

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **3 016 057**

51 Int. Cl.:

C25B 11/03 (2011.01)

C25B 1/46 (2006.01)

C25B 9/19 (2011.01)

C25B 11/051 (2011.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **28.12.2017** **PCT/JP2017/047365**

87 Fecha y número de publicación internacional: **19.07.2018** **WO18131519**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **28.12.2017** **E 17891083 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **26.02.2025** **EP 3569740**

54 Título: **Electrodo para electrólisis, electrolizador, laminado de electrodo y método para renovar electrodo**

30 Prioridad:

13.01.2017 JP 2017004383

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
08.05.2025

73 Titular/es:

ASAHI KASEI KABUSHIKI KAISHA (100.00%)
1-1-2 Yurakucho, Chiyoda-ku
Tokyo 1000006, JP

72 Inventor/es:

NISHIZAWA, MAKOTO;
KADO, YOSHIFUMI y
HACHIYA, TOSHINORI

74 Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

ES 3 016 057 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

Electrodo para electrólisis, electrolizador, laminado de electrodo y método para renovar electrodo

Campo técnico

5 La presente invención se refiere a un electrodo para electrólisis, un electrolizador, un laminado de electrodo y un método para renovar un electrodo.

Antecedentes de la técnica

10 La electrólisis de cloruro de sodio mediante un proceso de membrana de intercambio iónico es un método para descomponer eléctricamente (electrolizar) salmuera mediante el uso de un electrodo para electrólisis para producir soda cáustica, cloro e hidrógeno. En el proceso de electrólisis de cloruro de sodio mediante el proceso de membrana de intercambio iónico, se requiere una tecnología para mantener una tensión de electrólisis bajo durante un largo plazo con el fin de reducir el consumo de energía, en vista de la carga ambiental y el problema energético.

15 Para analizar más específicamente la ruptura de la tensión de electrólisis, se ha descubierto que no solo se incluye una tensión de electrólisis teórica requerida, sino también tensiones debidas a la resistencia de una membrana de intercambio iónico y la resistencia estructural de un electrolizador, sobretensiones de un ánodo y un cátodo que sirven como electrodos para la electrólisis, y tensión debida a la distancia entre un ánodo y un cátodo. Si la electrólisis se continúa durante un largo período, la tensión a veces puede aumentar debido a causas como, por ejemplo, impurezas contenidas en la salmuera.

20 En el caso de las tensiones de electrólisis, para reducir la sobretensión de un ánodo para generar cloro, se han llevado a cabo diversas investigaciones. Por ejemplo, la Bibliografía de Patente 1 describe una técnica de un ánodo insoluble, que se forma recubriendo un sustrato de titanio con un óxido de un metal del grupo del platino como, por ejemplo, el rutenio. Este ánodo se denomina DSA (marca registrada, *Dimension Stable Anode*). La Bibliografía No Patentada 1 describe el progreso de la tecnología de electrólisis de sosa utilizando DSA.

Hasta el momento, DSA se ha mejorado de diversas maneras con el objetivo de mejorar el rendimiento.

25 Por ejemplo, la Bibliografía de Patente 2 propone un proceso electrolítico que consiste en mover la superficie de una membrana de intercambio catiónico orientada hacia un ánodo para acercarla lo más posible a un ánodo, lo cual utiliza una placa porosa metálica que tiene un espesor, un diámetro de poro y una porosidad predeterminados o un metal expandido que tiene un espesor, un eje mayor, un eje menor y una relación de apertura predeterminados. La Bibliografía de Patente 3 propone un ánodo formado virtualmente por una malla metálica en forma de diamante y que tiene relaciones predeterminadas de hebras de malla y aberturas, intervalos predeterminados de aberturas en la dirección longitudinal (LWD, por sus siglas en inglés) y en la dirección de ancho (SWD, por sus siglas en inglés). La Bibliografía de Patente 3 describe que se puede utilizar un óxido de metal del grupo del platino, magnetita, ferrita, espinela de cobalto o una mezcla de óxidos metálicos como material de revestimiento que se va a aplicar sobre la superficie de una malla metálica que tiene forma de diamante.

35 La Bibliografía de Patente 4 propone una técnica para mejorar el rendimiento de la electrólisis mediante el uso de un metal expandido hecho de titanio o una malla metálica hecha de titanio como sustrato de ánodo; controlando la relación de apertura y el espesor del sustrato de ánodo para que caigan dentro de rangos predeterminados; y controlando una diferencia máxima de altura hacia arriba y hacia abajo de la superficie del sustrato de ánodo recubierto con un catalizador para que caiga dentro de rangos predeterminados.

40 La Bibliografía de Patente 5 describe que la tensión de una celda durante la electrólisis se puede reducir reduciendo el espesor de un ánodo a la mitad o menos del de un ánodo convencional, y controlando las relaciones de las aperturas en la dirección longitudinal y la dirección lateral. Mediante el uso del electrodo (ánodo), se han llevado a cabo intentos para reducir la cantidad de gas de impureza, es decir, gas oxígeno, que se genera por la reacción de iones de hidróxido difundidos desde una cámara catódica a través de una membrana de intercambio iónico.

45 La Bibliografía de Patente 6 describe un método para la electrólisis de una solución acuosa de un cloruro de metal alcalino en una celda electrolítica dividida por medio de una membrana de intercambio catiónico en una cámara de ánodo y una cámara de cátodo, lo cual permite que la distribución de corriente en la membrana de intercambio catiónico sea uniforme.

50 La Bibliografía de Patente 7 describe una unidad de electrodo que tiene un primer electrodo, un segundo electrodo dispuesto frente al primer electrodo y una membrana de separación porosa colocada en el lado del segundo electrodo del primer electrodo. El primer electrodo tiene múltiples primeras cavidades que se abren sobre una primera superficie, múltiples segundas cavidades de área de apertura más grande que las primeras cavidades, que se abren sobre una segunda superficie ubicada en el lado posterior de la primera superficie, y múltiples orificios pasantes que conectan las primeras cavidades y las segundas cavidades. Los orificios pasantes tienen partes curvas y partes lineales, siendo el radio de curvatura de las partes curvas de 0,005 a 0,5 mm, inclusive, y siendo el área de apertura de 0,05 mm² a 2 mm², inclusive.

- 5 La Bibliografía de Patente 8 describe una unidad de electrodo de un dispositivo electrolítico que incluye un primer electrodo que incluye una primera superficie, una segunda superficie ubicada en un lado opuesto a la primera superficie y múltiples orificios pasantes que se abren en la primera superficie y la segunda superficie, un segundo electrodo opuesto a la primera superficie del primer electrodo y una membrana porosa que contiene un óxido inorgánico y provista en la primera superficie del primer electrodo para cubrir la primera superficie y los orificios pasantes.
- 10 La Bibliografía de Patente 9 describe una celda electroquímica que incluye un cátodo que tiene orificios pasantes y un catalizador soportado sobre un material de base eléctricamente conductor; un ánodo; y una película de electrolito que tiene propiedades de intercambio de cationes y dispuesta entre el cátodo y el ánodo. Las aberturas de los orificios pasantes del material de base tienen una relación de apertura de 9,5 piezas/cm² o más y 180 piezas/cm² o menos y un área de apertura es de 0,4 mm² o más y 6,0 mm² o menos por abertura, y el material de base tiene un espesor de 0,128 mm o más y 0,55 mm o menos.
- 15 La Bibliografía de Patente 10 busca proveer un baño electrolítico para una membrana de intercambio iónico en donde un electrodo que incluye dos capas de metales expandidos está dispuesto sobre una superficie de electrodo y un método para fabricar el baño electrolítico para la membrana de intercambio iónico.
- 20 La Bibliografía de Patente 11 describe una estructura de electrodo electrolítico que tiene una parte saliente fina en el lado donde se abre un material de base poroso que tiene una parte de apertura circular o rómbica y se reduce la tensión electrolítica liberando las burbujas producidas antes de que crezcan desde la parte saliente para disminuir las burbujas alrededor del electrodo.
- La Bibliografía de Patente 12 busca disminuir la pérdida de resistencia de los conductores y reducir una tensión electrolítica proporcionando un par de aberturas rectangulares en muchos puntos de la superficie de una placa de electrodo y proporcionando sucesivamente miembros en forma de alero correspondientes a las aberturas de la placa de electrodo.
- 25 La Bibliografía de Patente 13 busca controlar el gas en celdas de electrólisis productoras de gas equipadas con ánodos dimensionalmente estables montados sustancialmente en forma vertical de tal manera que se eliminen los gases anódicos del espacio interelectródico y, cuando se provee un diafragma, se evite la perturbación o destrucción del diafragma por los gases liberados durante el proceso de electrólisis.
- 30 La Bibliografía de Patente 14 describe una malla metálica de válvula en espiral con una gran fracción de huecos y una dimensión alargada y que tiene un continuo de hilos metálicos interconectados recubiertos con un revestimiento electrocatalítico de composición líquida. Como se describió anteriormente, la reducción del espesor de un ánodo y el aumento de la relación de apertura de un sustrato de ánodo se emplean como una medida para reducir la tensión durante la electrólisis en la técnica.

Lista de citas

Bibliografía de Patentes

- Bibliografía de Patente 1: Publicación de Patente Japonesa n.º 46-021884
- 35 Bibliografía de Patente 2: Patente Japonesa abierta a inspección pública n.º 58-130286
- Bibliografía de Patente 3: Publicación Nacional de Solicitud de Patente Internacional n.º 62-502820
- Bibliografía de Patente 4: Patente Japonesa n.º 4453973
- Bibliografía de Patente 5: Publicación Internacional n.º WO 2015/108115
- Bibliografía de Patente 6: US 4 354 905 A
- 40 Bibliografía de Patente 7: WO 2016/ 125333 A1
- Bibliografía de Patente 8: US 2016/ 186335 A1
- Bibliografía de Patente 9: JP 2016 196674 A
- Bibliografía de Patente 10: JP 2010 174346 A
- Bibliografía de Patente 11: JP 2007 023374 A
- 45 Bibliografía de Patente 12: JP S62 44589 A
- Bibliografía de Patente 13: US 3 930 981 A
- Bibliografía de Patente 14: US 4 708 888 A

Bibliografía no patentada

Bibliografía no patentada 1: "*Survey Report on Technology Systematization, the eighth series*", escrito por Aikawa Hiroaki, publicado por la agencia administrativa independiente, el Museo Nacional de Ciencias, 30 de marzo de 2007, pág. 32

5 Compendio de la invención**Problema técnico**

Sin embargo, en los ánodos convencionales como, por ejemplo, el DSA descrito en la Bibliografía de Patente 1, la sobretensión inmediatamente después del inicio de la electrólisis es alta y se requiere un cierto período hasta que la sobretensión alcance un valor bajo mediante la activación de un catalizador. Debido a esto, se produce una pérdida de consumo de energía durante la electrólisis, lo cual resulta problemático.

En la Bibliografía de Patente 2 a 4, se investiga la relación de apertura de un metal expandido y los intervalos de aberturas en la dirección longitudinal y en la dirección del ancho de una malla; sin embargo, no se ha investigado lo suficiente la relación entre la forma de un ánodo y la tensión de electrólisis y se ha requerido una reducción adicional de la tensión de electrólisis. En particular, un ánodo que tenga una malla delgada y una relación de apertura alta no es lo suficientemente resistente desde el punto de vista práctico, lo cual también es problemático.

En la Bibliografía de Patente 5, se emplea un enfoque para reducir la tensión de un ánodo y la cantidad de generación de gas oxígeno mediante la reducción del espesor de un ánodo a la mitad del de un ánodo convencional. Sin embargo, en los electrolizadores industriales que emplean una membrana de intercambio iónico, dado que funcionan aplicando presión desde una cámara catódica, si una malla de ánodo es excesivamente delgada, no se puede mantener la resistencia, con el resultado de que se deben utilizar dos láminas de metal expandido apilándolas una sobre otra. Asimismo, para satisfacer la resistencia de un ánodo y la reducción de la tensión de electrólisis, se requiere una mejora adicional.

La presente invención se ha llevado a cabo con el fin de resolver los problemas antes descritos. Por consiguiente, un objeto de la presente invención es proveer un electrodo para electrólisis que mantenga con éxito bajos la tensión y el consumo de energía durante la electrólisis y que tenga una resistencia práctica, y proveer un electrolizador equipado con el electrodo para electrólisis.

Solución al problema

Los presentes inventores llevaron a cabo estudios intensivos con vistas a resolver los problemas anteriores. Como resultado, descubrieron que se puede proveer un electrodo para electrólisis que mantenga con éxito bajos la tensión y el consumo de energía durante la electrólisis y que tenga una resistencia práctica controlando el espesor de un electrodo para electrólisis para que caiga dentro de un rango predeterminado y controlando un valor, que se obtiene dividiendo la suma de los perímetros de las aberturas del electrodo para electrólisis por la relación de apertura del electrodo para electrólisis, para que caiga dentro de un rango predeterminado. Basándose en el hallazgo, llegaron a la presente invención. Los presentes inventores descubrieron además que los problemas descritos anteriormente se pueden resolver formando las aberturas del electrodo para electrólisis con una forma predeterminada, llegando así a la presente invención.

[1] Un electrodo para electrólisis que comprende

un sustrato conductor formado por una placa metálica porosa, y

al menos una capa de catalizador formada sobre una superficie del sustrato conductor, en donde

el electrodo para electrólisis tiene un espesor de más de 0,5 mm y de 1,2 mm o menos; y

el valor C, que se obtiene dividiendo la suma B de los perímetros de las aberturas del electrodo para electrólisis por la relación de apertura A del electrodo para electrólisis, es mayor que 2 mm y 5 mm o menos,

en donde la distancia SW de centro a centro de las aberturas en una dirección de eje menor de una malla es de 1,5 mm o más y de 2,5 mm o menos; y la distancia LW de centro a centro en una dirección de eje mayor de la malla es de 3 mm o más y de 4,5 mm o menos.

[2] Electrodo para electrólisis según [1], en donde la relación de apertura A es del 5 % o más y menos del 25 %.

[3] Electrodo para electrólisis según cualquiera de [1] a [2], en donde el electrodo para electrólisis tiene un espesor de más de 0,5 mm y 0,9 mm o menos.

[4] Electrodo para electrólisis según cualquiera de [1] a [3], en donde el valor E representado por la siguiente fórmula (1) es de 0,5 o más.

$$E = B / (A \times (SW^2 + LW^2)^{1/2}) \quad (1) .$$

[5] Un electrolizador que comprende

una cámara anódica que comprende, como ánodo, el electrodo para electrólisis según cualquiera de [1] a [4],

una cámara catódica que comprende un cátodo, y

5 una membrana de intercambio iónico que aísla la cámara del ánodo de la cámara del cátodo.

[6] El electrolizador según [5], en donde la membrana de intercambio iónico tiene una saliente formada por un polímero que constituye la membrana de intercambio iónico sobre una superficie orientada hacia el ánodo.

[7] Un laminado de electrodos que comprende

el electrodo para electrólisis según cualquiera de [1] a [2] y

10 un electrodo base diferente del electrodo para electrólisis.

[8] El laminado de electrodo según [7], en donde el electrodo para electrólisis tiene un espesor de más de 0,5 mm y 0,65 mm o menos.

[9] Un método para renovar un electrodo, que comprende una etapa de soldar el electrodo para electrólisis según cualquiera de [1] a [2] sobre un electrodo existente en un electrolizador.

15 **Efectos ventajosos de la invención**

Gracias a la presente invención, se provee un electrodo para electrólisis que mantiene con éxito bajos la tensión y el consumo de energía durante la electrólisis y que tiene una resistencia práctica.

Breve descripción de los dibujos

20 La Figura 1 ilustra un diagrama esquemático que describe la relación entre una suma de perímetros de aberturas y la relación de apertura de un electrodo para electrólisis, suponiendo que el electrodo para electrólisis y la abertura tienen formas cuadradas.

La Figura 2 ilustra un diagrama esquemático que muestra una imagen típica de un plano de proyección de un electrodo para electrólisis según la presente realización de la presente invención observado por un microscopio.

25 La Figura 3 ilustra un diagrama que muestra la relación entre la distancia SW de centro a centro de las aberturas en la dirección del eje menor, la distancia LW de centro a centro en el eje mayor y la distancia d en la malla según la presente realización basada en la vista esquemática de la Figura 2.

30 La Figura 4 (A) ilustra una vista esquemática que muestra una forma típica de una abertura del electrodo para electrólisis según otro aspecto de la presente realización de la presente invención; la Figura 4 (B) ilustra una vista que muestra la porción a y la porción b de la Figura 4 (A); y la Figura 4 (C) ilustra una vista que muestra esquemáticamente una forma típica de una abertura de un electrodo convencional para electrólisis.

La Figura 5 ilustra un diagrama esquemático que describe la relación posicional entre aberturas adyacentes en el electrodo para electrólisis según otro aspecto de la presente realización de la presente invención.

La Figura 6 ilustra una vista en sección esquemática de un electrolizador según la presente realización de la invención.

Descripción de realizaciones

35 A continuación, se describirá de forma más específica la presente realización de la presente invención para llevar a cabo la invención (en adelante denominada simplemente "la presente realización"). La siguiente realización, que es solo un ejemplo para describir la presente invención, no debe interpretarse como una limitación de la presente invención a los siguientes contenidos. La presente invención puede llevarse a cabo modificándola adecuadamente dentro de su alcance.

40 El electrodo para electrólisis según un primer aspecto de la presente realización (en adelante simplemente también denominado "primer electrodo para electrólisis") es un electrodo para electrólisis que tiene un sustrato conductor formado por una placa de metal porosa y al menos una capa de catalizador formada sobre una superficie del sustrato conductor, en donde el electrodo para electrólisis tiene un espesor de más de 0,5 mm y 1,2 mm o menos; y el valor C, que se obtiene dividiendo la suma B de los perímetros de las aberturas del electrodo para electrólisis por la relación de apertura A del electrodo para electrólisis, es más de 2 mm y 5 mm o menos.

45 La distancia SW de centro a centro de las aberturas en la dirección del eje menor de una malla es de 1,5 mm o más y de 2,5 mm o menos, y la distancia LW de centro a centro en la dirección del eje mayor de la malla es de 3 mm o más

y de 4,5 mm o menos.

El primer electrodo para electrólisis que tiene una estructura de este tipo puede mantener bajos la tensión y el consumo de energía durante la electrólisis y tiene una resistencia práctica. El primer electrodo para electrólisis se puede utilizar como un electrodo de generación de cloro, particularmente adecuado para la electrólisis de cloruro de sodio mediante un proceso de membrana de intercambio iónico.

El electrodo para electrólisis según un segundo aspecto de la presente realización y no según la invención como se reivindica (en adelante denominado simplemente también como un "segundo electrodo para electrólisis") es un electrodo para electrólisis que tiene un sustrato conductor formado por una placa de metal porosa y al menos una capa de catalizador formada sobre una superficie del electrodo para electrólisis, en donde la forma de las aberturas es simétrica de derecha a izquierda alrededor de una primera línea central imaginaria que se extiende en la dirección del eje menor de una malla y asimétrica de arriba a abajo alrededor de una segunda línea central imaginaria que se extiende en la dirección del eje mayor de la malla; y el electrodo para electrólisis tiene un espesor de más de 0,5 mm y 1,2 mm o menos. El segundo electrodo para electrólisis que tiene una estructura de este tipo puede mantener bajos la tensión y el consumo de energía durante la electrólisis y tiene una resistencia práctica. El segundo electrodo para electrólisis se puede utilizar como un electrodo de generación de cloro particularmente adecuado para la electrólisis de cloruro de sodio mediante un proceso de membrana de intercambio iónico.

De aquí en adelante, el primer electrodo para electrólisis y el segundo electrodo para electrólisis se denominarán conjuntamente el "electrodo para electrólisis según la presente realización".

Sustrato conductor

En el electrodo para electrólisis según la presente realización, el sustrato conductor está formado por una placa de metal porosa y se utiliza en salmuera casi saturada y altamente concentrada bajo una atmósfera de generación de gas de cloro. Debido a esto, como material para el sustrato conductor, es preferible un metal de válvula resistente a la corrosión. Ejemplos del metal de válvula incluyen, pero no se limitan particularmente a, titanio, tantalio, niobio y circonio. De los metales de válvula, el titanio es preferible en vista de la eficiencia económica y la afinidad por una capa de catalizador.

La forma del sustrato conductor no está particularmente limitada siempre que sea un sustrato plano poroso hecho de un metal; por ejemplo, se describen como forma un metal expandido, una placa porosa y una malla metálica. En la presente realización, se utiliza adecuadamente un metal expandido. El metal expandido es un metal procesado que se prepara generalmente extendiendo una placa plana hecha de un metal o una lámina metálica mientras se corta con una cuchilla superior y una cuchilla inferior para formar una malla, y aplanando la malla hasta un espesor deseado aplicando presión con, p. ej., un rodillo de laminación. Dado que se puede emplear un procesamiento continuo de aros, la eficiencia de producción es alta. Dado que no se produce pérdida de eliminación de un material de placa de partida, el metal expandido es económico. Además, debido a una estructura de un solo cuerpo, se garantiza una conductividad eléctrica completa a diferencia de una malla metálica y no se produce rotura.

El electrodo para electrólisis según la presente realización está constituido por la formación de al menos una capa de catalizador sobre una superficie de un sustrato conductor como se describió anteriormente. El espesor del electrodo para electrólisis según la presente realización es mayor que 0,5 mm y 1,2 mm o menos. Si el espesor del electrodo para electrólisis es tan fino como 0,5 mm o menos, un ánodo se deprime por la presión aplicada por una membrana de intercambio iónico debido a la diferencia de presión entre una cámara de ánodo y una cámara de cátodo producida durante la electrólisis y la presión aplicada por un cátodo, con el resultado de que la distancia entre los electrodos aumenta y, por lo tanto, aumenta la tensión de electrólisis. Por el contrario, si el espesor del electrodo para electrólisis es mayor que 1,2 mm, no se puede obtener en la presente realización un metal expandido que tenga una relación de apertura adecuada y SW (distancia SW de centro a centro de las aberturas en la dirección del eje menor de una malla) y LW (distancia LW de centro a centro de las aberturas en la dirección del eje mayor de la malla). Desde el mismo punto de vista, el espesor del electrodo para electrólisis es preferiblemente más de 0,5 mm y 1,0 mm o menos, más preferiblemente más de 0,5 mm y 0,9 mm o menos y aún más preferiblemente 0,7 mm o más y 0,9 mm o menos.

En el primer electrodo para electrólisis (según la invención tal como se reivindica), el valor $C (= B/A)$, que se obtiene dividiendo la suma B de los perímetros de las aberturas del electrodo para electrólisis por la relación de apertura A del electrodo para electrólisis, es mayor de 2 mm y 5 mm o menos, preferiblemente de 2,5 mm o más y de 4,5 mm o menos y más preferiblemente de 3 mm o más y de 4 mm o menos.

La relación de apertura A en la presente memoria se refiere a la relación (S_B/S_A) del área S_B total de aberturas con respecto al área S_A proyectada de cualquiera de las superficies del electrodo para electrólisis. El área S_B total de aberturas se puede considerar como la suma de las áreas proyectadas de la región en el electrodo para la electrólisis donde, p. ej., los iones positivos y una solución electrolítica no son bloqueados por el sustrato conductor (placa metálica porosa).

La suma B de los perímetros de las aberturas en la presente memoria se obtiene midiendo individualmente los perímetros L_i de las aberturas por unidad de área del electrodo para electrólisis y sumando los perímetros de n aberturas por unidad de área ($\sum L_i$, $i = 1$ a n).

La relación entre la suma de los perímetros de las aberturas y la relación de apertura se describirá con referencia a la Figura 1. Es preciso observar que, en la Figura 1, se supone que una abertura tiene una forma cuadrada en aras de la conveniencia, aunque la forma difiere de las aberturas formadas en el electrodo para electrólisis según la presente realización. Como se muestra en la Figura 1 (a), cuando se forma una única abertura 2 cuadrada (2 mm × 2 mm) en un electrodo 1 cuadrado (4 mm × 4 mm), el área de la abertura es de 4 mm²; la relación de apertura es del 25 %; y la suma de los perímetros de las aberturas es de 8 mm. En cambio, como se muestra en la Figura 1 (b), cuando se forman 4 aberturas 3 cuadradas (1 mm × 1 mm) en el electrodo 1 de la misma forma que el anterior, el área de las aberturas es de 4 mm², que es igual que en la Figura 1 (a); la relación de apertura es del 25 %, que es igual que en la Figura 1 (a); sin embargo, la suma de los perímetros de las aberturas es de 16 mm, que es mayor que en la Figura 1 (a). Asimismo, cuando se comparan los casos que tienen la misma relación de apertura, cuanto mayor sea la suma de los perímetros de las aberturas, mayor será el número de aberturas. Esto significa, en otras palabras, que a medida que aumenta el valor, que se obtiene dividiendo la suma de los perímetros de las aberturas por una relación de apertura, aumenta el número de aberturas. A medida que aumenta el número de aberturas, un paso de gas diverge. Por esta razón, se reduce el número de burbujas de aire de retención, lo cual contribuye a suprimir un aumento de tensión.

Ejemplos de un método para determinar la relación de apertura y la suma de perímetros de aberturas incluyen, entre otros:

(I) cortar un electrodo para electrólisis en piezas cuadradas de 10 cm de largo × 10 cm de ancho, hacer una copia de las piezas mediante una fotocopidora, cortar aberturas en la hoja de papel copiada y medir el peso y el perímetro de cada una de las imágenes recortadas anteriormente; y

(II) observar cualquiera de las superficies de un electrodo para electrólisis mediante un aparato de observación de imágenes como, por ejemplo, un microscopio, fotografiar un plano de proyección y analizar los datos de la imagen.

En la Figura 2 se muestra esquemáticamente una imagen típica. Como se muestra en la Figura 2, se encuentra que se forman múltiples aberturas 20 en un electrodo para electrólisis 10.

Respecto a lo anterior (I), la relación de apertura (%) se puede calcular según la siguiente fórmula:

$$100 \times (w1 - w2) / w1$$

en donde w1 representa el peso de una hoja de papel antes de que se corten las aberturas; y w2 representa el peso de la hoja de papel después de que se corten todas las aberturas. La suma de los perímetros se puede obtener sumando los perímetros de las imágenes de las aberturas cortadas.

Con respecto al punto (II) anterior, los datos de imagen se analizan mediante el método de procesamiento de imágenes, por ejemplo, "Image J", desarrollado y abierto al público por los Institutos Nacionales de Salud de Estados Unidos (NIH, por sus siglas en inglés).

Si el valor C (= B/A), que se obtiene dividiendo la suma B de los perímetros de las aberturas de un electrodo para electrólisis por la relación de apertura A del electrodo para electrólisis, es 2 o menos, el electrodo para electrólisis tiene una relación de apertura grande o una pequeña cantidad de aberturas grandes. En este caso, como el área superficial específica del electrodo para electrólisis disminuye, la densidad de corriente aparente aumenta y la tensión de electrólisis aumenta. Si el valor C es mayor que 5, un sustrato conductor tiene una relación de apertura pequeña; en otras palabras, una gran cantidad de aberturas pequeñas, lo cual afecta negativamente a la circulación de una solución de electrolito y a la desorción del gas generado en un electrodo y puede dar como resultado un aumento de la tensión de electrólisis.

En la técnica anterior se describen diversas técnicas para reducir la tensión de electrólisis partiendo de la base de que el espesor de un electrodo es de 0,5 mm o menos. Sin embargo, en el primer electrodo para electrólisis, el espesor del electrodo para electrólisis se especifica como mayor que 0,5 mm y 1,2 mm o menos y el valor C (= B/A), que se obtiene dividiendo la suma B de los perímetros de las aberturas del electrodo para electrólisis por la relación de apertura A, se especifica como mayor que 2 y 5 o menos. De esta manera, se obtiene un electrodo para electrólisis que no solo mantiene bajos la tensión y el consumo de energía durante la electrólisis sino que también tiene una resistencia práctica.

En el electrodo para electrólisis según la presente realización, la relación de apertura del electrodo para electrólisis es preferiblemente del 5 % o más y menos del 25 %, más preferiblemente del 7 % o más y del 20 % o menos y particularmente preferiblemente del 10 % o más y del 18 % o menos. Si la relación de apertura del electrodo para electrólisis es del 5 % o más, un efecto adverso como, por ejemplo, la retención de gas generado en un electrodo durante la electrólisis, tiende a superarse con éxito y de manera efectiva sin afectar negativamente la circulación de una solución de electrolito; y la tensión de electrólisis tiende a reducirse con éxito. Por el contrario, si la relación de apertura del electrodo para electrólisis es menor del 25 %, el área superficial específica del electrodo para electrólisis puede obtenerse de manera suficiente; en otras palabras, la superficie sustancial del electrodo que enfrenta una membrana de intercambio iónico tiende a obtenerse de manera suficientemente satisfactoria, con el resultado de que una densidad de corriente aparente puede reducirse y la tensión de electrólisis tiende a reducirse con éxito.

En el electrodo para electrólisis según la presente realización, el perímetro de una única abertura del electrodo para electrólisis es preferiblemente de 1 mm o más y, más preferiblemente, de 2,5 mm o más. Si el perímetro de una única abertura del electrodo para electrólisis es de 1 mm o más, la caída de presión del flujo de solución de electrolito en la abertura se puede mantener baja y la tensión de electrólisis tiende a reducirse con éxito. El perímetro de una única

5 abertura del electrodo para electrólisis es preferiblemente de 4,8 mm o menos y, más preferiblemente, de 4,55 mm o menos para mantener suficientemente el área de superficie específica del electrodo para electrólisis. El perímetro de una única abertura del electrodo para electrólisis se puede medir observando cualquiera de las superficies del electrodo para electrólisis mediante un aparato de observación de imágenes como, por ejemplo, un microscopio, fotografiando un plano de proyección y analizando los datos de la imagen (método de análisis de imágenes).

10 En el electrodo para electrólisis según la presente realización, el ancho SW corto, que es la distancia de centro a centro de las aberturas en la dirección del eje menor de la malla del electrodo para electrólisis, es de 1,5 mm o más y de 2,5 mm o menos; mientras que el ancho LW largo, que es la distancia de centro a centro de las aberturas en la dirección del eje mayor de la malla, es de 3 mm o más y de 4,5 mm o menos.

15 SW y LW se pueden definir como se muestra en la Figura 3. Más específicamente, SW se puede especificar como la distancia entre los centros de dos aberturas adyacentes en la dirección del eje menor de una malla. Por el contrario, LW se puede especificar como la distancia entre los centros de dos aberturas adyacentes en la dirección del eje mayor de la malla.

Si SW es de 1,5 mm o más y LW es de 2,5 mm o más (en la invención reivindicada, LW es de 3 mm o más) en la presente realización, se puede obtener fácilmente un espesor y una relación de apertura adecuados. Si SW es de 3 mm o menos y LW es de 5 mm o menos en la presente realización (en la invención reivindicada, SW es de 2,5 mm o menos y LW es de 4,5 mm o menos), se puede obtener fácilmente un rango adecuado de relación de apertura; en otras palabras, se puede obtener fácilmente el área superficial específica del electrodo para la electrólisis.

20 Es preferible que la distancia d entre las aberturas mostradas en la Figura 3 esté controlada. La distancia d se calcula como la raíz cuadrada de un valor que se obtiene sumando el cuadrado de SW al cuadrado de LW. A medida que el valor d disminuye, la transferencia de masa de una sustancia como, por ejemplo, un gas, tiende a acelerarse. Desde este punto de vista, un valor d es preferiblemente de 2,9 a 5,8 mm y más preferiblemente de 3,4 a 5,1 mm.

25 En el electrodo para electrólisis según la presente realización, el valor E, que es un valor obtenido a partir de la suma B de los perímetros de las aberturas, la relación de apertura A, el ancho SW corto y el ancho LW largo de las aberturas, y representado por la siguiente fórmula (1), es preferiblemente de 0,5 o más, más preferiblemente de 0,69 o más y aún más preferiblemente de 0,69 o más y 1,5 o menos.

$$E = B / \{A \times (SW^2 + LW^2)^{1/2}\} \quad (1)$$

30 En la fórmula (1), $(SW^2 + LW^2)^{1/2}$ corresponde al valor d. Como se describió anteriormente, si la relación entre los valores A, B y d se controla para que se encuentre dentro de un rango apropiado, el grado de distribución espacial de las aberturas se vuelve adecuado y la tensión de electrólisis tiende a disminuir con éxito. Más específicamente, si el valor E es de 0,5 o más y de 1,5 o menos en un electrodo para electrólisis, el grado de distribución espacial de las aberturas del electrodo para electrólisis se vuelve adecuado para la circulación de una solución de electrolito y la tensión de electrólisis tiende a disminuir con éxito.

35 A continuación, se describirá más específicamente el segundo electrodo para electrólisis (no según la invención tal como se reivindica). El segundo electrodo para electrólisis es un electrodo para electrólisis que tiene un sustrato conductor formado por una placa de metal porosa y al menos una capa de catalizador formada sobre una superficie del sustrato conductor, en donde la forma de las aberturas es simétrica de derecha a izquierda con respecto a una primera línea central imaginaria que se extiende en la dirección del eje menor de una malla y asimétrica de arriba a abajo con respecto a una segunda línea central imaginaria que se extiende en la dirección del eje mayor de la malla; y el electrodo para electrólisis tiene un espesor de más de 0,5 mm y 1,2 mm o menos.

40 En la Figura 4 (A) se muestra un ejemplo típico de una forma de abertura en el segundo electrodo para electrólisis. En la Figura 4 (A), una abertura 100 es simétrica de derecha a izquierda con respecto a una primera línea 101 central imaginaria que se extiende en la dirección α del eje menor de la malla. La simetría de derecha a izquierda significa que cuando una abertura está dividida en una parte derecha y una parte izquierda con respecto a la primera línea central imaginaria, la forma de la parte derecha coincide con la forma de la parte izquierda; más específicamente, la parte derecha y la parte izquierda son simétricas de línea con respecto a la primera línea central imaginaria. La simetría de derecha a izquierda se puede confirmar mediante el análisis de imagen descrito anteriormente.

45 La abertura 100 es asimétrica de arriba a abajo con respecto a una segunda línea 102 central imaginaria que se extiende en la dirección β del eje mayor de la malla. La asimetría de arriba a abajo significa que cuando una abertura está dividida en una parte superior y una parte inferior con respecto a la segunda línea central imaginaria, la forma de la parte superior no coincide con la forma de la parte inferior; en otras palabras, las formas de la parte superior y la parte inferior no son simétricas en cuanto a la línea con respecto a la segunda línea central imaginaria. La simetría de derecha a izquierda se puede confirmar mediante el análisis de imagen descrito anteriormente. Por ejemplo, en el ejemplo que se muestra en la Figura 4 (B), la abertura 100 se puede dividir en la porción a superior y la porción b

inferior con respecto a la segunda línea 102 central imaginaria que se extiende en la dirección β del eje mayor y la asimetría de arriba a abajo se puede confirmar fácilmente comparando las formas de la porción a y la porción b.

Aunque no se conoce la razón por la que el segundo electrodo para electrólisis puede mantener bajos la tensión y el consumo de energía durante la electrólisis, los presentes inventores parten de la base de lo que se expone a continuación. En este contexto, el concepto del segundo electrodo para electrólisis no está limitado por la siguiente presunción y, siempre que un electrodo tenga la constitución antes descrita, el electrodo puede incluirse en el segundo electrodo para electrólisis.

Una forma típica de las aberturas de un electrodo convencional para electrólisis es simétrica de derecha a izquierda respecto de la primera línea central imaginaria y simétrica de arriba a abajo respecto de la segunda línea central imaginaria. Por ejemplo, como se muestra en la Figura 4 (C), una abertura 100' es simétrica de derecha a izquierda respecto de una primera línea 101 central imaginaria que se extiende en la dirección α del eje menor de una malla. La abertura 100' es, con respecto a la porción a superior y a la porción b inferior, simétrica en línea respecto de una segunda línea 102 central imaginaria que se extiende en la dirección β del eje mayor de la malla. En este caso, la forma de la abertura es típicamente de rombo. Los cuatro lados que constituyen la abertura están ubicados a casi la misma distancia del punto central de la abertura. En un electrodo convencional de este tipo para la electrólisis, cuando se genera un gas y pasa a través de la abertura (normalmente esférica), el gas entra en contacto con los cuatro lados (más específicamente, 4 puntos) que constituyen la abertura, con el resultado de que la resistencia al flujo de aire presumiblemente tiende a aumentar. Más específicamente, el gas generado en un electrodo durante la electrólisis tiende a permanecer en contacto con el interior de las aberturas y afecta negativamente a la circulación de una solución de electrolito, con el resultado de que se produce un aumento no deseado de la tensión de electrólisis.

Por el contrario, el segundo electrodo para la electrólisis (no según la invención tal como se reivindica) es simétrico de derecha a izquierda respecto de la primera línea central imaginaria y asimétrico de arriba a abajo respecto de la segunda línea central imaginaria. Debido a la estructura, la resistencia al flujo de aire cuando se genera un gas en un electrodo y pasa a través de la abertura (normalmente esférica) presumiblemente tiende a disminuir. Más específicamente, dado que el número de puntos de contacto entre un gas generado en un electrodo durante la electrólisis y los lados individuales de la abertura tiende a reducirse, el gas tiende a desorberse con éxito, con el resultado de que la tensión de la electrólisis se puede reducir sin afectar negativamente la circulación de una solución de electrolito.

En el segundo electrodo para electrólisis (no conforme a la invención tal como se reivindica), el área de aberturas por área proyectada (1 cm^2) en cualquiera de las superficies, que no está particularmente limitada, es preferiblemente de $0,05 \text{ cm}^2$ o más para reducir aún más la tensión y el consumo de energía durante la electrólisis. El número de aberturas por área proyectada (1 cm^2), que no está particularmente limitado, es preferiblemente de 15 o más para reducir aún más la tensión y el consumo de energía durante la electrólisis. El área y el número de aberturas se pueden determinar mediante el análisis de imagen descrito anteriormente.

En el segundo electrodo para electrólisis (no según la invención tal como se reivindica), cuando una abertura está dividida en la porción a y la porción b por la segunda línea central imaginaria, el valor (S_a/S_b), que se obtiene dividiendo el área S_a de la porción a por el área S_b de la porción b, es preferiblemente de 1,15 o más y de 2,0 o menos. En este caso, la asimetría hacia arriba y hacia abajo de la porción de la abertura tiende a hacerse más evidente. Más específicamente, la asimetría hacia arriba y hacia abajo de la forma de una abertura de un electrodo para electrólisis alrededor de la segunda línea central imaginaria que se extiende en la dirección del eje mayor de la malla también es sugerida por el valor de S_a/S_b . Si el valor de S_a/S_b es de 1,15 o más y 2,0 o menos, el gas generado en un electrodo durante la electrólisis tiende a desorberse con éxito y de manera efectiva sin afectar negativamente la circulación de una solución de electrolito y la tensión de electrólisis tiende a disminuir con éxito. S_a y S_b corresponden al área de la porción a y al área de la porción b, respectivamente, en el ejemplo mostrado en la Figura 4 (B) donde se cumple una relación $S_a > S_b$. Los valores de S_a y S_b se pueden determinar mediante el análisis de imagen descrito anteriormente.

En el segundo electrodo para electrólisis (no según la invención tal como se reivindica), un valor (St/SW), que se obtiene dividiendo St , que es un valor obtenido restando un tamaño máximo de aberturas en la dirección del eje menor de una malla de la distancia SW de centro a centro de las aberturas en el eje menor de la malla, por SW , es preferiblemente 0,4 o más y más preferiblemente más de 0,67 y menos de 1,0. En el ejemplo mostrado en la Figura 5, se forman múltiples aberturas en un electrodo para electrólisis 300. SW se especifica mediante una distancia 310 de centro a centro de las dos aberturas adyacentes en la dirección del eje menor de una malla. Las "dos aberturas adyacentes" en la presente memoria significan primera abertura y segunda abertura, con las que una primera línea central imaginaria extendida desde la primera abertura entra primero en contacto. LW se especifica mediante una distancia 320 de centro a centro de las dos aberturas adyacentes en la dirección del eje mayor de la malla. En la presente memoria, las "dos aberturas adyacentes" significan una primera abertura y una segunda abertura, con las que entra en contacto primero una segunda línea central imaginaria que se extiende desde la primera abertura. Es preciso observar que, en la Figura 5, una segunda línea 330 central imaginaria divide una abertura en porción a y porción b en el electrodo para electrólisis 300. Se ha descubierto que la porción (340) a y la porción (350) b presentan una asimetría de arriba a abajo con respecto a la línea 330 central imaginaria. En la Figura 5, la distancia 360 entre dos aberturas adyacentes en la dirección del eje menor de la malla corresponde al valor St , que se obtiene restando un tamaño máximo de las aberturas en la dirección del eje menor de la malla de la distancia SW de centro a centro de

las aberturas en la dirección del eje menor de la malla. Es preciso observar que el tamaño máximo de una abertura en la dirección del eje menor de la malla en el ejemplo que se muestra en la Figura 4 (A) corresponde a la longitud de la primera línea 101 central imaginaria. Si St/SW es 0,4 o más, el área de superficie específica del electrodo para la electrólisis se puede obtener de manera suficiente sin afectar negativamente la circulación de una solución de electrolito, y la tensión de electrólisis tiende a disminuir con éxito. Los valores St y SW se pueden determinar mediante el análisis de imagen descrito anteriormente.

El electrodo para electrólisis según la presente realización está constituido por la formación de al menos una capa de catalizador sobre una superficie del sustrato conductor descrito anteriormente. Con el fin de mejorar la adhesión a la capa de catalizador, la superficie del sustrato conductor en contacto con la capa de catalizador se somete preferiblemente a un tratamiento para aumentar el área superficial del sustrato conductor. Ejemplos del tratamiento para aumentar el área superficial incluyen, pero no se limitan a, un tratamiento de granallado utilizando alambre cortado, rejilla de acero y rejilla de alúmina; y un tratamiento ácido utilizando ácido sulfúrico o ácido clorhídrico. De estos tratamientos, es preferible un tratamiento de granallado para hacer rugosa la superficie de un sustrato conductor, seguido de un tratamiento ácido.

Capa de catalizador

En el electrodo para electrólisis según la presente realización, la capa de catalizador que se va a formar sobre la superficie de un sustrato conductor, preferiblemente sobre la superficie de un sustrato conductor al que se aplica previamente el tratamiento descrito anteriormente, contiene preferiblemente una sustancia electrocatalítica como, por ejemplo, un óxido de un metal del grupo del platino, magnetita, ferrita, espinela de cobalto o una mezcla de óxidos metálicos con el fin de reducir la tensión de electrólisis. De las sustancias electrocatalíticas descritas anteriormente, son preferibles un elemento de rutenio, un elemento de iridio y un elemento de titanio y están presentes más preferiblemente en forma de óxido con el fin de mantener una tensión baja durante la electrólisis.

Ejemplos de óxido de rutenio incluyen, entre otros, RuO_2 .

Ejemplos de óxido de iridio incluyen, entre otros, IrO_2 .

Ejemplos de óxido de titanio incluyen, entre otros, TiO_2 .

En la capa catalizadora del electrodo para electrólisis según la presente realización, el óxido de rutenio, el óxido de iridio y el óxido de titanio forman preferiblemente una solución sólida. Si el óxido de rutenio, el óxido de iridio y el óxido de titanio forman una solución sólida, la durabilidad del óxido de rutenio se mejora aún más y la tensión de electrólisis tiende a mantenerse bajo durante un largo período.

La solución sólida significa que dos tipos o más sustancias se disuelven mutuamente para formar una fase sólida completamente homogénea. Como sustancias que forman una solución sólida, se describen, p. ej., un solo metal y un óxido metálico. Particularmente en el caso de una solución sólida de un óxido metálico adecuado para la presente realización, dos tipos o más de átomos metálicos están alineados irregularmente en puntos reticulares equivalentes en una red unitaria de una estructura cristalina de óxido. Más específicamente, es preferible que un óxido de rutenio, un óxido de iridio y un óxido de titanio se mezclen mutuamente para formar una solución sólida sustitutiva en donde un átomo de rutenio se reemplaza con un átomo de iridio o un átomo de titanio o ambos, como se ve desde el lado del óxido de rutenio. El estado de la solución sólida no está particularmente limitado y puede presentarse una región que tenga una solución sólida parcial.

El tamaño de la red unitaria de una estructura cristalina se modifica ligeramente con una solución sólida. El grado de cambio se puede determinar, por ejemplo, mediante difracción de rayos X en polvo basándose en un desplazamiento de la posición de un pico derivado del tamaño de la red unitaria sin provocar ningún cambio en el patrón de difracción derivado de una estructura cristalina.

En la capa catalizadora del electrodo para electrólisis según la presente realización, la relación de contenido de un elemento de rutenio, un elemento de iridio y un elemento de titanio por mol es preferiblemente de 1:0,2 a 3:0,2 a 8; más preferiblemente de 1:0,3 a 2:0,2 a 6; y en particular preferiblemente de 1:0,5 a 1,5:0,2 a 3. Si la relación de contenido de los tres elementos se encuentra dentro del intervalo anterior, la durabilidad a largo plazo del electrodo para electrólisis tiende a mejorar más. El iridio, el rutenio y el titanio pueden estar contenidos en la capa catalizadora en una forma distinta a la de un óxido, por ejemplo, un solo metal.

La capa de catalizador en el electrodo para electrólisis según la presente realización puede contener únicamente un elemento de rutenio, un elemento de iridio y un elemento de titanio como elementos constitutivos o puede contener elementos metálicos distintos de estos. Ejemplos de los otros elementos metálicos incluyen, pero no se limitan a, elementos seleccionados de, p. ej., tántalo, niobio, estaño, platino y vanadio. Estos elementos metálicos pueden estar contenidos, por ejemplo, como elementos metálicos de óxidos.

En la presente realización, si la capa de catalizador contiene otros elementos metálicos, la relación de contenido de los elementos con respecto al total de elementos metálicos contenidos en la capa de catalizador por mol es preferiblemente 20 % en moles o menos y más preferiblemente 10 % en moles o menos.

En la presente realización, el espesor de la capa de catalizador es preferiblemente de 0,1 a 5 μm y más preferiblemente de 0,5 a 3 μm . Si el espesor de la capa de catalizador es el límite inferior (descrito anteriormente) o más, el rendimiento de la electrólisis inicial tiende a mantenerse satisfactoriamente y de manera suficiente. Si el espesor de la capa de catalizador es el límite superior (descrito anteriormente) o menos, tiende a obtenerse un electrodo económico y excelente para la electrólisis. El espesor de la capa de catalizador se puede determinar cortando el sustrato y sometiendo una sección del sustrato a medición bajo un microscopio óptico o un microscopio electrónico.

La capa de catalizador puede estar constituida por una sola capa o por dos o más capas. Si la capa de catalizador está constituida por dos capas o más, es satisfactorio que al menos una de las capas sea la capa de catalizador según la presente realización. Si la capa de catalizador está constituida por dos capas o más, es preferible que al menos la capa más interna sea la capa de catalizador según la presente realización. Si al menos la capa más interna es una solución sólida formada por un óxido de rutenio, un óxido de iridio y un óxido de titanio, la durabilidad de la capa de catalizador tiende a mejorarse aún más. Es preferible el caso en donde la capa de catalizador según la presente realización consta de dos o más capas que son iguales o diferentes en composición.

Incluso en el caso en que la capa de catalizador consta de dos o más capas, el espesor de la capa de catalizador según la presente realización es preferiblemente de 0,1 a 5 μm y más preferiblemente de 0,5 a 3 μm , como se describió anteriormente.

Método para la producción de electrodos para electrólisis

Se describirá un método para producir el electrodo para electrólisis según la presente realización tomando como ejemplo un caso en donde se utiliza un metal expandido como sustrato conductor.

El electrodo para electrólisis según la presente realización se puede producir formando un metal expandido como sustrato conductor expandiendo una placa plana hecha de un metal de válvula mientras se corta con una cuchilla superior y una cuchilla inferior para formar una malla, y aplanando la malla hasta un espesor deseado aplicando presión, p. ej., mediante un rodillo de laminación; aplicando el tratamiento de aumento del área superficial descrito anteriormente al sustrato conductor; y posteriormente, formando una capa de catalizador que contiene un elemento de rutenio, un elemento de iridio y un elemento de titanio sobre el sustrato conductor.

El método para producir un metal expandido según la presente realización tiene una etapa de formación de una malla mediante la extensión de una placa plana hecha de un metal de válvula mientras se corta con una cuchilla superior y una cuchilla inferior y una etapa de aplanamiento de la malla mediante la aplicación de presión mediante, p. ej., un rodillo de laminación. Debido a estas etapas, se puede producir el metal expandido, que satisface el espesor del electrodo resultante para la electrólisis (que se forma proporcionando al menos una capa de catalizador sobre una superficie del sustrato conductor) de más de 0,5 mm y 1,2 mm o menos y satisface el valor $C (= B/A)$, (que se obtiene dividiendo la suma B de los perímetros de las aberturas del electrodo para la electrólisis por la relación de apertura A del electrodo para la electrólisis) de más de 2 y 5 o menos.

El espesor del electrodo para electrólisis se puede controlar para que caiga dentro de un rango adecuado de la presente realización controlando el espesor de la placa plana hecha de un metal de válvula que se usará como material para un sustrato conductor y controlando la resistencia de la laminación en el momento de aplanar la malla aplicando presión, p. ej., mediante un rodillo de laminación.

La relación de apertura del electrodo para la electrólisis y la distancia SW de centro a centro de las aberturas en una dirección de eje menor de la malla se pueden controlar para que se encuentren dentro de los rangos adecuados de la presente realización, controlando el tamaño de paso de un rodillo de alimentación, que se mueve junto con el movimiento de arriba a abajo de la cuchilla superior para alimentar continuamente la placa hacia delante, en una etapa de formación de una malla mediante la extensión de una placa plana hecha de un metal de válvula mientras se corta por una cuchilla superior y una cuchilla inferior. Más específicamente, para controlar el grado de variación de las aberturas de la presente realización, el tamaño de paso en el momento de formar ranuras en la placa plana hecha de un metal de válvula mediante una cuchilla superior y una cuchilla inferior se controla preferiblemente para que sea de 0,8 mm o menos. Para mantener la forma de las aberturas de la presente realización, el tamaño de paso es preferiblemente de 0,5 mm o más.

La distancia LW de centro a centro de las aberturas en una dirección del eje mayor de la malla se puede controlar para que caiga dentro de un rango adecuado de la presente realización seleccionando apropiadamente las formas de la cuchilla superior y la cuchilla inferior utilizadas para formar una ranura en una placa plana hecha de un metal de válvula.

La suma de los perímetros de las aberturas del electrodo para electrólisis, que aumenta o disminuye dependiendo del aumento o disminución del número de aberturas, se puede controlar, p. ej., mediante el número de cuchillas superiores y cuchillas inferiores.

Por el contrario, una placa porosa como, por ejemplo, un metal perforado, que se emplea como sustrato conductor, se puede obtener haciendo agujeros en una placa plana de metal mediante el uso de un molde de una prensa de punzonado. En este caso, si, por ejemplo, se eligen adecuadamente la forma y la disposición del molde, la relación de

apertura, la suma de los perímetros de las aberturas, SW y LW se pueden controlar para que se encuentren dentro de los rangos adecuados de la presente realización.

Una malla metálica, si se emplea como sustrato conductor, se puede obtener tejiendo múltiples alambres metálicos (para formar una malla metálica) que se obtienen mediante diversos métodos conocidos en la técnica. En este momento, si, por ejemplo, el peso (que corresponde al denier o espesor del alambre metálico) del alambre metálico (para formar una malla metálica) por unidad de longitud y el número de alambres metálicos (número de malla) que se van a tejer por unidad de área de la malla metálica se seleccionan adecuadamente, la relación de apertura, la suma de perímetros de aberturas, SW y LW se pueden controlar para que se encuentren dentro de los rangos adecuados de la presente realización. Si el control se realiza de la misma manera que antes, la forma del segundo electrodo para electrólisis tiende a obtenerse fácilmente.

Se forma una capa de catalizador sobre el sustrato conductor preferiblemente mediante una técnica de descomposición térmica.

En un método de producción que utiliza la técnica de descomposición térmica, se puede formar una capa de catalizador mediante la aplicación de un líquido de recubrimiento que contiene una mezcla de compuestos (precursores) que contienen los elementos antes descritos; y calcinación bajo una atmósfera que contiene oxígeno para descomponer térmicamente los componentes en el líquido de recubrimiento. Según este método, el electrodo para electrólisis se puede producir con una alta productividad en menos etapas que en el método de producción convencional.

La descomposición térmica en la presente memoria significa que, p. ej., una sal metálica como precursor se calcina bajo una atmósfera que contiene oxígeno para descomponer la sal metálica en un óxido metálico o un metal y una sustancia gaseosa. El producto de descomposición que se obtiene se puede controlar dependiendo de los tipos de metal, los tipos de sales metálicas contenidas en los precursores que se van a mezclar en el líquido de recubrimiento y la atmósfera para la descomposición térmica. Por lo general, bajo una atmósfera oxidante, una serie de metales tienden a formarse fácilmente en óxidos. En el proceso de producción industrial de un electrodo para electrólisis, la descomposición térmica se lleva a cabo normalmente en el aire. Asimismo, en la presente realización, el rango de concentración de oxígeno durante la calcinación no está particularmente limitado y la descomposición térmica se lleva a cabo suficientemente en el aire. Sin embargo, si es necesario, se puede suministrar aire u oxígeno en el horno de calcinación.

Los compuestos que se van a incluir en el líquido de recubrimiento como, por ejemplo, un compuesto de rutenio, un compuesto de iridio y un compuesto de titanio, pueden ser óxidos; sin embargo, no son necesariamente óxidos y pueden ser, por ejemplo, sales metálicas. Como sal metálica, que no se limita a, se describe cualquiera seleccionada del grupo que consiste en un cloruro, nitrato, sulfato y un alcóxido metálico.

Ejemplos de una sal metálica del compuesto de rutenio incluyen, entre otros, cloruro de rutenio y nitrato de rutenio.

Ejemplos de una sal metálica del compuesto de iridio incluyen, entre otros, cloruro de iridio y nitrato de iridio.

Ejemplos de una sal metálica del compuesto de titanio incluyen, entre otros, tetracloruro de titanio.

Los compuestos descritos anteriormente se seleccionan adecuadamente dependiendo de la relación deseada de elementos metálicos en la capa de catalizador y se ponen en uso.

El líquido de recubrimiento puede contener además otros compuestos diferentes de los compuestos descritos anteriormente. Entre los ejemplos de otros compuestos se incluyen, entre otros, compuestos metálicos que contienen un elemento metálico como, por ejemplo, tántalo, niobio, estaño, platino, rodio, vanadio; y compuestos orgánicos que contienen un elemento metálico como, por ejemplo, tántalo, niobio, estaño, platino, rodio y vanadio.

El líquido de recubrimiento es preferiblemente una composición líquida preparada disolviendo o dispersando los compuestos antes descritos en un disolvente apropiado. El disolvente que se va a utilizar en el líquido de recubrimiento en este caso se puede seleccionar dependiendo de los tipos de compuestos. Por ejemplo, se puede utilizar agua y un alcohol como, por ejemplo, butanol. La concentración total de compuestos en el líquido de recubrimiento, que no está particularmente limitada, es preferiblemente de 10 a 150 g/L para controlar adecuadamente el espesor de la capa de catalizador.

Ejemplos de un método para aplicar el líquido de recubrimiento sobre una superficie del sustrato conductor incluyen, pero no se limitan a, un método de inmersión en donde un sustrato conductor se sumerge en un líquido de recubrimiento, un método de aplicación de un líquido de recubrimiento a una superficie de un sustrato conductor con un cepillo, un método de rodillo en donde se permite que un sustrato conductor pase entre rodillos similares a esponjas impregnados con un líquido de recubrimiento y un método de aplicación electrostática en donde un sustrato conductor y un líquido de recubrimiento se cargan de manera opuesta y el líquido de recubrimiento se rocía. De estos métodos de recubrimiento, el método de rodillo y el método de recubrimiento electrostático son preferibles ya que son excelentes en productividad industrial. Mediante el uso de cualquiera de estos métodos de recubrimiento, se puede formar una película de recubrimiento de un líquido de recubrimiento sobre al menos una de las superficies del sustrato conductor.

Después de recubrir el sustrato conductor con un líquido de recubrimiento, si es necesario, se lleva a cabo preferiblemente una etapa de secado de la película de recubrimiento. Debido a la etapa de secado, la película de recubrimiento puede formarse con mayor fuerza sobre una superficie del sustrato conductor. Las condiciones de secado se pueden seleccionar apropiadamente dependiendo, p. ej., de la composición y el tipo de disolvente del líquido de recubrimiento. La etapa de secado se lleva a cabo preferiblemente a una temperatura de 10 a 90 °C durante 1 a 20 minutos.

Después de que se forma una película de recubrimiento de un líquido de recubrimiento sobre una superficie del sustrato conductor, la película se calcina bajo una atmósfera que contiene oxígeno. La temperatura de calcinación se puede seleccionar apropiadamente dependiendo de la composición y el tipo de disolvente del líquido de recubrimiento. La temperatura de calcinación es preferiblemente de 300 a 650 °C. Si la temperatura de calcinación es inferior a 300 °C, la descomposición de un precursor de, p. ej., un compuesto de rutenio se vuelve insuficiente, con el resultado de que no se puede obtener una capa de catalizador que contenga, p. ej., un óxido de rutenio. Si la temperatura de calcinación supera los 650 °C, un sustrato conductor puede oxidarse en algunos casos, con el resultado de que la adhesión entre la capa de catalizador y el sustrato puede disminuir. En particular, si se utiliza un sustrato hecho de titanio como sustrato conductor, es importante considerar esta tendencia.

El tiempo de calcinación es preferiblemente largo; sin embargo, en vista de la productividad de un electrodo, el tiempo de calcinación se controla preferiblemente de modo que no sea excesivamente largo. Teniendo en cuenta esto, un tiempo de calcinación único es preferiblemente de 5 a 60 minutos.

Si es necesario, las etapas antes descritas de recubrimiento, secado y calcinación de una capa de catalizador se repiten varias veces para formar la capa de catalizador con un espesor deseado. Después de que se forma la capa de catalizador, se lleva a cabo la calcinación durante un tiempo adicional más largo según sea necesario. En ese caso, la estabilidad de la capa de catalizador, que es extremadamente estable química, física y térmicamente, se puede mejorar aún más. Como condiciones para la calcinación de largo plazo, es preferible la calcinación a 400 a 650 °C durante aproximadamente 30 minutos a 4 horas.

Si se utiliza el electrodo para electrólisis según la presente realización, la sobretensión es baja incluso en la etapa inicial de la electrólisis, y la electrólisis se puede llevar a cabo con una sobretensión baja y un consumo de energía bajo durante un largo período. Debido a esto, el electrodo para electrólisis se puede utilizar en varios tipos de procesos de electrólisis. En particular, el electrodo para electrólisis se puede utilizar preferiblemente como un ánodo para la generación de cloro y, más preferiblemente, como un ánodo para la electrólisis de cloruro de sodio mediante un proceso de membrana de intercambio iónico.

Electrolizador

El electrolizador de la presente realización tiene el electrodo para electrólisis según la presente realización. Más específicamente, el electrolizador de la presente realización tiene una cámara anódica que contiene el electrodo para electrólisis según la presente realización como ánodo y una cámara catódica que contiene un cátodo y una membrana de intercambio iónico que aísla la cámara anódica de la cámara catódica. La electrólisis se lleva a cabo a una tensión inicial baja en el electrolizador. En la Figura 6 se muestra esquemáticamente una vista en corte del electrolizador de la presente realización.

Un electrolizador 200 tiene una solución 210 electrolítica, un contenedor 220 para almacenar la solución 210 electrolítica, un ánodo 230 y un cátodo 240 sumergidos en la solución 210 electrolítica, una membrana 250 de intercambio iónico y cableado 260 para conectar el ánodo 230 y el cátodo 240 a una fuente de alimentación. De los espacios del electrolizador 200 creados por la partición de la membrana 250 de intercambio iónico, el espacio en el lado del ánodo se denomina cámara anódica y el espacio en el lado del cátodo se denomina cámara catódica. El electrolizador de la presente realización se puede utilizar para diversos procesos de electrólisis. A continuación, se describirá como ejemplo típico el caso donde el electrolizador se utiliza para una solución acuosa de cloruro alcalino.

Como solución 210 electrolítica que se suministrará al electrolizador de la presente realización, por ejemplo, se puede utilizar una solución acuosa de cloruro alcalino que tiene de 2,5 a 5,5 N como, por ejemplo, una solución acuosa de cloruro de sodio (salmuera) y una solución acuosa de cloruro de potasio, en la cámara anódica; mientras que, se puede utilizar una solución acuosa diluida de hidróxido alcalino (por ejemplo, solución acuosa de hidróxido de sodio, solución acuosa de hidróxido de potasio) o agua, en la cámara catódica.

Como ánodo 230, se utiliza el electrodo para electrólisis según la presente realización.

Como membrana 250 de intercambio iónico, por ejemplo, se puede utilizar una película de fluororesina que tenga un grupo de intercambio iónico. De las membranas de intercambio iónico, se utiliza preferiblemente una membrana de intercambio iónico que tenga proyecciones (microproyecciones: forma delta), que estén formadas por el mismo polímero que el utilizado para formar la membrana de intercambio iónico, sobre la superficie orientada hacia el ánodo, en combinación con el electrodo para electrólisis según la presente realización en el electrolizador. Como ejemplo de electrolizador, se puede mencionar, por ejemplo, "Aciplex" (marca registrada) F6801 (fabricado por Asahi Kasei Corporation).

Si se utiliza la membrana de intercambio iónico que tiene una forma de delta, se acelera el suministro de salmuera a un espacio entre la membrana de intercambio iónico y el ánodo, se tiende a suprimir el daño de la membrana de intercambio iónico y un aumento de la concentración de sal en la sosa cáustica. Si se utilizan en combinación la membrana de intercambio iónico que tiene una forma de delta y el electrodo para electrólisis según la presente realización, se puede mantener un rendimiento de electrólisis estable. Como método para formar proyecciones, que no está particularmente limitado, por ejemplo, se pueden utilizar los métodos descritos en la Patente Japonesa n.º 4573715 y la Patente Japonesa n.º 4708133.

Como cátodo 240 se utiliza, p. ej., un cátodo para la generación de hidrógeno, que es un electrodo formado mediante la aplicación de un catalizador sobre un sustrato conductor. Como cátodo, se puede emplear un cátodo conocido en la técnica. Entre los ejemplos de los mismos se incluyen un cátodo formado mediante la aplicación de níquel, óxido de níquel, una aleación de níquel-estaño, una combinación de carbón activado y un óxido, óxido de rutenio o platino sobre una base de níquel; y un cátodo formado mediante el recubrimiento de un sustrato de malla metálica hecho de níquel con óxido de rutenio.

La estructura del electrolizador de la presente realización, que no está particularmente limitada, puede ser de tipo unipolar o de tipo bipolar. Los materiales para constituir el electrolizador no están particularmente limitados. Por ejemplo, como material para la cámara anódica, es preferible, p. ej., titanio resistente a un cloruro alcalino y cloro. Como material para una cámara catódica, es preferible, p. ej., níquel resistente a un hidróxido alcalino e hidrógeno.

El electrodo (el ánodo 230) para la electrólisis según la presente realización puede estar dispuesto a un intervalo apropiado con la membrana 250 de intercambio iónico o en contacto con la membrana 250 de intercambio iónico. En ambos casos, el electrolizador se puede utilizar sin ningún problema. El cátodo 240 puede estar dispuesto a un intervalo apropiado con la membrana 250 de intercambio iónico. El electrolizador puede ser un electrolizador de base de espacio cero que no tenga ningún intervalo con la membrana 250 de intercambio iónico. En ambos casos, el electrodo se puede utilizar sin ningún problema.

Como condiciones electrolíticas del electrolizador de la presente realización, que no están particularmente limitadas, se pueden emplear condiciones conocidas. Por ejemplo, la electrólisis se puede llevar a cabo preferiblemente a una temperatura de 50 a 120 °C y una densidad de corriente de 0,5 a 10 kA/m².

Reactivación de electrodo para electrólisis

El electrodo para electrólisis según la presente realización se puede utilizar de forma adecuada para renovar un electrodo revestido con catalizador existente utilizado en un electrolizador cuando la actividad del electrodo ha disminuido. Más específicamente, un método para renovar un electrodo en la presente realización incluye una etapa de soldadura del electrodo para electrólisis según la presente realización sobre el electrodo existente en un electrolizador. Asimismo, con solo soldar el electrodo reciente para electrólisis según la presente realización sobre un electrodo existente, el rendimiento de electrólisis del electrodo existente cuya actividad ha disminuido se puede devolver al nivel anterior al deterioro o mejorar aún más; en otras palabras, el electrodo se puede reactivar fácilmente. En los métodos convencionales, un electrodo existente cuya actividad ha disminuido se renueva mediante dos etapas: una etapa de extracción del electrodo existente del electrolizador y una etapa de soldadura adicional de un nuevo electrodo. Dicha carga durante un proceso de renovación del electrodo se puede reducir.

El electrodo para electrólisis según la presente realización unido por soldadura y el electrodo existente presente en el electrolizador se pueden considerar como un laminado. Más específicamente, el laminado de electrodos de la presente realización tiene el electrodo para electrólisis según la presente realización y un electrodo base para electrólisis diferente del electrodo para electrólisis descrito anteriormente. El electrodo base en la presente memoria, que no está particularmente limitado, es típicamente un electrodo existente presente en un electrolizador como se describió anteriormente y con una actividad reducida.

Cabe señalar que el electrodo para electrólisis según la presente realización adecuado para la reactivación del electrodo para electrólisis tiene preferiblemente un espesor de más de 0,5 mm y 0,65 mm o menos, y un valor C (= B/A) (que se obtiene dividiendo la suma B de los perímetros de las aberturas del electrodo para electrólisis por la relación de apertura A) de más de 2 y 5 o menos. Si el espesor se encuentra dentro del rango descrito anteriormente, es fácil soldar un nuevo electrodo sobre un electrodo existente y el rendimiento de la electrólisis puede volver al nivel anterior al deterioro sin cambiar particularmente la estructura interna, las partes, etc., utilizadas en el electrolizador existente, o puede mejorarse aún más; en otras palabras, el electrodo puede reactivarse. Más específicamente, en el laminado de electrodo de la presente realización, el espesor del electrodo para electrólisis es preferiblemente de más de 0,5 mm y 0,65 mm o menos.

El electrodo para electrólisis según la presente realización puede reducir la tensión de electrólisis durante la electrólisis de salmuera más que los electrodos convencionales. Debido a esto, según el electrolizador de la presente realización que tiene el electrodo para electrólisis, es posible reducir el consumo de energía requerido para la electrólisis de salmuera.

Dado que el electrodo para electrólisis según la presente realización tiene una capa de catalizador extremadamente estable desde el punto de vista químico, físico y térmico, el electrodo tiene una excelente durabilidad a largo plazo.

Por lo tanto, según el electrolizador de la presente realización que tiene el electrodo para electrólisis, la actividad catalítica del electrodo se puede mantener alta durante mucho tiempo y se puede producir cloro de alta pureza de manera estable.

Ejemplos

- 5 A continuación, la presente realización se describirá más específicamente en base a Ejemplos; sin embargo, la presente realización no se limita únicamente a estos Ejemplos.

En primer lugar, se describirán a continuación métodos de evaluación utilizados en los Ejemplos y Ejemplos Comparativos.

Experimento de electrólisis de cloruro de sodio mediante proceso de membrana de intercambio iónico

- 10 Como celda electrolítica, se preparó una celda electrolítica que tiene una celda anódica que tiene una cámara anódica y una celda catódica que tiene una cámara catódica.

Los electrodos para electrólisis preparados en los Ejemplos individuales y Ejemplos Comparativos se cortaron en piezas que tenían un tamaño predeterminado ($95 \times 110 \text{ mm} = 0,01045 \text{ m}^2$) y se utilizaron como electrodos de prueba. Cada uno de los electrodos de prueba se adhirió a una nervadura de una cámara anódica de una celda anódica mediante soldadura y se utilizó como ánodo.

- 15 Como cátodo, se utilizó un electrodo preparado recubriendo un sustrato de malla metálica de níquel con óxido de rutenio como catalizador. En primer lugar, un sustrato expandido de níquel metálico que sirve como colector se cortó en piezas del mismo tamaño que en el ánodo y se fijó mediante soldadura en la nervadura de la cámara catódica de la celda catódica y, a continuación, se colocaron una almohadilla de amortiguación tejida con alambre de níquel y un cátodo sobre la amortiguación.

Como junta, se utilizó una junta de caucho de EPDM (etileno propileno dieno) para colocar una membrana de intercambio iónico entre la celda anódica y la celda catódica. Como membrana de intercambio iónico, se utilizó la membrana de intercambio catiónico "Aciplex" (marca registrada) F6801 (fabricada por Asahi Kasei Corporation) para electrólisis de salmuera.

- 25 La tensión de electrólisis se determinó midiendo la diferencia de potencial entre el cátodo y el ánodo. Para determinar el rendimiento de electrólisis inicial del ánodo, se midió la tensión de electrólisis del día 5 después del inicio de la electrólisis. La electrólisis se llevó a cabo en las condiciones: densidad de corriente: 6 kA/m^2 , concentración de salmuera en la celda anódica: 205 g/L , concentración de NaOH en la celda catódica: 32% en masa y temperatura: $90 \text{ }^\circ\text{C}$. Como rectificador para electrólisis, se utilizó "PAD36-100LA" (fabricado por Kikusui Electronics Corporation).

- 30 Ejemplo 1

Como sustrato conductor, se utilizó un metal expandido de titanio con una distancia (SW) de centro a centro en la dirección del eje menor de una malla de $2,1 \text{ mm}$, una distancia (LW) de centro a centro en la dirección del eje mayor de la malla de 3 mm y un espesor de placa de $0,81 \text{ mm}$. El espesor de placa se midió con un calibrador de espesor. Los valores de SW, LW, St, relación de apertura y la suma de los perímetros de las aberturas se determinaron observando un rango especificado de la superficie del sustrato conductor con un aparato de observación de imágenes como, por ejemplo, un microscopio, fotografiando un plano de proyección y analizando los datos de imagen. Como método para analizar los datos de imagen, por ejemplo, se utilizó "Image J" desarrollado por los Institutos Nacionales de Salud (NIH) de EE. UU. y abierto al público, para procesar imágenes. El tamaño de la imagen del sustrato conductor sometido a procesamiento de imágenes se encuentra dentro del rango de $8,0 \times 5,3 \text{ mm}$. Más específicamente, se utilizaron como objetivos las aberturas presentes dentro del rango. La distancia de centro a centro en la dirección del eje menor de una malla especificada entre cada par de aberturas adyacentes, la distancia de centro a centro en la dirección del eje mayor de la malla y un valor, que se obtiene restando un tamaño de abertura máximo de aberturas en la dirección del eje menor de una malla de la distancia de centro a centro de aberturas en la dirección del eje menor de la malla, se midieron, promediaron y consideraron como SW, LW y St, respectivamente. Con respecto al sustrato conductor y al electrodo para electrólisis en cada uno de los Ejemplos y Ejemplos Comparativos, SW, LW, St, relación de apertura A, suma B de perímetros de aberturas, el perímetro de una sola abertura, $E (= B/(A \times (SW^2 + LW^2)^{1/2}))$ y el valor de espesor se obtuvieron de la misma manera que en el caso anterior. El metal expandido se calcinó al aire a $540 \text{ }^\circ\text{C}$ durante 4 horas para formar una película de óxido sobre la superficie y, a continuación, se trató con una solución de ácido sulfúrico al 25% en peso a $85 \text{ }^\circ\text{C}$ durante 4 horas. De esta manera, se aplicó un pretratamiento para hacer rugosa la superficie del sustrato conductor.

- Posteriormente, se añadió tetracloruro de titanio (fabricado por Kishida Chemical Co., Ltd.) gota a gota a una solución acuosa de cloruro de rutenio (concentración de rutenio 100 g/L , fabricada por Tanaka Kikinzoku Co., Ltd.) mientras se enfriaba la solución con hielo seco hasta $5 \text{ }^\circ\text{C}$ o menos y se agitaba, de modo que la relación elemental (relación molar) de rutenio, iridio y titanio se convirtió en 25: 25: 50, y posteriormente se añadió gota a gota una solución acuosa de cloruro de iridio (concentración de iridio 100 g/L , fabricada por Tanaka Kikinzoku Co., Ltd.), para obtener una solución acuosa que tiene una concentración total de metal de 100 g/L , es decir, líquido CL1 de recubrimiento. Por

otra parte, la solución acuosa de cloruro de rutenio y tetracloruro de titanio se mezclaron de la misma manera que anteriormente, de modo que la relación elemental (relación molar) de rutenio y titanio se convirtió en 35: 65, para obtener una solución acuosa que tiene una concentración total de metal de 100 g/L, es decir, líquido CL2 de recubrimiento.

- 5 El líquido CL1 de recubrimiento se vertió en una bandeja receptora de fluido de una máquina de recubrimiento y se sumergió un rodillo de esponja de EPDM y se dejó absorber el líquido mientras giraba el rodillo. En la porción superior del rodillo de esponja, se colocó un rodillo hecho de PVC de modo que estuviera en contacto con la porción superior. A continuación, el sustrato conductor pretratado se pasó entre el rodillo de esponja de EPDM y el rodillo de PVC para aplicar CL1 al sustrato conductor. Inmediatamente después de la aplicación de CL1, el sustrato conductor recubierto se pasó entre dos rodillos de esponja de EPDM rodeados de tela. De esta manera, se limpió el exceso de líquido de recubrimiento. A continuación, el sustrato conductor se secó a 50 °C durante 10 minutos y se calcinó al aire a 475 °C durante 10 minutos.

- 15 Se repitió un ciclo que consistía en recubrimiento por rodillo, secado y calcinación como se describió anteriormente, 7 veces en total y luego se llevó a cabo una calcinación a 520 °C durante una hora para formar una primera capa de catalizador de color marrón oscuro sobre el sustrato conductor. El sustrato que tenía la primera capa de catalizador formada sobre el mismo se sometió a recubrimiento por rodillo de la misma manera que en el proceso que utilizó líquido CL1 de recubrimiento, excepto que el líquido de recubrimiento se cambió a CL2 y luego se sometió a secado y calcinación al aire a 440 °C durante 10 minutos. Finalmente, el sustrato se calcinó al aire a 440 °C durante 60 minutos para producir un electrodo para electrólisis.

- 20 El electrodo resultante para la electrólisis tenía un espesor de 0,81 mm y una relación de apertura del 7,4 %. El número de aberturas en el área proyectada del electrodo era de más de 20 aberturas/cm² y un valor, que se obtiene dividiendo la suma de los perímetros de las aberturas por la relación de apertura, fue de 4,54. La forma de las aberturas observadas fue la misma que en la Figura 4 (A). La abertura 100 era simétrica de derecha a izquierda con respecto a la primera línea 101 central imaginaria que se extendía en la dirección α del eje menor de una malla. La abertura 100 era asimétrica de arriba a abajo con respecto a la segunda línea 102 central imaginaria que se extendía en la dirección β del eje mayor de la malla. Un valor, que se obtiene dividiendo el área Sa de la porción a por el área Sb de la porción b, fue de 1,28 y un valor, que se obtiene dividiendo St por SW, fue de 0,76.

Ejemplo Comparativo 1

- 30 Se produjo un electrodo para electrólisis de la misma manera que en el Ejemplo 1 excepto que el sustrato conductor del Ejemplo 1 se cambió a un metal expandido hecho de titanio y que tenía un espesor de 1,0 mm, en donde la distancia (SW) de centro a centro en la dirección del eje menor de una malla era de 3 mm y la distancia (LW) de centro a centro en la dirección del eje mayor de la malla era de 6 mm.

- 35 El electrodo resultante para la electrólisis tenía un espesor de 1,0 mm y una relación de apertura del 37,8 %. El número de aberturas en el área proyectada del electrodo era de 13 aberturas/cm² y un valor, que se obtiene dividiendo la suma de los perímetros de las aberturas por la relación de apertura, fue de 1,06. La forma de las aberturas observadas fue la misma que en la Figura 4 (C). La abertura 100' era simétrica de derecha a izquierda con respecto a la primera línea 101 central imaginaria que se extendía en la dirección α del eje menor de una malla. La abertura 100' era simétrica de arriba a abajo con respecto a la segunda línea 102 central imaginaria que se extendía en la dirección β del eje mayor de la malla. Un valor, que se obtiene dividiendo el área Sa de la porción a por el área Sb de la porción b, fue de 1,03 y un valor, que se obtiene dividiendo St por SW, fue de 0,667.

Ejemplo 2

- 45 Se produjo un electrodo para electrólisis de la misma manera que en el Ejemplo 1 excepto que el sustrato conductor del Ejemplo 1 se cambió a un metal expandido hecho de titanio y que tenía un espesor de 0,8 mm, en donde la distancia (SW) de centro a centro en la dirección del eje menor de una malla era de 2,2 mm y la distancia (LW) de centro a centro en la dirección del eje mayor de la malla era de 4,2 mm.

- 50 El electrodo resultante para la electrólisis tenía un espesor de 0,80 mm y una relación de apertura del 10,9 %. El número de aberturas en el área proyectada del electrodo era de 20 aberturas/cm² y un valor, que se obtiene dividiendo la suma de los perímetros de las aberturas por la relación de apertura, fue de 3,26. La forma de las aberturas observadas fue la misma que en la Figura 4 (A). La abertura 100 era simétrica de derecha a izquierda con respecto a la primera línea 101 central imaginaria que se extendía en la dirección α del eje menor de una malla. La abertura 100 era asimétrica de arriba a abajo con respecto a la segunda línea 102 central imaginaria que se extendía en la dirección β del eje mayor de la malla. Un valor, que se obtiene dividiendo el área Sa de la porción a por el área Sb de la porción b, fue de 1,64 y un valor, que se obtiene dividiendo St por SW, fue de 0,73.

Ejemplo 3

- 55 Se produjo un electrodo para electrólisis de la misma manera que en el Ejemplo 1 excepto que el sustrato conductor del Ejemplo 1 se cambió a un metal expandido hecho de titanio y que tenía un espesor de 0,83 mm, en donde la distancia (SW) de centro a centro en la dirección del eje menor de una malla era de 2,3 mm y la distancia (LW) de

centro a centro en la dirección del eje mayor de la malla era de 3,3 mm.

El electrodo resultante para la electrólisis tenía un espesor de 0,83 mm y una relación de apertura del 9,25 %. El número de aberturas en el área proyectada del electrodo era superior a 20 aberturas/cm² y un valor, que se obtiene dividiendo la suma de los perímetros de las aberturas por la relación de apertura, fue de 3,65. La forma de las aberturas observadas fue la misma que en la Figura 4 (A). La abertura 100 era simétrica de derecha a izquierda con respecto a la primera línea 101 central imaginaria que se extendía en la dirección α del eje menor de una malla. La abertura 100 era asimétrica de arriba a abajo con respecto a la segunda línea 102 central imaginaria que se extendía en la dirección β del eje mayor de la malla. Un valor, que se obtiene dividiendo el área Sa de la porción a por el área Sb de la porción b, fue de 1,27 y un valor, que se obtiene dividiendo St por SW, fue de 0,70.

10 Ejemplo 4

Se produjo un electrodo para electrólisis de la misma manera que en el Ejemplo 1 excepto que el sustrato conductor del Ejemplo 1 se cambió a un metal expandido hecho de titanio y que tenía un espesor de 0,81 mm, en donde la distancia (SW) de centro a centro en la dirección del eje menor de una malla era de 2,3 mm y la distancia (LW) de centro a centro en la dirección del eje mayor de la malla era de 3,3 mm.

15 El electrodo resultante para la electrólisis tenía un espesor de 0,81 mm y una relación de apertura del 22,1 %. El número de aberturas en el área proyectada del electrodo era superior a 20 aberturas/cm² y un valor, que se obtiene dividiendo la suma de los perímetros de las aberturas por la relación de apertura, fue de 2,05. La forma de las aberturas observadas fue la misma que en la Figura 4 (A). La abertura 100 era simétrica de derecha a izquierda con respecto a la primera línea 101 central imaginaria que se extendía en la dirección α del eje menor de una malla. La abertura 100 era asimétrica de arriba a abajo con respecto a la segunda línea 102 central imaginaria que se extendía en la dirección β del eje mayor de la malla. Un valor, que se obtiene dividiendo el área Sa de la porción a por el área Sb de la porción b, fue de 1,28 y un valor, que se obtiene dividiendo St por SW, fue de 0,43.

Ejemplo 5

25 Se produjo un electrodo para electrólisis de la misma manera que en el Ejemplo 1 excepto que el sustrato conductor del Ejemplo 1 se cambió a un metal expandido hecho de titanio y que tenía un espesor de 0,56 mm, en donde la distancia (SW) de centro a centro en la dirección del eje menor de una malla era de 1,6 mm y la distancia (LW) de centro a centro en la dirección del eje mayor de la malla era de 3,0 mm.

30 El electrodo resultante para la electrólisis tenía un espesor de 0,56 mm y una relación de apertura del 17,5 %. El número de aberturas en el área proyectada del electrodo era superior a 43 aberturas/cm² y un valor, que se obtiene dividiendo la suma de los perímetros de las aberturas por la relación de apertura, fue de 3,30. La forma de las aberturas observadas fue la misma que en la Figura 4 (A). La abertura 100 era simétrica de derecha a izquierda con respecto a la primera línea 101 central imaginaria que se extendía en la dirección α del eje menor de una malla. La abertura 100 era asimétrica de arriba a abajo con respecto a la segunda línea 102 central imaginaria que se extendía en la dirección β del eje mayor de la malla. Un valor, que se obtiene dividiendo el área Sa de la porción a por el área Sb de la porción b, fue de 1,88 y un valor, que se obtiene dividiendo St por SW, fue de 0,65.

Ejemplo 6

40 Se produjo un electrodo para electrólisis de la misma manera que en el Ejemplo 1 excepto que el sustrato conductor del Ejemplo 1 se cambió a un metal expandido hecho de titanio y que tenía un espesor de 0,81 mm, en donde la distancia (SW) de centro a centro en la dirección del eje menor de una malla era de 2,1 mm y la distancia (LW) de centro a centro en la dirección del eje mayor de la malla era de 3,1 mm.

45 El electrodo resultante para la electrólisis tenía un espesor de 0,81 mm y una relación de apertura del 15,5 %. El número de aberturas en el área proyectada del electrodo era superior a 20 aberturas/cm² y un valor, que se obtiene dividiendo la suma de los perímetros de las aberturas por la relación de apertura, fue de 2,72. La forma de las aberturas observadas fue la misma que en la Figura 4 (A). La abertura 100 era simétrica de derecha a izquierda con respecto a la primera línea 101 central imaginaria que se extendía en la dirección α del eje menor de una malla. La abertura 100 era asimétrica de arriba a abajo con respecto a la segunda línea 102 central imaginaria que se extendía en la dirección β del eje mayor de la malla. Un valor, que se obtiene dividiendo el área Sa de la porción a por el área Sb de la porción b, fue de 1,42 y un valor, que se obtiene dividiendo St por SW, fue de 0,67.

Ejemplo 7

50 Al metal expandido de titanio (SW: 2,2 mm, LW: 3,2 mm, espesor 0,82 mm) producido de la misma manera que en el Ejemplo 6, se aplicó el líquido CL1 de recubrimiento del Ejemplo 1 de la misma manera que en el Ejemplo 1 para formar una primera capa de catalizador sobre el sustrato conductor.

55 Posteriormente, se añadió tetracloruro de titanio (fabricado por Wako Pure Chemical Industries Ltd.) gota a gota a una solución acuosa de nitrato de rutenio (concentración de rutenio 100 g/L, fabricada por Furuya Metal Co., Ltd.) mientras se enfriaba con hielo seco hasta 5 °C o menos y se agitaba, y después, se añadieron gota a gota una solución acuosa

de cloruro de iridio (concentración de iridio 100 g/L, fabricada por Tanaka Kikinzoku Co., Ltd.) y cloruro de vanadio (III) (fabricado por Kishida Chemical Co., Ltd.), de modo que la relación elemental (relación molar) de rutenio, iridio, titanio y vanadio fuera de 21,25: 21,25: 42,5: 15, para obtener de este modo una solución acuosa que tuviera una concentración total de metal de 100 g/L, es decir, líquido CL3 de recubrimiento. El sustrato que tenía la primera capa de catalizador formada sobre el mismo se sometió a un ciclo que consistía en recubrimiento con rodillo utilizando líquido CL3 de recubrimiento, secado y calcinación de la misma manera que en el Ejemplo 1, excepto que la temperatura de calcinación se fijó en 400 °C. Luego, el mismo ciclo descrito anteriormente se repitió tres veces con la excepción de que la temperatura de calcinación se fijó en 450 °C. Además, la calcinación final se llevó a cabo a 520 °C durante una hora. De esta manera, se produjo un electrodo para electrólisis.

El electrodo resultante para la electrólisis tenía un espesor de 0,82 mm y una relación de apertura del 16,1 %. El número de aberturas en el área proyectada del electrodo era de más de 20 aberturas/cm² y un valor, que se obtiene dividiendo la suma de los perímetros de las aberturas por la relación de apertura, fue de 2,73. La forma de las aberturas observadas fue la misma que en la Figura 4 (A). La abertura 100 era simétrica de derecha a izquierda con respecto a la primera línea 101 central imaginaria que se extendía en la dirección α del eje menor de una malla. La abertura 100 era asimétrica de arriba a abajo con respecto a la segunda línea 102 central imaginaria que se extendía en la dirección β del eje mayor de la malla. Un valor, que se obtiene dividiendo el área Sa de la porción a por el área Sb de la porción b, fue de 1,38 y un valor, que se obtiene dividiendo St por SW, fue de 0,63.

Ejemplo Comparativo 2

Se produjo un electrodo para electrólisis de la misma manera que en el Ejemplo 1 excepto que el sustrato conductor del Ejemplo 1 se cambió a un metal expandido hecho de titanio y que tenía un espesor de 0,6 mm y no aplanado por un rodillo de laminación, en donde la distancia (SW) de centro a centro en la dirección del eje menor de una malla era de 2,3 mm y la distancia (LW) de centro a centro en la dirección del eje mayor de la malla era de 3,0 mm.

El electrodo resultante para la electrólisis tenía un espesor de 0,6 mm y una relación de apertura del 43,3 %. Un valor, que se obtiene dividiendo la suma de los perímetros de las aberturas por la relación de apertura, fue de 1,07. La forma de las aberturas observadas fue la misma que en la Figura 4 (C). La abertura 100' era simétrica de derecha a izquierda con respecto a la primera línea 101 central imaginaria que se extendía en la dirección α del eje menor de una malla. La abertura 100' era simétrica de arriba a abajo con respecto a la segunda línea 102 central imaginaria que se extendía en la dirección β del eje mayor de la malla. Un valor, que se obtiene dividiendo el área Sa de la porción a por el área Sb de la porción b, fue de 0,90 y un valor, que se obtiene dividiendo St por SW, fue de 0,45.

Ejemplo Comparativo 3

Se produjo un electrodo para electrólisis de la misma manera que en el Ejemplo 1 excepto que el sustrato conductor del Ejemplo 1 se cambió a un metal expandido hecho de titanio y que tenía un espesor de 0,5 mm, en donde la distancia (SW) de centro a centro en la dirección del eje menor de una malla era de 2,1 mm y la distancia (LW) de centro a centro en la dirección del eje mayor de la malla era de 4,0 mm.

El electrodo resultante para la electrólisis tenía un espesor de 0,5 mm y una relación de apertura del 35,7 %. Un valor, que se obtiene dividiendo la suma de los perímetros de las aberturas por la relación de apertura, fue de 1,78. La forma de las aberturas observadas fue la misma que en la Figura 4 (C). La abertura 100' era simétrica de derecha a izquierda con respecto a la primera línea 101 central imaginaria que se extendía en la dirección α del eje menor de una malla. La abertura 100' era simétrica de arriba a abajo con respecto a la segunda línea 102 central imaginaria que se extendía en la dirección β del eje mayor de la malla. Un valor, que se obtiene dividiendo el área Sa de la porción a por el área Sb de la porción b, fue de 1,10 y un valor, que se obtiene dividiendo St por SW, fue de 0,48.

Experimento de electrólisis de cloruro de sodio mediante proceso de membrana de intercambio iónico

Se llevaron a cabo experimentos de electrólisis de cloruro de sodio mediante el proceso de membrana de intercambio iónico utilizando los electrodos para electrólisis producidos en los Ejemplos 1 a 6 y los Ejemplos Comparativos 1 a 3. Los resultados se muestran en la Tabla 1.

Es preciso observar que en la Tabla 1, un caso donde un metal expandido que se utilizará como sustrato conductor se aplanó con un rodillo de laminación se describió como "FR O", el caso donde no se aplicó el aplanamiento se describió como "FR X". La cantidad de reducción de la tensión de electrólisis basada en el Ejemplo Comparativo 1 se representó mediante un valor positivo en la columna de "efecto: ΔV ".

Tabla 1

	FR	Espesor [mm]	SW [mm]	LW [mm]	A: relación de apertura [%]	Perímetro de una sola apertura [mm]	B: suma de perímetros [mm]	B/A	E	Efecto: ΔV
Ejemplo 1	○	0,81	2,1	3,0	7,4	2,58	33,6	4,54	1,24	35
Ejemplo 2	○	0,80	2,2	4,2	10,9	4,49	35,5	3,26	0,69	43
Ejemplo 3	○	0,83	2,3	3,3	9,25	3,04	33,8	3,65	0,91	41
Ejemplo 4	○	0,81	2,3	3,3	22,1	4,52	45,2	2,05	0,51	8
Ejemplo 5	○	0,56	1,6	3,0	17,5	3,38	57,7	3,30	0,97	42
Ejemplo 6	○	0,81	2,1	3,1	15,5	3,52	42,1	2,72	0,73	19
Ejemplo comparativo 1	○	1,0	3,0	6,0	37,8	7,76	39,9	1,06	0,16	0
Ejemplo comparativo 2	X	0,60	2,3	3,0	43,3	4,88	46,4	1,07	0,28	-23
Ejemplo comparativo 3	○	0,50	2,1	4,0	35,7	5,13	63,7	1,78	0,39	-19

5 Una cantidad de reducción de la tensión de electrólisis a una densidad de corriente de 6 kA/m² basado en el Ejemplo Comparativo 1 fue de 35 mV en el Ejemplo 1, 43 mV en el Ejemplo 2, 41 mV en el Ejemplo 3, 8 mV en el Ejemplo 4, 42 mV en el Ejemplo 5 y 19 mV en el Ejemplo 6. Se encontró que todos ellos pueden reducir la tensión de electrólisis en comparación con el Ejemplo Comparativo 1.

Por el contrario, en los Ejemplos Comparativos 2 y 3, la tensión de electrólisis aumentó en 23 mV y 19 mV, respectivamente, en comparación con el Ejemplo Comparativo 1.

10 Se llevaron a cabo experimentos de electrólisis de cloruro de sodio mediante un proceso de membrana de intercambio iónico utilizando los electrodos para electrólisis producidos en los Ejemplos 6 a 7 y el Ejemplo Comparativo 1. Los resultados se muestran junto con el tipo de líquido de recubrimiento para la capa de catalizador en la Tabla 2.

Tabla 2

	FR	Espe- sor [mm]	SW [mm]	LW [mm]	Líquido de recubri- miento para la primera capa de cataliza- dor	Líquido de recubri- miento para la segunda capa de catalizador	A: relación de apertura [%]	Perímetro de una sola apertura [mm]	B: suma de períme- tros [mm]	B/A	E	Efec- to: ΔV
Ejemplo compara- tivo 1	○	1,0	3,0	6,0	CL1	CL2	37,8	7,76	39,9	1,06	0,16	0
Ejemplo 6	○	0,81	2,1	3,1	CL1	CL2	15,5	3,52	42,1	2,72	0,73	19
Ejemplo 7	○	0,82	2,2	3,2	CL1	CL3	16,1	3,48	44,0	2,73	0,70	39

15 Una cantidad de reducción de la tensión de electrólisis a una densidad de corriente de 6 kA/m² en base al Ejemplo Comparativo 1 fue de 19 mV en el Ejemplo 6 y de 39 mV en el Ejemplo 7. Se encontró que todos ellos pueden reducir la tensión de electrólisis en comparación con el Ejemplo Comparativo 1. En particular, a partir de la comparación entre el Ejemplo 6 y el Ejemplo 7, se encontró que si el electrodo para electrólisis según la presente realización tiene una capa de catalizador que contiene vanadio, el efecto de reducción de la tensión de electrólisis aumenta aún más.

Ejemplo 8

20 El electrodo para electrólisis del Ejemplo 5 se utilizó para reactivar un electrodo cuya actividad disminuyó. A medida que la actividad del electrodo disminuyó, se utilizó un electrodo para electrólisis producido de la misma manera que

en el Ejemplo Comparativo 1 y se utilizó en un electrolizador de una planta semicomercial durante 6,9 años mediante suministro de energía. El electrodo se cortó en piezas que tenían un tamaño predeterminado ($95 \times 110 \text{ mm} = 0,01045 \text{ m}^2$) y se utilizó como electrodo base. El electrodo base se adhirió a la nervadura de una cámara anódica de una celda anódica mediante soldadura. La tensión de electrólisis del electrodo base a una densidad de corriente de 6 kA/m^2 aumentado en 32 mV con respecto al del Ejemplo Comparativo 1.

Al electrodo base, se unió mediante soldadura el electrodo para electrólisis del Ejemplo 5 como electrodo de renovación para producir un electrolizador que contenía un laminado de electrodo.

Ejemplo 9

Se produjo un electrodo para electrólisis de la misma manera que en el Ejemplo 1 excepto que el sustrato conductor del Ejemplo 1 se cambió a un metal expandido hecho de titanio y que tenía un espesor de 0,52 mm en donde la distancia (SW) de centro a centro en la dirección del eje menor de una malla era de 2,2 mm y la distancia (LW) de centro a centro en la dirección del eje mayor de la malla era de 3,0 mm.

El electrodo resultante para la electrólisis tenía un espesor de 0,52 mm y una relación de apertura del 23,3 %. Un valor, que se obtiene dividiendo la suma de los perímetros de las aberturas por la relación de apertura, fue de 2,36.

El electrodo para electrólisis anterior se utilizó para reactivar el electrodo cuya actividad disminuyó. A medida que la actividad del electrodo disminuyó, se produjo un electrodo para electrólisis de la misma manera que en el Ejemplo Comparativo 1 y se utilizó en un electrolizador de una planta de producción durante 7,1 años mediante el suministro de energía. El electrodo se cortó en piezas que tenían un tamaño predeterminado ($95 \times 110 \text{ mm} = 0,01045 \text{ m}^2$) y se utilizó como electrodo base. El electrodo base se adhirió a la nervadura de una cámara anódica de una celda anódica mediante soldadura. Una cantidad de reducción de tensión de electrólisis a una densidad de corriente de 6 kA/m^2 se incrementó en 35 mV en base a la del Ejemplo Comparativo 1. Al electrodo base, se adhirió el electrodo anterior para electrólisis mediante soldadura como un electrodo de renovación para producir un electrolizador que contenía un laminado de electrodo.

Se llevaron a cabo experimentos de electrólisis de cloruro de sodio mediante el proceso de membrana de intercambio iónico utilizando el electrolizador producido en los Ejemplos 8 y 9. Los resultados se muestran en la Tabla 3.

Tabla 3

	FR	Espesor [mm]	SW [mm]	LW [mm]	A: relación de apertura [%]	B: perímetro [mm]	B/A	Efecto: ΔV
Ejemplo 8	○	0,56	1,6	3,0	17,5	57,7	3,30	33
Ejemplo 9	○	0,52	2,2	3,0	23,3	55,0	2,36	24

Una cantidad de reducción de la tensión de electrólisis a una densidad de corriente de 6 kA/m^2 en base a la del Ejemplo Comparativo 1 fue de 33 mV en el Ejemplo 8 y de 24 mV en el Ejemplo 9. Se encontró que ambos pueden reducir la tensión de electrólisis en comparación con el Ejemplo Comparativo 1, y que cuando se renueva un electrodo existente que ha disminuido su actividad, el rendimiento de la electrólisis vuelve al nivel anterior al deterioro o mejora aún más, en otras palabras, el electrodo se puede reactivar.

Aplicabilidad industrial

El electrodo para electrólisis de la presente invención puede mantener bajos la tensión y el consumo de energía durante la electrólisis y tiene una resistencia práctica. Debido a esto, el electrodo para electrólisis de la presente invención puede usarse adecuadamente en el campo de la electrólisis de salmuera y es útil particularmente como un ánodo para la electrólisis de cloruro de sodio mediante un proceso de membrana de intercambio iónico. El electrodo para electrólisis de la presente invención permite la producción de gas de cloro altamente puro con baja concentración de gas de oxígeno durante un largo plazo a una baja tensión y un bajo consumo de energía.

Lista de signos de referencia

1 electrodo

2,3 abertura

10 electrodo para electrólisis

20 abertura

100 abertura

- 100' abertura
- 101 primera línea central imaginaria
- 102 segunda línea central imaginaria
- a porción a
- 5 b porción b
- 200 electrolizador para electrólisis
- 210 solución electrolítica
- 220 contenedor
- 230 ánodo (electrodo para electrólisis)
- 10 240 cátodo
- 250 membrana de intercambio iónico
- 260 cableado
- 300 electrodo para electrólisis
- 310 distancia SW de centro a centro de las aberturas en la dirección del eje menor de la malla (el ancho SW corto)
- 15 320 distancia LW de centro a centro de las aberturas en la dirección del eje mayor de la malla (el ancho LW largo)
- 330 segunda línea central imaginaria
- 340 porción a
- 350 porción b
- 360 distancia entre aberturas en la dirección del eje menor de la malla
- 20

REIVINDICACIONES

1. Un electrodo para electrólisis (10) que comprende
un sustrato conductor formado por una placa metálica porosa, y
al menos una capa de catalizador formada sobre una superficie del sustrato conductor, en donde
- 5 el electrodo para electrólisis (10) tiene un espesor de más de 0,5 mm y 1,2 mm o menos; y
el valor C, que se obtiene dividiendo la suma B de los perímetros de las aberturas del electrodo para electrólisis (10)
por la relación de apertura A del electrodo para electrólisis (10), determinada como se describe en la descripción, es
mayor de 2 mm y 5 mm o menos,
- 10 caracterizado por que la distancia SW (310) de centro a centro de las aberturas en la dirección del eje menor de una
malla es de 1,5 mm o más y de 2,5 mm o menos; y la distancia LW (320) de centro a centro en la dirección del eje
mayor de la malla es de 3 mm o más y de 4,5 mm o menos.
2. El electrodo para electrólisis (10) según la reivindicación 1, en donde la relación de apertura A es del 5 % o más y
de menos del 25 %.
3. El electrodo para electrólisis (10) según la reivindicación 1 o 2, en donde el electrodo para electrólisis tiene un
15 espesor de más de 0,5 mm y 0,9 mm o menos.
4. El electrodo para electrólisis (10) según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, en donde el valor E representado
por la siguiente fórmula (1) es de 0,5 o más
$$E = B / (A \times (SW^2 + LW^2)^{1/2}) \quad (1).$$
5. Un electrolizador (200) que comprende
- 20 una cámara anódica que comprende, como ánodo (230), el electrodo para electrólisis (10) según cualquiera de las
reivindicaciones 1 a 4,
una cámara catódica que comprende un cátodo (240), y
una membrana (250) de intercambio iónico que aísla la cámara anódica de la cámara catódica.
6. El electrolizador (200) según la reivindicación 5, en donde la membrana (250) de intercambio iónico tiene una
25 proyección formada por un polímero que constituye la membrana (250) de intercambio iónico sobre una superficie
orientada hacia el ánodo (230).
7. Un laminado de electrodos que comprende
el electrodo para electrólisis (10) según la reivindicación 1 o 2 y
un electrodo base diferente del electrodo para electrólisis (10).
- 30 8. El laminado de electrodos según la reivindicación 7, en donde el electrodo para electrólisis (10) tiene un espesor de
más de 0,5 mm y 0,65 mm o menos.
9. Un método para renovar un electrodo, que comprende una etapa de soldadura del electrodo para electrólisis (10)
según la reivindicación 1 o 2 sobre un electrodo existente en un electrolizador (200).

Figura 1

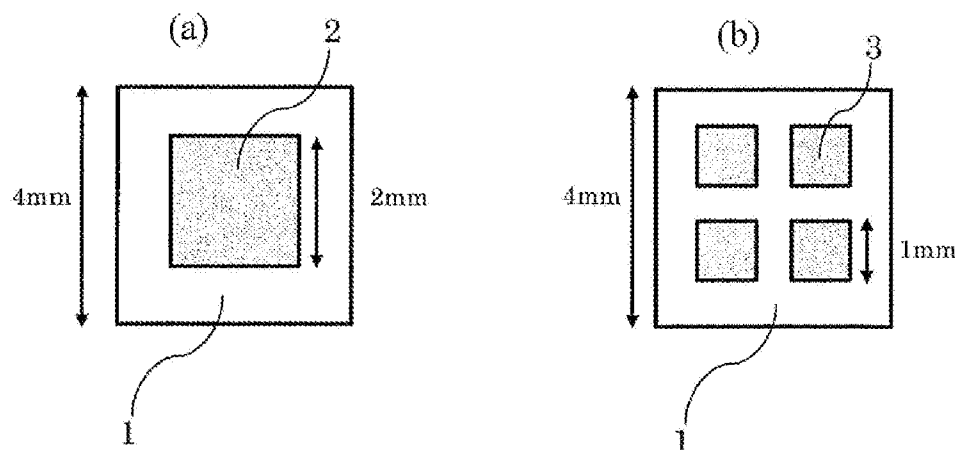


Figura 2

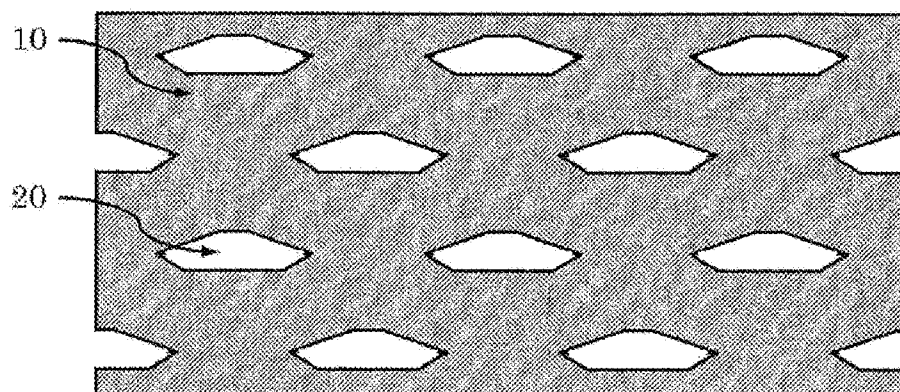


Figura 3

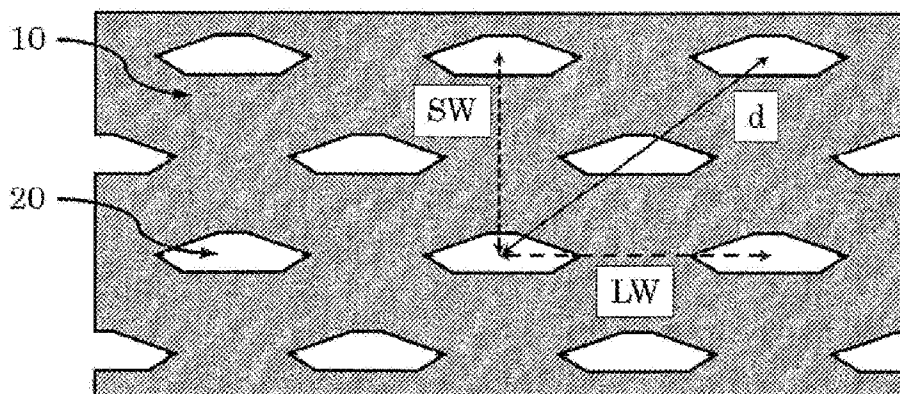
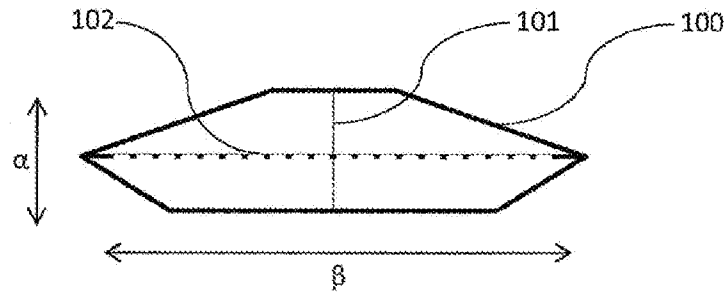
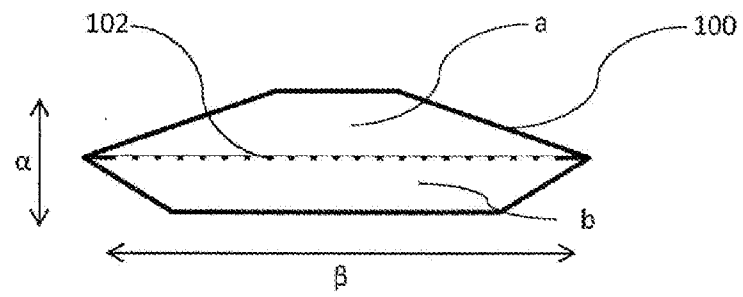


Figura 4

(A)



(B)



(C)

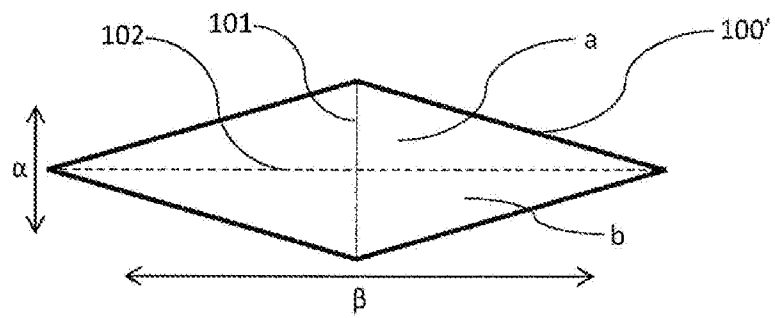


Figura 5

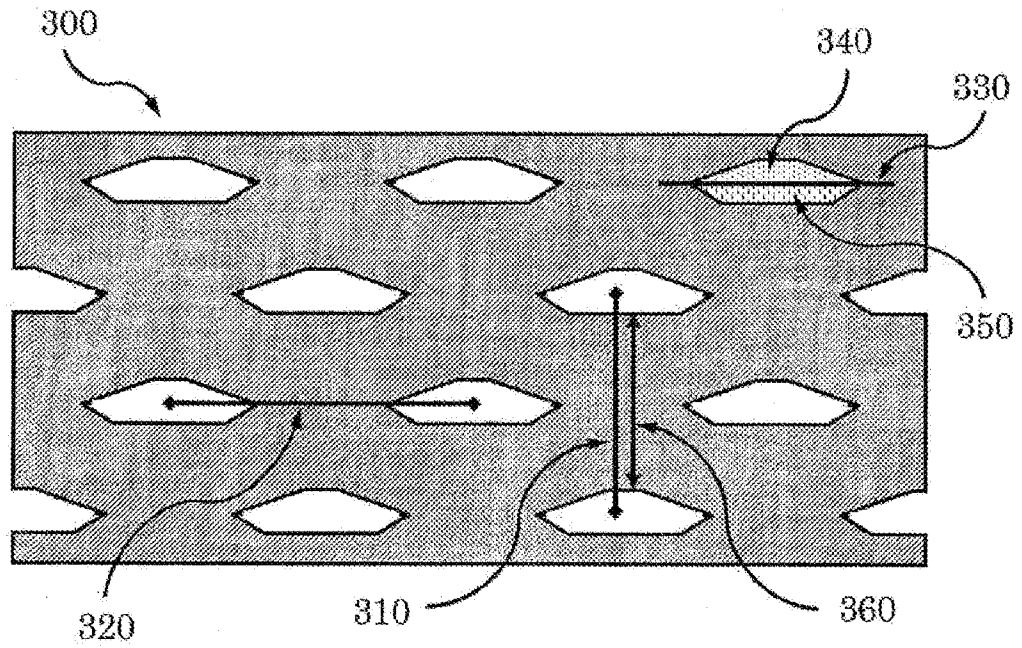


Figura 6

