

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 648 691**

51 Int. Cl.:

**H01M 4/86** (2006.01)

**H01M 8/0263** (2006.01)

**H01M 8/18** (2006.01)

**H01M 8/20** (2006.01)

12

## TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **09.12.2014 PCT/JP2014/082498**

87 Fecha y número de publicación internacional: **30.07.2015 WO15111313**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **09.12.2014 E 14879731 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **27.09.2017 EP 3098888**

54 Título: **Batería de flujo redox**

30 Prioridad:

**24.01.2014 JP 2014011897**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**05.01.2018**

73 Titular/es:

**SUMITOMO ELECTRIC INDUSTRIES, LTD.  
(100.0%)**

**5-33 Kitahama 4-chome Chuo-ku  
Osaka-shi, Osaka 541-0041, JP**

72 Inventor/es:

**ITOU, KENICHI;  
HANAFUSA, KEI;  
OKUMURA, SOUICHIROU y  
TERAO, TAKEMI**

74 Agente/Representante:

**UNGRÍA LÓPEZ, Javier**

**ES 2 648 691 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

Batería de flujo redox

### 5 **Campo técnico**

La presente invención se refiere a una batería de flujo redox. En particular, la presente invención se refiere a una batería de flujo redox de tipo flujo de electrolito que tiene resistencia interna reducida.

### 10 **Antecedentes de la técnica**

Baterías de flujo redox (en lo sucesivo denominadas como "baterías RF") son baterías que realizan carga y descarga usando la diferencia en potencial de oxidación-reducción entre iones contenidos en un electrolito de electrodo positivo e iones contenidos en un electrolito de electrodo negativo. Como se ilustra en la Figura 23, una batería RF 1 incluye una célula de batería 100 que se separa en una célula de electrodo positivo 102 y una célula de electrodo negativo 103 mediante una membrana 101 que permite que penetren iones de hidrógeno (protones). La célula de electrodo positivo 102 contiene un electrodo positivo 104 y se conecta a través de conductos 108 y 110 a un tanque de electrolito de electrodo positivo 106 que almacena un electrolito de electrodo positivo. De forma similar, la célula de electrodo negativo 103 contiene un electrodo negativo 105 y se conecta a través de conductos 109 y 111 a un tanque de electrolito de electrodo negativo 107 que almacena un electrolito de electrodo negativo. Los electrolitos almacenados en los tanques 106 y 107 se circulan dentro de las células de electrodo 102 y 103 mediante bombas 112 y 113, respectivamente, durante carga y descarga.

Como se ilustra en el dibujo inferior de la Figura 24, la celda de batería 100 se forma habitualmente dentro de una estructura denominada como una pila de células 200. Como se ilustra en el dibujo superior de la Figura 24, la pila de células 200 tiene una estructura en la que se apilan un marco de célula 120 que incluye una placa bipolar 121 integrada en un marco 122 con forma como un marco de fotos, un electrodo positivo 104, una membrana 101 y un electrodo negativo 105 en ese orden. En esta estructura, se forma una célula de batería 100 entre las placas bipolares 121 del marco de células 120 adyacente.

En la pila de células 200, el flujo de los electrolitos a través de la celda de batería 100 se realiza usando colectores de suministro de líquido 123 y 124 y colectores de descarga de líquido 125 y 126 que se proporcionan en el marco 122. El electrolito de electrodo positivo se suministra desde el colector de suministro de líquido 123 a través de una ranura formada en un lado de superficie (lado frontal de la lámina) del marco 122 hasta el electrodo positivo 104 dispuesto en el un lado de superficie de la placa bipolar 121. El electrolito de electrodo positivo se descarga a través de una ranura formada en la parte superior del marco 122 al colector de descarga de líquido 125. De forma similar, el electrolito de electrodo negativo se suministra desde el colector de suministro de líquido 124 a través de una ranura formada en el otro lado de superficie (parte trasera de la lámina) del marco 122 al electrodo negativo 105 dispuesto en el otro lado de superficie de la placa bipolar 121. El electrolito de electrodo negativo se descarga a través de una ranura formada en la parte superior del marco 122 al colector de descarga de líquido 126.

Cada uno de los electrodos 104 y 105 que forman la celda de batería 100 se forman a menudo de un material conductivo poroso de forma que un flujo de un electrolito que es un fluido no bloquea un flujo del electrolito que fluye desde el lado de suministro de líquido hasta el lado de descarga de líquido. Por ejemplo, se usa un fieltro de carbono o similar (por ejemplo, PTL 1).

### **Lista de citas**

#### **Bibliografía de patente**

50 PTL 1: Publicación de Solicitud de Patente no examinada de Japón N.º 2002-367659 divulga un electrodo que puede comprender una capa anisótropa. El documento WO2012/142143 divulga un electrodo que comprende una capa anisótropa en la que un ionómero puede distribuirse de forma no uniforme a lo largo de una longitud de un electrodo.

### 55 **Sumario de la invención**

#### **Problema técnico**

60 Una reacción de carga-descarga de una batería RF se realiza permitiendo que un electrolito fluya a través de un electrodo formado de un fieltro de carbono o similar. En un caso de este tipo, un estado de flujo del electrolito, por ejemplo, uniformidad del flujo del electrolito a través del electrodo afecta la resistencia interna de la batería RF. Sin embargo, en baterías RF existentes, no se ha llevado a cabo un número suficiente de estudios sobre la reducción en la resistencia interna con adecuada consideración del estado de flujo de un electrolito a través de un electrodo.

65 Por consiguiente, un objeto de la presente invención es proporcionar una batería de flujo redox que tiene resistencia interna reducida.

## Solución al problema

Una batería de flujo redox de acuerdo con la presente invención incluye una membrana, una placa bipolar, un electrodo dispuesto entre la membrana y la placa bipolar, un puerto de entrada para suministrar un electrolito al electrodo y un puerto de salida para descargar el electrolito del electrodo y realiza una reacción de carga-descarga permitiendo que el electrolito fluya en el electrodo. El electrodo incluye una capa de electrodo anisótropo que tiene diferentes permeabilidades entre una dirección A1 en un plano del electrodo y una dirección A2 ortogonal a la dirección A1 en el plano del electrodo. En la capa de electrodo anisótropo, una permeabilidad K1 en la dirección A1 es más grande que una permeabilidad K2 en la dirección A2. El electrodo se dispone de tal forma que la dirección A1 es sustancialmente paralela a una dirección de flujo principal del electrolito en el electrodo, estando la dirección de flujo principal determinada sobre la base de una posición relacional entre el puerto de entrada y el puerto de salida y una forma de una superficie de la placa bipolar en el lado de electrodo.

## Efectos ventajosos de la invención

De acuerdo con la batería RF de la presente invención, puede proporcionarse una batería RF que tiene resistencia interna reducida.

## Breve descripción de los dibujos

La Figura 1 es una vista lateral esquemática que ilustra una realización de un electrodo incluido en una batería RF de acuerdo con la Realización 1.

La Figura 2 es una vista frontal esquemática que ilustra un canal de flujo con forma de dientes de peine enfrentados entrelazados dispuesto en una placa bipolar incluida en la batería RF de acuerdo con la Realización 1.

La Figura 3 incluye vistas en sección transversal esquemáticas que ilustran un flujo de un electrolito en el canal de flujo con forma de dientes de peine enfrentados entrelazados dispuesto en una placa bipolar incluida en la batería RF de acuerdo con la Realización 1.

La Figura 4 es una vista frontal esquemática que ilustra un canal de flujo con forma de dientes de peine enfrentados no entrelazados dispuesto en una placa bipolar incluida en una batería RF de acuerdo con la Realización 3.

La Figura 5 es una vista frontal esquemática que ilustra un canal de flujo con forma serpenteante continua dispuesto en una placa bipolar incluida en una batería RF de acuerdo con la Realización 4.

La Figura 6 es una vista frontal esquemática que ilustra un canal de flujo con forma de rejilla continua dispuesto en una placa bipolar incluida en una batería RF de acuerdo con la Realización 5.

La Figura 7 es una vista frontal esquemática que ilustra un canal de flujo con forma de línea discontinua dispuesto en una placa bipolar incluida en una batería RF de acuerdo con la Realización 6.

La Figura 8 es una vista esquemática que muestra una distribución de velocidad de flujo en una dirección de flujo principal (dirección X) en el Ejemplo de prueba 1-1.

La Figura 9 es una vista esquemática que muestra una distribución de velocidad de flujo en una dirección de flujo principal (dirección X) en el Ejemplo de prueba 1-2.

La Figura 10 es una vista esquemática que muestra una distribución de velocidad de flujo en una dirección de flujo principal (dirección X) en el Ejemplo de prueba 1-3.

La Figura 11 es una vista esquemática que muestra una distribución de velocidad de flujo en una dirección de flujo principal (dirección X) en el Ejemplo de prueba 1-4.

La Figura 12 es una vista esquemática que muestra una distribución de velocidad de flujo en una dirección de flujo principal (dirección X) en el Ejemplo de prueba 1-5.

La Figura 13 es una vista esquemática que muestra una distribución de velocidad de flujo en una dirección de flujo principal (dirección X) en el Ejemplo de prueba 1-6.

La Figura 14 es una vista esquemática que muestra una distribución de velocidad de flujo en una dirección de flujo principal (dirección X) en el Ejemplo de prueba 2-1.

La Figura 15 es una vista esquemática que muestra una distribución de velocidad de flujo en una dirección de flujo principal (dirección X) en el Ejemplo de prueba 2-2.

La Figura 16 es una vista esquemática que muestra una distribución de velocidad de flujo en una dirección de flujo principal (dirección X) en el Ejemplo de prueba 2-3.

La Figura 17 es una vista esquemática que muestra una distribución de velocidad de flujo en una dirección de flujo principal (dirección X) en el Ejemplo de prueba 2-4.

La Figura 18 es una vista esquemática que muestra una distribución de velocidad de flujo en una dirección de flujo principal (dirección X) en el Ejemplo de prueba 2-5.

La Figura 19 es una vista esquemática que muestra una distribución de velocidad de flujo en una dirección de flujo principal (dirección X) en el Ejemplo de prueba 2-6.

La Figura 20 es una vista esquemática que muestra una distribución de velocidad de flujo en una dirección de flujo principal (dirección X) en el Ejemplo de prueba 2-7.

La Figura 21 es una vista esquemática que muestra una distribución de velocidad de flujo en una dirección de flujo principal (dirección X) en el Ejemplo de prueba 2-8.

La Figura 22 es una vista estructural esquemática de un sistema de medición de pérdida de presión usado en la

medición de permeabilidad.

La Figura 23 es una vista principal esquemática de una batería RF.

La Figura 24 incluye vistas estructurales esquemáticas de una pila de células incluida en una batería RF.

## 5 Descripción de las realizaciones

### [Descripción de las realizaciones de la presente invención]

10 Los inventores de la presente invención llevaron a cabo varios estudios para reducir la resistencia interna de una batería RF. Durante los estudios, se descubrió que, aunque se operaron una pluralidad de baterías RF que tenían la misma estructura en las mismas condiciones, había baterías RF que tenían altas resistencias internas y baterías RF que tenían bajas resistencias internas. Los inventores de la presente invención llevaron a cabo estudios adicionales en estas baterías RF que tenían diferentes resistencias internas y descubrieron lo siguiente.

15 (A) En algunos electrodos, la capacidad de fluencia (permeabilidad) de un electrolito varía dependiendo de una dirección en la que se permite que el electrolito fluya (tales electrodos se denominan en lo sucesivo como "electrodos anisótropos").

20 (B) Una batería RF en la que una dirección específica de un electrodo anisótropo de este tipo se alinea con una dirección de flujo principal (detalles de lo que se describirá más adelante) de un electrolito en el electrodo puede tener una resistencia interna inferior que la de una batería RF que no tiene esta estructura.

La presente invención se ha hecho sobre la base de estos descubrimientos. Los contenidos de las realizaciones de la presente invención se enumerarán y describirán a continuación.

25 (1) Una batería RF de acuerdo con una realización incluye una membrana, una placa bipolar, un electrodo dispuesto entre la membrana y la placa bipolar, un puerto de entrada para suministrar un electrolito al electrodo y un puerto de salida para descargar el electrolito del electrodo y realiza una reacción de carga-descarga permitiendo que el electrolito fluya en el electrodo. El electrodo incluye una capa de electrodo anisótropo que tiene diferentes permeabilidades entre una dirección A1 en un plano del electrodo y una dirección A2 ortogonal a la dirección A1 en el plano del electrodo. En la capa de electrodo anisótropo, una permeabilidad K1 en la dirección A1 es más grande que una permeabilidad K2 en la dirección A2. El electrodo se dispone de tal forma que la dirección A1 es sustancialmente paralela a una dirección de flujo principal del electrolito en el electrodo, estando la dirección de flujo principal determinada sobre la base de una relación posicional entre el puerto de entrada y el puerto de salida y una forma de una superficie de la placa bipolar en el lado de electrodo. En una batería RF, una dirección de flujo principal de un electrolito está presente en un electrodo. El electrolito que fluye en la dirección de flujo principal se implica principalmente en una reacción de carga-descarga (en lo sucesivo puede denominarse como "reacción de batería"). Ya que la batería RF de esta realización tiene la estructura anterior, es fácil aumentar una porción donde el electrolito fluye en el electrodo en la dirección de flujo principal a una velocidad de flujo adecuada para la operación de la batería RF y disminuir una porción donde el electrolito que fluye en la dirección de flujo principal está estancado en el electrodo. Por consiguiente, una variación en la velocidad de flujo en el electrodo en la dirección de flujo principal se disminuye fácilmente. Por lo tanto, ya que la reacción de batería se realiza fácilmente uniformemente en un amplio intervalo del electrodo, puede proporcionarse una batería RF que tiene una resistencia interna reducida.

45 (2) En la batería RF de acuerdo con una realización, la permeabilidad K1 es 1,5 veces o más y 100 veces o menos que la permeabilidad K2.

50 Cuando la permeabilidad K1 es 1,5 veces o más que la permeabilidad K2, anisotropía de la capa de electrodo anisótropo es significativa y es fácil aumentar una porción donde el electrolito fluye en el electrodo en la dirección de flujo principal a una velocidad de flujo adecuada para la operación de la batería RF en comparación con el caso donde se usa un electrodo que no tiene anisotropía (en lo sucesivo denominado como "electrodo isótropo"). Cuando la permeabilidad K1 es 100 veces o menos que la permeabilidad K2, es fácil disminuir una porción donde el electrolito que fluye en la dirección de flujo principal está estancado en el electrodo. En consecuencia, de acuerdo con la batería RF de esta realización, ya que la reacción de batería se realiza fácilmente uniformemente en un amplio intervalo del electrodo, puede proporcionarse una batería RF que tiene resistencia interna reducida adicional. Adicionalmente, cuando la permeabilidad K1 es 1,5 veces o más y 100 veces o menos que la permeabilidad K2, el electrolito se introduce fácilmente en el electrodo y por lo tanto se espera que pueda reducirse una pérdida de presión del electrolito.

60 (3) En la batería RF de acuerdo con una realización, la placa bipolar incluye un canal de flujo que se dispone en la superficie en el lado de electrodo y en el que fluye el electrolito. El canal de flujo tiene una pluralidad de porciones de ranura dispuestas paralelas entre sí. La dirección de flujo principal es una dirección en la que las porciones de ranura se disponen en paralelo.

65 Cuando la placa bipolar incluye un canal de flujo que tiene una pluralidad de porciones de ranura dispuestas paralelas entre sí, el electrolito puede suministrarse fácilmente a un amplio intervalo del plano del electrodo a lo largo del canal de flujo en una pérdida de presión baja. Además, un flujo del electrolito en la dirección de flujo principal a través del electrodo se genera fácilmente entre las porciones de ranura dispuestas paralelas entre sí. Por consiguiente, se espera que la reacción de batería se realice suficientemente en el electrodo. Por lo tanto, se espera que la cantidad de una corriente de reacción se aumente fácilmente y, adicionalmente, la resistencia

interna pueda reducirse adicionalmente. Por consiguiente, la batería RF de esta realización tiene una buena eficiencia energética como una batería RF completa.

(4) En la batería RF de acuerdo con la realización de (3) anterior, el canal de flujo incluye un canal de entrada conectado al puerto de entrada y un canal de salida conectado al puerto de salida. El canal de entrada y el canal de salida incluyen cada uno las porciones de ranura. El canal de entrada y el canal de salida no se comunican entre sí y son independientes entre sí.

Cuando el canal de entrada y el canal de salida no se comunican entre sí y son independientes entre sí, se disminuye el electrolito que pasa directamente desde el puerto de entrada hasta el puerto de salida sin implicarse sustancialmente en la reacción de batería y se genera un flujo del electrolito fácilmente entre el canal de entrada y el canal de salida a través del electrodo. Por lo tanto, ya que se aumenta fácilmente la cantidad de electrolito que fluye en el electrodo en la dirección de flujo principal y se aumenta fácilmente la cantidad de una corriente de reacción, se espera que se reduzca la resistencia interna. Por consiguiente, la batería RF de esta realización tiene una buena eficiencia energética como una batería RF completa.

(5) En la batería RF de acuerdo con la realización del punto anterior (4), el canal de entrada y el canal de salida incluyen cada uno porciones de ranura que tienen una forma de dientes de peine y el canal de entrada y el canal de salida se disponen de tal forma que dientes de peine se enfrentan entre sí de una manera entrelazada.

Cuando el canal de flujo incluye dientes de peine dispuestos para enfrentarse entre sí de una manera entrelazada, se genera fácilmente un flujo del electrolito a través del electrodo en la dirección de flujo principal entre el canal de entrada y el canal de salida, en particular, entre dientes de peine adyacentes. Además, el electrolito se propaga fácilmente de manera uniforme en un amplio intervalo del electrodo bajo algunas condiciones del número de los dientes de peine y la región donde se forman los dientes de peine. Por lo tanto, el electrolito se introduce desde una región de intervalo amplio del electrodo en el electrodo y se espera que se realice una reacción de batería uniforme. Por lo tanto, se aumenta fácilmente la cantidad de una corriente de reacción y, adicionalmente, se espera que pueda reducirse la resistencia interna. Por consiguiente, la batería RF de esta realización tiene una buena eficiencia energética como una batería RF completa.

(6) En la batería RF de acuerdo con la realización de (3) anterior, el canal de flujo tiene una forma serpenteante continua que se extiende desde el puerto de entrada hasta el puerto de salida e incluye una pluralidad de porciones de ranura largas dispuestas en paralelo para ser adyacentes entre sí, y una pluralidad de porciones de ranura cortas que como alternativa conectan unos extremos o los otros extremos de las porciones de ranura largas entre sí. La dirección de flujo principal es una dirección en la que las porciones de ranura largas se disponen en paralelo.

Cuando el canal de flujo es continuo desde el puerto de entrada hasta el puerto de salida, el flujo del electrolito que fluye en el canal de flujo se vuelve estable y puede reducirse una pérdida de presión del electrolito. Cuando el canal de flujo tiene una forma serpenteante mientras que es un canal de flujo continuo de este tipo, se genera fácilmente un flujo del electrolito a través del electrodo entre las porciones de ranura largas adyacentes. El electrolito se propaga fácilmente de manera uniforme en un amplio intervalo del electrodo bajo algunas condiciones del número de las porciones de ranura largas y la región donde se forman las porciones de ranura largas. Por lo tanto, el electrolito se introduce desde una región de intervalo amplio del electrodo en el electrodo y se espera que se realice una reacción de batería uniforme. Por consiguiente, la batería RF de esta realización tiene una buena eficiencia energética en su totalidad.

(7) En la batería RF de acuerdo con la realización de (1) o (2) anterior, la forma de la superficie de la placa bipolar en el lado de electrodo es una forma de superficie plana. La dirección de flujo principal se dirige desde el lado de puerto de entrada hasta el lado de puerto de salida.

Incluso cuando la superficie de la placa bipolar en el lado de electrodo es una superficie plana que no tiene una porción de ranura, disponiendo la dirección A1 para ser sustancialmente paralela a la dirección de flujo principal, la variación en la velocidad de flujo en la dirección de flujo principal se reduce fácilmente en comparación con una batería RF que incluye una capa de electrodo anisótropo que no satisface esta relación entre las direcciones y una batería RF que incluye un electrodo isótropo. En consecuencia, la reacción de batería se realiza fácilmente uniformemente en un amplio intervalo del electrodo y puede proporcionarse una batería RF que tiene una resistencia interna reducida.

**[Descripción detallada de las realizaciones de la presente invención]**

Baterías RF de acuerdo con realizaciones se describirán ahora con referencia a los dibujos. En los dibujos, los mismos caracteres de referencia indican componentes que tienen el mismo nombre. Se concibe que la presente invención no se limita a las realizaciones, sino que se determina mediante las reivindicaciones adjuntas e incluye todas las variaciones de los significados equivalentes y se extiende a las reivindicaciones.

<Realización 1>

(Esquema de batería RF)

En la Realización 1, se hará una descripción de una batería RF que incluye un electrodo anisótropo que tiene capacidad de fluencia de un electrolito, siendo la capacidad de fluencia diferente entre una dirección longitudinal y una dirección lateral en un plano del electrodo y en la que el electrodo anisótropo se dispone de tal forma que una

dirección en la que un electrolito fluye fácilmente es paralela a una dirección de flujo principal del electrolito. La "dirección de flujo principal", que se describirá en detalle más adelante, es habitualmente una dirección hacia arriba en un plano de cada célula de electrodo. Sin embargo, cuando una pluralidad de porciones de ranura se disponen en paralelo en una placa bipolar, la dirección de flujo principal es una dirección en la que las porciones de ranura se disponen en paralelo, por ejemplo, la dirección de izquierda a derecha (dirección de anchura). Esta batería RF tiene una estructura básica común a la batería RF existente que se ha descrito con referencia a las Figuras 23 y 24. Por lo tanto, un electrodo y una placa bipolar que se refieren a la diferencia se describirán principalmente a continuación. Puntos referentes a la estructura básica se describirán con referencia a las Figuras 23 y 24.

10 (Electrodo)

El electrodo es un miembro conductor para realizar una reacción de batería como resultado de un flujo de un electrolito. Para asegurar un área de contacto suficiente con el electrolito, habitualmente se usa un material poroso. Un electrodo anisótropo  $\alpha$  usado como cada uno de los electrodos 104 y 105 que se incluyen en una batería RF de la presente realización se describirá con referencia a la Figura 1. En la Figura 1, la dirección de izquierda a derecha del dibujo se define como una anchura, la dirección de arriba a abajo del dibujo se define como una altura y una dirección desde delante hacia atrás del dibujo se define como un grosor. El electrodo anisótropo  $\alpha$  incluye una capa de electrodo anisótropo  $\alpha 1$  que tiene diferentes permeabilidades entre dos direcciones ortogonales entre sí en un plano del electrodo. La Figura 1 ilustra un electrodo anisótropo  $\alpha$  que tiene una estructura de capa única y que incluye únicamente la capa de electrodo anisótropo  $\alpha 1$ .

La anisotropía del electrodo se determina como se indica a continuación. Se miden permeabilidades K de un electrodo en dos direcciones ortogonales entre sí. Una dirección que muestra una alta permeabilidad K1 se define como una dirección A1 y una dirección que muestra una baja permeabilidad K2 se define como una dirección A2. Las permeabilidades K se miden preferentemente para una pluralidad de pares de direcciones que incluyen una pluralidad de direcciones y direcciones ortogonales a estas correspondientes direcciones. Esto es debido a que el grado de anisotropía puede ser diferentes en algunas direcciones en las que se mide la permeabilidad. En un caso de este tipo, una dirección que muestra la permeabilidad más alta se define como la dirección A1 y una dirección ortogonal a esta dirección se define como la dirección A2. Se cree que este método para determinar anisotropía es particularmente efectivo en un caso de un electrodo circular o similar. En un caso de un electrodo rectangular, habitualmente, una de la dirección de altura y la dirección de anchura es la dirección A1 y la otra dirección es la dirección A2.

Cuando las células de electrodo 102 y 103 (que forman la pila de células 200) se ensamblan usando el electrodo anisótropo  $\alpha$ , el electrodo anisótropo  $\alpha$  se dispone de tal forma que la dirección A1 que muestra una alta permeabilidad se dispone paralela a la dirección de flujo principal del electrolito. Por lo tanto, cuando la dirección de flujo principal es, por ejemplo, la dirección de anchura de cada una de las células de electrodo 102 y 103, el electrodo anisótropo  $\alpha$  se recorta de antemano de tal forma que la dirección de anchura del electrodo anisótropo rectangular  $\alpha$  es la dirección A1 que muestra una alta permeabilidad y la dirección de altura del electrodo anisótropo rectangular  $\alpha$  es la dirección A2 que muestra una baja permeabilidad. En esta realización, la dirección de anchura es la dirección A1 y la permeabilidad K1 en la dirección A1 es más grande que la permeabilidad K2 en la dirección de altura A2.

Ejemplos específicos de la capa de electrodo anisótropo incluyen fieltros de carbono, papel carbón y tejido de carbón. Algunos de estos materiales están provistos originariamente de anisotropía. Algunos de estos materiales están provistos de anisotropía, por ejemplo, tratando térmicamente material isotrópico. Un ejemplo de los materiales que están provistos originariamente de anisotropía es un tejido de carbón en el que el diámetro de fibra de la urdimbre y el diámetro de fibra de la trama son diferentes entre sí. Una capa de electrodo anisótropo puede obtenerse realizando tratamiento térmico en una capa de electrodo isotrópico. Anisotropía puede llegar a ser más significativa realizando, por ejemplo, tratamiento térmico en una capa de electrodo anisótropo. Cuando se proporciona anisotropía o anisotropía se hace significativa realizando tratamiento térmico, el grado de anisotropía puede ajustarse ajustando las condiciones de tratamiento térmico. Las condiciones de tratamiento térmico preferidas son, por ejemplo, condiciones en atmósfera de aire a 200 °C o más y 1.000 °C o menos durante 5 minutos o más y 120 minutos o menos. Tal tratamiento térmico puede proporcionar un electrodo que tiene particular permeabilidad K1 y permeabilidad K2 en dos direcciones ortogonales entre sí. Ejemplos de las condiciones de tratamiento térmico incluyen condiciones en atmósfera de aire a 300 °C o más y 800 °C o menos durante 20 minutos o más y 100 minutos o menos y condiciones en atmósfera de aire a 400 °C o más y 600 °C o menos durante 40 minutos o más y 80 minutos o menos.

La permeabilidad es un indicador que indica capacidad de fluencia de un electrolito en un electrodo. Un valor más alto de la permeabilidad indica que un electrolito fluye más fácilmente. Una relación K1/K2 de la permeabilidad K1 a la permeabilidad K2, que representa cuántas veces la permeabilidad K2 entra en la permeabilidad K1, es preferentemente 1,5 o más, más preferentemente 3 o más y particularmente preferentemente 9 o más. Esto es porque la velocidad de flujo en la dirección de flujo principal de un electrolito que fluye en la capa de electrodo anisótropo más se vuelve fácilmente uniforme a una velocidad de flujo adecuada para la operación de la batería RF.

Sin embargo, la relación K1/K2 es preferentemente 100 o menos y más preferentemente 50 o menos. Esto es porque, en el electrodo, se reduce una porción donde un electrolito que fluye en la dirección de flujo principal está estancado. Como resultado, es posible reducir la variación en la reacción de batería debido a la presencia de una porción donde el electrolito fluye a una velocidad de flujo adecuada para la operación de la batería RF y una porción donde el electrolito está estancado y se espera que la resistencia interna de la batería RF pueda reducirse. La relación K1/K2 puede ser 30 o menos y además 10 o menos.

La permeabilidad K1 de la capa de electrodo anisótropo  $\alpha$ 1 es preferentemente  $7,0 \times 10^{-14} \text{ m}^2$  o más y  $7,0 \times 10^{-8} \text{ m}^2$  o menos. Esto es porque cuando la permeabilidad K1 está en el intervalo anterior, la variación en la velocidad de flujo en la dirección de flujo principal se reduce fácilmente y puede obtenerse una batería RF 1 que tiene una resistencia interna reducida. Cuando la permeabilidad K1 es  $7,0 \times 10^{-14} \text{ m}^2$  o más, adicionalmente,  $7,0 \times 10^{-13} \text{ m}^2$  o más o, en particular,  $7,0 \times 10^{-12} \text{ m}^2$  o más, puede reducirse la pérdida de presión del electrolito y puede reducirse pérdida de energía combinando el electrodo anisótropo con una placa bipolar que tiene un canal de flujo. Cuando la permeabilidad K1 es  $7,0 \times 10^{-8} \text{ m}^2$  o menos, adicionalmente,  $7,0 \times 10^{-9} \text{ m}^2$  o menos o, en particular,  $7,0 \times 10^{-10} \text{ m}^2$  o menos, se espera que el electrolito que fluye en la dirección de flujo principal pueda permitirse fluir fácilmente a una velocidad de flujo adecuada para la operación de la batería RF.

Desde el punto de vista similar, la permeabilidad K2 puede ser  $4,7 \times 10^{-14} \text{ m}^2$  o más y  $7,0 \times 10^{-10} \text{ m}^2$  o menos o  $4,7 \times 10^{-13} \text{ m}^2$  o más y  $7,0 \times 10^{-11} \text{ m}^2$  o menos. La permeabilidad K2 puede ser  $4,7 \times 10^{-12} \text{ m}^2$  o más y  $7,0 \times 10^{-12} \text{ m}^2$  o menos. La permeabilidad K2 puede ser  $2,4 \times 10^{-14} \text{ m}^2$  o más y  $1,4 \times 10^{-9} \text{ m}^2$  o menos,  $2,4 \times 10^{-13} \text{ m}^2$  o más y  $1,4 \times 10^{-10} \text{ m}^2$  o menos o  $2,4 \times 10^{-12} \text{ m}^2$  o más y  $1,4 \times 10^{-11} \text{ m}^2$  o menos. La permeabilidad K2 puede ser  $8 \times 10^{-15} \text{ m}^2$  o más y  $2,3 \times 10^{-9} \text{ m}^2$  o menos,  $8 \times 10^{-14} \text{ m}^2$  o más y  $2,3 \times 10^{-10} \text{ m}^2$  o menos o  $8 \times 10^{-13} \text{ m}^2$  o más y  $2,3 \times 10^{-11} \text{ m}^2$  o menos. La permeabilidad K2 puede ser  $7,0 \times 10^{-9} \text{ m}^2$  o menos. Además, el límite inferior de la permeabilidad K2 puede ser  $4,65 \times 10^{-14} \text{ m}^2$  o más,  $4,65 \times 10^{-13} \text{ m}^2$  o más, o  $4,65 \times 10^{-12} \text{ m}^2$  o más. El límite inferior de la permeabilidad K2 puede ser  $2,33 \times 10^{-14} \text{ m}^2$  o más,  $2,33 \times 10^{-13} \text{ m}^2$  o más, o  $2,33 \times 10^{-12} \text{ m}^2$  o más. Adicionalmente, la permeabilidad K2 puede ser  $7,77 \times 10^{-15} \text{ m}^2$  o más y  $2,33 \times 10^{-9} \text{ m}^2$  o menos,  $7,77 \times 10^{-14} \text{ m}^2$  o más y  $2,33 \times 10^{-10} \text{ m}^2$  o menos o  $7,77 \times 10^{-13} \text{ m}^2$  o más y  $2,33 \times 10^{-11} \text{ m}^2$  o menos. La permeabilidad K2 puede ser  $7,77 \times 10^{-9} \text{ m}^2$  o menos.

En particular, la relación K1/K2 es preferentemente 1,5 o más y 100 o menos mientras que la permeabilidad K1 y la permeabilidad K2 están en los intervalos específicos descritos anteriormente. Esto es porque se espera que los efectos descritos anteriormente se muestren más fácilmente. Un método detallado para medir la permeabilidad K1 y la permeabilidad K2 se describirá en ejemplos de prueba descritos a continuación.

(Placa bipolar)

La placa bipolar 121 es una placa que se intercala entre los electrodos 104 y 105 que funcionan como electrodos positivos y negativos y que divide las respectivas celdas de batería 100. La placa bipolar se forma de una placa conductora a través de la que no pasa un electrolito. La dirección A1 que muestra la permeabilidad K1 del electrodo anisótropo  $\alpha$  se dispone para ser paralela a la dirección de flujo principal de un electrolito en el electrodo. Uno de los factores para determinar la dirección de flujo principal es la forma de la placa bipolar 121 en el lado de electrodo. Existe un caso donde la superficie de la placa bipolar 121 en el lado de electrodo incluye un canal de flujo y un caso donde la superficie de la placa bipolar 121 en el lado de electrodo no incluye un canal de flujo. En este punto, una placa bipolar que incluye un canal de flujo 130 se describirá con referencia a la Figura 2. En la Figura 2, cada flecha de línea continua muestra principalmente un flujo de un electrolito en una superficie de electrodo a lo largo del canal de flujo 130 incluido en la placa bipolar 121 y cada flecha de línea discontinua muestra la dirección de flujo principal de un electrolito en el electrodo. Esto también es aplicable a las Figuras 3 a 7 descritas a continuación.

El canal de flujo 130 se proporciona en al menos una de la superficie en el lado de electrodo positivo 104 y la superficie en el lado de electrodo negativo 105 de la placa bipolar 121 para ajustar un flujo de un electrolito en cada célula, debiendo el electrolito poder fluir en cada electrodo. El canal de flujo 130 incluye una pluralidad de porciones de ranura dispuestas paralelas entre sí. En esta realización, el canal de flujo 130 tiene una forma de dientes de peine enfrentados entrelazados en la que un canal de entrada 131 y un canal de salida 132 incluyen cada uno unas porciones de ranura entrelazadas y los dientes de peine se enfrentan entre sí de una manera entrelazada (consultar la Figura 2). El canal de entrada 131 (canal de salida 132) se proporciona en una parte inferior (una parte superior) de la placa bipolar 121 e incluye una ranura horizontal 131a (132a) que se extiende en la dirección de anchura y una pluralidad de ranuras verticales 131b (132b) que se extiende desde la ranura horizontal en la dirección superior (dirección inferior). El canal de entrada 131 y el canal de salida 132 se disponen independientemente sin comunicación entre sí. Las ranuras verticales 131b incluidas en el canal de entrada 131 y las ranuras verticales 132b incluidas en el canal de salida 132 se disponen en paralelo a intervalos.

(Disposición de electrodo anisótropo y placa bipolar)

El electrodo anisótropo  $\alpha$  descrito anteriormente se dispone de tal forma que la dirección A1 que muestra una alta permeabilidad K1 es paralela a la dirección de flujo principal de un electrolito en el electrodo. La expresión "dirección de flujo principal" se refiere a una dirección de flujo de un electrolito que se implica principalmente en una reacción

de batería en un electrodo. La dirección de flujo de un electrolito que se implica principalmente en una reacción de batería se determina sobre la base de la posición relacional entre un puerto de entrada para introducir el electrolito en el electrodo y un puerto de salida para descargar el electrolito del electrodo y la forma de una superficie de la placa bipolar en el lado de electrodo. En esta realización, el colector de suministro de líquido 123 (124) y el colector de descarga de líquido 125 (126) en la Figura 24 corresponde al puerto de entrada y el puerto de salida, respectivamente. En la Figura 24, el puerto de entrada y el puerto de salida se disponen en las partes superior e inferior del marco de célula. Como alternativa, el puerto de entrada y el puerto de salida puede proporcionarse en las partes izquierda y derecha del marco de célula. Esto también es aplicable a cualquiera de las Realizaciones 2 a 7 descritas a continuación.

Cuando la superficie de la placa bipolar en el lado de electrodo es una superficie plana, la dirección de flujo principal es una dirección desde el lado en el que se dispone el puerto de entrada de un electrolito hasta el lado en el que el puerto de salida del electrolito se dispone en cada célula de electrodo. Por ejemplo, en la Figura 24, el puerto de entrada 123 (124) se dispone en el lado inferior de cada célula de electrodo (marco de célula 120) y el puerto de salida 125 (126) se dispone en el lado superior de cada célula de electrodo (marco de célula 120). Por lo tanto, la dirección hacia el lado superior es la dirección de flujo principal. Esto es porque, en este caso, un electrolito introducido desde el lado inferior fluye preferencialmente hacia el lado superior, aunque el electrolito se propaga en las direcciones izquierda y derecha del electrodo y se realiza una reacción de batería durante el proceso de este flujo. Incluso cuando el puerto de entrada 123 (124) y el puerto de salida 125 (126) se desplazan en la dirección de anchura del marco de célula 120, la dirección de flujo principal se define sobre la base de únicamente la dirección en la que el puerto de entrada 123 (124) y el puerto de salida 125 (126) se enfrentan entre sí (la dirección de arriba a abajo en la Figura 24) sin considerar el desplazamiento del puerto de entrada y el puerto de salida.

En contraste, cuando la superficie de la placa bipolar en el lado de electrodo incluye un canal de flujo que tiene una pluralidad de porciones de ranura dispuestas en paralelo, la dirección de flujo principal es, en principio, una dirección en la que las porciones de ranura se disponen en paralelo independientemente de la dirección en la que el puerto de entrada y el puerto de salida se enfrentan entre sí. Por ejemplo, cuando se proporciona el canal de flujo anteriormente descrito que tiene una forma de dientes de peine enfrentados entrelazados, la dirección en la que las ranuras verticales 131b y 132b se disponen en paralelo es la dirección de flujo principal.

En el caso donde se proporciona el canal de flujo 130 que tiene una forma de dientes de peine enfrentados entrelazados, se describirá un estado de flujo de un electrolito en un electrodo con referencia a las Figuras 2 y 3. La Figura 3 incluye vistas en sección transversal en la dirección de anchura, ilustrando cada vista una porción donde las ranuras verticales 131b y 132b en la Figura 2 se disponen en paralelo. La dirección de arriba a abajo de la Figura 3 se define como un grosor (dirección Z) y la dirección de izquierda a derecha de la Figura 3 se define como una anchura (dirección X). Como se ilustra en la Figura 2, un electrolito introducido desde el canal de entrada 131 en un electrodo pasa a través de cada uno de los electrodos 104 y 105 y fluye en el canal de salida 132. Las ranuras verticales 131b del canal de entrada y las ranuras verticales 132b del canal de salida se disponen como alternativa en paralelo en la dirección X, como se ilustra en el dibujo superior de la Figura 3. Por lo tanto, como se ilustra en la vista ampliada de la Figura 3, el electrolito suministrado desde una ranura vertical 131b hasta un electrodo fluye para pasar a través de una porción en una capa de electrodo anisótropo  $\alpha$ 1, estando la porción ubicada entre la ranura vertical 131b y una ranura vertical 132b, y se descarga a la ranura vertical 132b. En lo sucesivo, en un electrodo, una porción dispuesta entre una porción de ranura y una porción de ranura que se proporcionan en un canal de flujo de una placa bipolar se denomina colectivamente como una "porción de cresta". En la presente realización, (1) una porción en cada uno de los electrodos 104 y 105, estando la porción ubicada entre una ranura vertical 131b y una ranura vertical 132b y (2) una porción ubicada entre la ranura horizontal 131a (132a) y una ranura vertical 132b (131b) son las porciones de cresta. La reacción de batería se realiza principalmente cuando un electrolito fluye para pasar a través de una porción de cresta entre las dos ranuras verticales 131b y 132b. Por lo tanto, la dirección en la que las ranuras verticales 131b y 132b se disponen en paralelo (dirección X) es la dirección de flujo principal (consultar las flechas de línea discontinua en las Figuras 2 y 3).

Por consiguiente, cuando una superficie de la placa bipolar 121 en el lado de electrodo es una superficie plana, el electrodo anisótropo  $\alpha$  se dispone de tal forma que la dirección A1 del electrodo es sustancialmente paralela a una dirección desde el lado en el que se dispone el puerto de entrada 123 (124) del electrolito hasta el lado en el que se dispone el puerto de salida 125 (126) en la célula de electrodo 102 o 103 (la dirección de arriba a abajo del marco de célula en la Figura 24). Cuando una superficie de la placa bipolar 121 en el lado de electrodo incluye el canal de flujo 130 que tiene una pluralidad de porciones de ranura dispuestas en paralelo, el electrodo anisótropo  $\alpha$  se dispone de tal forma que la dirección A1 del electrodo es sustancialmente paralela a una dirección en la que las porciones de ranura se disponen en paralelo (dirección X en la Figura 2). La frase "dispuesta para ser sustancialmente paralela" no cubre únicamente un caso donde la dirección de flujo principal y la dirección A1 se disponen en paralelo sino también un caso donde la dirección de flujo principal y la dirección A1 se disponen en un estado en el que existe una diferencia en un ángulo de  $\pm 30^\circ$  o menos entre la dirección de flujo principal y la dirección A1. En particular, cuando la diferencia en el ángulo es  $\pm 10^\circ$  o menos y, adicionalmente,  $\pm 5^\circ$  o menos, se espera que pueda reducirse la variación en la velocidad de flujo en la dirección de flujo principal en el electrodo. Una pila de células producida usando un electrodo anisótropo y una placa bipolar que tienen una relación de disposición de este tipo se conecta

entre a unidad de generación de potencia 400 y una carga 500 a través de un convertidor AC/DC 300 e instalaciones de transformador 310, como se ilustra en la Figura 23.

(Operaciones y efectos)

5

La batería RF de la presente realización descrita anteriormente tiene las siguientes operaciones y efectos.

10

(1) Disponiendo una dirección que muestra una alta permeabilidad  $K_1$  de un electrodo anisótropo para ser sustancialmente paralela a la dirección de flujo principal, es posible aumentar una porción donde un electrolito fluye en la dirección de flujo principal en el electrodo a una velocidad de flujo adecuada para la operación de la batería RF y disminuir una porción donde el electrolito que fluye en la dirección de flujo principal está estancado en el electrodo. En consecuencia, puede reducirse la variación en la velocidad de flujo en la dirección de flujo principal. Por lo tanto, el electrolito fluye fácilmente de manera uniforme por el amplio intervalo en el electrodo y por lo tanto puede obtenerse una batería RF que tiene una resistencia interna reducida.

15

(2) Cuando una placa bipolar incluye un canal de flujo que tiene una pluralidad de porciones de ranura, puede suministrarse fácilmente un electrolito a lo largo de las porciones de ranura a un amplio intervalo de un electrodo en una pérdida de presión baja y se genera fácilmente un flujo del electrolito a través del electrodo entre porciones de ranura adyacentes. Por consiguiente, se aumenta fácilmente la cantidad de electrolito que fluye en el electrodo en la dirección de flujo principal y se espera que se aumente la cantidad de una corriente de reacción y, adicionalmente, se reduzca la resistencia interna. Con este suministro del electrolito en una pérdida de presión baja y el aumento en la cantidad de la corriente de reacción, puede mejorarse la eficiencia energética como una batería RF completa.

20

(Notas complementarias a estructura de batería RF)

25

Se han descrito estructuras, operaciones y efectos que principalmente se refieren a características de la Realización 1. Adicionalmente, la batería RF puede tener las siguientes estructuras.

«Grosor de electrodo»

30

Un grosor ( $d$ ) del electrodo anisótropo  $\alpha$  puede ajustarse libremente de acuerdo con la estructura de la pila de células 200, principalmente, el grado de compresión del electrodo anisótropo  $\alpha$ . En particular, el grosor del electrodo anisótropo  $\alpha$  es preferentemente  $1.000 \mu\text{m}$  o menos en un estado en el que el electrodo anisótropo  $\alpha$  se dispone entre la membrana 101 y la placa bipolar 121. Esto es porque un grosor pequeño del electrodo anisótropo  $\alpha$  puede reducir la resistencia interna de la batería RF. El grosor del electrodo anisótropo  $\alpha$  es más preferentemente  $500 \mu\text{m}$  o menos y todavía más preferentemente  $300 \mu\text{m}$  o menos. Sin embargo, considerando la pérdida de presión de un electrolito en el electrodo, el grosor del electrodo anisótropo  $\alpha$  es preferentemente  $50 \mu\text{m}$  o más y más preferentemente  $100 \mu\text{m}$  o más. Cuando el electrodo anisótropo  $\alpha$  es un electrodo de múltiples capas descrito a continuación, el electrodo anisótropo  $\alpha$  también preferentemente tiene el grosor anterior como un grosor del electrodo de múltiples capas completo.

35

40

«Material de placa bipolar y método para producir placa bipolar»

45

El material de la placa bipolar es más preferentemente un material que tiene resistencia a los ácidos y rigidez adecuada. Esto es porque la forma y dimensiones de la sección transversal de un canal de flujo son poco probables que cambien por mucho tiempo y el efecto del canal de flujo se mantiene fácilmente. Ejemplos de un material de este tipo incluyen materiales conductores que contienen carbono. Más específicamente, ejemplos de los mismos incluyen plásticos conductores formados a partir de grafito y un compuesto orgánico basado en poliolefina o compuesto orgánico clorado. En los plásticos conductores, parte de grafito puede reemplazarse con al menos uno de negro carbón y carbono como diamante. Ejemplos del compuesto orgánico basado en poliolefina incluyen polietileno, polipropileno y polibuteno. Ejemplos del compuesto orgánico clorado incluyen cloruro de vinilo, polietileno clorado y parafina clorada. La placa bipolar formada de un material de este tipo puede tener una resistencia eléctrica reducida y buena resistencia a los ácidos.

50

55

La placa bipolar puede producirse formando el anterior material en una placa mediante un método conocido tal como moldeado por inyección, formación en prensa o formación en vacío. Cuando la placa bipolar incluye un canal de flujo, el canal de flujo puede formarse al mismo tiempo de la formación de la placa bipolar. En este caso, la placa bipolar se produce con una buena eficiencia de producción. Como alternativa, puede producirse una placa bipolar que no tiene canal de flujo y puede a continuación formarse un canal de flujo cortando una superficie de la placa bipolar.

60

«Otras estructuras de canal de flujo»

65

El canal de flujo (porción de ranura) puede tener cualquier forma de sección transversal. Ejemplos de la forma de la sección transversal incluyen una forma rectangular y una forma semicircular. En un caso de una forma rectangular o

semicircular, se espera que (1) un canal de flujo se forme fácilmente en una placa bipolar (fácilmente procesada) y (2) la pérdida de presión de un electrolito que fluye en un canal de flujo sea baja.

La anchura por porción de ranura es preferentemente 0,1 mm o más y 10 mm o menos. Esto es porque pueden esperarse las siguientes ventajas. (1) La uniformidad de la velocidad de flujo de todo el electrodo mejora adicionalmente. (2) La tasa de flujo de un electrolito que fluye en el electrodo puede aumentarse. (3) El electrodo es poco probable que caiga en el canal de flujo (porción de ranura). (4) La pérdida de presión de un electrolito que fluye en el canal de flujo puede reducirse adicionalmente. La anchura del canal de flujo es más preferentemente 0,2 mm o más y 2 mm o menos y todavía más preferentemente 0,5 mm o más y 1,5 mm o menos.

La profundidad de la porción de ranura es preferentemente 50 % o más y 99 % o menos del grosor de la placa bipolar. Esto es porque pueden esperarse las siguientes ventajas. (1) La uniformidad de la velocidad de flujo de todo el electrodo mejora adicionalmente. (2) La tasa de flujo del electrolito que fluye en una región del electrodo en el lado de membrana puede aumentarse. (3) El electrodo es poco probable que caiga en el canal de flujo (porción de ranura). (4) La pérdida de presión del electrolito que fluye en el canal de flujo puede reducirse adicionalmente. (5) Incluso cuando la placa bipolar incluye un canal de flujo, la placa bipolar puede tener una resistencia mecánica suficiente. La profundidad del canal de flujo es más preferentemente 70 % o más y 80 % o menos del grosor de la placa bipolar. Cuando se proporcionan ranuras en ambas superficies de la placa bipolar, porciones de ranura pueden formarse en posiciones que no se solapan en vista en planta en perspectiva. De esta manera, cada una de las porciones de ranura que tienen la anterior profundidad puede formarse en las dos superficies de la placa bipolar.

El canal de flujo se dispone preferentemente de tal forma que el hueco entre una pluralidad de porciones de ranura (las ranuras verticales 131b y 132b en la Figura 2) que se disponen en paralelo es uniforme. Adicionalmente, el hueco entre las ranuras verticales 131b y 132b adyacentes en la forma de dientes de peine enfrentados entrelazados es preferentemente igual al hueco entre el borde de cada una de las ranuras verticales 131b (132b) y la ranura horizontal 132a (131a) que se enfrenta al borde. Esto es porque el flujo del electrolito que fluye en el electrodo para pasar a través de estos huecos se vuelve uniforme y se espera que pueda reducirse adicionalmente la pérdida de presión.

Los números de las ranuras verticales 131b y 132b y las ranuras horizontales 131a y 132a puede ajustarse apropiadamente. Por ejemplo, en la forma de dientes de peine enfrentados entrelazados descrita anteriormente, cuando el número de las ranuras verticales 131b y 132b excede de 10 en total, se espera un gran efecto de reducción de la pérdida de presión del electrolito que fluye en el canal de flujo.

En la forma de dientes de peine enfrentados entrelazados, la longitud de cada una de las porciones donde las ranuras verticales 131b y las ranuras verticales 132b se entrelazan entre sí es preferentemente tan larga como sea posible. Esto es porque la velocidad de flujo de un electrolito que fluye en la dirección de flujo principal se vuelve fácilmente más uniforme en todo el electrodo y puede esperarse una reducción en la resistencia interna de la batería RF 1. Además, ya que se reduce adicionalmente la pérdida de presión del electrolito, la batería RF tiene una mejor eficiencia energética. Específicamente, la longitud de cada una de las porciones donde las ranuras verticales 131b y las ranuras verticales 132b se entrelazan entre sí es preferentemente 80 % o más y más preferentemente 90 % o más de la longitud de la placa bipolar 121 en la dirección de altura (dirección Y).

«Electrolito»

Un electrolito basado en vanadio en el que se usan iones de vanadio como materiales activos de electrodo pueden usarse adecuadamente como el electrolito, como se ilustra en la Figura 23. Como alternativa, puede usarse adecuadamente un electrolito basado en hierro ( $\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$ ) y cromo ( $\text{Cr}^{3+}/\text{Cr}^{2+}$ ) en el que se usan iones de hierro (Fe) como un material activo de electrodo positivo y se usan iones de cromo (Cr) como un material activo de electrodo negativo, o un electrolito basado en manganeso ( $\text{Mn}^{2+}/\text{Mn}^{3+}$ ) y titanio ( $\text{Ti}^{4+}/\text{Ti}^{3+}$ ) en el que se usan iones de manganeso (Mn) en un electrolito de electrodo positivo y se usan iones de titanio (Ti) en un electrolito de electrodo negativo.

<Realización 2>

En la Realización 2, se hará una descripción de una batería RF que incluye una placa bipolar que incluye un canal de flujo con forma de dientes de peine enfrentados entrelazados que es diferente de la de la Realización 1 y en la que se disponen ranuras horizontales en paralelo en la dirección longitudinal. La batería RF de la Realización 2 tiene una estructura común a la de la Realización 1 excepto por la estructura de la placa bipolar y la dirección de disposición del electrodo anisótropo. Por lo tanto, se describirán estas diferencias y se omite una descripción de otras estructuras. Esto también es aplicable a otras realizaciones descritas a continuación.

En la forma de dientes de peine enfrentados entrelazados en la presente realización, se proporciona un canal de entrada (canal de salida) en el lado izquierdo (lado derecho) de una placa bipolar e incluye una ranura vertical que se extiende en la dirección de altura (dirección Y) y una pluralidad de ranuras horizontales que se extienden desde la ranura vertical en la dirección derecha (dirección izquierda). En el caso de la forma de dientes de peine enfrentados

en la que las ranuras horizontales se entrelazan entre sí, en un electrodo, un flujo que pasa a través de una región que se enfrenta a una porción de cresta ubicada entre las ranuras horizontales de la placa bipolar se vuelve el flujo principal. Por lo tanto, la dirección de flujo principal es la dirección Y en la Figura 2. Por consiguiente, el electrodo anisótropo  $\alpha$  se dispone de tal forma que la dirección A1 es paralela a la dirección Y. Con esta estructura, se reduce fácilmente la variación en la velocidad de flujo del electrolito que fluye en el electrodo en la dirección de flujo principal (dirección Y).

<Realización 3>

En la Realización 3, se hará una descripción de una batería RF que incluye una placa bipolar que incluye un canal de flujo con forma de dientes de peine enfrentados no entrelazados ilustrado en la Figura 4. La forma de dientes de peine enfrentados no entrelazados es una forma en la que un canal de entrada 131 y un canal de salida 132 no se entrelazan entre sí. El canal de entrada 131 y el canal de salida 132 tienen formas que son simétricas con respecto a un punto. El canal de entrada 131 (canal de salida 132) tiene una forma que incluye una ranura vertical 131b (132b) proporcionada en el lado derecho (lado izquierdo) de una placa bipolar 121 y una pluralidad de ranuras horizontales 131a (132a) que se extienden desde la ranura vertical 131b (132b) al lado izquierdo (lado derecho). En este caso, en cada uno de los electrodos 104 y 105, un flujo que pasa a través de una región que se enfrenta a una porción de cresta ubicada entre una ranura horizontal 131a y una ranura horizontal 132a de la placa bipolar 121 es el flujo principal. Por lo tanto, la dirección de flujo principal es la dirección Y en la Figura 4. Por consiguiente, un electrodo anisótropo  $\alpha$  se dispone de tal forma que la dirección A1 es paralela a la dirección Y. Con esta estructura, se reduce fácilmente la variación en la velocidad de flujo del electrolito en la dirección de flujo principal (dirección Y).

Como alternativa, el canal de entrada 131 (canal de salida 132) puede tener una forma que incluye una pluralidad de ranuras verticales 131b (132b) y una ranura horizontal 131a (132a) desde las que se extienden las ranuras verticales 131b (132b). Esta forma es una forma en la que el canal de entrada 131 y el canal de salida 132 no se entrelazan entre sí en la forma de dientes de peine enfrentados entrelazados ilustrada en la Figura 2. En este caso, la dirección (dirección X) en la que las ranuras verticales 131b (132b) se disponen en paralelo es la dirección de flujo principal. Por consiguiente, un electrodo anisótropo  $\alpha$  se dispone de tal forma que la dirección A1 es paralela a la dirección X.

<Realización 4>

En la Realización 4, se hará una descripción de una batería RF que incluye una placa bipolar que incluye un canal de flujo con forma serpenteante continua ilustrado en la Figura 5. La forma serpenteante continua forma un canal de flujo continuo que se extiende desde un puerto de entrada a un puerto de salida, e incluye una pluralidad de porciones de ranura largas 135b que se disponen en paralelo en la dirección de anchura (dirección X) de la placa bipolar 121 para ser adyacentes entre sí y una pluralidad de porciones de ranura cortas 135a que como alternativa conectan unos extremos o los otros extremos de las porciones de ranura largas 135b entre sí. En este caso, un flujo que pasa desde una porción de ranura larga 135b en el lado de puerto de entrada hasta otra porción de ranura larga 135b dispuesto en el lado de puerto de salida y adyacente a la porción de ranura larga 135b en el lado de puerto de entrada es el flujo principal (consultar las flechas de línea discontinua en la Figura 5). Es decir, la dirección en la que las porciones de ranura largas 135b se disponen en paralelo (dirección X) es la dirección de flujo principal. Por consiguiente, un electrodo anisótropo  $\alpha$  se dispone de tal forma que la dirección A1 es paralela a la dirección X.

La forma serpenteante puede ser una forma que incluye una pluralidad de porciones de ranura largas 135b que se disponen en paralelo en la dirección de altura (dirección Y en la Figura 5) de la placa bipolar 121 para ser adyacentes entre sí y una pluralidad de porciones de ranura cortas 135a que como alternativa conectan unos extremos o los otros extremos de las porciones de ranura largas 135b entre sí. En este caso, la dirección en la que las porciones de ranura largas 135b a disponer en paralelo se disponen en paralelo (dirección Y en la Figura 5) es la dirección de flujo principal. Por consiguiente, un electrodo anisótropo  $\alpha$  se dispone de tal forma que la dirección A1 es paralela a la dirección Y.

(Operaciones y efectos)

La batería RF de la presente realización descrita anteriormente tiene las siguientes operaciones y efectos.

- (1) Ya que el canal de flujo es continuo, el flujo de un electrolito que fluye en el canal de flujo puede hacerse estable y puede reducirse la pérdida de presión del electrolito.
- (2) Ya que el canal de flujo tiene una forma serpenteante mientras que es un canal de flujo continuo, se genera fácilmente un flujo de un electrolito a través de un electrodo anisótropo entre porciones de ranura largas adyacentes. Por consiguiente, se espera que se aumente la cantidad de una corriente de reacción y, adicionalmente, se reduzca la resistencia interna.
- (3) Un electrolito se propaga fácilmente de manera uniforme en un amplio intervalo de un plano de un electrodo anisótropo dependiendo del número y la región de formación de las porciones de ranura largas. Por consiguiente, ya que el electrolito se introduce desde una región de un intervalo amplio del plano del electrodo anisótropo en el electrodo, se espera que se realice una reacción de batería uniforme.

## &lt;Realización 5&gt;

En la Realización 5, se hará una descripción de una batería RF que incluye una placa bipolar que incluye un canal de flujo con forma de rejilla continua ilustrado en la Figura 6. En la presente realización, el canal de flujo tiene una forma de rejilla vertical. La forma de rejilla vertical incluye una pluralidad de ranuras verticales 130b que se extienden en la dirección de altura de una placa bipolar 121 y un par de ranuras horizontales 130a dispuestas para conectar continuamente extremos superior e inferior de las ranuras verticales 130b. En este caso, la dirección en la que las ranuras verticales 130b a disponer en paralelo se disponen en paralelo (dirección X) es la dirección de flujo principal. Por consiguiente, un electrodo anisótropo  $\alpha$  se dispone de tal forma que la dirección A1 es paralela a la dirección X. Con esta estructura, se reduce fácilmente la variación en la velocidad de flujo de un electrolito en la dirección de flujo principal (dirección X).

Un ejemplo de otra forma de rejilla es una forma de rejilla horizontal. La forma de rejilla horizontal incluye una pluralidad de ranuras horizontales dispuestas en paralelo en la dirección de altura (dirección Y) de una placa bipolar y un par de ranuras verticales dispuestas en la izquierda y la derecha para conectar continuamente las ranuras horizontales. En este caso, la dirección en la que las ranuras horizontales se disponen en paralelo (dirección Y) es la dirección de flujo principal. Por consiguiente, un electrodo anisótropo  $\alpha$  se dispone de tal forma que la dirección A1 es paralela a la dirección Y. Con esta estructura, se reduce fácilmente la variación en la velocidad de flujo de un electrolito en la dirección de flujo principal (dirección Y).

## &lt;Realización 6&gt;

En la Realización 6, se hará una descripción de una batería RF que incluye una placa bipolar que incluye un canal de flujo con forma de línea discontinua ilustrado en la Figura 7. En la presente realización, el canal de flujo tiene una forma de línea discontinua en la que ranuras verticales 131b (132b) que constituyen la forma de dientes de peine enfrentados entrelazados ilustrados en la Figura 2 se forman intermitentemente (discontinua). Con esta estructura, un electrolito fluye fácilmente a través de cada uno de los electrodos 104 y 105 para pasar a través de no únicamente porciones de cresta en la dirección de anchura sino también porciones de cresta entre porciones de ranura (ranuras verticales 131b (132b)) adyacentes entre sí en la dirección de altura (consultar las flechas de línea discontinua en la Figura 7) y por lo tanto se espera que aumente la cantidad de una corriente de reacción. Por consiguiente, se espera que aumente la cantidad de corriente de la batería RF y, adicionalmente, la resistencia interna de la batería RF puede reducirse. La ranura horizontal 131a (132a) puede formarse intermitentemente. Únicamente una parte de un canal de flujo 130 puede tener una forma de línea discontinua. En cada una de las realizaciones descritas anteriormente como ejemplos, al menos una parte del canal de flujo puede formarse intermitentemente.

También en esta realización, en cada uno de los electrodos 104 y 105, un flujo que pasa a través de una región que se enfrenta a una porción de cresta ubicada entre una ranura vertical 131b y una ranura horizontal 132b de una placa bipolar 121 se vuelve el flujo principal. Por lo tanto, la dirección de flujo principal es la dirección X en la Figura 7. Por consiguiente, un electrodo anisótropo  $\alpha$  se dispone de tal forma que la dirección A1 es paralela a la dirección X. Con esta estructura, se reduce fácilmente la variación en la velocidad de flujo de un electrolito en la dirección de flujo principal (dirección X).

## &lt;Realización 7&gt;

En la Realización 7, se hará una descripción de una batería RF que incluye un electrodo de múltiples capas que incluye una capa de electrodo anisótropo  $\alpha_1$ . La batería RF de la Realización 7 es una realización en la que el electrodo de una única capa usado en las Realizaciones 1 a 6 descritas anteriormente se cambia a un electrodo de múltiples capas. La batería RF de la presente realización tiene una estructura común a las de las realizaciones excepto por lo anterior. Por consiguiente, únicamente se describirá el electrodo de múltiples capas y se omite una descripción de otras estructuras.

Ejemplos del electrodo de múltiples capas incluyen (1) un electrodo obtenido apilando dos o más capas de electrodo anisótropo que tienen diferente grados de anisotropía, (2) un electrodo obtenido apilando al menos una capa de electrodo anisótropo  $\alpha_1$  y al menos una capa de electrodo isotropo y (3) un electrodo obtenido apilando al menos una capa de electrodo anisótropo  $\alpha_1$  y al menos una capa base formada de un material a través del que un electrolito fluye pero no se provoca una reacción de batería. En el caso de un electrodo de múltiples capas, la permeabilidad de la capa de electrodo anisótropo  $\alpha_1$  puede medirse desprendiendo y separando entre sí una capa de electrodo y una capa base, que forman el electrodo de múltiples capas.

En el caso de un electrodo de múltiples capas que incluye dos o más diferentes capas de electrodo anisótropo, se cree que la dirección A1 se determina preferentemente usando, como una norma, una capa de electrodo anisótropo en la que la permeabilidad K1 es 1,5 veces o más y 100 veces o menos, adicionalmente, 3 veces o más y 50 veces o menos y, en particular, 9 veces o más y 30 veces o menos que la permeabilidad K2, aunque depende de la magnitud de las permeabilidades y el grosor de la capa de electrodos anisótropos. Esto es porque se espera que

cuando la anisotropía está en el intervalo anterior, un electrolito fluye fácilmente de manera uniforme en el electrodo a una velocidad de flujo adecuada para la operación de la batería RF y se reduce fácilmente una porción donde un electrolito que fluye en la dirección de flujo principal está estancado en el electrodo.

- 5 En el caso de un electrodo de múltiples capas que incluye dos o más diferentes capas de electrodo anisótropo, se espera que una capa de electrodo anisótropo que tiene una anisotropía en el intervalo anterior se ubique preferentemente en el lado de membrana 101. La razón de esto es como se indica a continuación. Con esta estructura, es fácil formar un flujo de un electrolito que fluye en la dirección de flujo principal mientras el electrolito fluye al lado de membrana. Además, ya que se reduce la variación en la velocidad de flujo en la dirección de flujo principal, se espera que se reduzca la variación en la transferencia de iones de hidrógeno entre electrodos. Por consiguiente, se espera que la resistencia interna de la batería RF pueda reducirse adicionalmente. Desde el mismo punto de vista, cuando un electrodo de múltiples capas obtenido apilando una capa de electrodo anisótropo  $\alpha 1$  y una capa de electrodo isótropo se usan como un electrodo, es preferible que la capa de electrodo anisótropo  $\alpha 1$  se disponga para ubicarse en el lado de membrana 101. Esto también es aplicable a un caso donde se usa un electrodo de múltiples capas obtenido apilando una capa de electrodo anisótropo  $\alpha 1$  y una capa de base.

<Ejemplo de prueba 1>

- 20 En el Ejemplo de prueba 1, se examinaron características de las baterías RF de las realizaciones mediante una simulación. En este ejemplo de prueba, el Modelo 1 que incluía una placa bipolar que incluye el canal de flujo con forma de dientes de peine enfrentados entrelazados ilustrado en la Figura 2 se formó usando software de análisis de simulación (fabricado por ANSYS Japan K.K., ANSYS Fluent). El Modelo 1 es una batería RF que tiene una estructura de una única célula que incluye una célula de electrodo positivo y una célula de electrodo negativo. En este caso, electrodos anisótropos que tiene la misma estructura se establecieron como un electrodo positivo y un electrodo negativo. En el Modelo 1, un electrolito se introduce desde una parte inferior de la placa bipolar y descarga desde una parte superior de la placa bipolar como en la Realización 1 descrita anteriormente. Por lo tanto, como en la Realización 1 descrita anteriormente, la dirección de arriba a abajo se definió como una altura (dirección Y), la dirección de izquierda a derecha se definió como una anchura (dirección X) y una dirección ortogonal a la dirección X y la dirección Y se definió como un grosor (dirección Z). Por consiguiente, en el Modelo 1, un electrodo anisótropo se dispone de tal forma que la dirección A1 (dirección que muestra una alta permeabilidad) es paralela a la dirección X.

- 35 Adicionalmente, para comparación, el Modelo 2 se formó para tener la misma estructura que el Modelo 1 excepto que se usó un electrodo isótropo. En los dos modelos, cuando la tasa de flujo de un electrolito se cambió a varios valores, se examinó una distribución de velocidad de flujo de un electrolito en el electrodo en la dirección X y la dirección Y (una relación de una velocidad de flujo del electrolito en la dirección X a una velocidad de flujo del electrolito en la dirección Y, en lo sucesivo denominada como "relación de velocidad X-Y"). A continuación, se describen condiciones de prueba detalladas. La Tabla I muestra los resultados de prueba obtenidos. Las Figuras 8 a 13 muestran la distribución de la velocidad de flujo en la dirección X en respectivos ejemplos de pruebas. La velocidad de flujo de dirección X, la velocidad de flujo de dirección Y y la relación de velocidad X-Y en la Tabla I muestran valores en el centro del electrodo en los que la velocidad en la dirección X es la más baja. En las Figuras 8 a 13, la velocidad de flujo de dirección X se representa mediante el sombreado mostrado en el gráfico en cada dibujo. En este punto, los dibujos muestran que cuanto más claro el sombreado, mayor la velocidad de flujo en la dirección derecha y cuanto más profundo en sombreado, mayor la velocidad de flujo en la dirección izquierda. Valores específicos de la velocidad de flujo se representan mediante los valores numéricos escritos en el gráfico. Los valores positivos muestran velocidades de flujo en la dirección derecha. Un valor más grande representa una velocidad de flujo mayor en la dirección derecha. Los valores negativos muestran velocidades de flujo en la dirección izquierda. Un valor más pequeño representa una velocidad de flujo mayor en la dirección izquierda. En cada uno de los dibujos, una porción (región) que muestra rayas verticales que tienen un contraste mayor muestra una región donde un electrolito fluye en la dirección de flujo principal (dirección X) a una velocidad de flujo más adecuada para la operación de la batería RF.

(Condiciones de prueba)

- 55 «Electrodo»

Longitud: 15,8 (cm), Anchura: 15,8 (cm), Grosor: 0,05 (cm)  
 Densidad de área de reacción de electrodo (A): 50.000 (l/m)  
 Constante de tasa de reacción de electrodo (k):  $3,0 \times 10^6$  (m/s)

- 60 Permeabilidad

[Modelo 1] K1:  $7,56 \times 10^{-11}$  K2:  $1,95 \times 10^{-11}$   
 [Modelo 2] K:  $7,00 \times 10^{-11}$

- 65

«Electrolito»

Solución acuosa V de ácido sulfúrico (concentración V: 1,7 mol/L, concentración de ácido sulfúrico: 3,4 mol/L)  
Estado de carga (puede denominarse como profundidad de carga): 50 %

5

«Tasa de flujo de electrolito, etc.»

Tasa de flujo de entrada: 75, 150 o 300 (ml/min)

Tasa de flujo de salida: descarga libre

10

Modelo de flujo: modelo de flujo laminar

«Placa bipolar»

Altura (dirección Y):Anchura (dirección X): 15,8 (cm)

15

[Canal de flujo]

Forma de ranura: forma de dientes de peine enfrentados entrelazados

Número de ranuras verticales: canal de entrada 39 × Canal de salida 40

Ranura vertical longitud: 21 (cm)

Anchura de ranura: 0,1 (cm)

20

Profundidad de ranura: 0,1 (cm)

Hueco entre ranuras verticales: 0,1 (cm)

Sección transversal de ranura: cuadrada

[Tabla I]

Ejemplo de prueba	1-1 (Modelo 1)	1-2 (Modelo 2)	1-3 (Modelo 1)	1-4 (Modelo 2)	1-5 (Modelo 1)	1-6 (Modelo 2)
Tasa de flujo (ml/min/cm <sup>2</sup> )	75		150		300	
Electrodo	Anisótropo	Isótropo	Anisótropo	Isótropo	Anisótropo	Isótropo
Velocidad de flujo de dirección X (m/s)	$8,8 \times 10^{-5}$	$9,5 \times 10^{-5}$	$1,8 \times 10^{-4}$	$1,94 \times 10^{-4}$	$3,7 \times 10^{-4}$	$4,03 \times 10^{-4}$
Velocidad de flujo de dirección Y (m/s)	$1,7 \times 10^{-5}$	$5,1 \times 10^{-5}$	$0,37 \times 10^{-4}$	$1,11 \times 10^{-4}$	$0,86 \times 10^{-4}$	$2,43 \times 10^{-4}$
Relación de velocidad X-Y	5,18	1,86	4,86	1,74	4,29	1,66

25

Haciendo referencia a la Tabla I, aunque la permeabilidad del electrodo anisótropo en la dirección X (permeabilidad K1 en la dirección A1) y la permeabilidad K del electrodo isótropo son sustancialmente iguales entre sí, para cada una de las tasas de flujos, la relación de velocidad X-Y en el Modelo 1, en el que la dirección A1 se dispone para ser paralela a la dirección X que sirve como la dirección de flujo principal, es más grande que la del Modelo 2, en la que se usa el electrodo isótropo. Adicionalmente, en los casos donde las tasas de flujos son iguales entre sí, se comparan las distribuciones de velocidad de flujo en la dirección de flujo principal (dirección X). Por ejemplo, en el Ejemplo de prueba 1-2 (Modelo 2), una relación de una región de rayas verticales que tienen un contraste bajo, estando la región formada para extenderse desde el centro del electrodo en las direcciones hacia arriba y hacia abajo, es alta (consultar la Figura 9). Esta región es una región donde la velocidad de flujo es menor que una velocidad de flujo adecuada para la operación de la batería RF. Cuando una región de este tipo está presente en un área grande, se disminuye una región donde el electrolito fluye a una velocidad de flujo adecuada para la operación de la batería RF y por lo tanto la velocidad de flujo tiene una gran variación. Cuando la velocidad de flujo del electrolito que fluye en la dirección de flujo principal varía, una reacción de batería no se realiza uniformemente en todo el electrodo, lo que puede resultar en el aumento en la resistencia interna. Por otra parte, en el Ejemplo de prueba 1-1 (Modelo 1), se disminuye una región donde la velocidad de flujo es baja y se aumenta una región de rayas verticales que tienen un contraste alto, la región que se extiende desde la parte superior e inferior del electrodo en direcciones hacia el centro, en comparación con Ejemplo de prueba 1-2 (consultar las Figuras 8 y 9 en comparación). Esta región es una región donde la velocidad de flujo es adecuada para la operación de la batería RF. Estos resultados muestran que, disponiendo la dirección A1 del electrodo anisótropo para ser paralela a la dirección de flujo principal (dirección X), se aumenta la región de rayas verticales que tienen un contraste alto para aumentar una región donde el electrolito fluye a una velocidad de flujo adecuada para la operación de la batería RF.

30

35

40

45

50

Adicionalmente, en el Ejemplo de prueba 1-2, se observa una porción en la que una raya vertical se desconecta en el extremo izquierdo y el extremo derecho del centro del electrodo (consultar la Figura 9). Se cree que esto es porque un electrolito que debería fluir en la dirección derecha en el extremo izquierdo o en la dirección izquierda en el extremo derecho fluye en las direcciones opuestas o está estancado sin que fluya en la dirección izquierda o la dirección derecha. Es decir, el flujo del electrolito en las direcciones izquierda y derecha se desordena, o una porción

donde la velocidad de flujo es significativamente baja. Por consiguiente, también desde este punto de vista, se cree que se genera una variación en la velocidad de flujo en el electrodo. Por otra parte, en el Ejemplo de prueba 1-1, no se observa una porción de este tipo (consultar la Figura 8). Esto también se aplica a los casos donde se cambió la velocidad de flujo (comparar el Ejemplo de prueba 1-4 (Fig. 11) con el Ejemplo de prueba 1-3 (Fig. 10) y comparar el Ejemplo de prueba 1-6 (Fig. 13) con el Ejemplo 1-5 (Fig. 12)).

Como se ha descrito anteriormente, cuando la dirección A1 del electrodo anisótropo se dispone para ser paralela a la dirección de flujo principal (dirección X), es fácil aumentar una región donde el electrolito fluye a una velocidad de flujo adecuada para la operación de la batería RF y disminuir una porción donde el electrolito que fluye en la dirección de flujo principal está estancado en el electrodo. Se cree que, en consecuencia, la variación en la velocidad de flujo se disminuye y la resistencia interna se reduce.

<Ejemplo de prueba 2>

En el Ejemplo de prueba 2, se examinó la relación de correspondencia entre la dirección de flujo principal y un electrodo anisótropo. Primero, se formó el Modelo 3 en el que la estructura del electrodo y la tasa de flujo del electrolito eran diferentes de las del Modelo 1 del Ejemplo de prueba 1. La velocidad de flujo de dirección X, la velocidad de flujo de dirección Y y la relación de velocidad X-Y se examinaron cuando una permeabilidad Kx en una dirección paralela a la dirección de flujo principal (dirección X) del electrolito era un valor constante y una permeabilidad Ky en una dirección ortogonal a la dirección de flujo principal en el plano del electrodo se cambió a varios valores. Ejemplo de prueba 2-1 al Ejemplo de prueba 2-5 corresponden a casos donde la dirección A1 de un electrodo anisótropo se dispone para ser paralela a la dirección X, que es la dirección de flujo principal. El Ejemplo de prueba 2-6 corresponde a un caso donde se usa un electrodo isótropo. El Ejemplo de prueba 2-7 y Ejemplo de prueba 2-8 corresponden a casos donde la dirección A1 de un electrodo anisótropo se dispone para ser ortogonal a la dirección X, que es la dirección de flujo principal. A continuación, se describen condiciones diferentes de las del Ejemplo de prueba 1. La Tabla II muestra los resultados de prueba. Las Figuras 14 a 21 muestran la distribución de la velocidad de flujo en la dirección X en el respectivo ejemplo de pruebas. La relación de velocidad X-Y y el gráfico mostrado en cada uno de los dibujos representan los mismos que los del Ejemplo de prueba 1.

(Tasa de flujo de electrolito, etc.)

Tasa de flujo de entrada: 0,3 (ml/min/cm<sup>2</sup>)

[Tabla II]

Ejemplo de prueba	Kx	Ky	Kx/Ky	Relación de velocidad X-Y
2-1	7,56 × 10 <sup>-11</sup>	7,56 × 10 <sup>-15</sup>	10000	58
2-2		7,56 × 10 <sup>-14</sup>	1000	47
2-3		7,56 × 10 <sup>-13</sup>	100	39
2-4		0,84 × 10 <sup>-11</sup>	9,0	19,5
2-5		2,52 × 10 <sup>-11</sup>	3,0	4,6
2-6		7,56 × 10 <sup>-11</sup>	1,0	1,8
2-7		22,7 × 10 <sup>-11</sup>	0,33	0,51
2-8		68,0 × 10 <sup>-11</sup>	0,11	0,27

La Tabla II muestra que la relación de velocidad X-Y en cada uno del Ejemplo de prueba 2-1 a Ejemplo de prueba 2-5 que corresponde a casos donde la dirección A1 de un electrodo anisótropo se dispone para ser paralela a la dirección X, que es la dirección de flujo principal, es más grande que la relación de velocidad X-Y en cada uno de Ejemplo de prueba 2-6 que corresponde a un caso donde se usa un electrodo isótropo y Ejemplo de prueba 2-7 y Ejemplo de prueba 2-8 que corresponden a casos donde la dirección A1 de un electrodo anisótropo se dispone para ser ortogonal a la dirección X, que es la dirección de flujo principal. En particular, los resultados del Ejemplo de prueba 2-7 y Ejemplo de prueba 2-8 muestran que cuando la dirección en la que el electrodo anisótropo tiene una alta permeabilidad se dispone para ser ortogonal a la dirección de flujo principal (dirección X), la velocidad de flujo en la dirección X, que es la dirección de flujo principal, es menor que la velocidad de flujo en la dirección Y. El resultado del Ejemplo de prueba 2-5 muestra que cuando la dirección A1 del electrodo anisótropo se dispone para ser paralela a la dirección X, que es la dirección de flujo principal, y la relación Kx/Ky (en esta prueba, correspondiendo a K1/K2) es 3,0 o más, la relación de velocidad X-Y puede hacerse que sea 4,6 o más. De manera similar, el resultado del Ejemplo de prueba 2-4 muestra que cuando la relación Kx/Ky (K1/K2) es 9,0 o más, la relación de velocidad X-Y aumenta a aproximadamente 20. El resultado del Ejemplo de prueba 2-3 muestra que cuando la relación Kx/Ky (K1/K2) es 100 o más, la relación de velocidad X-Y aumenta a aproximadamente 40. El resultado del Ejemplo de prueba 2-2 muestra que cuando la relación Kx/Ky (K1/K2) es 1.000 o más, la relación de velocidad X-Y aumenta a aproximadamente 50. El resultado del Ejemplo de prueba 2-1 muestra que cuando la relación Kx/Ky (K1/K2) es 10.000 o más, la relación de velocidad X-Y aumenta a aproximadamente 60.

Comparando las Figuras 17 a 21 entre sí, se descubre que, con el aumento en la permeabilidad Kx en la dirección de flujo principal (dirección X) con respecto a la permeabilidad Ky en la dirección ortogonal a la dirección de flujo

principal, aumenta una región de una velocidad de flujo adecuada para la operación de la batería RF (región de rayas verticales que tienen un contraste alto). Por lo tanto, los resultados muestran que, al menos hasta que la relación  $K_x/K_y$  se vuelve aproximadamente 10, con el aumento en la relación  $K_x/K_y$ , aumenta la región de rayas verticales que tienen un contraste alto y aumenta la relación de la región donde el electrolito fluye a una velocidad de flujo adecuada para la operación de la batería RF.

En el Ejemplo de prueba 2-1 (Fig. 14) en el que la relación  $K_x/K_y$  ( $K_1/K_2$ ) es 10.000 y Ejemplo de prueba 2-2 (Fig. 15) en el que la relación  $K_x/K_y$  ( $K_1/K_2$ ) es 1.000, no se observa una región de rayas verticales en la izquierda y la derecha del electrodo. Esto es porque la velocidad de flujo del electrolito presente en esta región es sustancialmente una velocidad de flujo a la que el electrolito se considera que está estancado en el electrodo. En otras palabras, ya que la velocidad de flujo es próxima a cero, el sombreado no muestra rayas verticales que tienen un contraste alto desde el punto de vista de la configuración de el gráfico usada en cada uno de los dibujos. Como se ha descrito anteriormente, cuando están presentes una región donde el electrolito fluye a una velocidad de flujo adecuada para la operación de la batería RF y una región donde el electrolito está estancado, tiende a generarse una variación en la reacción de batería. Como resultado, la variación puede convertirse una causa del aumento en la resistencia interna de la batería RF. Por lo tanto, cuando la permeabilidad  $K_x$  en la dirección de flujo principal (dirección X) es excesivamente más grande que la permeabilidad  $K_y$  en la dirección ortogonal a la dirección de flujo principal, la resistencia interna de la batería RF puede aumentar. Por otra parte, se descubre que, en el Ejemplo de prueba 2-3 en el que la relación  $K_x/K_y$  ( $K_1/K_2$ ) es 100, una región donde el electrolito que fluye en la dirección de flujo principal está estancado en el electrodo se reduce significativamente en comparación con el Ejemplo de prueba 2-1 y Ejemplo de prueba 2-2 (consultar la Figura 16).

Por consiguiente, cuando la relación  $K_x/K_y$  es 1,5 o más y 100 o menos, es decir, cuando  $K_1$  es 1,5 veces  $K_2$  o más y 100 veces  $K_2$  o menos, se aumenta la relación de la región donde el electrolito fluye en la dirección X a una velocidad de flujo adecuada para la operación de la batería RF y se disminuye la región donde el electrolito que fluye en la dirección de flujo principal está estancado en el electrodo. Por lo tanto, se espera que se reduzca la resistencia interna.

<Ejemplo de prueba 3>

En el Ejemplo de prueba 3, se realizó una prueba de carga-descarga usando una batería RF de tamaño pequeño que tiene a estructura de una única célula y se examinó la resistencia interna. Esta batería RF de tamaño pequeño también incluye una placa bipolar que incluye el canal de flujo con forma de dientes de peine enfrentados entrelazados ilustrado en la Figura 2. Se usaron electrodos que tienen la misma estructura como un electrodo positivo y un electrodo negativo. Un electrolito se introduce desde una porción inferior de la placa bipolar y descarga desde una porción superior de la placa bipolar como en la Realización 1. En consecuencia, la dirección de arriba a abajo se definió como una altura (dirección Y), la dirección de izquierda a derecha se definió como una anchura (dirección X) y una dirección ortogonal a la dirección X y la dirección Y se definió como un grosor (dirección Z). Las resistencias internas se midieron en un caso donde la dirección A1 de un electrodo anisótropo se dispuso para ser paralela a la dirección X, que fue la dirección de flujo principal (Ejemplo de prueba 3-1) y un caso donde la dirección A1 de un electrodo anisótropo se dispuso para ser ortogonal a la dirección X, que fue la dirección de flujo principal (Ejemplo de prueba 3-2). En este ejemplo de prueba, ya que la batería RF tiene una estructura de una única célula como se ha descrito anteriormente, el significado de la resistencia interna de la batería es el mismo que el de una resistencia específica de área. Por lo tanto, la resistencia interna se representa como una resistencia específica de área. A continuación, se describen condiciones de prueba detalladas. La Tabla III muestra los resultados. La resistencia específica de área en la Tabla III representa el promedio de resistencias específicas de área en el segundo ciclo y el tercer ciclo, siendo las resistencias determinadas mediante el método para calcular una resistencia específica de área descrita a continuación.

(Condiciones de prueba)

«Electrodo»

Tipo: electrodo de carbono (fabricado por SGL Carbon Japan Co., Ltd., GDL10AA)  
 Altura: 3,1 (cm), Anchura: 2,9 (cm), Grosor: 0,02 (cm)

«Electrolito»

Solución acuosa V de ácido sulfúrico (concentración V: 1,7 mol/L, concentración de ácido sulfúrico: 3,4 mol/L)  
 Estado de carga: 50 %

«Tasa de flujo de electrolito, etc.»

Tasa de flujo de entrada: 0,31 (ml/min/cm<sup>2</sup>)  
 Tasa de flujo de salida: descarga libre

«Placa bipolar»

Altura (dirección Y): 3,1 (cm), Anchura (dirección X): 2,9 (cm)

[Canal de flujo]

5 Forma de ranura: forma de dientes de peine enfrentados entrelazados

Número de ranuras verticales: canal de entrada 8 × Canal de salida 7

Ranura vertical longitud: 2,6 (cm)

Anchura de ranura: 0,1 (cm)

Profundidad de ranura: 0,1 (cm)

10 Hueco entre ranuras verticales: 0,1 (cm)

Sección transversal de ranura: cuadrada

«Condiciones de carga-descarga»

15 Método de carga-descarga: corriente constante

Densidad de corriente: 70 (mA/cm<sup>2</sup>)

Tensión de fin de carga: 1,55 (V)

Tensión de fin de descarga: 1,00 (V)

Temperatura: 25 °C

20

«Resistencia específica de área (resistencia interna)»

Método de cálculo:  $R = (V2 - V1)/2I$

R: resistencia específica de área ( $\Omega \text{ cm}^2$ )

25

I: densidad de corriente (A/cm<sup>2</sup>)

V1: tensión (V) en punto medio de tiempo de carga

V2: tensión (V) en punto medio de tiempo de descarga

[Tabla III]

Ejemplo de prueba	K1	K2	K1/K2	Resistencia específica de área ( $\Omega \cdot \text{cm}^2$ )
3-1	$7,56 \times 10^{-11}$	$1,95 \times 10^{-11}$	3,87	1,14
3-2	$1,95 \times 10^{-11}$	$7,56 \times 10^{-11}$	0,258	1,34

30

Como se muestra en la Tabla III, la resistencia interna del Ejemplo de prueba 3-1 en el que la dirección A1 del electrodo anisótropo se dispone para ser paralela a la dirección X, que es la dirección de flujo principal, es inferior que la del Ejemplo de prueba 3-2 en el que la dirección A1 se dispone para ser ortogonal la dirección de flujo principal (dirección X). Se cree que esto es porque, en el Ejemplo de prueba 3-1, la dirección A1 del electrodo anisótropo y la dirección de flujo principal (dirección X) se disponen para ser paralelas entre sí y por lo tanto se reduce la variación en la velocidad de flujo del electrolito que fluye en la dirección de flujo principal en el electrodo, como se describe en el Ejemplo de prueba 1 y Ejemplo de prueba 2.

35

(Método para medir permeabilidad)

40

La permeabilidad del electrodo anisótropo usado en el Ejemplo de prueba 3 se determinó como se indica a continuación. Una pérdida de presión  $\Delta P$  y una tasa de flujo Q de un fluido se midieron usando un sistema de medición de pérdida de presión 600 ilustrado en la Figura 22. La permeabilidad se determinó usando los resultados de medición y una ecuación representada mediante  $\Delta P = (h/K)\mu(Q/wd)$  (denominada como Ecuación de Darcy-Weisbach, detalles de la cual se describirán más adelante). El sistema de medición de pérdida de presión 600 incluye una célula de medición 610, un tanque de fluido 620, una bomba 640, un medidor de flujo 650, un manómetro diferencial 660 y un tubo 630 que conecta estos dispositivos entre sí. La célula de medición 610 contiene en la misma un electrodo (capa de electrodo) cuya permeabilidad K se determinará. El tanque de fluido 620 almacena un fluido 622 (tal como agua) a introducir en el electrodo. La bomba 640 alimenta el fluido 622 a los dispositivos con presión a través del tubo 630. El medidor de flujo 650 mide una tasa de flujo del fluido en el lado de salida de la bomba. El manómetro diferencial 660 se conecta a la célula de medición 610 en paralelo a través del tubo 630 y mide una pérdida de presión  $\Delta P$ . La célula de medición 610 incluye una porción de almacenamiento (no mostrada) que almacena un electrodo. Un espaciador (no mostrado) para asegurar un grosor de electrodo d de 0,2 a 0,5 mm se dispone en la porción de almacenamiento. El medidor de flujo 650 y el manómetro diferencial 660 se unen al tubo 630. Las flechas de línea de trazo y un punto en la Figura 22 muestran direcciones en las que se permite que fluya el fluido 622.

55

Un electrodo que tiene una altura h de 100 mm y una anchura d de 50 mm se empuja en la porción de almacenamiento de la célula de medición 610. El fluido 622 (en este ejemplo, agua cuya viscosidad  $\mu$  se asume que es constante) se permite que fluya a continuación en la célula de medición 610 que mantiene una capa de electrodo usando la bomba 640. El fluido 622 se introduce desde una superficie lateral (superficie que tiene un área en sección transversal representada mediante wd) de la capa de electrodo y se permite que fluya en la dirección de altura de la

60

capa de electrodo. En este caso, las pérdidas de presión  $\Delta P$  cuando la tasa de flujo  $Q$  se cambia a varios valores ajustando la bomba 640 se miden cada una con el manómetro diferencial 660. Los resultados se trazan en un gráfico donde el eje horizontal representa la tasa de flujo  $Q$  y el eje vertical representa la pérdida de presión  $\Delta P$ . Estos puntos de medición trazados se aproximan mediante la Ecuación de Darcy-Weisbach. La inclinación de la línea recta aproximada se define como la permeabilidad  $K$  en la dirección de altura.

En la Ecuación de Darcy-Weisbach,  $K$  representa una permeabilidad ( $m^2$ ),  $\Delta P$  representa una pérdida de presión (Pa),  $Q$  representa una tasa de flujo ( $m^3/s$ ) de un fluido a introducir en un electrodo,  $\mu$  representa una viscosidad ( $Pa \cdot s$ ) del fluido que se permite fluir,  $h$  representa una altura (m) del electrodo,  $w$  representa una anchura (m) del electrodo  $\alpha$ , y  $d$  representa un grosor (m) del electrodo en un estado de estar comprimido en una pila de células 200. La permeabilidad  $K$  es un valor inherente a la capa de electrodo independientemente del tipo de fluido. Por lo tanto, como se ha descrito anteriormente, la permeabilidad  $K$  es una constante que puede medirse usando un fluido, tal como agua, cuya viscosidad se conoce.

#### 15 Aplicabilidad industrial

Las baterías de flujo redox de acuerdo con la presente invención pueden usarse adecuadamente como baterías de almacenamiento de gran capacidad para generación de potencia de energía natural, tal como generación de potencia solar o generación de potencia eólica, para el propósito de estabilización de variación de salida de potencia, almacenamiento de potencia generada durante suministro excesivo, nivelación de carga y similares. Las baterías de flujo redox de acuerdo con la presente invención también pueden proporcionarse adicionalmente en una central eléctrica general, instalaciones comerciales de gran escala o similar y usarse adecuadamente como baterías de almacenamiento de gran capacidad como contramedidas contra fallo de potencia/caída de tensión y para el propósito de nivelación de carga.

25

#### Lista de signos de referencia

##### 1 batería de flujo redox (batería RF)

- 30 100 celda de batería
- 101 membrana
- 102 célula de electrodo positivo
- 103 célula de electrodo negativo
- 104 positive electrodo
- 35 105 electrodo negativo
- 106 tanque de electrolito de electrodo positivo
- 107 tanque de electrolito de electrodo negativo
- 108, 109, 110, 111 conducto
- 112, 113 bomba
- 40 200 pila de células

##### 120 marco de célula

- 45 121 placa bipolar
  - 130 canal de flujo
  - 131 canal de entrada
  - 132 canal de salida
  - 50 130a, 131a, 132a ranura horizontal (porción de ranura)
  - 130b, 131b, 132b ranura vertical (porción de ranura)
  - 135a porción de ranura corta
  - 135b porción de ranura larga

##### 122 marco

- 55 123, 124 puerto de entrada (colector de suministro de líquido)
- 125, 126 puerto de salida (colector de descarga de líquido)

##### $\alpha$ electrodo anisótropo

- 60  $\alpha 1$  capa de electrodo anisótropo

- 300 convertidor AC/DC 310 instalaciones de transformador
- 400 unidad de generación de potencia 500 carga

65

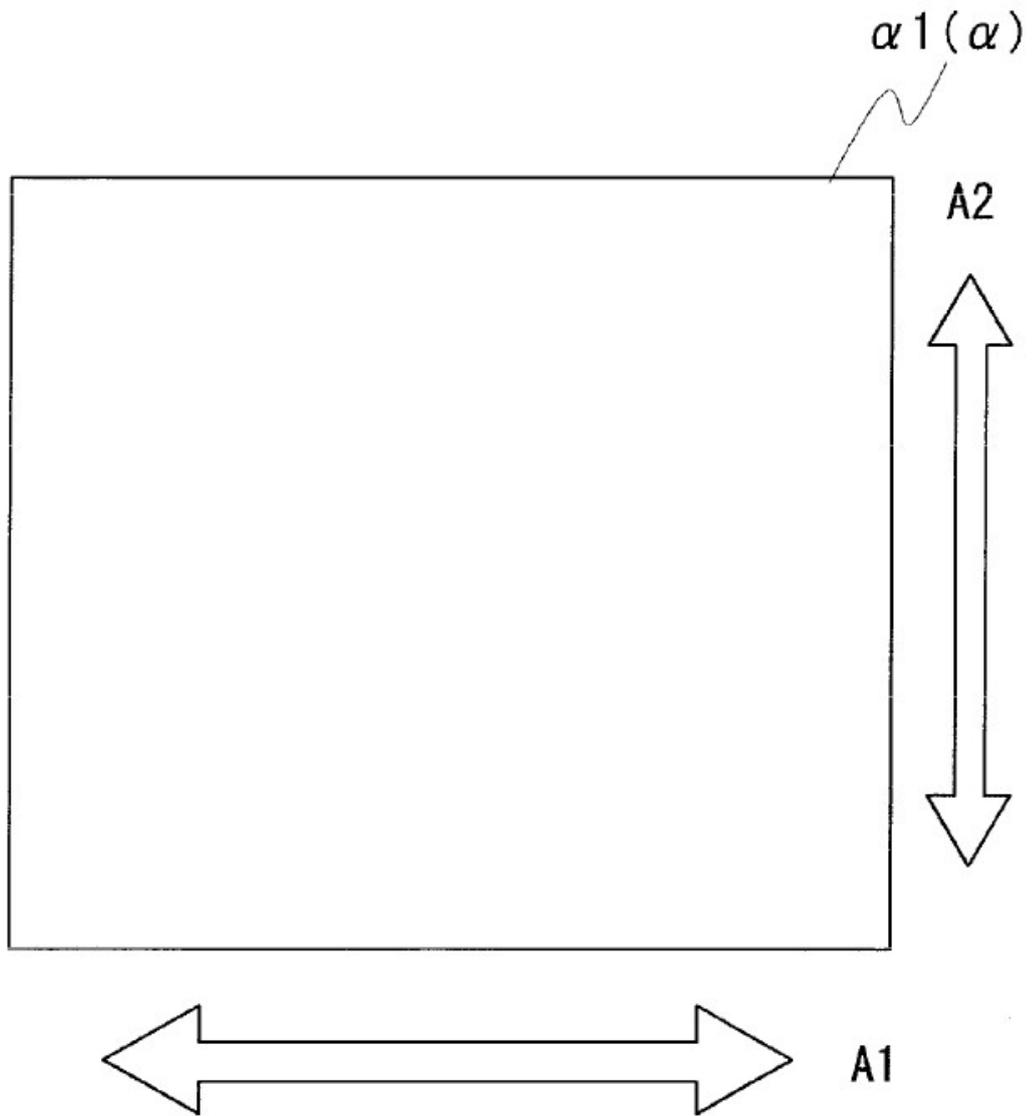
600 sistema de medición de pérdida de presión

5           610 célula de medición  
          620 tanque de fluido  
          622 fluido  
          630 tubo  
          640 bomba  
          650 medidor de flujo  
10          660 manómetro diferencial

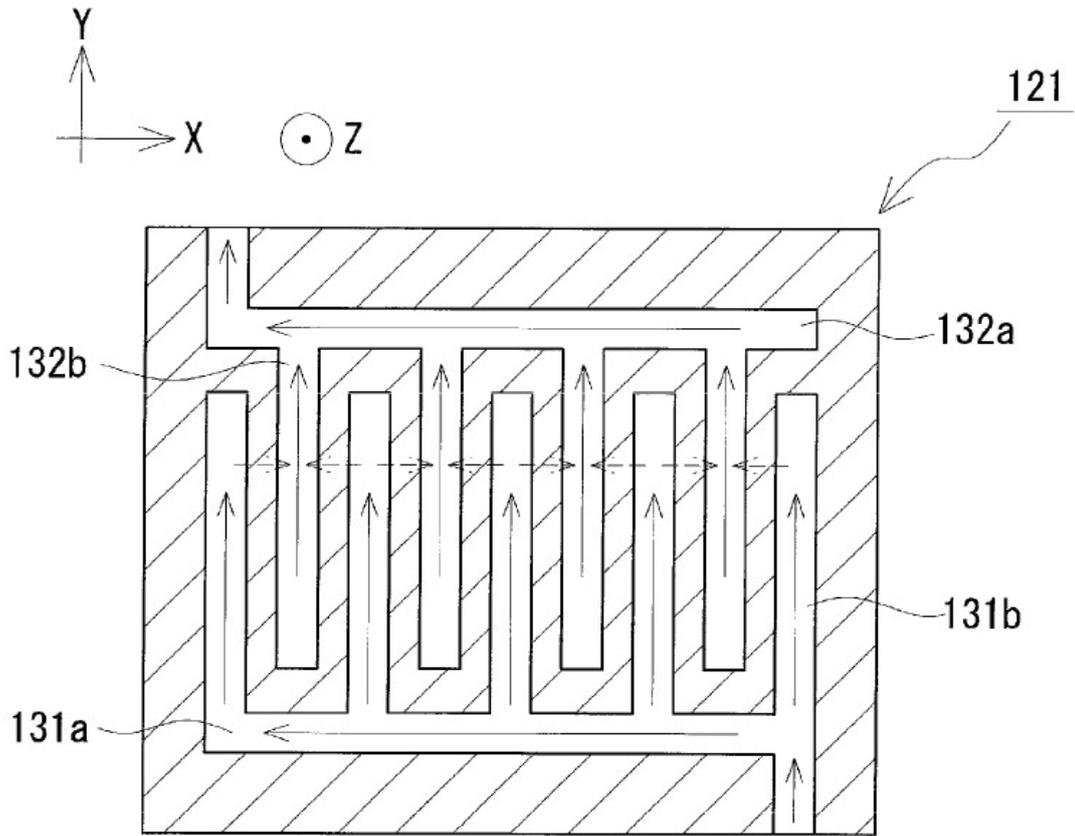
**REIVINDICACIONES**

1. Una batería de flujo redox que comprende una membrana; una placa bipolar; un electrodo dispuesto entre la membrana y la placa bipolar; un puerto de entrada para suministrar un electrolito al electrodo; y un puerto de salida para descargar el electrolito del electrodo, realizando la batería de flujo redox una reacción de carga-descarga permitiendo que el electrolito fluya en el electrodo,  
 5 donde el electrodo incluye una capa de electrodo anisótropo que tiene diferentes permeabilidades entre una dirección A1 en un plano del electrodo y una dirección A2 ortogonal a la dirección A1 en el plano del electrodo, en la capa de electrodo anisótropo, una permeabilidad K1 en la dirección A1 es más grande que una permeabilidad K2 en la dirección A2, y  
 10 el electrodo se dispone de tal forma que la dirección A1 es sustancialmente paralela a una dirección de flujo principal del electrolito en el electrodo, estando la dirección de flujo principal determinada sobre la base de una relación posicional entre el puerto de entrada y el puerto de salida y una forma de una superficie de la placa bipolar en el lado de electrodo.  
 15
2. La batería de flujo redox de acuerdo con la reivindicación 1, donde la permeabilidad K1 es 1,5 veces o más y 100 veces o menos que la permeabilidad K2.
3. La batería de flujo redox de acuerdo con la reivindicación 1 o 2,  
 20 donde la placa bipolar incluye un canal de flujo que se dispone en la superficie en el lado de electrodo y en el que fluye el electrolito, el canal de flujo tiene una pluralidad de porciones de ranura dispuestas paralelas entre sí, y la dirección de flujo principal es una dirección en la que las porciones de ranura se disponen en paralelo.
4. La batería de flujo redox de acuerdo con la reivindicación 3,  
 25 donde el canal de flujo incluye un canal de entrada conectado al puerto de entrada y un canal de salida conectado al puerto de salida, el canal de entrada y el canal de salida incluyen cada uno las porciones de ranura, y el canal de entrada y el canal de salida no se comunican entre sí y son independientes entre sí.  
 30
5. La batería de flujo redox de acuerdo con la reivindicación 4,  
 donde el canal de entrada y el canal de salida incluyen cada uno porciones de ranura que tienen una forma de dientes de peine, y  
 35 el canal de entrada y el canal de salida se disponen de tal forma que dientes de peine se enfrentan entre sí de una manera entrelazada.
6. La batería de flujo redox de acuerdo con la reivindicación 3,  
 donde el canal de flujo tiene una forma serpenteante continua que se extiende desde el puerto de entrada hasta el puerto de salida e incluye una pluralidad de porciones de ranura largas dispuestas en paralelo para ser adyacentes  
 40 entre sí y una pluralidad de porciones de ranura cortas que como alternativa conectan unos extremos o los otros extremos de las porciones de ranura largas entre sí, y la dirección de flujo principal es una dirección en la que las porciones de ranura largas se disponen en paralelo.
7. La batería de flujo redox de acuerdo con la reivindicación 1 o 2,  
 45 donde la forma de la superficie de la placa bipolar en el lado de electrodo es una forma de superficie plana, y la dirección de flujo principal se dirige desde el lado de puerto de entrada hasta el lado de puerto de salida.

**FIG. 1**

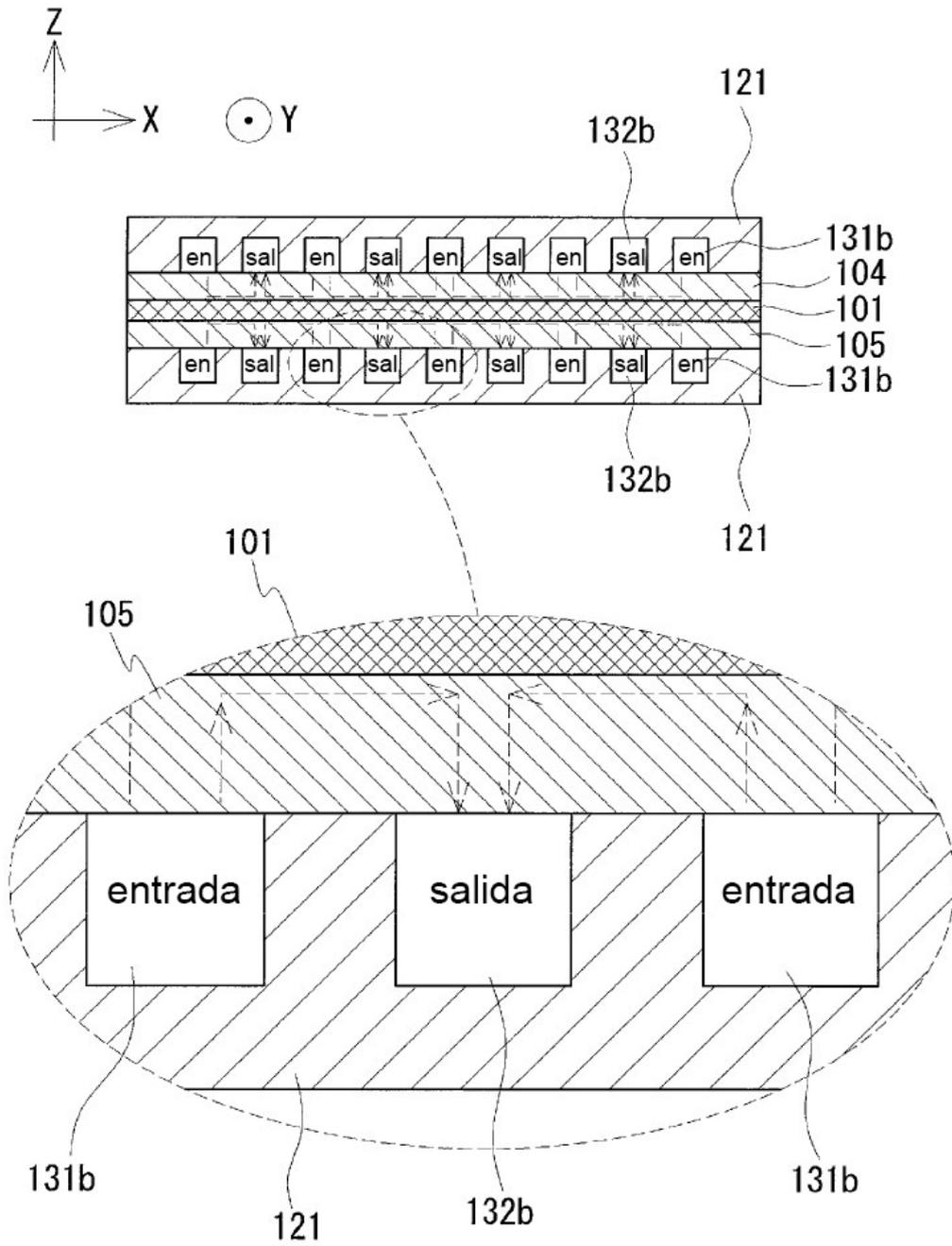


**FIG. 2**

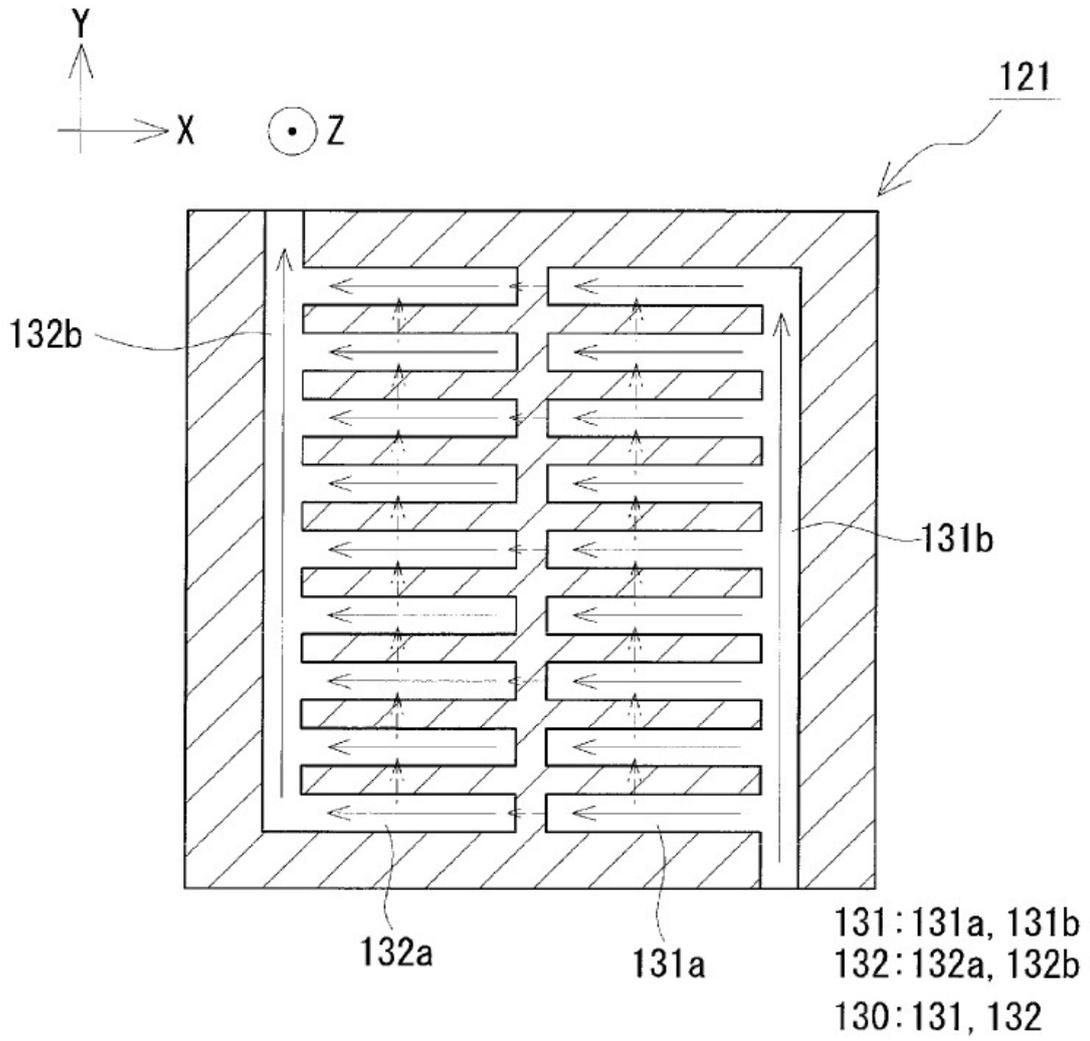


131: 131a, 131b  
 132: 132a, 132b  
 130: 131, 132

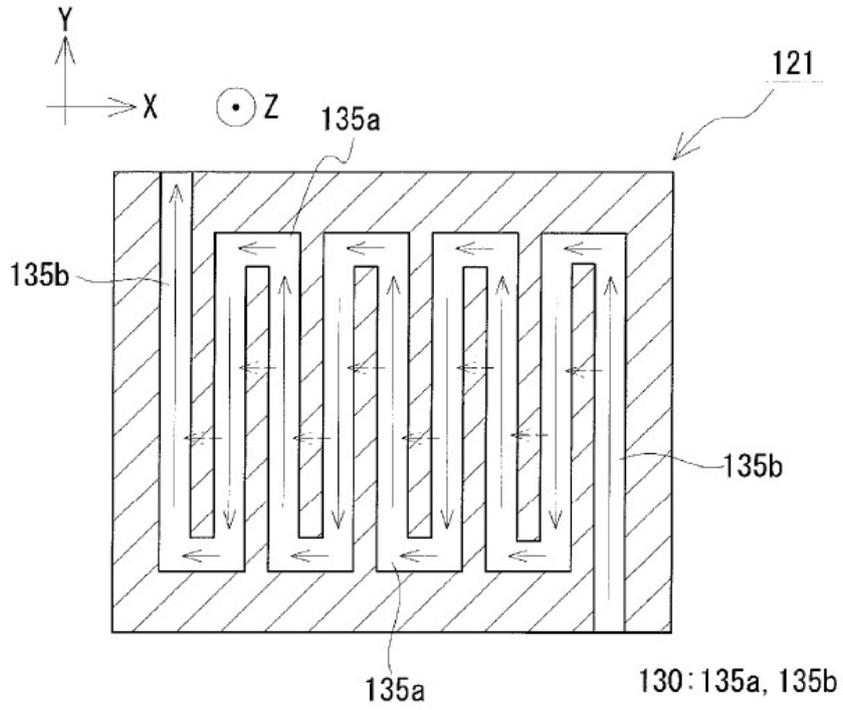
**FIG. 3**



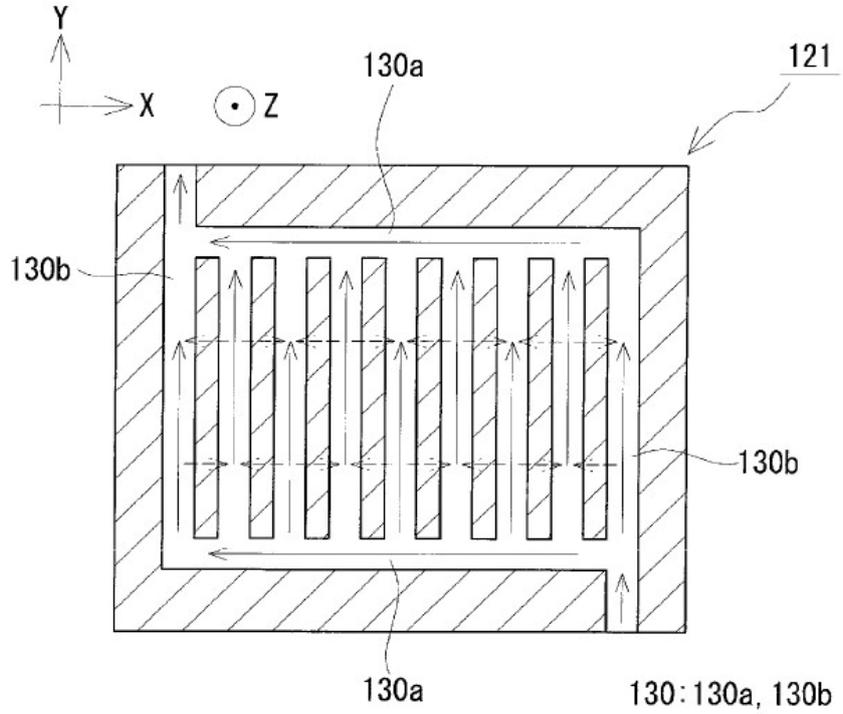
**FIG. 4**



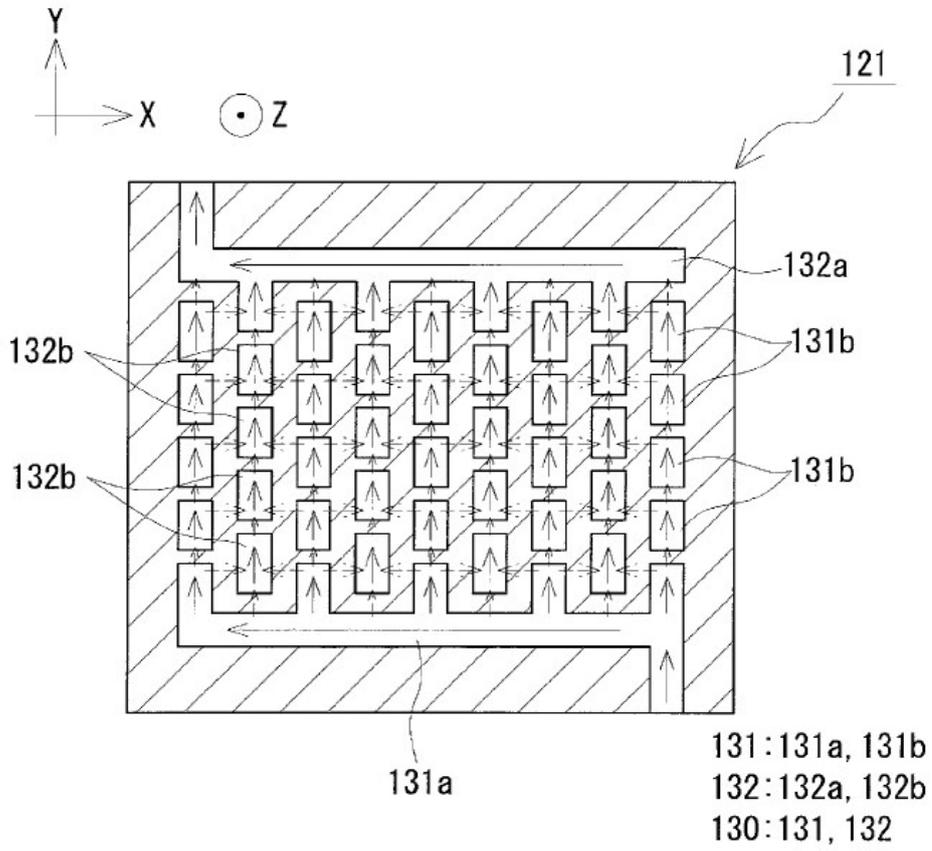
**FIG. 5**



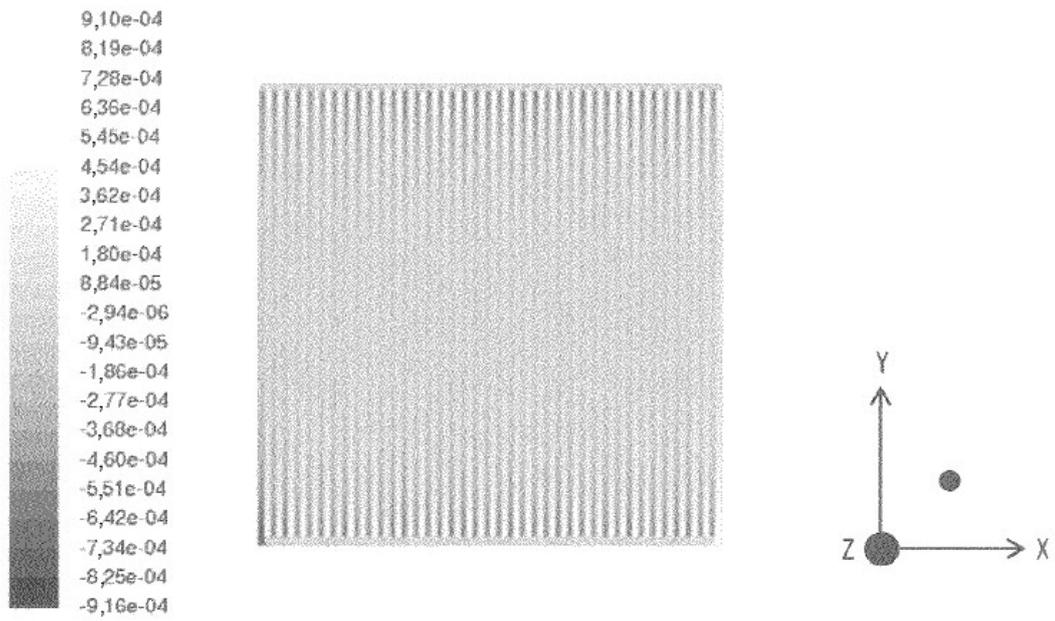
**FIG. 6**



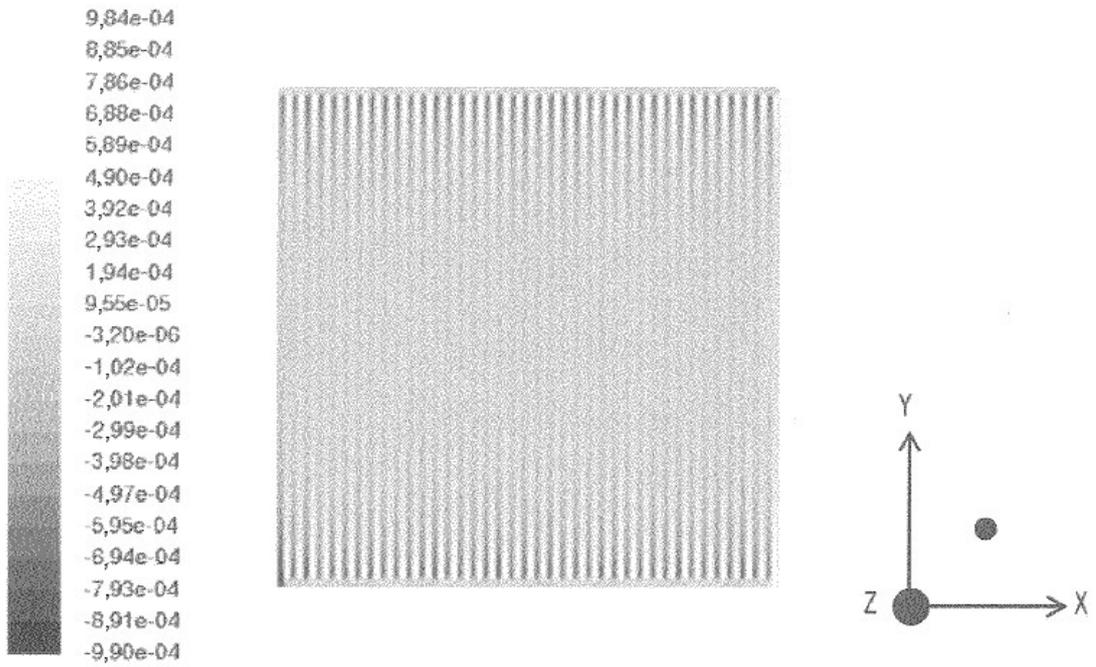
**FIG. 7**



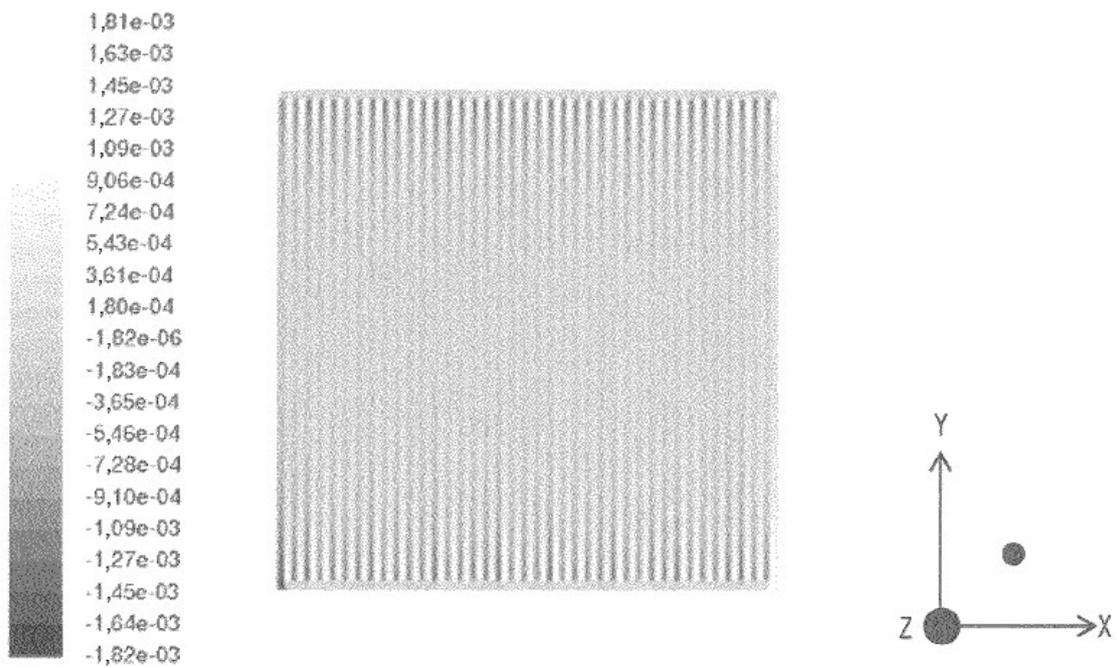
**FIG. 8**



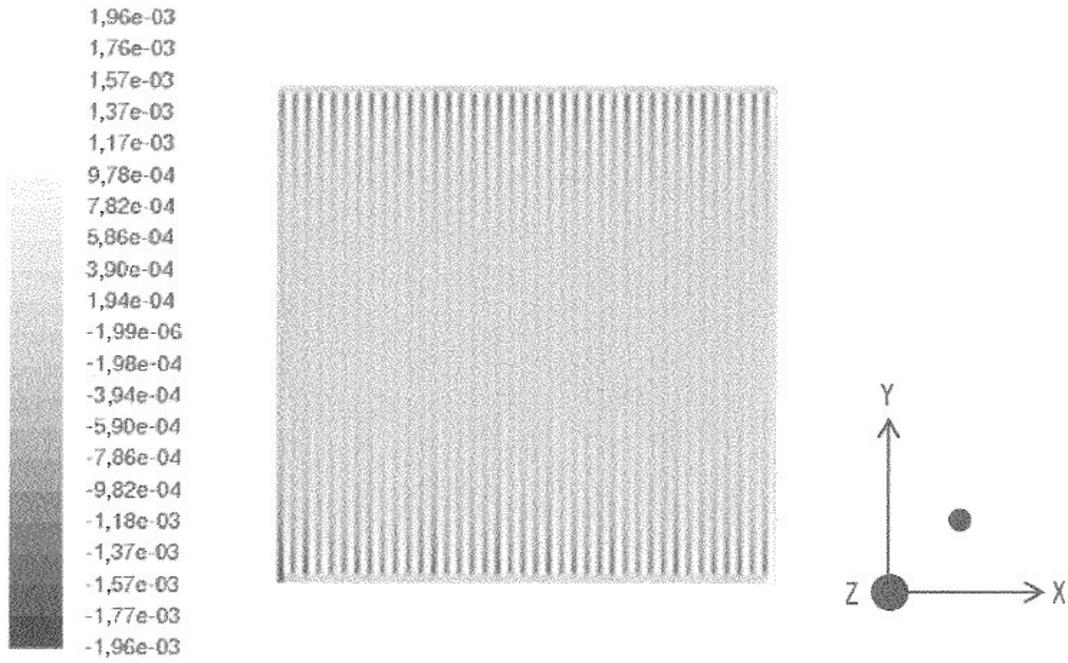
**FIG. 9**



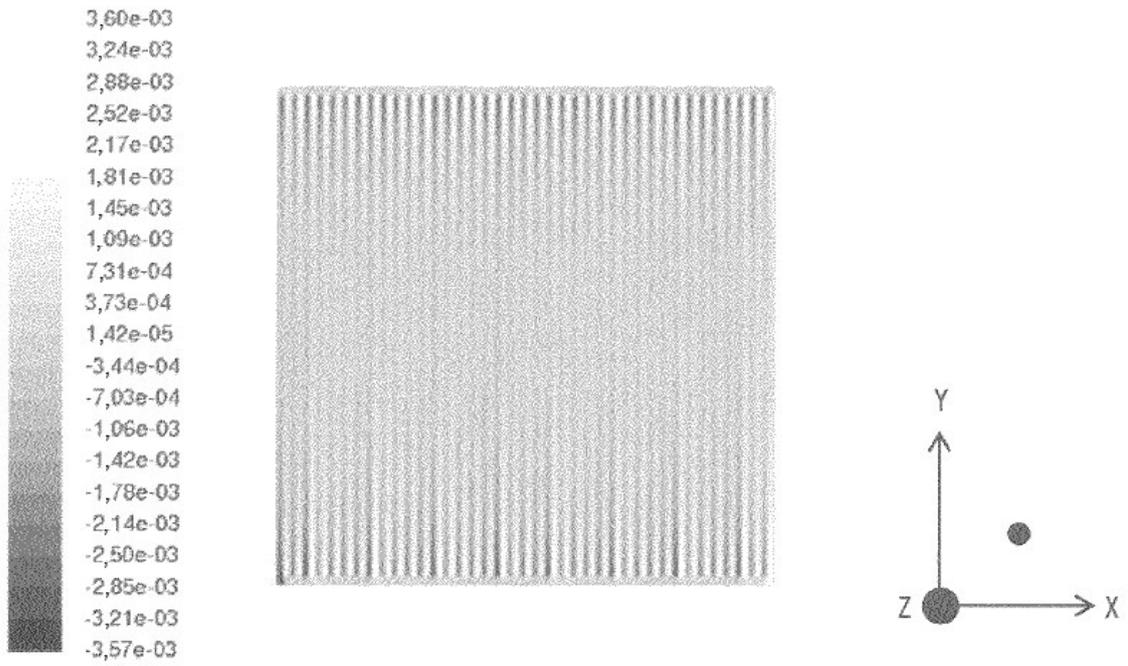
**FIG. 10**



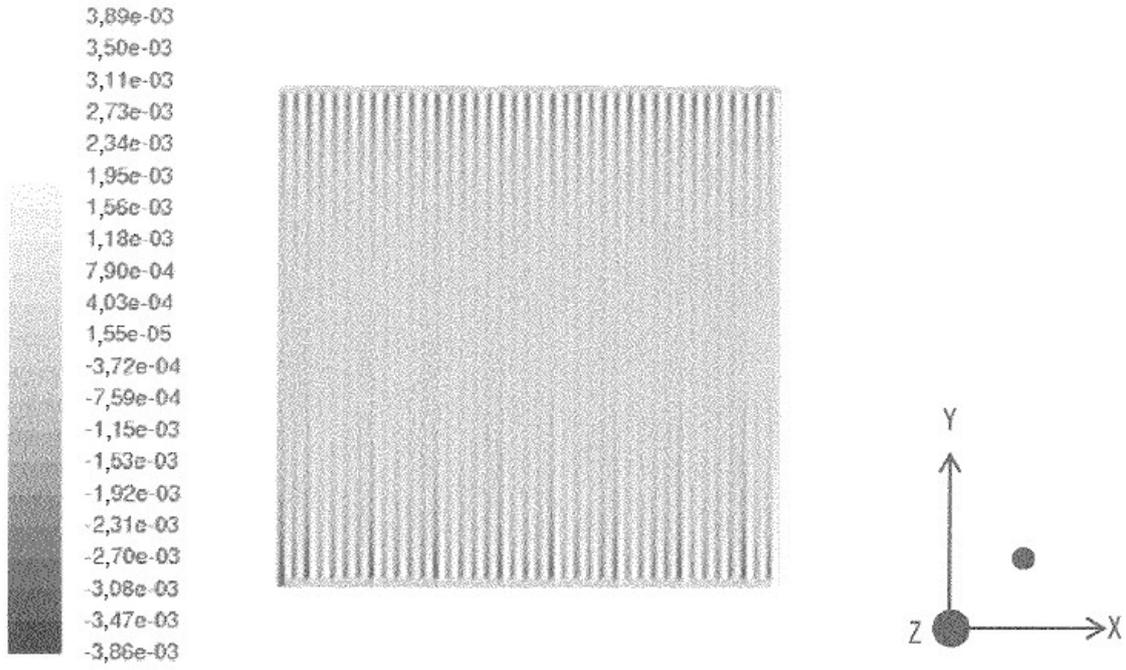
**FIG. 11**



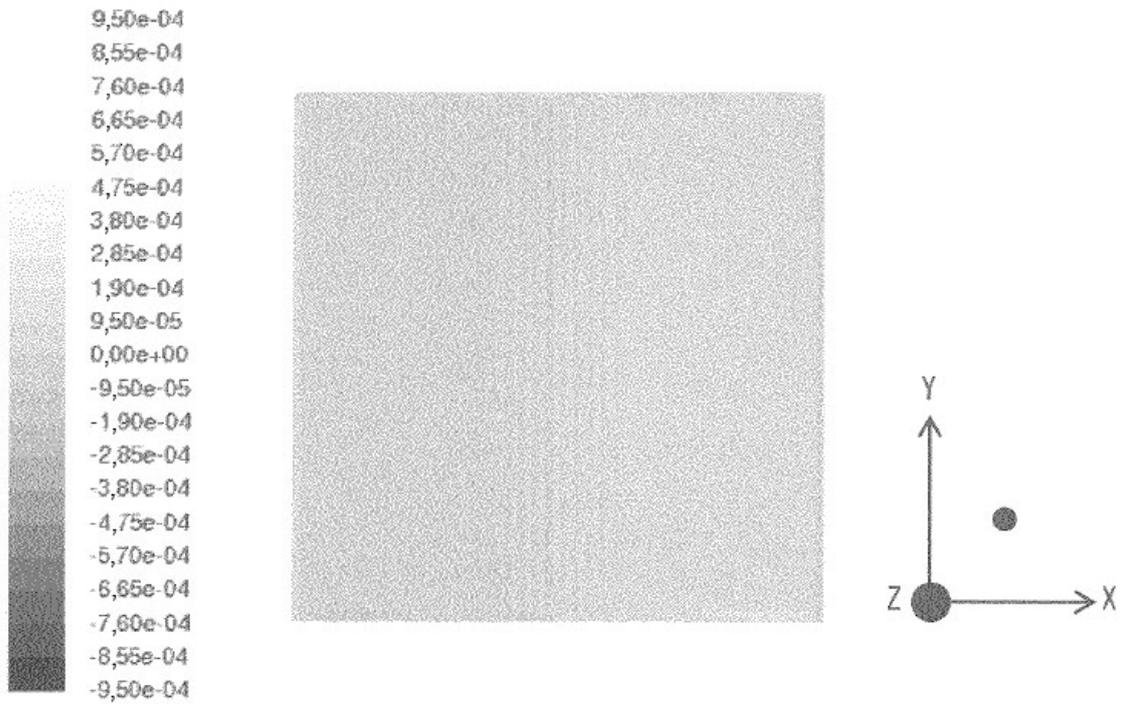
**FIG. 12**



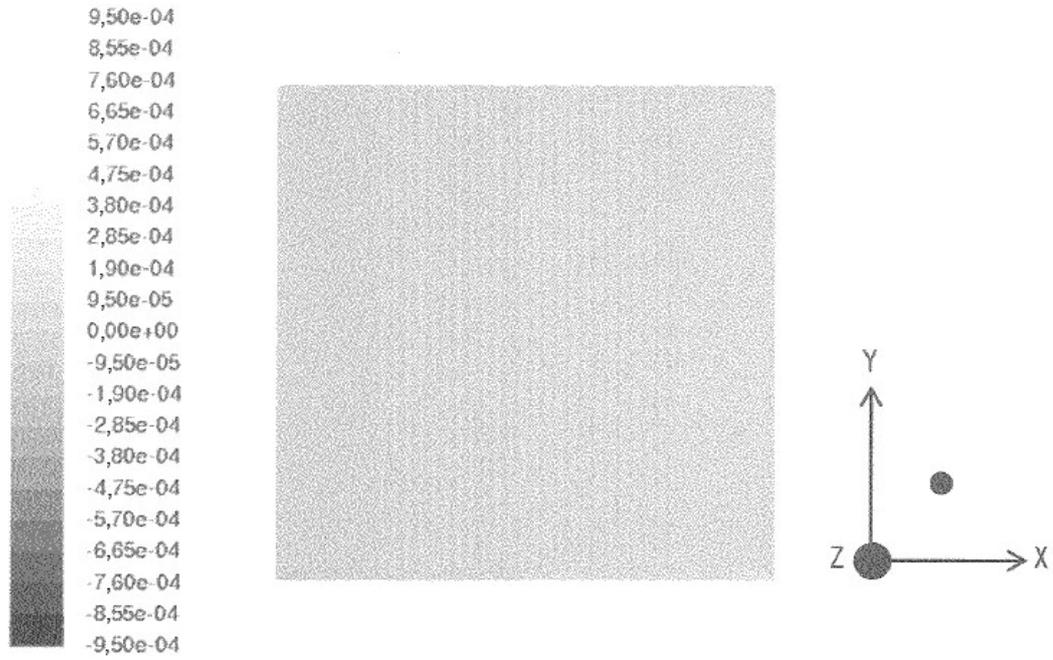
**FIG. 13**



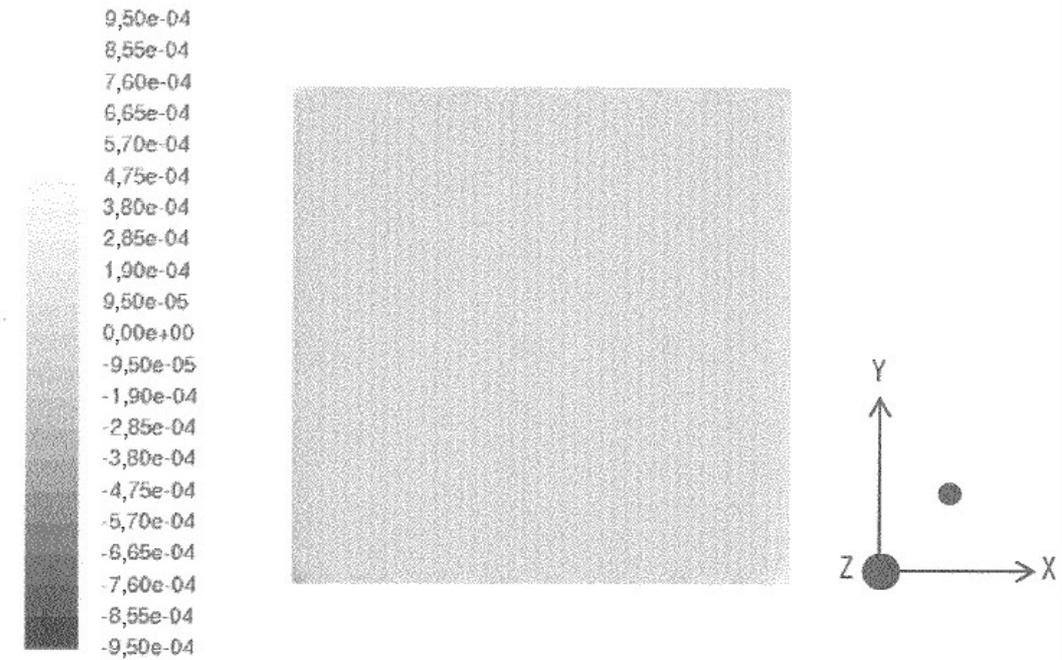
**FIG. 14**



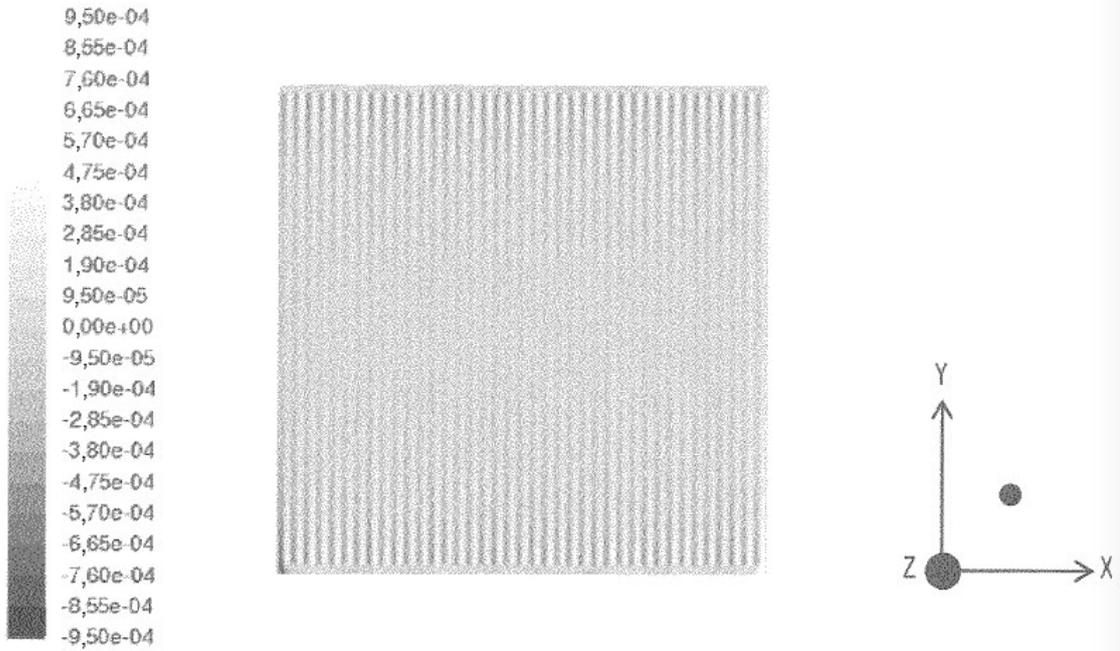
**FIG. 15**



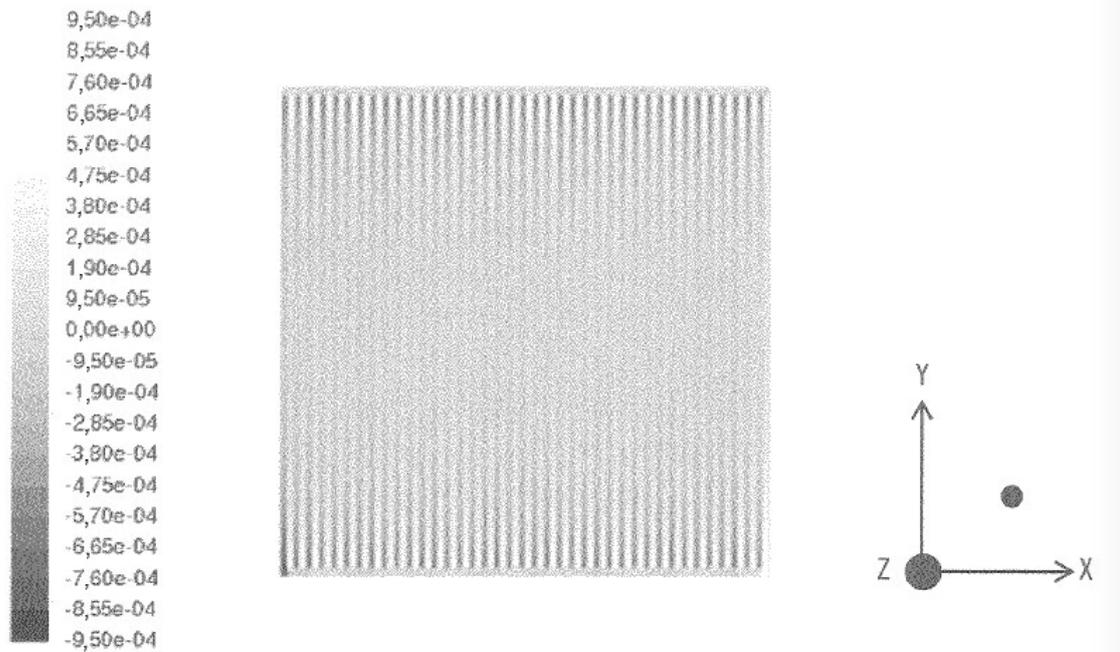
**FIG. 16**



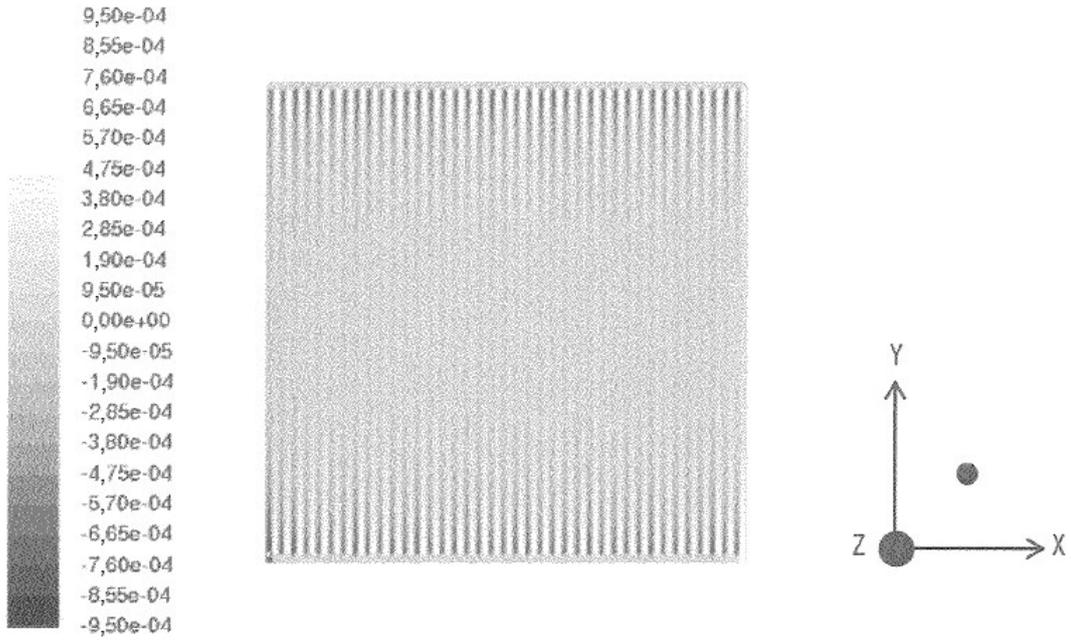
**FIG. 17**



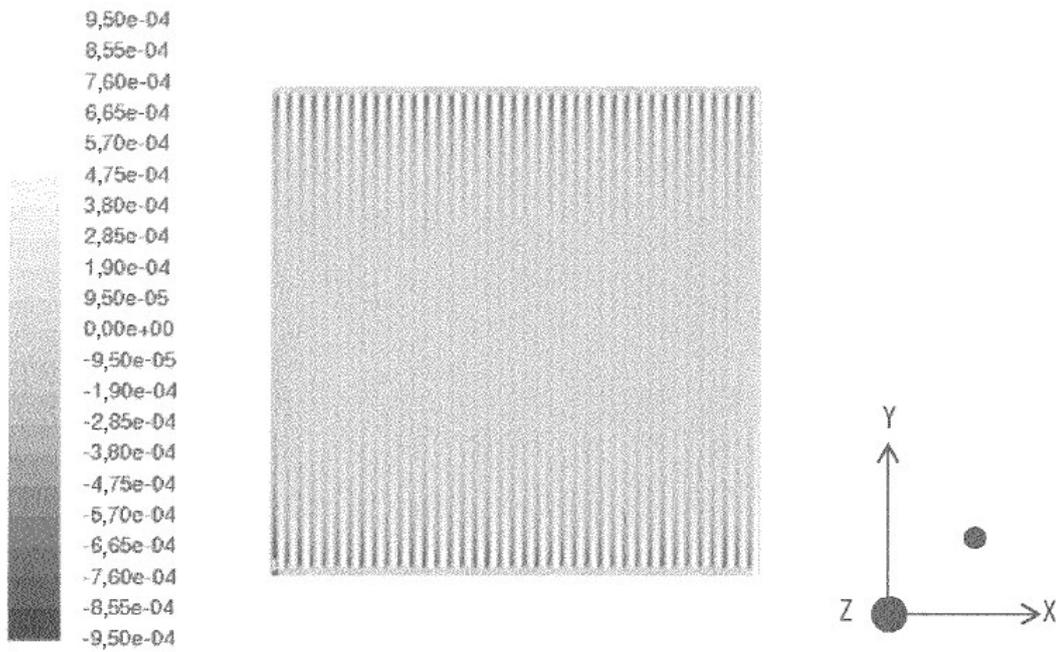
**FIG. 18**



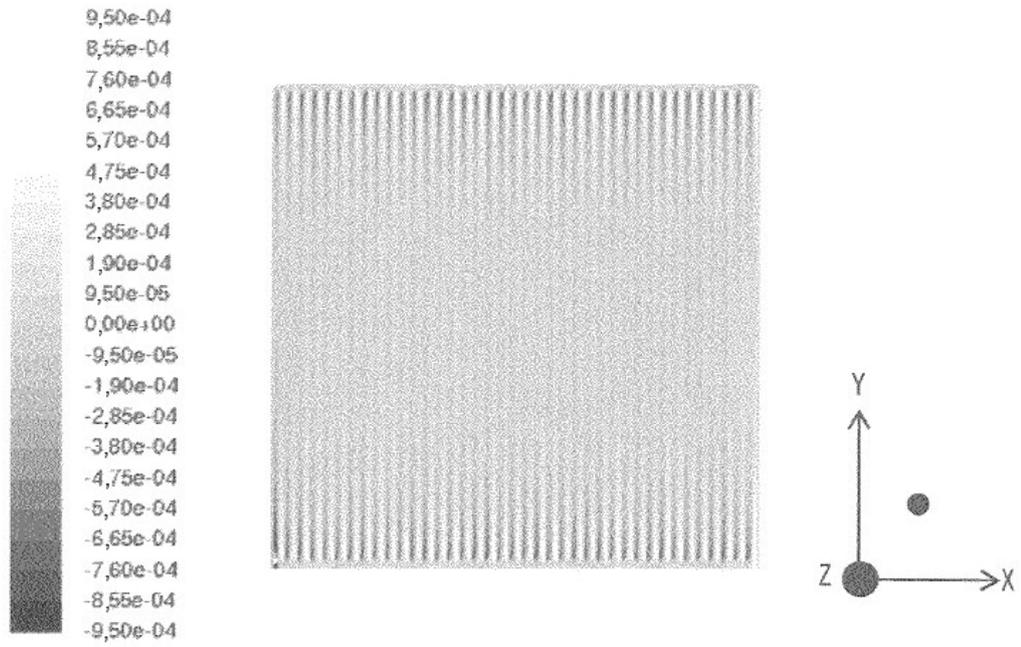
**FIG. 19**



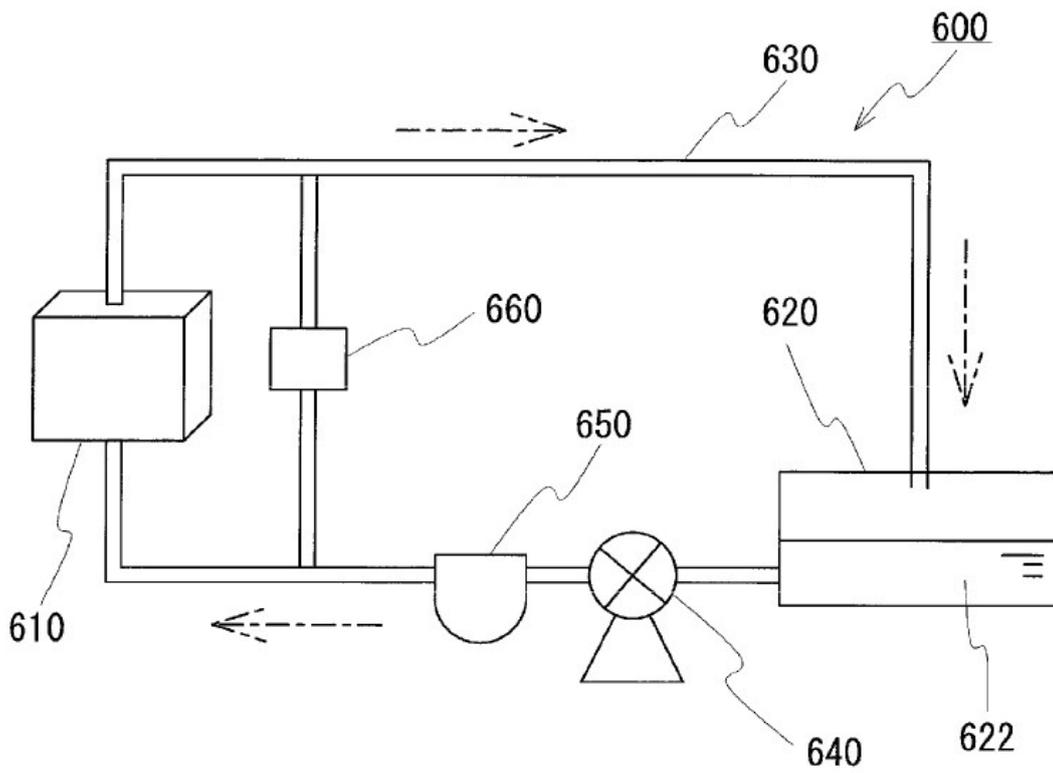
**FIG. 20**



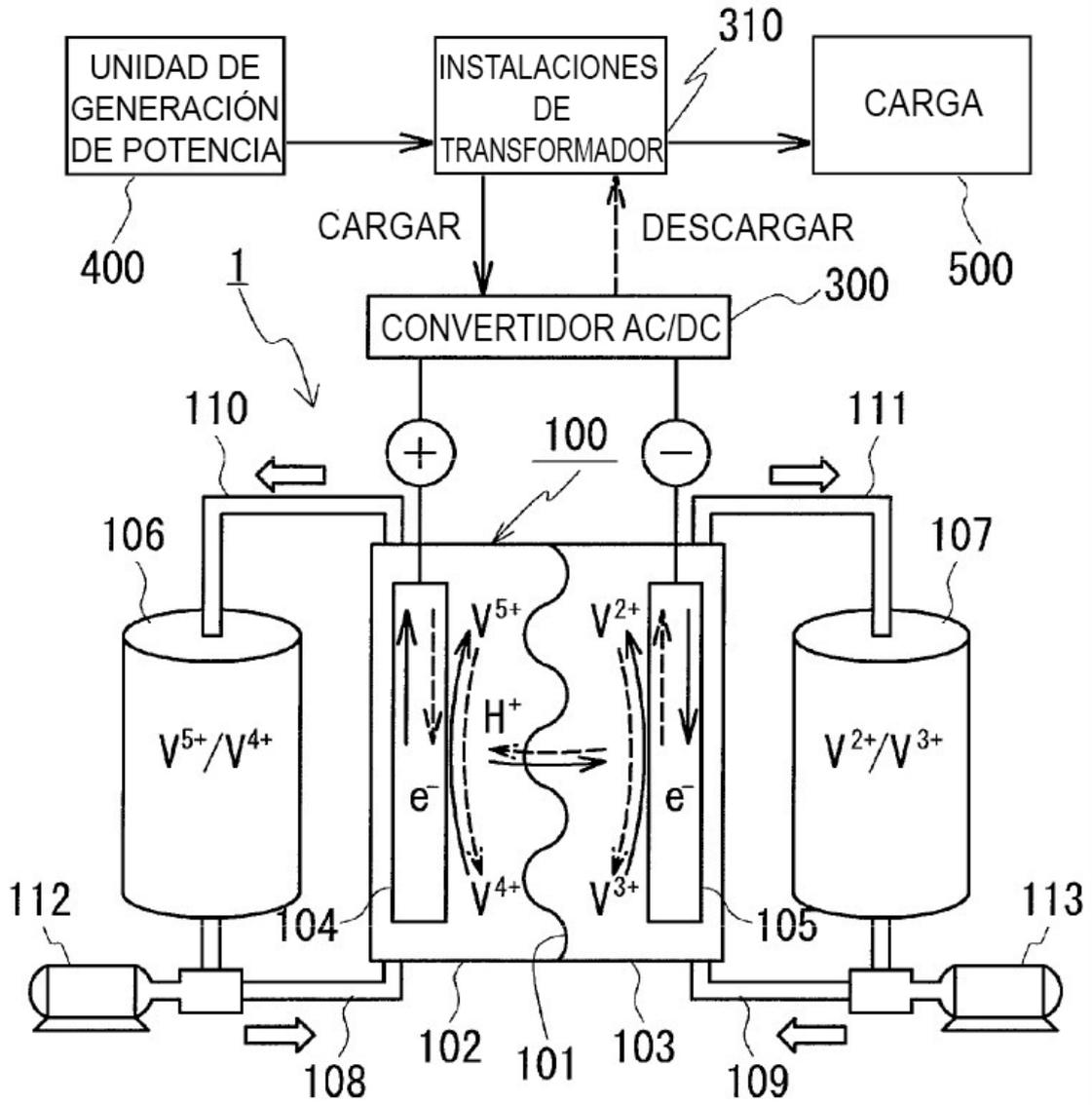
**FIG. 21**



**FIG. 22**



**FIG. 23**



**FIG. 24**

