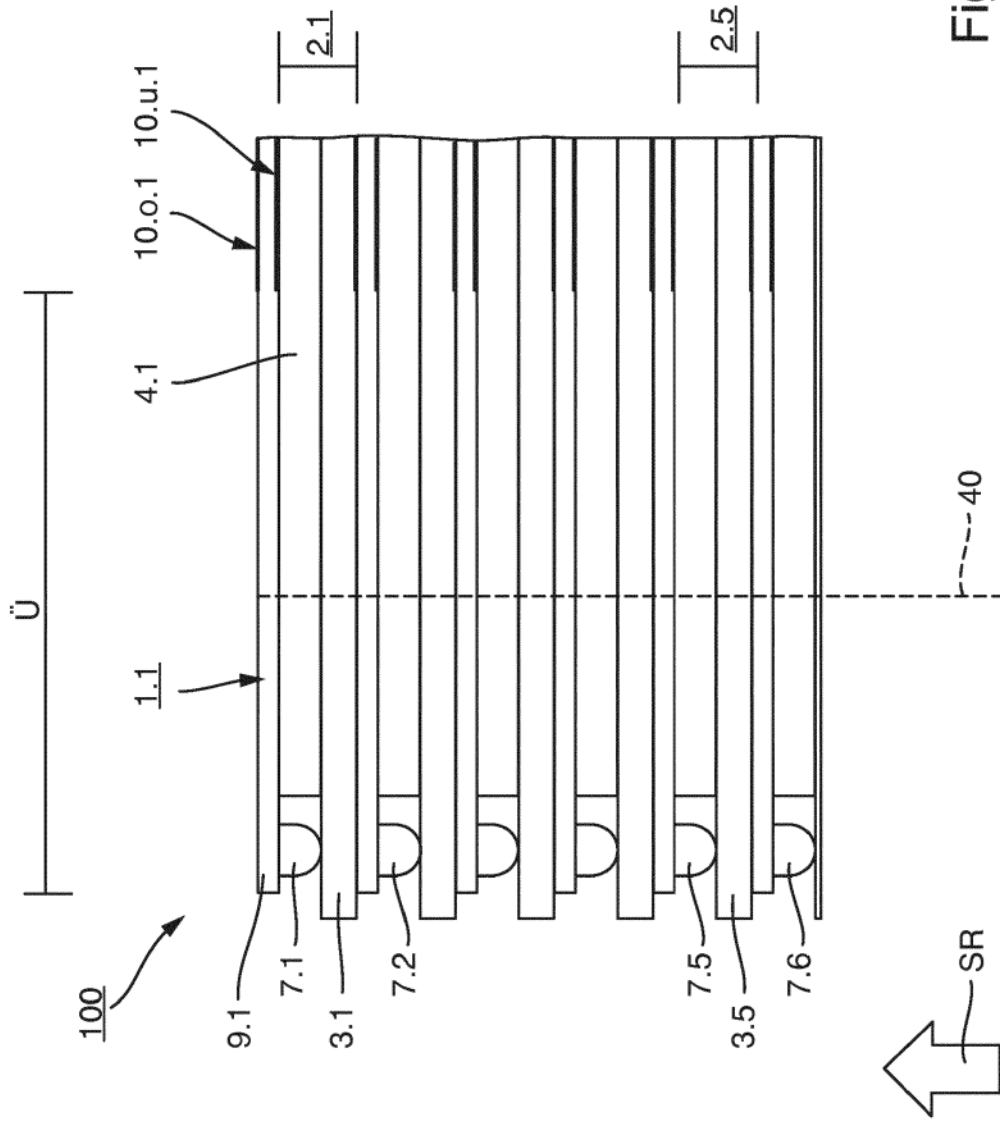


Fig. 10