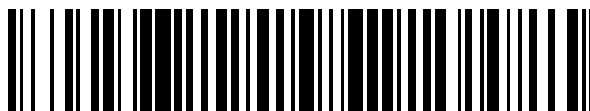


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 729 868**

51 Int. Cl.:

H01M 8/16 (2006.01)

H01M 8/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **26.05.2015** **PCT/NL2015/050376**

87 Fecha y número de publicación internacional: **03.12.2015** **WO15183084**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **26.05.2015** **E 15730865 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **24.04.2019** **EP 3167506**

54 Título: **Conjunto de electrodos tubular, uso de dicho conjunto, pila de combustible microbiana que comprende dicho conjunto y proceso para la conversión de energía luminosa en electricidad**

30 Prioridad:

26.05.2014 EP 14169887

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

06.11.2019

73 Titular/es:

PLANT-E KNOWLEDGE B.V. (100.0%)

Tarthorst 823

6708 JC Wageningen, NL

72 Inventor/es:

DE JAGER, PIM;

STRIK, DAVID PETRUS BONIFACIUS

THEODORUS BERNARDUS;

BUISMAN, CEES JAN NICO y

HELDER, MARJOLEIN

74 Agente/Representante:

TOMAS GIL, Tesifonte Enrique

ES 2 729 868 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

Conjunto de electrodos tubular, uso de dicho conjunto, pila de combustible microbiana que comprende dicho conjunto y proceso para la conversión de energía luminosa en electricidad

Campo de la invención

[0001] La invención se refiere a un conjunto de electrodos tubular para usar en una pila de combustible, al uso de dicho conjunto en una pila de combustible, a una pila de combustible microbiana que comprende tal conjunto y a un proceso para la conversión de energía luminosa en electricidad utilizando dicha pila de combustible microbiana.

Antecedentes de la invención

[0002] Las pilas de combustible microbianas son conocidas en la técnica. Dichas pilas de combustible comprenden un ánodo y un cátodo separados por una membrana u otra capa que puede transportar protones. La pila de combustible comprende además un compartimento de ánodo que contiene microorganismos electrógenos y un compartimento de cátodo al que se puede suministrar un oxidante como el oxígeno. Los microorganismos oxidan compuestos orgánicos para generar dióxido de carbono, electrones y protones. Los protones se transportan desde el ánodo hasta el cátodo a través de la capa permeable a los protones y los electrones se transportan desde el ánodo hasta el cátodo a través de un circuito eléctrico externo.

[0003] En WO2008/127109 se describe una pila de combustible microbiana llamada vegetal, en la que las raíces de una planta viva y microorganismos electrógenos se colocan en un compartimento de ánodo de una pila de combustible. Los microorganismos oxidan los compuestos orgánicos que se forman en la planta por medio de la fotosíntesis y se excretan por las raíces de la planta, de modo que se forman electrones y protones en el compartimento del ánodo. Los protones se transportan al compartimento del cátodo, por ejemplo a través de una membrana selectiva de iones, y los electrones se transportan desde el ánodo hasta el cátodo a través de un circuito eléctrico externo para generar electricidad.

[0004] US 2012/0276418 describe un método para el tratamiento in situ de sedimentos simultáneo con la generación de electricidad microbiana. Se describe una pila de combustible microbiana, que comprende un tubo aislante (preferiblemente de PVC) con una sección perforada, en donde la sección perforada está envuelta por un cátodo de membrana que a su vez está envuelto por un ánodo, y cables eléctricos que se extienden desde el cátodo de membrana y el ánodo. El cátodo es un cátodo de membrana que comprende un catalizador, por ejemplo pyr-FePc, CoTMPP o MnO₂. Una capa impermeable está presente entre el cátodo y el ánodo.

[0005] Existe una necesidad en la técnica de mejores pilas de combustible microbianas, en particular pilas de combustible vegetales que sean adecuadas para la producción de electricidad a gran escala, preferiblemente en áreas naturales existentes. En tales áreas naturales existe la necesidad de conjuntos de electrodos que sean adecuados para configuraciones que puedan extenderse a lo largo de una longitud de varios kilómetros.

Resumen de la invención

[0006] Se ha descubierto un nuevo conjunto de electrodos que es adecuado para su uso en pilas de combustible microbianas y, en particular, en pilas de combustible microbianas vegetales u otras pilas de combustible que utilizan organismos capaces de realizar la fotosíntesis. El conjunto de electrodos es adecuado para ser utilizado en una configuración de longitud considerable. Además, el conjunto es adecuado para ser utilizado en un entorno en el que se introduce en agua o en suelo húmedo. El conjunto de electrodos de acuerdo con la invención es un conjunto de electrodos tubular con un espacio interno central tubular de suministro de aire, un cátodo anular que rodea el espacio tubular de suministro de aire, un ánodo anular que rodea el cátodo, una capa permeable al oxígeno que es impermeable al agua entre el espacio tubular de suministro de aire y el cátodo, una capa eléctricamente aislante y permeable a los iones entre el cátodo y el ánodo, y una entrada de aire u otro gas que contenga oxígeno molecular en el espacio central de suministro de aire que impide que el agua entre en el espacio de suministro de aire. Los colectores de corriente están unidos a los electrodos.

[0007] Por consiguiente, la invención se refiere a un conjunto de electrodos tubular para su uso en una pila de combustible que comprende:

- un espacio interno central tubular de suministro de aire;
- un cátodo anular que rodea el espacio tubular de suministro de aire;
- un ánodo anular que rodea el cátodo;
- una capa permeable al oxígeno que es impermeable al agua entre el espacio tubular de suministro de aire y el cátodo;
- una capa eléctricamente aislante, permeable a los iones entre el cátodo y el ánodo; y

- un primer colector de corriente unido al ánodo y un segundo colector de corriente unido al cátodo, donde el primer y el segundo colector de corriente son adecuados para conectar eléctricamente el ánodo con el cátodo a través de una vía de conducción eléctrica externa,

5 donde el espacio interno central tubular de suministro de aire está provisto de una entrada para aire que impide que el agua entre en el espacio tubular de suministro de aire.

10 [0008] El conjunto de electrodos de acuerdo con la invención es compacto y tiene el ánodo en su exterior. Esto hace que el conjunto sea particularmente adecuado para una pila de combustible microbiana vegetal, ya que el conjunto de electrodos puede introducirse directamente en el suelo en el que crecen las plantas. Además, su configuración es tal que se puede usar fácilmente en una configuración con una longitud de varios kilómetros, de modo que se puede aplicar adecuadamente en extensas áreas naturales en las que crecen plantas adecuadas.

15 [0009] Una ventaja importante del conjunto de electrodos de acuerdo con la invención es que está construido de tal manera que el cátodo sigue pudiendo recibir aire u otro gas que contenga oxígeno molecular, incluso cuando el conjunto está introducido en un ambiente húmedo como agua o suelo húmedo.

20 [0010] En un aspecto adicional, la invención se refiere al uso de un conjunto de electrodos tubular en una pila de combustible, en particular en una pila de combustible microbiana, más en particular en una pila de combustible microbiana que hace uso de organismos capaces de realizar la fotosíntesis, tales como plantas, algas o cianobacterias

25 [0011] En otro aspecto, la invención se refiere a una pila de combustible microbiana que comprende el conjunto de electrodos tubular como se ha definido anteriormente, donde el conjunto de electrodos tubular se introduce en suelo húmedo o en una solución acuosa, donde el suelo húmedo o la solución acuosa comprende microorganismos electrógenos, uno o más compuestos orgánicos capaces de ser oxidados por los microorganismos electrógenos y nutrientes, y donde en el conjunto de electrodos, el primer colector de corriente y el segundo colector de corriente están conectados eléctricamente a través de una vía de conducción eléctrica externa.

30 [0012] En un aspecto final, la invención se refiere a un proceso para convertir energía luminosa en electricidad utilizando una pila de combustible microbiana como se ha definido anteriormente, en donde el conjunto de electrodos tubular se introduce en suelo húmedo que contiene raíces de una planta capaz de realizar la fotosíntesis o en suelo húmedo o en una solución acuosa que contiene organismos capaces de realizar la fotosíntesis, como algas o cianobacterias, en donde la planta, las algas o las cianobacterias están expuestas a la luz, preferiblemente a la luz solar, y un gas que contiene oxígeno molecular, preferiblemente aire, se suministra al espacio interno central tubular de suministro de aire y en donde la planta, las algas o las cianobacterias convierten el dióxido de carbono en un compuesto orgánico por medio de la fotosíntesis, las raíces de la planta, las algas o las cianobacterias excretan el compuesto orgánico en el suelo húmedo o la solución acuosa y los microorganismos electrógenos oxidan el compuesto orgánico para formar electrones y protones.

40 Resumen de los dibujos

[0013] En la Figura 1 se muestra esquemáticamente una vista en sección transversal de un conjunto de electrodos de acuerdo con la invención.

45 [0014] En la Figura 2 se muestra esquemáticamente una sección longitudinal de un conjunto de electrodos de acuerdo con la invención introducido en un suelo húmedo.

50 Descripción detallada de la invención

[0015] El conjunto de electrodos tubular según la invención comprende un cátodo y un ánodo. El conjunto es tubular con un espacio tubular central para el suministro de aire en su interior que está rodeado por un cátodo anular, que, a su vez, está rodeado por un ánodo anular. El conjunto tiene una capa anular, eléctricamente aislante y permeable a los iones entre el ánodo y el cátodo. La referencia en este documento al término eléctricamente aislante se refiere a una capa que no es conductora para los electrones. Esta capa eléctricamente aislante y permeable a los iones evita el transporte directo de electrones desde el ánodo hasta el cátodo. El espacio interno central tubular de suministro de aire está provisto de una o más entradas de aire, adecuadas para suministrar aire u otro gas que comprenda oxígeno molecular al espacio central de suministro de aire. Para impedir que el agua entre en el espacio central de suministro de aire cuando el conjunto, durante el funcionamiento normal del conjunto, está introducido en un ambiente húmedo, el conjunto comprende una capa permeable al oxígeno que es impermeable al agua entre el espacio tubular de suministro de aire y el cátodo, y la(s) entrada(s) de aire es/son tal(es) que el agua no puede entrar en el espacio tubular de suministro de aire a través de la(s) entrada(s) de aire. Preferiblemente, la entrada de aire es un tubo de entrada hecho de un material que es impermeable al agua, en donde el tubo de entrada tiene en un extremo una abertura de aire y, en su extremo opuesto, está conectado herméticamente a la capa permeable al oxígeno entre el espacio tubular de suministro de aire y el cátodo. Por lo tanto, si durante el funcionamiento normal del conjunto en una pila de combustible la abertura de aire se sitúa por

encima de la superficie del entorno húmedo en el que está situado el conjunto, se impide el llenado del espacio de suministro de aire con agua. La capa impermeable al agua y permeable al oxígeno entre el espacio tubular de suministro de aire y el cátodo impide que el agua del cátodo entre en el espacio de suministro de aire a la vez que permite que el oxígeno molecular entre en contacto con el cátodo. Se observa que, durante el funcionamiento normal de la pila de combustible, cuando el conjunto se introduce en un ambiente húmedo, el cátodo típicamente se empaquará con agua.

[0016] Preferiblemente, el espacio interno central tubular de suministro de aire tiene dos extremos opuestos y está provisto de un primer tubo de entrada en un primer extremo del espacio tubular de suministro de aire y de un segundo tubo de entrada en su extremo opuesto. Más preferiblemente, el primer y el segundo tubo de entrada y la capa impermeable al agua y permeable al oxígeno entre el espacio tubular de suministro de aire y el cátodo forman juntos un único tubo. El único tubo está hecho preferiblemente de un material flexible, de modo que los tubos de entrada pueden colocarse fácilmente en la posición deseada por encima de la superficie de cualquier líquido de inmersión o suelo. El espacio interno central tubular de suministro de aire puede estar provisto de entradas adicionales de aire, por ejemplo en forma de tubos de entrada adicionales de un material impermeable al agua y permeable al oxígeno que desembocan en el espacio central de suministro de aire y que están conectados herméticamente a la capa impermeable al agua entre el espacio de suministro de aire y el cátodo, de manera que se impide que el agua del cátodo fluya hacia el espacio de suministro de aire.

[0017] Se puede usar cualquier material impermeable al agua y permeable al oxígeno, preferiblemente un material flexible que no sea fácilmente biodegradable, más preferiblemente un polímero. Los polisiloxanos, por ejemplo, son adecuados para su utilización.

[0018] El conjunto de electrodos comprende además un primer colector de corriente unido al ánodo y un segundo colector de corriente unido al cátodo. Los colectores de corriente primero y segundo son adecuados para conectar eléctricamente el ánodo con el cátodo a través de una vía de conducción eléctrica externa. Los colectores actuales son ampliamente conocidos en la técnica. Se puede utilizar cualquier colector de corriente adecuado. El colector de corriente puede tener cualquier forma adecuada y puede estar hecho de cualquier material eléctricamente conductor adecuado. Se apreciará que el colector de corriente más adecuado dependerá del material del cátodo o ánodo utilizado. Típicamente, el colector de corriente estará hecho de metal, preferiblemente un metal que no se corroa en las condiciones húmedas en las que generalmente se aplicará el presente conjunto de electrodos. Los colectores de corriente adecuados son, por ejemplo, alambres metálicos entretejidos en el ánodo o el cátodo o pinzas que se enganchan en el ánodo o el cátodo.

[0019] En el conjunto de electrodos de acuerdo con la invención, el ánodo está ubicado en el exterior del conjunto y el cátodo está ubicado en el interior del conjunto con su superficie interina orientada hacia el espacio central de suministro de aire. Si es necesario para reforzar el conjunto, el conjunto puede comprender además una capa de recubrimiento. La capa de recubrimiento rodea el ánodo de modo que solo cubre parcialmente la superficie exterior del ánodo. Por lo tanto, si se usa en una pila de combustible microbiana, el ánodo está en contacto directo con el suelo o la solución acuosa en la que está introducido el conjunto, y el compuesto o compuestos orgánicos liberados en el suelo o solución acuosa pueden fluir al ánodo. Se puede usar cualquier capa de recubrimiento adecuada, por ejemplo, un alambre enrollado alrededor del conjunto o una estructura similar a una red. La capa de recubrimiento puede estar hecha de cualquier material adecuado, preferiblemente de un material que no se biodegrada rápidamente en las condiciones de humedad en las que se usará típicamente el conjunto. Los materiales adecuados incluyen polímeros y metales anticorrosivos.

[0020] El conjunto de electrodos es particularmente adecuado para ser usado en una pila de combustible, preferiblemente en una pila de combustible microbiana, más preferiblemente en una pila de combustible microbiana vegetal o en una pila de combustible microbiana que hace uso de otros organismos capaces de realizar la fotosíntesis, como algas o cianobacterias. Por lo tanto, la invención también se refiere a una pila de combustible que comprende el conjunto de electrodos de acuerdo con la invención, preferiblemente a una pila de combustible microbiana que comprende el conjunto de electrodos de acuerdo con la invención, y más preferiblemente a una pila de combustible microbiana vegetal que comprende el conjunto de electrodos de acuerdo con la invención.

[0021] Si se usan en una pila de combustible, uno o más conjuntos de electrodos tubulares de acuerdo con la invención, en donde en uno o más de los conjuntos de electrodos el primer colector de corriente y el segundo colector de corriente están conectados eléctricamente a través de una vía de conducción eléctrica externa, se introducen en suelo húmedo o en una solución acuosa que comprende un donador de electrones. Se suministra aire u otro gas que contenga oxígeno molecular al espacio central de suministro de aire a través de una o más entradas de aire, preferiblemente a través de uno o más tubos de entrada que tienen la longitud suficiente para suministrar aire desde la atmósfera por encima del suelo húmedo o solución acuosa donde está introducido el conjunto o conjuntos de electrodos.

[0022] Si se utiliza en una pila de combustible microbiana, el conjunto o conjuntos de electrodos tubulares se introducen en suelo húmedo o en una solución acuosa que contiene microorganismos electrógenos, un compuesto orgánico capaz de ser oxidado por microorganismos electrógenos como donador de electrones, y nutrientes.

Preferiblemente, el conjunto de electrodos se usa en una pila de combustible vegetal o en una pila de combustible microbiana haciendo uso de otros organismos capaces de realizar la fotosíntesis, como algas o cianobacterias.

[0023] En la pila de combustible microbiana, la solución acuosa o el suelo húmedo en el que el conjunto de electrodos se introduce forman una cámara de ánodo. La solución acuosa o el suelo húmedo comprende microorganismos electrógenos y un compuesto orgánico que puede ser oxidado por los microorganismos para formar compuestos oxidados, generalmente dióxido de carbono, electrones y protones. Los electrones así formados se transportan externamente a través del circuito eléctrico externo desde el ánodo hasta el cátodo. Los protones formados se transportan internamente a través de la capa permeable a los iones hasta el cátodo. El oxígeno molecular que se suministra con el aire o con el gas que contiene oxígeno molecular al espacio de suministro de aire penetra a través de la capa permeable al oxígeno hasta el cátodo, se reduce en el cátodo y reacciona con los protones para formar agua.

[0024] Preferiblemente, la pila de combustible microbiana de acuerdo con la invención es una pila de combustible microbiana vegetal. En la pila de combustible microbiana vegetal según la invención, el conjunto de electrodos se introduce en suelo húmedo. El suelo húmedo contiene las raíces de una planta capaz de convertir el dióxido de carbono en un compuesto orgánico donador de electrones por medio de la fotosíntesis. Preferiblemente, uno o más conjuntos de electrodos se introducen en el suelo húmedo de un área natural existente con plantas que tienen raíces que crecen en esa área.

[0025] La invención también se refiere al uso de una pila de combustible microbiana que comprende un conjunto de electrodos tubular de acuerdo con la invención, en el que el conjunto de electrodos tubular se introduce en un suelo húmedo o en una solución acuosa, donde el suelo húmedo o la solución acuosa comprende microorganismos electrógenos, uno o más compuestos orgánicos capaces de ser oxidados por los microorganismos electrógenos y nutrientes, y donde en el conjunto de electrodos, el primer colector de corriente y el segundo colector de corriente están conectados eléctricamente a través de una vía de conducción eléctrica externa. La invención se refiere además al uso de una pila de combustible microbiana como se ha definido anteriormente, en donde el espacio de suministro de aire tubular está provisto de uno o más tubos de entrada como se ha definido anteriormente, y en donde la abertura de aire de cualquiera del tubo o tubos de entrada se coloca por encima de la superficie del suelo húmedo o la solución acuosa. La invención se refiere además al uso de una pila de combustible microbiana como se ha definido anteriormente, en donde la pila de combustible microbiana es una pila de combustible microbiana vegetal, el conjunto de electrodos tubular se introduce en suelo húmedo, en donde la tierra húmeda contiene las raíces de una planta capaz de convertir el dióxido de carbono en uno o más compuestos orgánicos capaces de ser oxidados por los microorganismos electrógenos, por medio de la fotosíntesis.

[0026] La pila de combustible microbiana vegetal según la invención puede usarse de manera apropiada para la conversión de energía luminosa en electricidad exponiendo la planta a la luz, preferiblemente luz solar, y suministrando aire u otro gas molecular que contenga oxígeno al espacio interno de suministro de aire. Al exponer la planta a la luz, la planta convertirá el dióxido de carbono en un compuesto orgánico mediante la fotosíntesis. Las raíces de la planta, que están preferiblemente contenidas en el suelo húmedo cerca del ánodo, excretan el compuesto orgánico en el suelo húmedo. Los microorganismos electrógenos presentes en el suelo húmedo oxidan el compuesto orgánico para formar electrones y protones. Los electrones se transportan externamente a través del circuito eléctrico externo desde el ánodo al cátodo y, con ello, generan electricidad y los protones se transportan internamente a través de la capa permeable a los iones hasta el cátodo.

[0027] En lugar de una pila de combustible microbiana, la pila de combustible microbiana de acuerdo con la invención puede ser una pila de combustible en la que se utilizan algas o cianobacterias para convertir el dióxido de carbono en un compuesto orgánico por medio de la fotosíntesis. En dicha pila de combustible microbiana, el suelo húmedo o la solución acuosa en la que están introducidos uno o más conjuntos de electrodos contiene algas o cianobacterias. Las algas o cianobacterias se exponen a la luz, preferiblemente a la luz del día, y se suministra un gas que contiene oxígeno molecular, preferiblemente aire, al espacio interno central tubular de suministro de aire y las algas o cianobacterias convierten el dióxido de carbono en un compuesto orgánico mediante la fotosíntesis y excretan el compuesto orgánico en el suelo húmedo o la solución acuosa y los microorganismos electrógenos oxidan el compuesto orgánico para formar electrones y protones.

[0028] El suelo húmedo o la solución acuosa comprende microorganismos electrógenos. Los microorganismos electrógenos, también conocidos como microorganismos electroquímicamente activos, suelen estar presentes en el medio ambiente y, por lo tanto, en el suelo húmedo de áreas de vegetación naturales o en corrientes de aguas residuales. Por lo tanto, si en la pila de combustible microbiana de acuerdo con la invención el conjunto de electrodos está introducido en suelo húmedo, generalmente no es necesario inocular microorganismos electrógenos en el suelo húmedo. En caso de que el conjunto de electrodos esté introducido en una solución acuosa, podría ser necesario inocular microorganismos electrógenos en la solución acuosa. Los microorganismos electrógenos son ampliamente conocidos en la técnica e incluyen, por ejemplo, bacterias tales como especies de *Geobacter*.

[0029] La solución acuosa o el suelo húmedo comprende uno o más compuestos orgánicos que pueden oxidarse por los microorganismos electrógenos para formar electrones y protones. Dichos compuestos orgánicos son conocidos en la técnica y pueden incluir cualquier compuesto orgánico biodegradable, preferiblemente un carbohidrato, ácido orgánico, vitamina, aminoácido, péptido o combinaciones de proteínas de dos o más de los mismos.

[0030] La solución acuosa o el suelo húmedo comprende nutrientes. La referencia en este documento a nutrientes se refiere a compuestos inorgánicos tales como minerales que sirven como micronutrientes para los microorganismos electrógenos. Si se usa un suelo húmedo, en particular un suelo húmedo en áreas de vegetación naturales existentes, el suelo generalmente contiene suficientes nutrientes y es posible que no sea necesario agregar nutrientes.

[0031] El cátodo y el ánodo pueden estar hechos de cualquier material conductor de electrones que se sepa que es adecuado para un electrodo de pila de combustible, preferiblemente carbono o un material con carbono tal como grafito o carbón activado. El material conductor de electrones se puede usar en cualquier estructura adecuada para formar una capa anular, por ejemplo en forma de una hoja enrollada de fibras de carbono tejidas o no tejidas. El cátodo y el ánodo pueden tener cualquier grosor adecuado, preferiblemente en el rango de 1 mm a 10 cm.

[0032] La capa aislada eléctricamente y permeable a los iones puede ser cualquier capa que no sea conductiva para los electrones y que sea permeable a los iones, preferiblemente permeable a los protones. Los ejemplos de tales capas incluyen una capa de sílice, tal como una capa de arena, o una membrana selectiva de protones. Preferiblemente, la capa aislada eléctricamente y permeable a los iones también es permeable al agua. En esta forma de realización, la capa aislada eléctricamente y permeable a los iones y permeable al agua puede ser cualquier capa que no conduzca electrones, que sea permeable a los iones, preferiblemente a los protones, y que sea permeable al agua. En una forma de realización preferida adicional, la capa aislada eléctricamente, permeable a los iones y permeable al agua es una capa de sílice, tal como una capa de arena. En otra forma de realización preferida adicional, la capa aislada eléctricamente, permeable a los iones y permeable al agua es una capa de tela o textil, por ejemplo, tela filtrante. En otra forma de realización preferida adicional, la capa aislada eléctricamente, permeable a los iones y permeable al agua está compuesta por un material polimérico que es eléctricamente aislante, permeable a los iones y permeable al agua. Estos materiales son conocidos en la técnica. En otra forma de realización preferida adicional, la capa aislada eléctricamente, permeable a los iones y permeable al agua está compuesta por un material polimérico que es eléctricamente aislante y permeable a los iones, en donde la permeabilidad al agua de dicha capa se obtiene mediante una estructura abierta del material. Los ejemplos incluyen, por ejemplo, varios tipos de telas filtrantes.

[0033] El conjunto de electrodos tubular tiene preferiblemente una relación de longitud a diámetro de al menos 4, más preferiblemente en el rango de 5 a 100. En caso de que se use un conjunto de electrodos de longitud sustancial, por ejemplo, con una relación de longitud a diámetro superior a 10 o superior a 20 o incluso superior a 50, puede ser ventajoso segmentar el conjunto de electrodos en segmentos de ánodo/cátodo de una longitud limitada que están separados eléctricamente entre sí. Esto puede hacerse adecuadamente colocando paredes de separación eléctricamente aislantes en una dirección perpendicular a la longitud del conjunto. Dicho conjunto segmentado con segmentos de ánodo/cátodo de una longitud limitada tiene preferiblemente un único espacio central tubular de suministro de aire en toda la longitud del conjunto.

[0034] En una pila de combustible, se puede usar un único conjunto de electrodos de acuerdo con la invención. Sin embargo, para generar una mayor cantidad de energía se puede usar más de un conjunto de electrodos en una pila de combustible. Preferiblemente, la pila de combustible microbiana de acuerdo con la invención comprende una pluralidad de conjuntos de electrodos de acuerdo con la invención, que pueden estar conectados eléctricamente en serie o en paralelo.

Descripción detallada de los dibujos

[0035] En la Figura 1 se muestra una vista esquemática en sección transversal de un conjunto de electrodos de acuerdo con la invención. El conjunto tubular 1 comprende un espacio de suministro de aire tubular interno central 2, un cátodo anular 3, un ánodo anular 4, una capa permeable al oxígeno e impermeable al agua 5 entre el espacio de suministro de aire 2 y el cátodo 3, y una capa permeable a los iones 6 entre el cátodo 3 y el ánodo 4. A cada uno de los electrodos 3, 4 está conectado un colector de corriente (no mostrado).

[0036] En la Figura 2 se muestra una sección longitudinal de un conjunto de electrodos de acuerdo con la invención introducido en un suelo húmedo. Los números de referencia correspondientes tienen el mismo significado que en la Figura 1.

[0037] El conjunto 1 está introducido en el suelo húmedo 10. El espacio interno central tubular de suministro de aire 2 está provisto de tres tubos de entrada de aire 11, 12, 13. El primer tubo de entrada 11 ubicado en el primer extremo del espacio de suministro de aire 2 y el segundo tubo de entrada 12 ubicado en el extremo opuesto del

espacio de suministro de aire 2 forman un solo tubo con la capa tubular impermeable al agua 5, es decir, la capa tubular entre el cátodo 3 y el espacio interno 2. El tercer tubo de entrada 13 está conectado de manera estanca mediante una conexión en T (no mostrada) a la capa tubular 5 para impedir la fuga de agua desde el suelo húmedo 10 al espacio 2. Los tubos de entrada 11, 12 y 13 tienen una abertura de entrada de aire 14, 15, 16, respectivamente, colocada por encima de la superficie del suelo húmedo 10, de manera que se impide que el agua entre en el espacio central de suministro de aire 2 a través de los tubos de entrada 11, 12, 13. El cátodo 3 y el ánodo 4 están segmentados por paredes de separación 17. Los colectores de corriente (no mostrados) están incrustados en cada segmento de cátodo 3 y ánodo 4 para conectar eléctricamente el ánodo 4 con el cátodo 3 a través de una trayectoria externa conductora de electricidad (no mostrada).

REIVINDICACIONES

1. Conjunto de electrodos tubular (1) para su uso en una pila de combustible que comprende:

- 5 – un espacio interno central tubular de suministro de aire (2);
- un cátodo anular (3) que rodea el espacio tubular de suministro de aire (2);
- un ánodo anular (4) que rodea el cátodo (3);
- una capa permeable al oxígeno (5) que es impermeable al agua entre el espacio tubular de suministro de
- 10 aire (2) y el cátodo (3);
- una capa eléctricamente aislante, permeable a los iones (6) entre el cátodo (3) y el ánodo (4); y
- un primer colector de corriente unido al ánodo (4) y un segundo colector de corriente unido al cátodo (3),
- en donde el primer y el segundo colector de corriente son adecuados para conectar eléctricamente el
- ánodo (4) con el cátodo (3) a través de una vía de conducción eléctrica externa,

15 donde el espacio interno central tubular de suministro de aire (2) está provisto de una entrada de aire (11, 12, 13) que impide que el agua entre en el espacio de suministro de aire tubular (2).

2. Conjunto de electrodos tubular (1) según la reivindicación 1, donde la entrada de aire (11, 12, 13) es un tubo de entrada (11, 12, 13) de un material que es impermeable al agua, donde el tubo de entrada (11, 12, 13) tiene en un

20 extremo una abertura de aire (14, 15, 16) y está, en su extremo opuesto, conectado de manera estanca a la capa permeable al oxígeno (5) entre el espacio tubular de suministro de aire (2) y el cátodo (3).

3. Conjunto de electrodos tubular (1) según la reivindicación 2, donde el espacio interno central tubular de suministro de aire (2) tiene dos extremos opuestos y está provisto de un primer tubo de entrada (11, 12, 13) en un

25 primer extremo del espacio tubular de suministro de aire (2) y de un segundo tubo de entrada (11, 12, 13) en su extremo opuesto y donde el primer y el segundo tubo de entrada (11, 12, 13) y la capa permeable al oxígeno (5) entre el espacio tubular de suministro de aire (2) y el cátodo (3) forman un solo tubo.

4. Conjunto de electrodos tubular (1) según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, donde el ánodo (4) está rodeado por una capa de recubrimiento que solo cubre parcialmente la superficie exterior del ánodo.

30

5. Conjunto de electrodos tubular (1) según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, donde el conjunto de electrodos tubular (1) tiene una relación de longitud a diámetro de al menos 4, preferiblemente en el rango de 5 a 100.

35

6. Conjunto de electrodos tubular (1) según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, donde la capa eléctricamente aislante permeable a los iones (6) es permeable al agua.

7. Uso de un conjunto de electrodos tubular (1) según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6 en una pila de combustible.

40

8. Uso según la reivindicación 7, donde la pila de combustible es una pila de combustible microbiana.

9. Uso según la reivindicación 8, donde la pila de combustible es una pila de combustible microbiana vegetal.

45

10. Pila de combustible microbiana que comprende un conjunto de electrodos tubular (1) según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, donde el primer colector de corriente y el segundo colector de corriente comprendidos por el conjunto de electrodos (1) están conectados eléctricamente a través de una vía de conducción eléctrica externa y donde el conjunto de electrodos tubular (1) es adecuado para su introducción en un suelo húmedo o en una

50 solución acuosa, en donde el suelo húmedo o la solución acuosa comprende microorganismos electrógenos, uno o más compuestos orgánicos capaces de ser oxidados por los microorganismos electrógenos y nutrientes.

11. Pila de combustible microbiana según la reivindicación 10, donde el espacio tubular de suministro de aire (2) está provisto de uno o más tubos de entrada (11, 12, 13) como se define en la reivindicación 2 o 3, y donde la

55 abertura de aire (14, 15, 16) de cualquiera del tubo o tubos de entrada (11, 12, 13) es adecuada para su colocación por encima de la superficie del suelo húmedo o de la solución acuosa.

12. Pila de combustible microbiana según la reivindicación 10 u 11, en donde la pila de combustible microbiana es una pila de combustible microbiana vegetal, y en donde el conjunto de electrodos tubular (1) es adecuado para su introducción en un suelo húmedo, en donde la tierra húmeda contiene raíces de una planta capaz de convertir el dióxido de carbono en uno o más compuestos orgánicos capaces de ser oxidados por los microorganismos electrógenos, por medio de la fotosíntesis.

60

13. Proceso para convertir energía luminosa en electricidad utilizando una pila de combustible microbiana vegetal según la reivindicación 12, o una pila de combustible microbiana según la reivindicación 10 u 11, donde el suelo

65

- 5 húmedo o la solución acuosa contiene algas o cianobacterias, donde la planta, las algas o las cianobacterias se exponen a la luz, preferiblemente a la luz solar, y se suministra un gas que contiene oxígeno molecular, preferiblemente aire, al espacio interno central tubular de suministro de aire y donde la planta, las algas o las cianobacterias convierten el dióxido de carbono en un compuesto orgánico por medio de la fotosíntesis, las raíces de la planta, las algas o las cianobacterias excretan el compuesto orgánico en el suelo húmedo o la solución acuosa y los microorganismos electrógenos oxidan el compuesto orgánico para formar electrones y protones.

Fig. 1

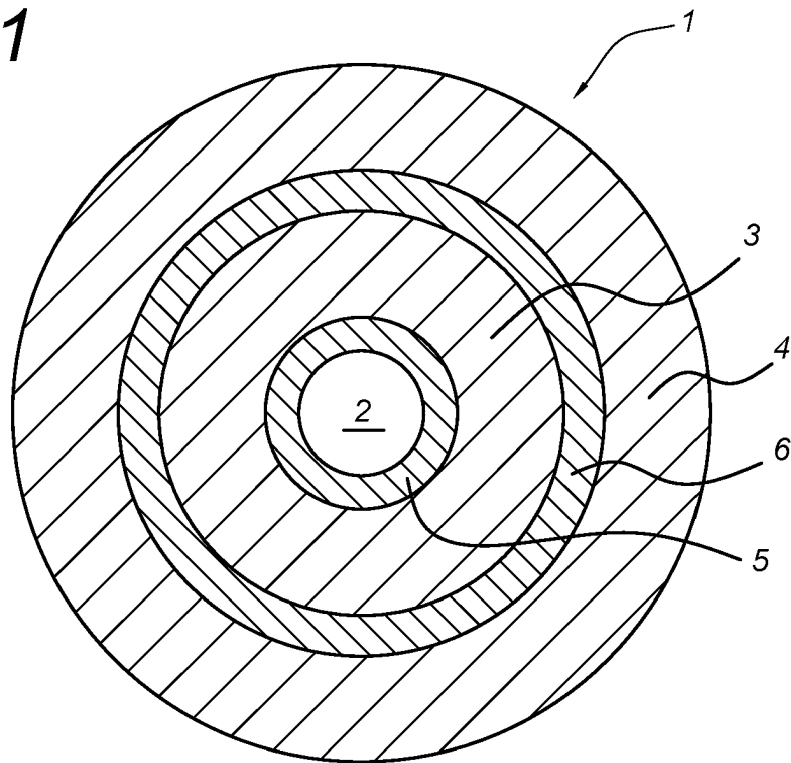


Fig. 2

