(19) OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

(11) Número de publicación: **2 848 576**

(51) Int. CI.:

C25B 1/10 (2006.01)
C25B 9/10 (2006.01)
G01N 33/00 (2006.01)

(12) TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA T3

(86) Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **17.02.2017 PCT/EP2017/053651**

(87) Fecha y número de publicación internacional: **31.08.2017 WO17144367**

(96) Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **17.02.2017 E 17704797 (4)**

(97) Fecha y número de publicación de la concesión europea: **16.12.2020 EP 3420122**

(54) Título: **Dispositivo para la producción de hidrógeno gaseoso**

(30) Prioridad:

23.02.2016 BE 201605124

(45) Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
10.08.2021

(73) Titular/es:

H2WIN S.A. (100.0%)
Rue du Gendarme 4
1400 Nivelles, BE

(72) Inventor/es:

LORGE, PHILIPPE;
REMACLE, CLAIRE;
GERIN, STÉPHANIE;
JOB, NATHALIE;
FRANCK, FABRICE;
CALDARELLA, GIUSEPPE;
GHYSELS, BART;
GODAUX, DAMIEN y
CARDOL, PIERRE

(74) Agente/Representante:

FLORES DREOSTI, Lucas

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

Dispositivo para la producción de hidrógeno gaseoso

[0001] La presente invención se refiere a un dispositivo de disociación de una fase acuosa para producir hidrógeno gaseoso, comprendiendo dicho dispositivo:

- una primera zona que comprende dicha fase acuosa,
- un medio de captura de electrones,
- un medio de reducción de protones, y
- una fuente de energía eléctrica dispuesta para aplicar un potencial de energía eléctrica entre dicho medio de captura de electrones y dicho medio de reducción de protones para producir, mediante una reacción de oxidación de dicha fase acuosa en dicho medio de captura de electrones, oxígeno gaseoso, electrones y protones,

estando dispuesto dicho medio de reducción de protones para realizar una reacción de reducción de dichos protones por dichos electrones con el fin de producir hidrógeno gaseoso, y constituyendo una interfaz de intercambio de protones una separación entre dicha primera zona que comprende dicha fase acuosa y una segunda zona no acuosa, siendo dicha separación una separación que no deja que pase dicha fase acuosa, pero que deja pasar los protones hacia dicha segunda zona no acuosa, presentando dicha interfaz de intercambio de protones:

- una cara frontal situada en dicha primera zona que comprende dicha fase acuosa y que está orientada hacia dicho medio de captura de electrones, y
- una cara dorsal situada en dicha segunda zona no acuosa y que comprende al menos un catalizador y/o al menos un sistema catalítico.

[0002] Por el término «fase acuosa» se entiende, en el sentido de la presente invención, una fase que solo contiene agua o una fase que contiene agua y al menos un aditivo, como por ejemplo un electrolito (tampón) o un mediador de transporte de electrones o un aceptor de electrones.

[0003] El desarrollo de estos dispositivos tiene como objetivo, en primer lugar, poder proporcionar un vector de energía almacenable a partir de una fuente de energía, en concreto a partir de una fuente de energía eléctrica, tratando minimizar todo lo posible el aporte de energía, en concreto el aporte de energía eléctrica, que permita el funcionamiento del dispositivo.

[0004] Un dispositivo de este tipo es conocido del estado de la técnica (véase, por ejemplo, la solicitud de patente US 2015/240368) y se utiliza para obtener, a partir de una fuente de energía eléctrica y agua, hidrógeno en forma de gas ($H_{2\ gas}$). Más en concreto, un dispositivo de este tipo permite la obtención de hidrógeno gaseoso mediante la realización (1) de una reacción de oxidación de una fase (solución) acuosa que da lugar a una liberación de oxígeno gaseoso ($O_{2\ gas}$), de electrones (e^-) y de protones (H^+), y (2) de una reacción de reducción de dichos protones (H^+) por dichos electrones (e^-), produciendo dicha reacción de reducción hidrógeno en forma de gas (H_2 gas).

[0005] En una célula o dispositivo de este tipo, la oxidación de la fase (solución) acuosa se efectúa normalmente en un ánodo que comprende una interfaz electroquímica (por ejemplo, de carbono) que garantiza una disociación de las moléculas de agua sometidas al efecto de la energía eléctrica aportada al dispositivo a través de la fuente de energía eléctrica, es decir, sometidas al efecto de la aplicación de un potencial eléctrico entre dicho medio de captura de electrones y dicho medio de reducción de protones.

[0006] Esta disociación de las moléculas de agua se efectúa según la siguiente primera reacción:

$$2\,H_2O \xrightarrow{E} O_{2\,gas} + 4\,H^+ + 4\,e^-$$

donde E corresponde a la energía eléctrica aplicada al dispositivo, H_2O es agua, H^+ representa un protón y e^- representa un electrón.

[0007] Según esta primera reacción, un aporte suficiente de energía eléctrica permite producir, por disociación del agua, oxígeno ($O_{2\ gas}$), protones (H^+) y electrones (e^-). Eventualmente, los electrones obtenidos de esta forma por disociación del agua son tomados, en la solución acuosa, por un mediador (aceptor) de electrones (por ejemplo, 2,5-dicloro-1,4-benzoquinona o DCBQ) que les hace ganar un medio de captura de electrones, es decir, un ánodo.

Puesto que el ánodo está conectado eléctricamente al cátodo (es decir, a un medio de reducción de protones) compuesto por una interfaz electroquímica (por ejemplo, de platino y/o que comprenda enzimas del tipo hidrogenasa), los electrones ganan este último. Por su parte, los protones también ganan el cátodo, por difusión a través de la fase acuosa. Es en este último que, finalmente, los electrones y los protones obtenidos por disociación del agua y sometidos al efecto del potencial eléctrico aplicado forman hidrógeno gaseoso a través de una reacción de reducción de protones según la siguiente segunda reacción:

$$2\ H^+ + 2\ e^- \rightarrow H_{2\ gas}$$

[0008] Por tanto, se obtiene finalmente hidrógeno gaseoso ($H_{2\ gas}$) y puede extraerse del dispositivo para su almacenamiento, por ejemplo.

[0009] Un dispositivo de este tipo está compuesto tradicionalmente, pues, por dos electrodos, por ejemplo en forma de rejillas de platino y/o carbono, bañados en una misma solución acuosa y unidos entre sí, por ejemplo por medio de un potenciostato. Con este dispositivo de disociación del agua conocido en la actualidad en el que los electrodos se presentan, por ejemplo, en forma de rejillas por lo general de platino y/o carbono, este potenciostato (o cualquier otro equipo adecuado) debe obligatoriamente suministrar un potencial energético importante y no insignificante con el fin de asegurar una producción de hidrógeno gaseoso ($H_{2\ gas}$). En efecto, parece que con los dispositivos que se conocen en la actualidad del estado de la técnica, un potencial energético importante es requisito indispensable para permitir una producción de hidrógeno gaseoso. Más en concreto, un tal potencial energético es indispensable para permitir una transferencia de los electrones producidos en el ánodo hasta el cátodo y, por consiguiente, para permitir, en este último, la reducción de los protones H^+ a hidrógeno gaseoso, por los electrones e^-.

[0010] En efecto, se ha demostrado que los electrones procedentes del agua se exponen a una serie de transmisión y a diversas interfaces que deben atravesar antes de poder ganar en primer lugar el ánodo y después el cátodo, consumiendo cada una de estas transmisiones y cada una de estas interfaces una cierta energía de los electrones.

[0011] De todo ello, se desprende que, desafortunadamente, para los dispositivos actuales, es indispensable suministrar un potencial energético importante para que los electrones puedan disponer de una energía suficiente para superar todas estas transmisiones y todas estas interfaces para ganar el cátodo (el medio de reducción de los protones) y garantizar la reducción de los protones a hidrógeno gaseoso. Se deduce que el balance energético global y el rendimiento energético global de estos dispositivos no son óptimos.

[0012] Por ello, existe una necesidad real de poder proveer un dispositivo para la producción de hidrógeno gaseoso que pueda minimizar el aporte de energía, como por ejemplo el aporte de energía eléctrica, necesario o que pueda al menos reducir considerablemente el potencial energético requerido para obtener una producción de hidrógeno gaseoso.

[0013] Para resolver este problema, se prevé de acuerdo con la invención un dispositivo de disociación de una fase acuosa para producir hidrógeno gaseoso como se ha indicado al principio, estando dicho dispositivo caracterizado por que dicho al menos un catalizador y/o dicho al menos un sistema catalítico comprende enzimas del tipo hidrogenasas.

[0014] Por los términos «catalizador» o «sistema catalítico», se entiende, en el sentido de la presente invención, cualquier agente o conjunto de agentes que permitan catalizar una reacción de oxidación y/o de reducción.

[0015] Por el término «comprendiendo solo dicha cara dorsal de dicha interfaz de intercambio de protones al menos un catalizador y/o al menos un sistema catalítico» se entiende, en el sentido de la presente invención, que únicamente la cara dorsal de la interfaz de intercambio de protones está dopada con al menos un catalizador y/o con al menos un sistema catalítico.

[0016] De acuerdo con la invención, la interfaz (como por ejemplo, una membrana) de intercambio de protones, también denominada membrana de polímero-electrolito (PEM), es una interfaz que permite la conducción de protones al tiempo que no deja pasar los gases como el dioxígeno o el dihidrógeno.

[0017] Sorprendentemente, se ha demostrado, en el marco de la presente invención, que un dispositivo de este tipo cuyo medio de reducción de protones es una interfaz de intercambio de protones cuya única cara dorsal comprende al menos un catalizador y/o al menos un sistema catalítico, permite minimizar considerablemente el potencial energético, por ejemplo el potencial eléctrico que se aplica al dispositivo. En efecto, se ha determinado que el dispositivo de acuerdo con la invención permite reducir cerca de un voltio el potencial energético que se suministra al dispositivo para producir hidrógeno gaseoso.

[0018] Más en concreto, se ha determinado, en el marco de la presente invención, que debe aplicarse un potencial energético menor cuando los protones que gana la interfaz de intercambio de protones son tomados en la cara frontal de esta última y después transportados a través de esta interfaz de intercambio de protones de forma que gane su cara dorsal donde los protones se reducen directamente puesto que solo la cara dorsal de esta interfaz de intercambio de protones comprende al menos un catalizador y/o al menos un sistema catalítico.

[0019] Preferiblemente, según la invención, dicho medio de captura de electrones comprende, o no, al menos un catalizador y/o al menos un sistema catalítico.

[0020] De forma ventajosa, según la invención, dicho medio de captura de electrones es una interfaz de intercambio de protones o una rejilla de carbono.

[0021] Según la invención, dicho al menos un catalizador y/o dicho al menos un sistema catalítico comprende enzimas del tipo hidrogenasa y/o partículas de platino. Se ha determinado que, además de costar mucho menos que el platino, las enzimas del tipo hidrogenasa permiten tomar un número mayor de electrones por unidad de tiempo (por segundo), pero también reducir un poco el potencial energético requerido por el dispositivo para producir hidrógeno gaseoso. Las enzimas del tipo hidrogenasa mencionadas anteriormente pueden obtenerse eventualmente por síntesis en lugar de extraerse a partir de organismos naturales.

[0022] Según la invención, dicha interfaz de intercambio de protones constituye una separación entre dicha primera zona que comprende dicha fase acuosa y una segunda zona no acuosa.

[0023] Por el término «segunda zona no acuosa» se entiende, por ejemplo, en el sentido de la presente invención, una zona que comprende una fase sólida o una fase líquida no acuosa o una zona sin fase líquida.

[0024] Según la invención, dicha separación es una separación que no deja pasar dicha fase acuosa ni los gases (en concreto O_2) al tiempo que deja pasar los protones. Una separación de este tipo de acuerdo con la invención permite, en una forma de realización, asegurar que la reacción de reducción se efectúe únicamente en una zona no acuosa. En este caso, presentando la separación (la interfaz, por ejemplo en forma de membrana) una cara frontal y una cara dorsal, se prevé, según la invención, que la cara frontal esté en contacto con la fase acuosa o en contacto directo con el ánodo y, por tanto, esté orientada del lado de la primera zona acuosa mientras que se prevé que la cara dorsal dopada con un catalizador (por ejemplo, de carbono y/o platino) esté orientada del lado de la segunda zona no acuosa, efectuándose la reacción de reducción de los protones por los electrones para obtener hidrógeno gaseoso únicamente en la cara dorsal de la interfaz (membrana) y, por tanto, únicamente del lado de la zona no acuosa. Esto es posible puesto que, como se ha indicado anteriormente, la separación (membrana) no deja pasar la fase acuosa, pero sí deja pasar los protones hacia la segunda zona no acuosa, siendo reducidos los protones únicamente en la cara dorsal de esta separación (interfaz) y, por tanto, en la segunda zona no acuosa. En el marco de la presente invención, se ha determinado que una reducción de los protones en una zona no acuosa permite optimizar la intensidad (la magnitud/ importancia de la corriente) para un mismo potencial energético aplicado al sistema.

[0025] Preferiblemente, según la invención, un medio de contacto está presente en dicho medio de captura de electrones y/o en dicho medio de reducción de los protones. Por ejemplo, se prevé un tejido de carbono para asegurar un contacto eléctrico óptimo entre dicho medio de captura de electrones y dicho medio de reducción de los protones mediante un potenciostato, por ejemplo.

[0026] Preferiblemente, según la invención, dicha fase acuosa es una fase que solo contiene agua o una fase que contiene agua y al menos un aditivo, como por ejemplo un electrolito o un mediador de transporte de electrones o un aceptor de electrones.

[0027] Preferiblemente, según la invención, dicha fase acuosa comprende además un mediador de transporte de electrones o un aceptor de electrones. Eventualmente, dicho mediador de transporte de electrones o dicho aceptor de electrones está en forma de nanotubos de carbono (Carbon Nano-Tube) o de ferrocianuro.

[0028] De forma ventajosa, según la invención, dicha fase acuosa presenta un valor de pH comprendido entre 0,1 y 10, preferiblemente un valor de pH comprendido entre 6 y 7.

[0029] Preferiblemente, el dispositivo de disociación de una fase acuosa para producir hidrógeno gaseoso según la invención comprende además un dispositivo adicional de recuperación y de evacuación de gases. Por ejemplo, este dispositivo puede presentarse en forma de un dispositivo que asegure un flujo de nitrógeno en dicha segunda zona no acuosa, con el fin de recuperar y evacuar los gases presentes en dicha segunda zona no acuosa, principalmente para recuperar y evacuar el hidrógeno gaseoso producido por reducción de los protones en esta segunda zona no acuosa.

[0030] Preferiblemente, el dispositivo de disociación de una fase acuosa para producir hidrógeno gaseoso según la invención comprende además un dispositivo adicional de detección de hidrógeno gaseoso.

[0031] En las reivindicaciones adjuntas se indican otras formas de realización del dispositivo según la invención.

[0032] Asimismo, la invención tiene como objeto un procedimiento de producción de hidrógeno gaseoso con un dispositivo según la invención, a partir de una fase acuosa y de una fuente de energía, comprendiendo dicho procedimiento las siguientes etapas:

- una aplicación de un potencial energético entre un medio de captura de electrones y una interfaz de intercambio de protones que presenta una cara frontal orientada hacia dicho medio de captura de electrones y que presenta una cara dorsal que comprende al menos un catalizador y/o al menos un sistema catalítico, para producir, en dicho medio de captura de electrones, a través de una reacción de oxidación de dicha fase acuosa presente en una primera zona, oxígeno gaseoso, electrones y protones, y
- una captura de dichos protones en dicha interfaz de intercambio de protones que presenta una cara frontal orientada hacia dicho medio de captura de electrones y que presenta una cara dorsal que comprende al menos un catalizador y/o al menos un sistema catalítico, con el fin de que dichos protones se reduzcan a hidrógeno gaseoso a través de una reacción de reducción de dichos protones por dichos electrones en dicha cara dorsal de dicha interfaz de intercambio de protones.

[0033] En las reivindicaciones adjuntas se indican otras formas de realización del procedimiento según la invención.

[0034] Asimismo, la invención tiene como objeto una utilización de un dispositivo según la invención para producir hidrógeno gaseoso a partir de una fase acuosa y de una fuente de energía.

[0035] En las reivindicaciones adjuntas se indican otras formas de realización de un dispositivo según la invención.

[0036] La figura 1 es una vista esquemática explosionada de un dispositivo para producir hidrógeno gaseoso a partir de una fase acuosa y una fuente de energía, en este caso a partir de una fase acuosa y una fuente de energía eléctrica.

[0037] La figura 2 es una vista esquemática explosionada de otro dispositivo para producir hidrógeno gaseoso a partir de una fase acuosa y una fuente de energía, en este caso a partir de una fase acuosa y una fuente de energía eléctrica.

[0038] La figura 3 es una gráfica con los resultados registrados a través de mediciones de amperio-multivoltaje (de 0,1V a 0,9V) para los dispositivos (que comprenden una interfaz de intercambio de protones dopada, en trazo continuo) ilustrados en las figuras 1 y 2, en comparación con un dispositivo del estado de la técnica (que comprende una interfaz de intercambio de protones sin dopar y una rejilla de platino, en trazo discontinuo).

[0039] La figura 4 es una gráfica que compara los resultados registrados a través de mediciones de amperio-multivoltaje (de 0,1V a 0,9V) para dos dispositivos diferentes ilustrados en las figuras 1 (trazo discontinuo) o 2 (trazo continuo) y que comprende una interfaz de intercambio de protones dopada.

[0040] La figura 5 es una vista esquemática explosionada de otro dispositivo para producir hidrógeno gaseoso a partir de una fase acuosa y una fuente de energía, en este caso a partir de una fase acuosa y una fuente de energía eléctrica.

[0041] En las figuras, los elementos idénticos o análogos llevan las mismas referencias.

[0042] La figura 1 ilustra un dispositivo 1 para producir hidrógeno gaseoso ($H_{2\ gas}$) a partir de una fase acuosa 2 y de una fuente de energía eléctrica 7. Este dispositivo 1 comprende una pared frontal 4 y una pared dorsal 5, como por ejemplo unas paredes 4, 5 en un polímero adecuado. Por supuesto, el dispositivo 1 también comprende unas paredes superior e inferior y unas paredes laterales de modo que forma un dispositivo (generador) estanco.

[0043] La fase acuosa 2 baña un ánodo 6 (por ejemplo, un ánodo 6 en carbono) unido por medio de un potenciostato 7 (fuente de energía eléctrica) a una interfaz en forma de membrana 8 de intercambio de protones que presenta una cara frontal 8a orientada hacia dicho medio de captura de electrones 6 y que presenta una cara dorsal 8b que comprende al menos un catalizador y/o al menos un sistema catalítico, bañándose también la membrana (interfaz) 8 en la misma fase acuosa 2. Cuando se aplica un potencial eléctrico entre el ánodo 6 y la membrana (interfaz) 8, en el ánodo 6 se origina una reacción de oxidación de la fase acuosa 2 a fin de producir oxígeno gaseoso ($O_{2\ gas}$), electrones (4 e^-) y protones libres (4 H^+). Más en concreto, la membrana (interfaz) 8 presente una cara frontal 8a en contacto con la fase acuosa 2 y presenta además una cara dorsal 8b que también

está en contacto con la fase acuosa y que está dopada con platino de modo que puede desempeñar la función de cátodo. La reacción de reducción de los protones (H^+) por los electrones (e^-) para obtener hidrógeno gaseoso ($H_{2\ gas}$) se efectúa únicamente en la cara dorsal 8b de la membrana (interfaz) 8.

[0044] Preferiblemente, la fase acuosa 2 comprende un mediador de transporte de electrones o un aceptor de electrones (por ejemplo, de tipo DCBQ) que toma estos últimos para hacerles ganar el ánodo 6 de modo que, puesto que este último está conectado eléctricamente a la membrana (interfaz) 8 por medio de un potenciostato 7, los electrones puedan ganar la membrana (interfaz) 8 y volver a reunir los protones, los cuales habrán ganado también la membrana (interfaz) 8 a través de la fase acuosa 2. Por tanto, se realiza en la cara dorsal de la membrana (cátodo) 8 una reacción de reducción de los protones H^+ por los electrones e^- para formar hidrógeno gaseoso ($H_{2\ gas}$). Eventualmente, se coloca un tejido de carbono (capa de difusión de gas, GDL por sus siglas en inglés) sobre la cara dorsal 8b (orientada hacia la pared 5) de la membrana (interfaz) 8 (dopada y que desempeña la función de cátodo) para formar una capa de contacto eléctrico entre la membrana (cátodo) 8 y el potenciostato 7.

[0045] La figura 2 ilustra un dispositivo 1 para producir hidrógeno gaseoso ($H_{2\ gas}$) a partir de una fase acuosa 2 y de una fuente de energía eléctrica 7. Este dispositivo 1 como se ilustra en la figura 2 presenta una primera zona I acuosa y una segunda zona II no acuosa. Según esta forma de realización, una membrana (interfaz) 8 de tipo PEM dopada con carbono y platino constituye una separación entre la primera zona I acuosa y la segunda zona II no acuosa. El dopaje de la membrana (interfaz) 8 con carbono y platino permite a esta desempeñar la función de cátodo. Esta separación en forma de membrana (interfaz) 8 no deja pasar la fase acuosa 2 ni los gases, pero sí deja pasar los protones (H^+) desde dicha zona I acuosa hacia dicha zona II no acuosa. Más en concreto, esta membrana 8 (separación) presenta una cara frontal 8a en contacto con la fase acuosa 2 y, por tanto, orientada del lado de la primera zona I acuosa. Esta membrana (separación) presenta asimismo una cara dorsal 8b dopada con platino de forma que puede desempeñar la función de cátodo, estando dicha cara dorsal 8b orientada del lado de la segunda zona II no acuosa. Según esta forma de realización, la reacción de reducción de los protones (H^+) por los electrones (e^-) para obtener hidrógeno gaseoso ($H_{2\ gas}$) se efectúa únicamente en la cara dorsal 8b de la separación (membrana) y, por tanto, únicamente del lado de la zona II no acuosa. Eventualmente, se coloca un tejido de carbono (capa de difusión de gas, GDL) sobre la cara dorsal 8b (orientada hacia la pared 5) de la membrana (interfaz) 8 (dopada y que desempeña la función de cátodo) para formar una capa de contacto eléctrico entre la membrana (cátodo) 8 y el potenciostato 7.

[0046] La figura 3 reúne los resultados registrados a través de mediciones de amperio-multivoltaje (de 0,1V a 0,9V) para los dispositivos ilustrados en las figuras 1 y 2 (curva en trazo continuo: dispositivos que comprenden una membrana/interfaz dopada con platino), comparando estos resultados con aquellos medidos en las mismas condiciones para un dispositivo del estado de la técnica que comprende una membrana sin dopar y una rejilla de platino (curva en trazo discontinuo: estado de la técnica). Como se puede constatar, para estos dispositivos se mide una corriente entre el ánodo y la membrana (interfaz) (cátodo) a partir de la aplicación de un potencial de 0,6V mientras que, para un dispositivo según el estado de la técnica, no se mide ninguna corriente entre el ánodo y el cátodo (rejilla de platino), incluso cuando se aplican potenciales superiores (por ejemplo, de 0,9V). Además, para estos dispositivos, la corriente medida aumenta considerablemente para potenciales aplicados de 0,7V, de 0,8V y 0,9V. Por tanto, se desprende de estos ensayos comparativos que estos dispositivos cuyo medio de captura de protones es una interfaz de intercambio de protones, donde solo la cara dorsal comprende al menos un catalizador y/o al menos un sistema catalítico, permiten obtener un rendimiento energético mejorado con respecto al dispositivo conocido del estado de la técnica.

[0047] Para estos ensayos comparativos, la fase acuosa 2 comprende DCBQ (0,75 mM) y un tampón (NaCl 50 mM, MES 20 mM, MgCl 2mM). Además, para la forma de realización ilustrada en la figura 2, en los ensayos estaba presente un dispositivo adicional de recuperación y evacuación de gases presentes en la zona no acuosa.

[0048] La figura 4 es una gráfica que compara los resultados registrados a través de mediciones de amperio-multivolltaje (trazo discontinuo) o 2 (trazo continuo). Para cada una de estas formas de realización ilustradas en las figuras 1 o 2, una interfaz de intercambio de protones (membrana PEM) dopada con platino desempeña la función de cátodo. Como se desprende de esta gráfica, la intensidad de la corriente (µA) es más importante, para un mismo potencial aplicado al sistema, cuando este último comprende una interfaz de intercambio de protones que separa una primera zona acuosa de una segunda zona no acuosa (forma de realización de la figura 2). En esta gráfica, esta forma de realización de la figura 2 se compara con un dispositivo según la figura 1 donde no está presente una zona no acuosa. Como se ilustra, el dispositivo ilustrado en la figura 2 que presenta una zona no acuosa donde tiene lugar la reacción de reducción de los protones permite optimizar la intensidad de corriente, lo que implica una producción de $H_{2\ gas}$ más importante, para una aplicación de un potencial energético idéntico y predeterminado, en comparación con un dispositivo que no comprende zona acuosa.

[0049] La figura 5 es una vista esquemática de otro dispositivo para producir hidrógeno gaseoso ($H_{2\ gas}$) a partir de una fase acuosa 2 y de una fuente de energía eléctrica 7. Este dispositivo 1 es idéntico al ilustrado en la figura 2, con la diferencia de que la membrana (interfaz) 8 está unida a la cara dorsal del ánodo 6. La membrana (interfaz)

8 constituye una separación entre la primera zona I acuosa y la segunda zona II no acuosa y está dopada con carbono y platino de modo que pueda desempeñar la función de cátodo. Esta separación en forma de membrana 8 no deja pasar la fase acuosa 2 ni los gases (en particular O_2), pero sí deja pasar los protones (H^+). Más en concreto, esta membrana (interfaz) 8 presenta una cara frontal 8a en contacto directo con el ánodo 6 (por unión contra la cara dorsal del ánodo 6), estando orientada esta cara frontal 8a del lado de la primera zona I acuosa. Esta membrana (interfaz) 8 presenta asimismo una cara dorsal 8b dopada con platino de forma que pueda desempeñar la función de cátodo, estando dicha cara dorsal 8b orientada del lado de la segunda zona II no acuosa. La reacción de reducción de los protones (H^+) por los electrones (e^-) para obtener hidrógeno gaseoso ($H_{2\ gas}$) se efectúa únicamente en esta zona II no acuosa en la cara dorsal de la membrana 8. Eventualmente, se coloca un tejido de carbono (capa de difusión de gas, GDL) sobre la cara dorsal (orientada hacia la pared 5) de la membrana (interfaz o separación) 8 (dopada y que desempeña la función de cátodo) para formar una capa de contacto eléctrico entre la membrana (cátodo) 8 y el potenciostato 7.

[0050] Según este dispositivo ilustrado en la figura 5, la reacción de reducción se efectúa en la zona II no acuosa, pero, además, los protones que se obtienen en la fase acuosa a través de la reacción de oxidación son tomados directamente por la membrana (interfaz) 8 sin tener que atravesar una fase acuosa como es el caso del dispositivo ilustrado en la figura 2. Aquí, los protones no se encuentran de nuevo en una fase acuosa: son tomados directamente por la membrana (interfaz) 8 que desempeña la función de cátodo en la zona II no acuosa.

[0051] Cabe entender que la presente invención no está de ninguna forma limitada a las formas de realización anteriormente descritas y que pueden aportarse modificaciones sin salirse del alcance de la protección definida por las reivindicaciones adjuntas.

REIVINDICACIONES

1. Dispositivo de disociación de una fase acuosa para producir hidrógeno gaseoso, comprendiendo dicho dispositivo:

- una primera zona que comprende dicha fase acuosa,
- un medio de captura de electrones,
- un medio de reducción de protones, y
- una fuente de energía eléctrica dispuesta para aplicar un potencial de energía eléctrica entre dicho medio de captura de electrones y dicho medio de reducción de protones para producir, mediante una reacción de oxidación de dicha fase acuosa en dicho medio de captura de electrones, oxígeno gaseoso, electrones y protones,

estando dispuesto dicho medio de reducción de protones para realizar una reacción de reducción de dichos protones por dichos electrones con el fin de producir hidrógeno gaseoso, y constituyendo una interfaz de intercambio de protones una separación entre dicha primera zona que comprende dicha fase acuosa y una segunda zona no acuosa, siendo dicha separación una separación que no deja que pase dicha fase acuosa pero que deja pasar los protones hacia dicha segunda zona no acuosa, presentando dicha interfaz de intercambio de protones:

- una cara frontal situada en dicha primera zona que comprende dicha fase acuosa y que está orientada hacia dicho medio de captura de electrones, y
- una cara dorsal situada en dicha segunda zona no acuosa y que comprende al menos un catalizador y/o al menos un sistema catalítico,

estando dicho dispositivo **caracterizado por que** dicho al menos un catalizador y/o dicho al menos un sistema catalítico comprende enzimas del tipo hidrogenasas.

2. Dispositivo de disociación de una fase acuosa para producir hidrógeno gaseoso según la reivindicación 1, **caracterizado por que** dicho medio de captura de electrones comprende, o no, al menos un catalizador y/o al menos un sistema catalítico.

3. Dispositivo de disociación de una fase acuosa para producir hidrógeno gaseoso según la reivindicación 1 o 2, **caracterizado por que** dicho medio de captura de electrones es una interfaz de intercambio de protones o una rejilla de carbono.

4. Dispositivo de disociación de una fase acuosa para producir hidrógeno gaseoso según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, **caracterizado por que** dicho al menos un catalizador y/o dicho al menos un sistema catalítico que está comprendido por dicha cara dorsal de dicha interfaz de intercambio de protones comprende partículas de platino.

5. Dispositivo fotocatalítico de disociación de una fase acuosa para producir hidrógeno gaseoso según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, **caracterizado por que** dicha separación es una separación que no deja pasar dicha fase acuosa ni los gases al tiempo que deja pasar los protones.

6. Dispositivo de disociación de una fase acuosa para producir hidrógeno gaseoso según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, **caracterizado por que** dicha fase acuosa es una fase que solo contiene agua o una fase que contiene agua y al menos un aditivo, como por ejemplo un electrolito o un mediador de transporte de electrones o un aceptor de electrones.

7. Dispositivo de disociación de una fase acuosa para producir hidrógeno gaseoso según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, **caracterizado por que** dicha fase acuosa comprende además un mediador de transporte de electrones o un aceptor de electrones.

8. Dispositivo de disociación de una fase acuosa para producir hidrógeno gaseoso según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, **caracterizado por que** dicha fase acuosa presenta un valor de pH comprendido entre 0,1 y 10, preferiblemente un valor de pH comprendido entre 6 y 7.

9. Dispositivo de disociación de una fase acuosa para producir hidrógeno gaseoso según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8, **caracterizado por que** comprende además un dispositivo adicional de recuperación y de evacuación de gases.

10. Dispositivo de disociación de una fase acuosa para producir hidrógeno gaseoso según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 9, **caracterizado por que** comprende además un dispositivo adicional de detección de hidrógeno gaseoso.

11. Procedimiento de producción de hidrógeno gaseoso con un dispositivo según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 10, a partir de una fase acuosa y de una fuente de energía eléctrica, comprendiendo dicho procedimiento las siguientes etapas:

- una aplicación de un potencial de energía eléctrica entre un medio de captura de electrones y una interfaz de intercambio de protones que presenta una cara frontal orientada hacia dicho medio de captura de electrones y que presenta una cara dorsal que comprende al menos un catalizador y/o al menos un sistema catalítico, para producir, en dicho medio de captura de electrones, a través de una reacción de oxidación de dicha fase acuosa presente en una primera zona, oxígeno gaseoso, electrones y protones, y
- una captura de dichos protones en dicha interfaz de intercambio de protones que presenta una cara frontal orientada hacia dicho medio de captura de electrones y que presenta una cara dorsal que comprende al menos un catalizador y/o al menos un sistema catalítico, con el fin de que dichos protones se reduzcan a hidrógeno gaseoso mediante una reacción de reducción de dichos protones por dichos electrones en dicha cara dorsal de dicha interfaz de intercambio de protones.

12. Utilización de un dispositivo según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 10 para producir hidrógeno gaseoso a partir de una fase acuosa y una fuente de energía eléctrica.

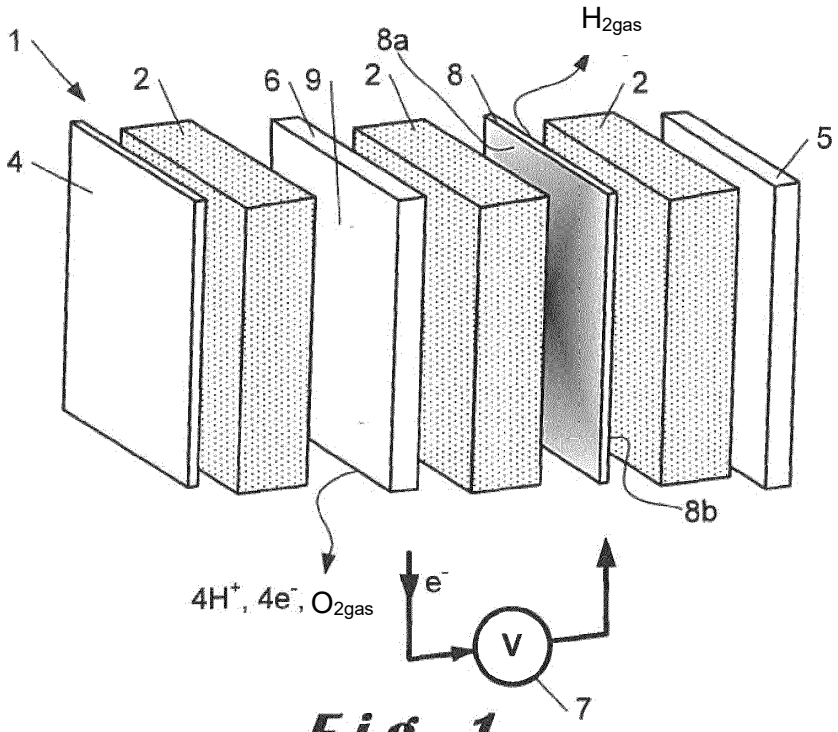
1
2
6
9
2
8a
8
H_{2gas}
2
5
4
8b
$4H^+, 4e^-, O_{2gas}$
e^-
V
7

Fig. 1

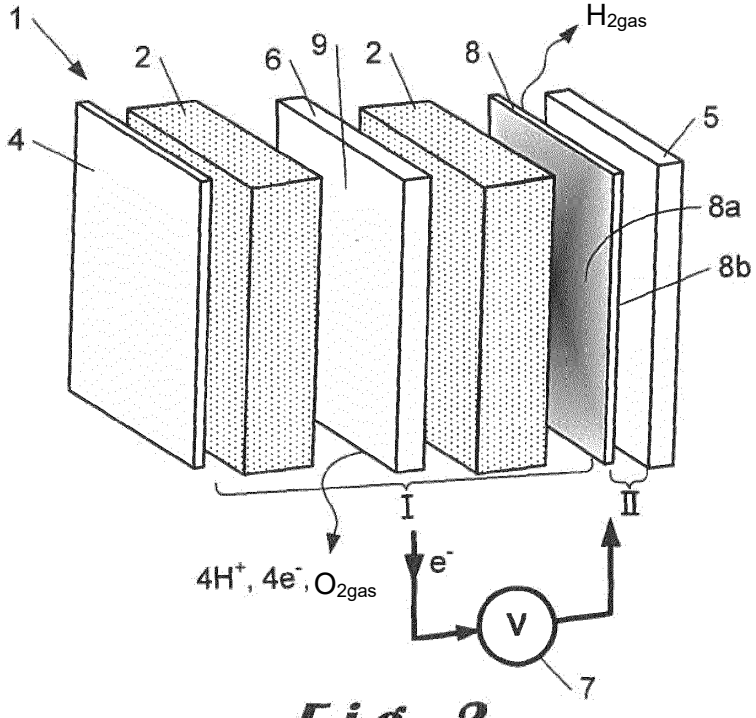
1
2
6
9
2
8
H_{2gas}
5
4
8a
8b
I
II
$4H^+, 4e^-, O_{2gas}$
e^-
V
7

Fig. 2

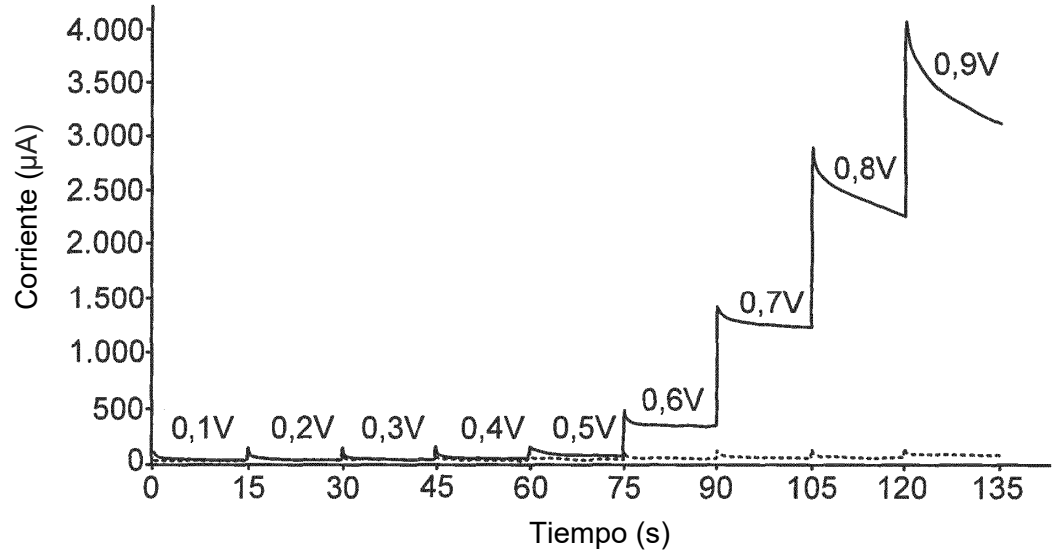
4.000
3.500
3.000
2.500
2.000
1.500
1.000
500
0
Corriente (µA)
0,1V
0,2V
0,3V
0,4V
0,5V
0,6V
0,7V
0,8V
0,9V
0
15
30
45
60
75
90
105
120
135
Tiempo (s)

Fig. 3

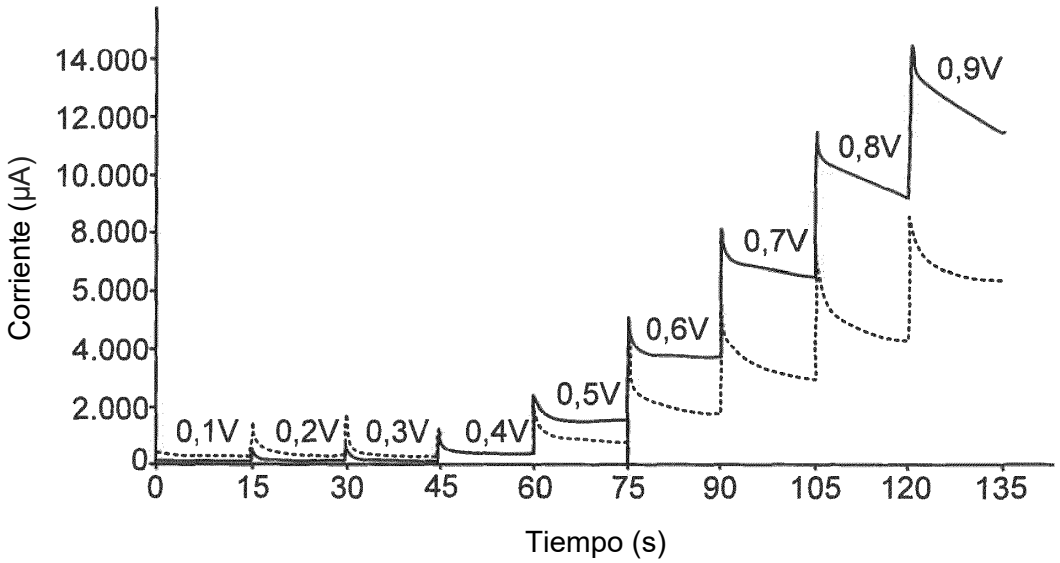
14.000
12.000
10.000
8.000
5.000
4.000
2.000
0
Corriente (µA)
0,1V
0,2V
0,3V
0,4V
0,5V
0,6V
0,7V
0,8V
0,9V
0
15
30
45
60
75
90
105
120
135
Tiempo (s)

Fig. 4

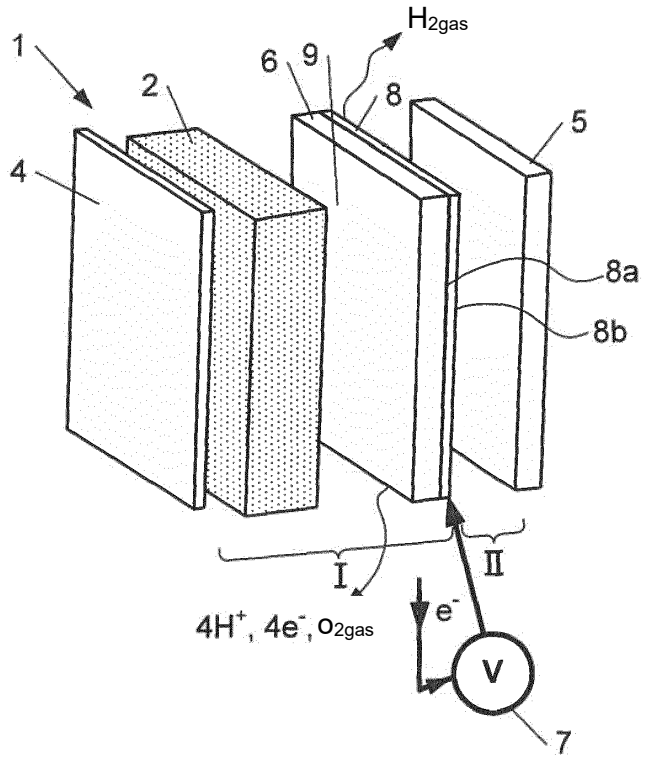

Fig. 5