

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 374 053**

51 Int. Cl.:
H01M 8/06 (2006.01)
H01M 8/10 (2006.01)
H01M 8/12 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 96 Número de solicitud europea: **10165378 .0**
96 Fecha de presentación: **09.06.2010**
97 Número de publicación de la solicitud: **2270914**
97 Fecha de publicación de la solicitud: **05.01.2011**

54 Título: **PILA DE COMBUSTIBLE CON MEMBRANA DE PURIFICACIÓN DE HIDRÓGENO INTEGRADA.**

30 Prioridad:
11.06.2009 FR 0953861

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
13.02.2012

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
13.02.2012

73 Titular/es:
**Electricité de France
22-30 avenue de Wagram
75008 Paris, FR**

72 Inventor/es:
**Marrony, Mathieu y
Aslanides, Antoine**

74 Agente: **Durán Moya, Luis Alfonso**

ES 2 374 053 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

Pila de combustible con membrana de purificación de hidrógeno integrada.

5 La presente invención se refiere a una pila de combustible con electrolito sólido, que comprende una membrana cerámica de purificación de hidrógeno incorporada en la pila, en funciones de soporte mecánico en contacto directo con el ánodo. La invención se refiere igualmente a un procedimiento de fabricación de dicha pila, así como, a la utilización de ésta para la producción de energía eléctrica.

10 Las pilas de combustibles representan en la actualidad una de las tecnologías más prometedoras susceptibles de concurrir a medio plazo con los otros sistemas de producción de energía. Una pila de combustible es un dispositivo electroquímico que permite transformar energía química contenida en un combustible, tal como hidrógeno, en energía eléctrica y de manera accesoria, calor. Actualmente, las dos principales tecnologías de pilas de combustible son las pilas de óxido sólido (en inglés *solid oxide fuel cell*, SOFC) y las pilas con membrana de intercambio de protones (en inglés *proton Exchange membrane fuel cell*, PEMFC).

15 Las pilas SOFC son potencialmente más interesantes que las PEMFC por su rendimiento energético elevado que es generalmente del orden de 50 a 70%. No obstante, requieren temperaturas de funcionamiento elevadas del orden de 750 a 1000°C, lo que requiere la utilización de materiales de electrolito y de interconectores de cerámica generalmente muy costosos. Por otra parte, una temperatura de funcionamiento tan elevada induce una pérdida de estabilidad a largo plazo por difusión de los elementos que constituyen el electrolito y los electrodos a nivel de los interfaces y entre estos componentes (interfaz ánodo/electrolito y el cátodo electrolito).

20 Las pilas PEMFC funcionan a baja temperatura. El electrolito sólido es en este caso un polímero orgánico hidratado conductor de protones cuya conductividad está íntimamente ligada al grado de hidratación. La necesaria presencia de agua limita la temperatura de funcionamiento de este tipo de célula de combustible a temperaturas inferiores a 100°C. El principal inconveniente de las PEMFC es su rendimiento eléctrico mediocre que no supera generalmente 30 a 50%.

25 Más recientemente se han desarrollado pilas de combustible de electrolito sólido cerámico con conductor de protones (PCFC, del inglés *protonic ceramic fuel cell*) que funcionan a temperaturas intermedias, comprendidas aproximadamente entre 300 y 800°C. Estas temperaturas permiten la utilización de materiales metálicos, y en particular conectores metálicos en lugar de los costosos materiales cerámicos indispensables para las pilas SOFC. Las pilas PCFC presentan mejores rendimientos eléctricos que las PEMFC y las temperaturas de funcionamiento intermedias permiten una buena utilización del calor desarrollado.

30 La mejora de las PCFC, igual que las SOFC, pasa por la disminución del grosor del electrolito cerámico. En efecto, el rendimiento energético de una pila está en parte controlado por la resistencia específica (ASR, del inglés *area specific resistance*) del electrolito. Esta resistencia específica está expresada por la fórmula siguiente:

$$40 \quad ASR = (r \cdot e) / A,$$

45 en la que r indica la resistividad del electrolito, e su espesor y A su superficie. No obstante, la resistividad del electrolito disminuye fuertemente con la temperatura. Dicho de otro modo, cuanto más baja es la temperatura de funcionamiento de las pilas PCFC, más reducido deberá ser el grosor del electrolito para la obtención de un rendimiento energético equivalente de la pila.

50 Un grosor reducido de los electrolitos sólidos impediría de todos modos, en la fabricación de la pila, la utilización de esta capa de la pila como soporte mecánico para el depósito de los electrodos.

En el campo de las SOFC, se han previsto y se han experimentado dos soluciones a este problema:

- utilización del ánodo como soporte mecánico para el depósito de las otras capas (electrolito y cátodo): este enfoque adolece principalmente del coste elevado de los materiales que forman el ánodo;
- 55 - utilización de un soporte metálico sobre el que se depositan sucesivamente los otros constituyentes de la pila; si bien este enfoque presenta numerosas ventajas (satisfactorio reparto del calor, coste reducido, buena resistencia a las variaciones de temperatura, facilidad de soldadura) presenta el problema del depósito de las capas cerámicas (ánodo, cátodo, electrolito) sin fritado a alta temperatura (1400°C).

60 La solicitante, dentro del marco de sus investigaciones destinadas a mejorar las pilas de combustible con electrolito sólido que funciona a unas temperaturas inferiores a las de las SOFC, en vez de traspasar las soluciones que no son completamente satisfactorias que se han descrito anteriormente al campo de las pilas PCFC y PEMFC, propone una tercera solución que no solamente no presenta los inconvenientes de las dos primeras, sino que aporta una ventaja suplementaria especialmente interesante en el campo de las temperaturas de funcionamiento de las pilas de combustible previstas.

65

La solicitante ha fabricado efectivamente pilas de combustible con electrolito sólido conductor protónico utilizando, como soporte mecánico para el depósito de las capas sucesivas de la pila (ánodo, electrolito sólido, cátodo) una membrana cerámica nanoporosa que presenta selectividad para el hidrógeno. Esta membrana cerámica cuyo grosor no supera generalmente algunos cientos de micras, presenta ventajosamente y de manera simultánea

- una resistencia mecánica suficiente para el depósito de los materiales que forman el ánodo, el electrolito sólido y el cátodo,
- una resistencia térmica que permite el fritado a elevadas temperaturas de estos depósitos, y
- una buena selectividad para el hidrógeno que permite la utilización de un combustible gaseoso de menor pureza.

Si bien la utilización de esta membrana cerámica de purificación de hidrógeno es particularmente útil en el sector de las PCFC, presenta igualmente un interés no despreciable en el campo de las PEMFC, en el que la presencia de impurezas, tales como el monóxido de carbono o el dióxido de carbono en el combustible gaseoso, es particularmente molesta. En efecto, en las PEMFC, el monóxido de carbono reacciona con los lugares catalíticos de platino del ánodo, lo que disminuye la superficie activa de éste y por lo tanto los rendimientos eléctricos. El CO₂, como gas no reactivo, diluye el combustible (hidrógeno) y disminuye de este modo la velocidad de difusión del hidrógeno en los lugares activos del ánodo y, por consiguiente los rendimientos de la célula.

La presente invención tiene por consiguiente como objeto una pila de combustible con electrolito sólido conductor de protones, que comprende un apilamiento de las capas siguientes directamente en contacto unas con otras:

- (a) una membrana cerámica de purificación de hidrógeno (H₂) que comprende un soporte poroso con porosidad abierta, a base de espinela alumino-magnésica, impregnado de una capa de xerogel nanoporoso a base de sílice,
- (b) un ánodo poroso capaz de oxidar el hidrógeno (H₂),
- (c) un electrolito sólido, orgánico o cerámico, conductor iónico, preferentemente conductor de protones, y
- (d) un cátodo poroso capaz de reducir el oxígeno (O₂).

La membrana cerámica nanoporosa (capa (a)) es conocida en sí misma. Su fabricación y sus características se han descrito en la solicitud de Patente WO 2006/067156 a nombre de la solicitante.

Esta membrana comprende un soporte poroso cerámico constituido esencialmente de espinela alumino-magnésica, es decir, que contiene, como mínimo 80% en peso, y preferentemente, como mínimo 90% en peso de espinela alumino-magnésica. Este soporte poroso cerámico presenta preferentemente un diámetro medio de los poros comprendido entre 0,95 y 1,05 µm. Este diámetro medio de los poros se debe comprender que es el de la porosidad abierta del soporte.

La porosidad abierta del soporte es colmatada por un xerogel a base de sílice. Este xerogel tiene una estructura nanoporosa con un diámetro medio de los poros ventajosamente inferior o igual a 2 nm. Se debe comprender que el xerogel y no el soporte poroso es el que determina la selectividad y la permeabilidad en la membrana cerámica (capa (a)) que tiene, por lo tanto, una porosidad abierta con un diámetro medio de los poros, preferentemente inferior o igual a 2 nm.

El xerogel a base de sílice puede llenar totalmente la porosidad abierta del soporte poroso a base de espinela alumino-magnésica. La presente invención comprende, no obstante, de igual forma las membranas en las que el grosor de la capa de xerogel es inferior al del soporte, dicho de otro modo, el xerogel puede llenar únicamente una capa superficial más o menos profunda del soporte. En una forma de realización preferente, la capa de xerogel llena preferentemente, la totalidad de la porosidad abierta del soporte, es decir, el grosor de la capa de xerogel es idéntico al del soporte y, por lo tanto, de la membrana cerámica final.

El espesor de la membrana cerámica impregnada de xerogel (capa (a)), está comprendido preferentemente entre 100 µm y 500 µm, en particular, entre 200 µm y 300 µm, y particularmente entre 250 µm y 300 µm.

La membrana cerámica nanoporosa que forma la capa (a) de la pila de combustible de la presente invención presenta ventajosamente una selectividad (H₂/CO) superior o igual a 2. Esta selectividad aumenta con el grosor de la capa de xerogel. El aumento del espesor de esta capa se traducirá, no obstante, en una disminución de la permeabilidad y en los técnicos deberán encontrar, en función de la aplicación, el mejor compromiso entre selectividad y permeabilidad. Se indicará en este caso, a título de ejemplo simplemente que una capa de xerogel con un espesor aproximado de 100 µm presenta una selectividad (H₂/CO) próxima a 2 y una permeabilidad de

aproximadamente $10^{-4} \text{ mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{Pa}^{-1}$.

5 El ánodo (capa (b)) se encuentra directamente en contacto con la membrana cerámica nanoporosa y recubre preferentemente todas las superficies de ésta. El hidrógeno purificado por el paso a través de la membrana cerámica nanoporosa penetra en el ánodo poroso donde es oxidado en protones. El ánodo puede, en principio, estar constituido de cualquier material catalítico conocido o todavía no conocido, que tenga una actividad catalítica satisfactoria en las condiciones de funcionamiento previstas (temperatura, presión, pureza del combustible). Se puede citar a título de ejemplo un cermet a base de óxido de níquel y de cerato de bario dopado con ytrio.

10 Dado que el ánodo no cumple la función de soporte mecánico, la capa de ánodo puede tener un espesor de algunas micras solamente. La capa de ánodo (capa (b)) presenta ventajosamente un grosor comprendido entre 4 y 20 μm , preferentemente entre 5 y 10 μm .

15 En contacto directo con la capa de ánodo, la capa de electrolito sólido conductor iónico puede ser de naturaleza orgánica, o bien, de naturaleza cerámica. Cuando la pila de combustible de la presente invención es una pila de tipo PEMFC (temperaturas de funcionamiento comprendidas entre 0°C y 200°C), el electrolito sólido conductor de protones está formado por un polímero orgánico hidratado. Se puede tratar de un polímero orgánico portador de funciones ácidas, en particular funciones de ácido sulfónico, o bien de un polímero orgánico impregnado ("dopado") de una solución acuosa de ácido, por ejemplo, ácido fosfórico. El polímero orgánico portador de funciones de ácido puede ser, por ejemplo, un copolímero fluorado portador de grupos de ácido sulfónico (Nafion), una polisulfona aromática con grupos sulfonato, polibenzimidazol portador de grupos sulfonato, poli(éter éter cetona) (PEEK) sulfonado. El polímero orgánico impregnado de una solución de ácido es, por ejemplo, polibenzimidazol dopado con ácido fosfórico. Esta capa de electrolito sólido formado por un polímero conductor orgánico tiene preferentemente un grosor comprendido entre 20 y 100 μm , en particular entre 25 y 50 μm .

25 Cuando la pila de combustible es de tipo PCFC (temperaturas de funcionamiento comprendidas entre 300 y 700°C), el electrolito sólido conductor de protones está formado por una cerámica. Las cerámicas conductoras de protones pertenecen especialmente a la familia de las perovskitas de fórmula ABO_3 en la que $\text{A} = \text{Ba}$ ó Sr y $\text{B} = \text{Ce}$, Zr . Estas cerámicas pueden estar dopadas con ytrio (Y) o yterbio (Yb). Estas cerámicas, de buen rendimiento, especialmente en términos de resistencia mecánica y conductividad iónica, son muy sensibles a la presencia de monóxido y/o dióxido de carbono y la utilización de las membranas de purificación de hidrógeno, permite de manera ventajosa proteger estos materiales contra la carbonatación y prolongar considerablemente su duración de vida.

30 El electrolito sólido cerámico, puede encontrarse en principio en forma de una capa que tiene un grosor de varios cientos de micras. No obstante, con el interés de optimizar el rendimiento eléctrico de la pila de combustible, el grosor de la capa de electrolito sólido cerámico es preferentemente inferior a 100 μm , en particular, comprendida entre 8 y 80 μm , y de manera especialmente preferente comprendida entre 10 y 50 μm .

40 En principio se puede utilizar para el cátodo cualquier material conocido o todavía no conocido, que permite catalizar de manera eficaz la reducción del oxígeno molecular en iones O_2^- en las condiciones de funcionamiento de la pila. Se pueden citar a título de ejemplos de estos materiales, los materiales de estructura de perovskita (es decir, que presentan lagunas de oxígeno) tales como $\text{LaNiO}_{3-\delta}$, $\text{La}_{0,8}\text{Sr}_{0,2}\text{MnO}_{3-\delta}$, $\text{La}_{0,6}\text{Sr}_{0,4}\text{Fe}_{0,8}\text{CO}_{0,2}\text{O}_{3-d}$, $\text{La}_{0,6}\text{Sr}_{0,4}\text{Fe}_{0,8}\text{Ni}_{0,2}\text{O}_{3-d}$ y $\text{Ba}_{0,5}\text{Sr}_{0,5}\text{C}_{0,8}\text{Fe}_{0,2}\text{O}_{3-\delta}$, o bien los materiales de la familia Ruddlesden-Popper de estructura $\text{A}_2\text{MO}_{4\pm d}$ (es decir, sub y/o super-estequiométrica en oxígeno): $\text{La}_2\text{NiO}_{4+\delta}$, $\text{Nd}_2\text{NiO}_{4+\delta}$, $\text{Pr}_2\text{NiO}_{4+\delta}$, $\text{LaSrNiO}_{4+\delta}$ y $\text{NdSrNiO}_{4+\delta}$ se pueden considerar por las altas temperaturas de funcionamiento (300 - 700°C). Estos materiales que son principalmente conductores electrónicos, los valores de su conductividad eléctrica del orden de $100 \text{ S}\cdot\text{cm}^{-1}$, corresponden en primera aproximación a la conductividad electrónica de los materiales.

50 El cátodo poroso tiene ventajosamente un grosor comprendido entre 10 y 100 μm , preferentemente comprendido entre 20 y 50 μm .

55 Las pilas de combustible de la presente invención pueden tener en principio geometrías, configuraciones y concepciones muy similares a las de las pilas SOFC. La principal diferencia con respecto a las SOFC (con electrolito sólido conductor de iones O_2^-) es que la evacuación del agua producida por la combinación de los protones y de los iones O_2^- se hace a nivel del cátodo y no a nivel del ánodo, lo que presenta la ventaja de no diluir combustible gaseoso con el vapor de agua producido.

60 Igual que en las SOFC, las pilas de la presente invención, pueden ser en especial del tipo "plano" o de tipo "tubular". Cuando son de tipo plano, las PCFC o PEMFC de la presente invención están formadas por apilamiento de componentes planos que tienen superficies que pueden llegar, en general hasta 500 cm^2 . Cuando son de tipo tubular, las capas (a) a (d) son capas concéntricas.

65 La tecnología de las células de tipo tubular es descrito, por ejemplo, en el artículo de L. Blum, W.A. Meulenberg, H. Nabelek y R. Steinberger-Wilckens, en Int. J. Appl. Ceram. Technol., 2[6]482-492(2005).

En el caso de una célula con geometría tubular, la membrana cerámica de purificación de hidrógeno (capa (a)) es preferentemente la capa interior que rodea la abertura del tubo y el cátodo (capa (d)) es la capa más exterior.

5 Gracias a la utilización de la membrana cerámica nanoporosa descrita anteriormente como soporte mecánico para el depósito de las otras capas (b) a (d), las pilas de combustible de la presente invención son especialmente fáciles de fabricar. En efecto, las diferentes capas pueden ser depositadas fácilmente, según técnicas conocidas sobre la membrana, y compactadas por fritado a alta temperatura.

10 Como consecuencia, la presente invención tiene igualmente por objeto un procedimiento de fabricación de una pila de combustible, tal como la que se ha descrito en lo anterior, que comprende el depósito de las capas (b) a (d) sobre una membrana cerámica de purificación de hidrógeno (H₂) formada por un soporte poroso con porosidad abierta, a base de espinela aluminó-magnésica, impregnada por una capa de xerogel nanoporoso a base de sílice.

15 La primera capa depositada es la del ánodo. El depósito de esta capa se puede hacer por extrusión o técnica sol-gel cuando la pila tiene una estructura tubular, o bien por técnica sol-gel o por pulverización cuando la pila tiene estructura plana.

20 El depósito de la cerámica conductora de protones (capa (c)) se puede hacer por serigrafía, por sol-gel o por depósito en fase de vapor.

Finalmente, el depósito del cátodo (capa (d)) se puede hacer por serigrafía o depósito químico en fase de vapor (CVD).

25 Cada una de estas capas, debe ser sometida, después del depósito, a una etapa de compactado por fritado a alta temperatura. Esta etapa de fritado es realizada preferentemente a una temperatura, como mínimo, igual a 1300°C y preferentemente inferior a 1400°C. Este límite superior es determinado por el límite de estabilidad de la membrana cerámica de purificación de hidrógeno.

30 El procedimiento de la presente invención comprende, por consiguiente, de modo preferente, por lo menos una etapa, preferentemente un mínimo de dos o tres etapas de fritado con una temperatura superior a 1300°C.

35 Finalmente, la presente invención tiene además por objeto un procedimiento para la producción de energía eléctrica, utilizando una pila de combustible, según la invención. Este procedimiento comprende, de manera conocida, la alimentación de la pila, del lado de la membrana cerámica de purificación de hidrógeno, por un gas que contiene hidrógeno, y por el lado del cátodo, con un gas que contiene oxígeno. Gracias a la selectividad de la membrana cerámica nanoporosa con respecto al hidrógeno, no es necesario alimentar la pila con hidrógeno de alta pureza y el combustible gaseoso puede contener una cierta fracción de impurezas gaseosas, principalmente monóxido de carbono y dióxido de carbono.

40 Cuando el electrolito sólido conductor de protones es una cerámica, es decir, cuando la pila de combustible es una pila de tipo PCFC, la temperatura de funcionamiento de la pila está ventajosamente comprendida entre 200 y 650°C, en particular entre 300 y 500°C. Estas temperaturas permiten un funcionamiento de la pila con buenos rendimientos energéticos, superiores a los de las PEMFC, y a lo largo de duraciones netamente superiores a las de SOFC que requieren temperaturas de funcionamiento superiores a 750°C.

45

REIVINDICACIONES

- 5 1. Pila de combustible con electrolito sólido conductor de protones, que comprende un apilamiento de las siguientes capas directamente en contacto unas con otras:
- (a) una membrana cerámica de purificación de hidrógeno (H₂) que comprende un soporte poroso con porosidad abierta, a base de espinela aluminio-magnésica, impregnado de una capa de xerogel nanoporosa con base de sílice,
 - 10 (b) un ánodo poroso capaz de oxidar el hidrógeno (H₂),
 - (c) un electrolito sólido, orgánico o cerámico, conductor iónico, y
 - 15 (d) un cátodo poroso capaz de reducir el oxígeno (O₂).
2. Pila de combustible, según la reivindicación 1, **caracterizada porque** la membrana cerámica (capa (a)) tiene un espesor comprendido entre 100 µm y 500 µm, preferentemente entre 200 µm t 300 µm.
- 20 3. Pila de combustible, según la reivindicación 1 ó 2, **caracterizada porque** la membrana cerámica (capa (a)) tiene una porosidad abierta con un diámetro medio de los poros inferior o igual a 2 nm.
4. Pila de combustible, según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizada porque** el electrolito sólido es un polímero orgánico portador de grupos ácidos, en particular, grupos de ácido sulfónico o un polímero orgánico impregnado de una solución acuosa de ácido.
- 25 5. Pila de combustible, según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, **caracterizada porque** el electrolito sólido es una cerámica conductora de protones, preferentemente una cerámica a base de perovskita de fórmula ABO₃ en la que A = Ba o Sr y B = Ce, Zr, eventualmente dopada con ytrio (Y) o yterbio (Yb).
- 30 6. Pila de combustible, según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizada porque** el electrolito sólido se encuentra presente en forma de una capa que tiene un espesor inferior a 100 µm, preferentemente comprendida entre 8 y 80 µm, en particular comprendida entre 10 y 50 µm.
- 35 7. Pila de combustible, según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizada porque** tiene una estructura plana o una estructura tubular, en la que las diferentes capas (a)-(d) son capas concéntricas.
8. Pila de combustible, según la reivindicación 7, **caracterizada porque** en la estructura tubular formada por capas concéntricas (a)-(d), la membrana cerámica de purificación de hidrógeno (capa (a)) es la capa interior que rodea la abertura del tubo y el cátodo (capa (d)) es la capa más externa.
- 40 9. Procedimiento de fabricación de una pila de combustible, según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende el depósito de las capas (b)-(d) sobre una membrana cerámica de purificación de hidrógeno (H₂) formada por un soporte poroso con porosidad abierta, a base de espinela aluminio-magnésica, impregnado por una capa de xerogel nanoporoso a base de sílice.
- 45 10. Procedimiento de fabricación, según la reivindicación 9, **caracterizada porque** el electrolito sólido (capa (c)) es una cerámica conductora de protones y que el depósito de esta capa se hace por serigrafía, por sol-gel o por depósito en fase de vapor.
- 50 11. Procedimiento de fabricación, según cualquiera de las reivindicaciones 9 a 10, **caracterizado porque** el depósito del ánodo (capa (b)) se hace por extrusión o técnica sol-gel en caso de estructura tubular de la pila, o por vía sol-gel o pulverización en caso de estructura plana de la pila.
- 55 12. Procedimiento de fabricación, según cualquiera de las reivindicaciones 9 a 11, **caracterizado porque** el depósito del cátodo (capa (d)) se hace por serigrafía o por depósito químico en fase de vapor.
13. Procedimiento de fabricación, según cualquiera de las reivindicaciones 9 a 12, **caracterizado porque** comprende, como mínimo, una etapa de fritado a una temperatura superior a 1300°C.
- 60 14. Procedimiento de producción de energía eléctrica, que comprende la alimentación de una pila de combustible, según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8, por un gas que contiene hidrógeno en el lado de la membrana cerámica de purificación de hidrógeno y por un gas que contiene oxígeno por el lado del cátodo.
- 65 15. Procedimiento de producción de energía eléctrica, según la reivindicación 14, **caracterizado porque** el electrolito sólido conductor de protones es una cerámica conductora de protones y que la temperatura de funcionamiento de la pila está comprendida entre 200 y 650°C, preferentemente entre 300 y 500°C.