

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 689 409**

51 Int. Cl.:

H01G 9/20

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **08.03.2013 PCT/EP2013/054753**

87 Fecha y número de publicación internacional: **10.10.2013 WO13149787**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **08.03.2013 E 13709404 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **18.07.2018 EP 2834823**

54 Título: **Módulo de célula solar sensibilizada con colorante que tiene una estructura en serie y método para fabricar la célula solar**

30 Prioridad:

04.04.2012 SE 1230033

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

13.11.2018

73 Titular/es:

**EXEGER OPERATIONS AB (100.0%)
P.O. Box 55597
102 04 Stockholm, SE**

72 Inventor/es:

**LINDSTRÖM, HENRIK y
FILI, GIOVANNI**

74 Agente/Representante:

DEL VALLE VALIENTE, Sonia

ES 2 689 409 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

Módulo de célula solar sensibilizada con colorante que tiene una estructura en serie y método para fabricar la célula solar

5

Campo de la invención

La presente invención se refiere a un módulo de célula solar sensibilizada con colorante que tiene una estructura en serie que comprende al menos dos unidades de célula solar sensibilizada con colorante dispuestas adyacentes entre sí y conectadas en serie. La presente invención también se refiere a un método para fabricar células solares sensibilizadas con colorante que tienen una estructura en serie.

10

Técnica anterior

Las células solares sensibilizadas con colorante (*DSC, dye-sensitized solar cells*) se llevan desarrollando durante los últimos 20 años y funcionan según principios similares a los de la fotosíntesis. A diferencia de las células solares de silicio, estas células obtienen energía de la luz solar usando colorantes, que son abundantes, baratos y discretos desde el punto de vista ambiental.

15

Una célula solar sensibilizada con colorante de tipo intercalado convencional tiene una capa de electrodo de TiO_2 poroso de unos pocos micrómetros de grosor depositada sobre un sustrato conductor transparente. El electrodo de TiO_2 comprende partículas de óxido de metal de TiO_2 interconectadas coloreadas mediante la adsorción de moléculas de colorante sobre la superficie de las partículas de TiO_2 y que forman un electrodo de trabajo. El sustrato conductor transparente es normalmente un óxido conductor transparente depositado sobre un sustrato de vidrio. La capa de óxido conductor transparente cumple la función de contacto trasero que extrae electrones fotogenerados del electrodo de trabajo. El electrodo de TiO_2 está en contacto con un electrolito y otro sustrato conductor transparente, es decir un contraelectrodo.

20

25

El colorante capta luz solar, produciendo electrones fotoexcitados que se introducen en la banda de conducción de las partículas de TiO_2 y se recoge adicionalmente por el sustrato conductor. Al mismo tiempo, los iones I^- en el electrolito redox reducen el colorante oxidado y transportan las especies de aceptores de electrones generadas al contraelectrodo. Los dos sustratos conductores se sellan en los bordes para proteger los módulos de DSC de la atmósfera circundante, y para impedir que se produzca evaporación o fugas de los módulos de DSC en el interior de la célula.

30

35

El documento WO2012/020944 da a conocer un módulo de DSC de tipo intercalado convencional que tiene una estructura en serie. El módulo de DSC incluye una pluralidad de unidades de DCS dispuestas adyacentes entre sí y conectadas en serie. Cada unidad de DCS incluye un electrodo de trabajo que incluye un primer sustrato conductor transparente adaptado para estar enfrentado al sol y para transmitir la luz solar a una capa semiconductor porosa que contiene un colorante adsorbido y recubierto sobre el mismo, y un contraelectrodo que incluye un segundo sustrato conductor transparente que tiene una capa conductora realizada de carbono o metal recubierto sobre el mismo. La estructura en serie del módulo de DCS incluye patrones de la capa de óxido de nanopartículas porosas y la capa conductora, que se forman en el electrodo de trabajo y el contraelectrodo, respectivamente. Cada una de la capa de óxido de nanopartículas del electrodo de trabajo y la capa conductora del contraelectrodo están enfrentadas entre sí para formar una célula unitaria. Las células unitarias están aisladas eléctricamente mediante barreras protectoras, y se llena un electrolito se llena entre el electrodo de trabajo y el contraelectrodo. La capa de óxido de nanopartículas porosas del electrodo de trabajo y la capa conductora del contraelectrodo están desplazadas longitudinalmente una con respecto a otra.

40

45

El electrodo de trabajo en un lado y el contraelectrodo en el otro lado están interconectados eléctricamente mediante un elemento de conexión en serie que incluye un hueco que penetra en el electrodo de trabajo y el contraelectrodo, que están enfrentados entre sí, y el material conductor que llena el hueco. El hueco penetra por la totalidad del módulo de DCS y está rodeado a ambos lados por barreras protectoras, que impiden que el material conductor entre en contacto con el electrolito y, por consiguiente, impide la corrosión del material conductor. El material conductor con el que se ha llenado el hueco puede ser pasta, adhesivo, o un tipo de tinta y puede llenarse en el hueco mediante impresión, goteo, dispensación, expulsión a chorro, estampación o pulverización iónica. Un problema de este tipo de módulo de DCS es que es difícil producir una capa, que sea conductora al mismo tiempo que transparente. Siempre debe alcanzarse un compromiso entre esas demandas, lo que conlleva una capacidad de conducción de corriente disminuida del módulo de DCS y, por consiguiente, una eficiencia reducida del módulo de DCS. Además, lleva mucho tiempo perforar los huecos a través de cada unidad de célula antes de llenarlos con materiales conductores, lo que aumenta los costes de fabricación del módulo de DCS. Otra desventaja con respecto a este módulo de DCS es que se necesitan barreras protectoras a cada lado del elemento de conexión en serie para impedir que el material conductor entre en contacto con el electrolito. Las barreras protectoras aumentan el coste de fabricación.

50

55

60

65

El documento WO 2011/096154 da a conocer un módulo de DCS que incluye una capa aislante porosa, un electrodo

de trabajo que incluye una capa metálica conductora porosa formada encima de la capa aislante porosa y que crea un contacto trasero, y una capa semiconductor porosa que contiene un colorante adsorbido dispuesto encima de la capa metálica conductora porosa, un sustrato transparente que está enfrentado a la capa semiconductor porosa, adaptado para estar enfrentado al sol y para transmitir la luz solar a la capa semiconductor porosa. El módulo de DCS incluye además un contraelectrodo que incluye un sustrato conductor dispuesto en un lado opuesto a la capa semiconductor porosa de la capa aislante porosa, y a una distancia de la capa aislante porosa, formando de ese modo un espacio entre la capa aislante porosa y el sustrato conductor. Se llena con un electrolito el espacio entre el electrodo de trabajo y el contraelectrodo. La capa aislante porosa se realiza preferiblemente de un material compacto de fibra de vidrio moldeado. La capa metálica conductora porosa se forma a partir de materiales, que se seleccionan de un grupo que consiste en Ti, W, Ni, Pt y Au. La capa metálica conductora porosa puede crearse mediante una pasta que incluye partículas metálicas, que se aplica encima de la capa aislante porosa mediante impresión, y va seguida de calentamiento, secado y cocción. Una ventaja de este tipo de módulo de DCS es que la capa conductora del electrodo de trabajo se dispone entre la capa aislante porosa y la capa semiconductor porosa. Por tanto, la capa conductora de la célula de trabajo no tiene que ser transparente, y puede realizarse de un material de alta conductividad, lo que aumenta la capacidad de conducción de corriente del módulo de DCS y garantiza una alta eficiencia del módulo de DCS.

Para aumentar la salida de tensión de la célula solar sensibilizada con colorante, se desea tener una estructura en serie que incluya una pluralidad de unidades de célula solar sensibilizada con colorante conectadas en serie. Una desventaja de la estructura del módulo de DCS que se da a conocer en el documento WO2011/096154 es que es difícil proporcionar unidades de célula DSC conectadas en serie. Si se utiliza el método dado a conocer en el documento WO2012/020944, los huecos deben realizarse a través del módulo de DCS y llenarse con un material conductor. Sin embargo, si la capa aislante porosa está realizada de un material sensible, tal como un papel cerámico, la capa aislante porosa puede romperse al perforar los huecos. Otra desventaja del uso de perforación para realizar los huecos es que la perforación produce la formación de virutas. Es difícil si no imposible retirar todas las virutas que se producen durante la perforación. Las virutas restantes pueden provocar problemas al ensamblar los módulos de DCS debido a que las virutas ocupan un determinado volumen y espacio. Las virutas restantes en determinados lugares pueden conducir a una distancia no homogénea entre las capas ensambladas o incluso el mal funcionamiento o la destrucción de las capas ensambladas. Otro problema relacionado con la perforación es que la herramienta de perforación puede verse sometida a abrasión dejando trazas de sustancias no deseadas, que pueden interferir de manera destructiva con el rendimiento de DSC. Por ejemplo, se conoce bien que la DSC es sensible a cantidades traza de hierro y otros metales que se usan en las herramientas de perforación.

El documento EP0859386 da a conocer una célula solar sensibilizada con colorante que incluye un sustrato aislante poroso, un electrodo de trabajo, una primera capa conductora porosa para extraer electrones fotogenerados del electrodo de trabajo formado en un lado del sustrato aislante poroso, y un contraelectrodo que tiene una segunda capa conductora porosa formada en el lado opuesto del sustrato aislante poroso.

El documento WO97/16838 da a conocer elementos fotovoltaicos conectados en serie, mediante los cuales cada elemento comprende un fotoánodo poroso, un cátodo poroso y una capa porosa aislante intermedia. Los poros se llenan con un electrolito. Los elementos tienen un sustrato transparente aislante común. Una capa conductora intermedia de material conductor transparente se interpone entre el sustrato y cada fotoánodo. El cátodo de un primer elemento se conecta a la capa conductora intermedia del siguiente elemento mediante un espacio que separa las capas intermedias respectivas de dos elementos contiguos.

El documento EP 2 421 084 da a conocer un módulo de célula solar que comprende una estructura de tipo intercalado, en el que una capa aislante porosa y una capa catalítica se colocan entre una primera capa conductora y una segunda capa conductora. Una capa semiconductor porosa cubre la segunda capa conductora y está en contacto con las capas conductoras primera y segunda. La primera capa conductora de una primera célula se conecta a una segunda capa conductora de una célula siguiente.

El documento EP 2 432 069 da a conocer un módulo de célula solar que comprende una capa intermedia intercalada entre dos capas porosas, mediante el cual una de las capas porosas se sitúa sobre una capa de sustrato. Las capas porosas primera y segunda se forman de partículas del mismo material, mientras que la capa intermedia se forma de partículas de un material diferente.

Objeto y sumario de la invención

Es un objeto de la presente invención proporcionar un módulo de DCS de bajo coste con una estructura en serie.

Este objeto se consigue mediante un módulo de célula solar sensibilizada con colorante (DSC) tal como se define en la reivindicación 1.

El módulo de DCS tiene una estructura en serie que comprende al menos dos unidades de célula solar sensibilizada con colorante dispuestas adyacentes entre sí y conectadas en serie. Cada unidad de célula incluye un electrodo de trabajo, una primera capa conductora para extraer electrones fotogenerados del electrodo de trabajo, un

5 contraelectrodo que incluye una segunda capa conductora, un electrolito para transferir electrones del
 10 contraelectrodo al electrodo de trabajo, y un elemento de conexión en serie para conectar eléctricamente el
 electrodo de trabajo o el contraelectrodo a un contraelectrodo o electrodo de trabajo, respectivamente, de una
 unidad de célula adyacente. El módulo de DCS se caracteriza porque el módulo de célula solar comprende un
 sustrato aislante poroso, la primera capa conductora es una capa conductora porosa formada en un lado del sustrato
 aislante poroso, y la segunda capa conductora es una capa conductora porosa formada en el lado opuesto del
 sustrato aislante poroso, y el elemento de conexión en serie es una capa conductora que penetra a través del
 sustrato aislante poroso y que se extiende entre la primera capa conductora de una unidad de célula y la segunda
 capa conductora de una unidad de célula adyacente, conectando eléctricamente de ese modo la primera capa
 conductora de una de las unidades de célula con la segunda capa conductora de la unidad de célula adyacente.

15 Las capas conductoras son capas conductoras porosas, que pueden aplicarse a ambos lados del sustrato aislante
 usando un método de impresión, lo que conduce a una producción ajustada y reduce significativamente los costes
 para la fabricación del módulo de DCS. El elemento de conexión en serie está formado por una capa conductora que
 20 penetra a través del sustrato aislante poroso. Por tanto, el elemento de conexión en serie también puede fabricarse
 mediante una técnica de impresión, lo que reduce adicionalmente los costes para la fabricación del módulo de DCS.
 Debido a que la invención permite el uso de una técnica de impresión para fabricar el elemento de conexión en
 serie, ya no es necesario perforar ningún hueco a través de todo el módulo de DCS, y se elimina de ese modo el
 riesgo de destrucción del sustrato aislante. Esto hace posible usar un material sensible, tal como un papel cerámico,
 como el sustrato aislante poroso. Usando una técnica de impresión, el elemento de conexión en serie se convierte
 en una capa conductora porosa.

25 Preferiblemente, la capa conductora del elemento de conexión en serie está realizada de un material conductor, no
 sensible a la corrosión, resistente a temperaturas superiores a 500°C al aire sin oxidarse de manera significativa, tal
 como Ti, aleaciones de Ti, aleaciones de Ni, grafito y carbono amorfo. Al elegir un material que no es corrosivo, no
 es necesario proteger el elemento de conexión en serie frente al contacto con el electrolito y, por tanto, no hay
 necesidad de ninguna barrera protectora que rodee el elemento de conexión en serie. El elemento de conexión en
 serie puede realizarse del mismo material que las capas conductoras porosas primera y segunda, lo que facilita el
 procedimiento de fabricación.

30 Una ventaja adicional del módulo de DCS según la invención es que es delgado y tiene una arquitectura compacta,
 lo que reduce el tamaño del módulo de DCS. El hecho de que el componente sea delgado y tenga una arquitectura
 compacta facilita el proporcionar una conexión en serie de las unidades de célula.

35 La porosidad del sustrato aislante y las capas conductoras permiten el transporte iónico a través de las capas y el
 sustrato y, por consiguiente, entre el electrodo de trabajo y el contraelectrodo. Esta estructura hace que sea posible
 disponer el electrodo de trabajo encima de la primera capa conductora y, por tanto, la primera capa conductora no
 tiene que ser transparente, lo que permite una capacidad de conducción de corriente aumentada para el módulo de
 DCS.

40 Preferiblemente, las capas conductoras primera y segunda incluyen partículas, que son demasiado grandes como
 para poder penetrar a través del sustrato aislante poroso. Esto garantiza que las capas conductoras primera y
 segunda no penetren a través del sustrato aislante poroso y, por consiguiente, permanezcan en un lado del sustrato.

45 Preferiblemente, el grosor del sustrato aislante poroso es de entre 4 µm y 100 µm. Un sustrato delgado reduce el
 grosor del elemento de conexión en serie y, por consiguiente, reduce las pérdidas resistivas. Además, un sustrato
 delgado facilita disponer un elemento de conexión en serie que penetra a través del sustrato.

50 Preferiblemente, las capas conductoras porosas primera y segunda están realizadas de un material conductor no
 sensible a la corrosión, resistente a temperaturas de 500°C al aire sin oxidarse, tal como Ti, aleaciones de Ti,
 aleaciones de Ni, grafito y carbono amorfo, para permitir que las capas conductoras estén en contacto con el
 electrolito sin ninguna corrosión y hacer posible que se sinterice la capa conductora a temperaturas de
 aproximadamente 450-550°C.

55 Según una realización de la invención, la capa conductora porosa del elemento de conexión en serie contiene
 partículas lo suficientemente pequeñas como para penetrar a través del sustrato aislante poroso. Esta realización
 garantiza que el elemento de conexión en serie penetrará a través del sustrato aislante poroso y de ese modo
 conectará eléctricamente las capas conductoras primera y segunda.

60 Según una realización de la invención, las capas conductoras primera y segunda de una unidad de célula están
 desplazadas longitudinalmente una con respecto a otra para permitir que la capa conductora del elemento de
 conexión en serie se extienda entre un extremo de la primera capa conductora de una unidad de célula y un extremo
 opuesto de la segunda capa conductora de una unidad de célula adyacente. Con extremo opuesto se entiende que
 un extremo delantero de un extremo de la otra capa es un extremo posterior y viceversa. Esto significa que el
 65 elemento de conexión en serie se extiende entre un extremo delantero de una de las capas conductoras y un
 extremo posterior de la otra capa conductora. Esta realización hace que sea posible fabricar los elementos de

conexión en serie en perpendicular al plano de extensión del sustrato aislante, por ejemplo mediante una técnica de impresión, lo que facilita la fabricación del módulo de DCS.

5 Según una realización de la invención, cada unidad de célula está rodeada por una barrera de iones en forma de una capa no porosa que penetra a través del sustrato aislante poroso para impedir que el electrolito se escape a una unidad de célula adyacente. Esta realización evita la migración del electrolito entre unidades de célula vecinas conectadas en serie, lo que conduce a pérdidas de eficiencia de DCS. Esta realización permite el uso de un electrolito en forma líquida. En otra realización de la invención, el electrolito puede estar en forma de gel o una forma sólida que inmovilice el electrolito para impedir que el electrolito se escape a una unidad de célula adyacente. Con una inmovilización adecuada del electrolito, puede excluirse la barrera de iones.

15 Según una realización de la invención, el elemento de conexión en serie es una capa conductora porosa y la barrera de iones penetra a través del elemento de conexión en serie. El área de los electrodos de trabajo indica el área activa del módulo de célula solar. La eficiencia del módulo de célula solar depende de la relación entre el área activa y el área total del módulo de célula solar. Disponiendo la barrera de iones a través del elemento de conexión en serie, que se sitúa entre los electrodos de trabajo de dos unidades de célula solar adyacentes, no se usa nada del área activa y, por consiguiente, se mantiene la eficiencia de la célula solar.

20 Preferiblemente, la barrera de iones está realizada de un material polimérico. Un material polimérico puede fundirse y drenarse a través del sustrato aislante poroso y la capa conductora porosa del elemento de conexión en serie para llenar los huecos en el sustrato, y conseguir de ese modo una barrera de líquido entre las unidades de célula solar, lo que impide que el electrolito se mueva de una unidad de célula solar a otra unidad de célula solar. Alternativamente, puede formarse una barrera de líquido entre las unidades de célula solar humedeciendo un adhesivo polimérico líquido en el sustrato aislante poroso y la capa conductora porosa del elemento de conexión en serie, y después de eso curar el adhesivo, por ejemplo químicamente o mediante calor o mediante luz.

25 Es otro objetivo de la presente invención proporcionar un método rentable para fabricar un módulo de célula solar sensibilizada con colorante que tenga una estructura en serie.

30 Este objeto se consigue mediante un método para fabricar un módulo de célula solar sensibilizada con colorante tal como se define en la reivindicación 8.

35 El método comprende aplicar las primeras capas conductoras de las unidades de célula en forma de capas conductoras porosas en un lado de un sustrato aislante poroso, y aplicar las segundas capas conductoras de las unidades de célula en forma de capas conductoras porosas en el lado opuesto del sustrato aislante poroso, de tal manera que las capas conductoras primera y segunda de cada unidad de célula estén enfrentadas entre sí.

40 Este método hace que sea posible usar la misma técnica para fabricar el electrodo de trabajo y el contraelectrodo. El método también hace que sea posible seleccionar una técnica sencilla para fabricar el electrodo de trabajo y el contraelectrodo, tal como la serigrafía, simplificando de ese modo la fabricación de los componentes de DCS y reduciendo por tanto los costes de fabricación.

Este método facilita fabricar un componente de DCS delgado con una arquitectura compacta.

45 Según una realización de la invención, el método comprende imprimir con una tinta que incluye partículas conductoras sobre al menos dos primeras áreas adyacentes pero independientes en un lado del sustrato aislante poroso para formar las primeras capas conductoras porosas, e imprimir con una tinta que incluye partículas conductoras sobre al menos dos primeras áreas adyacentes pero independientes en el lado opuesto del sustrato aislante poroso para formar las segundas capas conductoras porosas. Usando una técnica de impresión, se facilita proporcionar una pluralidad de áreas separadas eléctricamente de formas definidas sobre el sustrato aislado, áreas que forman las áreas conductoras primeras y segundas de una pluralidad de unidades de DCS.

55 Según una realización de la invención, el método comprende además formar elementos de conexión en serie en forma de capas conductoras que penetran a través del sustrato aislante poroso.

60 Puesto que la capa conductora del electrodo de trabajo se forma como una capa conductora porosa en un lado de un sustrato poroso y la capa conductora del contraelectrodo se forma como una capa conductora porosa en el otro lado del sustrato poroso, el elemento de conexión en serie sólo tiene que penetrar a través del sustrato poroso para poder conectar el electrodo de trabajo de una unidad de célula con el contraelectrodo de una unidad de célula adyacente. Debido al material poroso, puede penetrarse fácilmente en el sustrato poroso. Por tanto, puede omitirse la etapa para perforar huecos a través de todo el módulo de DCS, lo que simplifica el procedimiento de fabricación y reduce los costes de fabricación.

65 Al proporcionar el elemento de conexión en serie como una capa conductora que penetra en el sustrato aislante poroso, puede usarse una técnica de fabricación sencilla, por ejemplo serigrafía, para fabricar el elemento de conexión en serie. La misma técnica de fabricación puede usarse para fabricar el elemento de conexión en serie y

las capas conductoras, reduciendo de ese modo adicionalmente los costes de fabricación.

Preferiblemente, los elementos de conexión en serie se forman mediante impresión sobre el sustrato aislante poroso con una tinta que incluye partículas conductoras, que penetra a través del sustrato aislante poroso.

5 Según una realización de la invención, el método comprende además:

10 – aplicar las primeras capas conductoras de las unidades de célula, de tal manera que la primera capa conductora de una de las unidades de célula esté conectada eléctricamente al elemento de conexión en serie, y la primera capa conductora de una unidad de célula adyacente esté separada eléctricamente del elemento de conexión en serie, y

15 – aplicar las segundas capas conductoras de las unidades de célula, de tal manera que la segunda capa conductora de una de las unidades de célula esté separada eléctricamente del elemento de conexión en serie, y la segunda capa conductora de la unidad de célula adyacente esté conectada eléctricamente al elemento de conexión en serie, conectando eléctricamente de ese modo la primera capa conductora de una de las unidades de célula con la segunda capa conductora de la unidad de célula adyacente de modo que las unidades de célula estén conectadas en serie.

20 Según una realización de la invención, se imprimen las capas primera y segunda con una tinta que incluye partículas conductoras, que son demasiado grandes como para poder penetrar a través del sustrato aislante poroso y el elemento de conexión en serie se forma mediante impresión sobre el sustrato aislante poroso con una tinta que incluye partículas conductoras lo suficientemente pequeñas como para penetrar a través del sustrato aislante poroso. Mediante la selección del tamaño de las partículas en la tinta, es posible determinar si la capa porosa va a proporcionarse encima del sustrato aislante poroso, o si la capa va a penetrar a través del sustrato. Si la partícula de las capas conductoras primera y segunda es más grande que los poros en el sustrato, las partículas permanecerán encima del sustrato y si las partículas son más pequeñas que los poros en el sustrato, las partículas penetrarán a través del sustrato.

30 Según una realización de la invención, el elemento de conexión en serie se forma perforando el sustrato aislante poroso y vertiendo tinta con partículas conductoras a través de la parte perforada del sustrato. Con el término perforado se entiende una pluralidad de huecos muy pequeños dispuestos en una línea y que atraviesan el sustrato. Al perforar el sustrato aislante poroso a lo largo de las distancias en las que se desea tener los elementos de conexión en serie, se facilita el procedimiento para aplicar la tinta y también es posible usar tinta con el mismo tamaño de partícula que la usada para producir las capas conductoras primera y segunda. Si, por ejemplo, se usa un papel cerámico como el sustrato, resulta fácil perforar el papel antes de aplicar la tinta.

40 Según una realización de la invención, el método comprende: imprimir con una tinta, que incluye partículas conductoras, sobre el sustrato aislante poroso para formar el elemento de conexión en serie, imprimir con una tinta, que incluye partículas conductoras, sobre al menos dos primeras áreas adyacentes pero independientes en un lado de un sustrato aislante poroso para formar las primeras capas conductoras porosas, de tal manera que la primera área de una de las unidades de célula está en contacto eléctrico con el elemento de conexión en serie y la primera área de la otra unidad de célula esté separada eléctricamente del elemento de conexión en serie, e imprimir con una tinta que incluye partículas conductoras sobre al menos dos segundas áreas adyacentes pero independientes en el lado opuesto del sustrato aislante poroso para formar las segundas capas conductoras porosas, de tal manera que las áreas primeras y segundas están desplazadas longitudinalmente unas con relación a otras y de modo que la segunda área de la primera de las unidades de célula esté separada eléctricamente del elemento de conexión en serie y la segunda área de la otra unidad de célula esté en contacto eléctrico con el elemento de conexión en serie. Resulta ventajoso imprimir en primer lugar el elemento de conexión en serie e imprimir luego las capas conductoras primera y segunda en contacto con el elemento de conexión en serie.

50 Según una realización de la invención, el método comprende proporcionar una barrera de iones en forma de una capa no porosa que rodea cada unidad de célula para impedir que el electrolito se escape a una unidad de célula adyacente. La capa no porosa penetra a través del sustrato aislante poroso. Para mantener el área activa de la célula solar, el material polimérico puede situarse de modo que el material polimérico penetre a través del elemento de conexión en serie.

60 Según una realización de la invención, la barrera de iones se proporciona aplicando un material polimérico de modo que el material polimérico penetre a través de la primera capa conductora, el sustrato aislante poroso y la segunda capa conductora.

Según una realización de la invención, el material polimérico se aplica de modo que el material polimérico penetre a través del elemento de conexión en serie.

65 **Breve descripción de los dibujos**

La invención se explicará ahora con más detalle mediante la descripción de diferentes realizaciones de la invención y con referencia a las figuras anexas.

5 La figura 1a muestra una sección transversal a través de un módulo de célula solar sensibilizada con colorante según una primera realización de la invención.

La figura 1b muestra una sección transversal a través de un módulo de célula solar sensibilizada con colorante según una segunda realización de la invención.

10 Las figuras 2 - 11 ilustran un método para fabricar un módulo de célula solar sensibilizada con colorante según una realización de la invención.

La figura 12 muestra un ejemplo de un módulo de célula solar sensibilizada con colorante según una realización de la invención en una vista desde arriba.

15 **Descripción detallada de realizaciones preferidas de la invención**

La figura 1a muestra una sección transversal a través de un módulo 1 de célula solar sensibilizada con colorante (DCS) que tiene una estructura en serie según una primera realización de la invención. El módulo de DCS comprende una pluralidad de unidades 2a-c de DCS dispuestas adyacentes entre sí y conectadas en serie. Cada unidad 2a-c de DCS incluye un electrodo 3 de trabajo y un contraelectrodo 5. El espacio entre el electrodo de trabajo y el contraelectrodo se llena con un electrolito que incluye iones para transferir electrones del contraelectrodo al electrodo de trabajo. El contraelectrodo transfiere electrones al electrolito. El módulo de DCS comprende una primera capa 4 conductora para extraer electrones fotogenerados del electrodo de trabajo. La primera capa 4 conductora sirve como contacto trasero que extrae electrones del electrodo de trabajo. En lo que sigue, la primera capa 4 conductora se denomina la capa de contacto trasero.

El electrodo 3 de trabajo incluye una capa de electrodo de TiO₂ poroso depositada sobre la primera capa 4 conductora. El electrodo de TiO₂ comprende partículas de TiO₂ coloreadas mediante la adsorción de moléculas de colorante sobre la superficie de las partículas de TiO₂. El electrodo de trabajo se sitúa en un lado superior del módulo de DCS. El lado superior debe estar enfrentado al sol para permitir que la luz solar incida sobre las moléculas de colorante del electrodo de trabajo.

El módulo de DCS incluye además un sustrato 7 aislante poroso dispuesto entre el electrodo de trabajo y el contraelectrodo. La porosidad del sustrato aislante poroso permitirá el transporte iónico a través del sustrato. Preferiblemente, el sustrato aislante poroso es un sustrato a base de microfibras cerámicas, tal como una microfibras de vidrio o un sustrato de microfibras cerámicas. Por ejemplo, el sustrato poroso se basa en un material textil de vidrio combinado con papel de vidrio. Esto hace que sea posible proporcionar un sustrato delgado y fuerte. Los sustratos cerámicos son aislantes eléctricos, pero son porosos y permiten de ese modo que penetren líquidos e iones del electrolito. Los sustratos cerámicos pueden manipularse en forma de láminas o en forma de rollos para un procedimiento continuo. Los sustratos cerámicos son químicamente inertes, pueden soportar altas temperaturas, y están disponibles fácilmente, son baratos y sencillos de manipular en las diversas etapas del procedimiento.

Un sustrato cerámico adecuado puede basarse en una fibra de vidrio de microfibras tejida compuesta por hilo de vidrio. Las fibras tejidas son mucho más fuertes que las fibras no tejidas. Además, las fibras tejidas son intrínsecamente mucho más fuertes mecánicamente en comparación con las fibras no tejidas. Adicionalmente, puede hacerse que el grosor de las fibras tejidas sea muy delgado con una resistencia mecánica mantenida. Sin embargo, las fibras tejidas con frecuencia tienen huecos grandes, lo que permite que pase una gran cantidad de partículas en la tinta impresa directamente a través de la fibra tejida de modo no controlado a través de toda el área de la fibra tejida. Este es un efecto no deseado. Para bloquear los huecos en el material textil tejido es útil depositar fibras de vidrio no tejidas encima del material textil tejido. Esto puede hacerse humedeciendo el material textil tejido, con una disolución que contiene fibras de vidrio y luego eliminando el disolvente. Si se usa un aglutinante tal como sílice coloidal junto con las fibras de vidrio, entonces la fibra de vidrio no tejida puede adherirse con más fuerza a la fibra tejida y formará una película de adhesión continua de fibra de vidrio no tejida encima de la fibra de vidrio tejida. Depositando fibras de vidrio no tejidas encima de la fibra tejida, es posible impedir que las partículas en la tinta pasen directamente a través de la fibra tejida.

Cuanto más delgado es el sustrato poroso, mejor es, puesto que una pequeña distancia entre el contacto trasero y el contraelectrodo proporciona mínimas pérdidas de resistencia. Por el mismo motivo, se desea un grado amplio de porosidad. Sin embargo, si el sustrato es demasiado delgado y demasiado poroso, la resistencia mecánica del sustrato será demasiado baja. Preferiblemente, el grosor del sustrato aislante poroso es mayor de 4 µm y menor de 100 µm. Más preferiblemente, el grosor del sustrato aislante poroso es menor de 50 µm. El grosor del sustrato aislante poroso es normalmente de entre 10 - 30 µm. Preferiblemente, la porosidad del sustrato es mayor del 40%. Preferiblemente, la porosidad del sustrato es próxima al 90%. Preferiblemente, la porosidad del sustrato es de entre el 40 y el 90%.

La capa 4 de contacto trasero es una capa conductora porosa depositada sobre un lado superior del sustrato 7 aislante poroso. Cuando se usa una capa conductora porosa como contacto trasero, está en contacto directo con el electrodo de trabajo. El contraelectrodo de cada unidad 2a-c de DCS incluye una segunda capa 5 conductora, en lo sucesivo denominada la capa de contraelectrodo. La capa 5 de contraelectrodo es una capa conductora porosa depositada sobre el lado opuesto (inferior) del sustrato 7 aislante poroso. La capa 4 de contacto trasero y la capa 5 de contraelectrodo están separadas física y eléctricamente por el sustrato 7 aislante poroso y, por tanto, no se encuentran en contacto eléctrico y físico directo. Sin embargo, la capa 4 de contacto trasero y la capa 5 de contraelectrodo depositadas sobre los lados superior e inferior del sustrato aislante poroso de una unidad de DCS se conectan eléctricamente mediante iones que penetran en el sustrato de aislamiento poroso. La porosidad de las capas 4, 5 conductoras porosas debe ser preferiblemente de entre el 30% y el 85%, o entre el 35% y el 70%, o entre el 40% y el 60%. Dependiendo del material que se use para las capas conductoras porosas y qué método de aplicación se use, el grosor de la capa puede variar entre aproximadamente 1 micrómetro y 100 micrómetros o entre 1 micrómetro y 50 micrómetros.

Si se usa una capa conductora porosa como contraelectrodo, forma parte del contraelectrodo opuesto al electrodo de trabajo. El contraelectrodo comprende normalmente una capa catalítica. La capa conductora porosa que actúa como contraelectrodo puede tener una capa catalítica independiente o tener partículas catalíticas integradas en la capa conductora porosa.

El módulo de DCS incluye una pluralidad de pares de capas conductoras porosas primera y segunda dispuestas en lados opuestos del sustrato aislante poroso. Cada unidad de DCS incluye un par de capas conductoras porosas primera y segunda. Las capas conductoras porosas primera y segunda de una unidad de DCS se sitúan de modo que estén enfrentadas entre sí. Se forma un espacio 8 entre los electrodos 3 de trabajo y las primeras capas conductoras de unidades de célula adyacentes y se forma un espacio 9 entre los contraelectrodos 3 de unidades de célula adyacentes, para separar eléctricamente las unidades de célula.

Tal como puede observarse en la figura 1, las capas conductoras porosas primera y segunda están desplazadas ligeramente en sentido longitudinal unas con relación a otras, de modo que un extremo 4a delantero de la primera capa 4 conductora de una unidad 2a de DCS esté enfrentado a un extremo 5a posterior de la segunda capa 5 conductora de una unidad 2b de DCS adyacente.

La unidad de DCS incluye además un elemento 6 de conexión en serie, que se extiende entre los extremos 4a, 5a de las capas conductoras primera y segunda de unidades de célula adyacentes, conectando eléctricamente de ese modo la primera capa conductora de una de las unidades de célula con la segunda capa conductora de una unidad de célula adyacente. Por tanto, el elemento 6 de conexión en serie conecta eléctricamente el contraelectrodo 4 de una unidad de célula al electrodo 5 de trabajo de una unidad de célula adyacente para crear una conexión en serie eléctrica de dos unidades de DCS para aumentar la tensión de salida.

El elemento 6 de conexión en serie es una capa conductora porosa que penetra a través del sustrato 7 aislante poroso y que se extiende entre la capa 4 de contacto trasero de una de las unidades de célula y la capa 5 de contraelectrodo de una unidad de célula adyacente. La capa 6 conductora porosa se usa como capa de conexión en serie eléctrica, y está en contacto físico directo con la capa 4 de contacto trasero y la capa 5 de contraelectrodo de dos unidades de DCS adyacentes. En lo que sigue, la capa conductora porosa del elemento 6 de conexión en serie se denominará la capa de conexión en serie. La capa de conexión en serie eléctrica penetra en el sustrato 7 aislante poroso y proporciona una trayectoria de conexión eléctrica entre el lado superior del sustrato aislante poroso y el lado inferior del sustrato aislante poroso. Puesto que el grosor del sustrato poroso es pequeño, preferiblemente del orden de unos pocos μm , el trayecto que ha de recorrer la corriente es corto y, por consiguiente, la demanda de conductividad de la capa de conexión en serie es menor que en la capa 5 de contraelectrodo y la capa 4 de contacto trasero.

Las capas 4, 5, 6 conductoras porosas tendrán pequeñas pérdidas eléctricas debido a su baja resistividad. La porosidad de las capas conductoras porosas permitirá el transporte iónico y de colorante a través de las capas. La deposición de capas conductoras porosas sobre un sustrato 7 aislante poroso permite construir módulos de DCS, que incluyen una pluralidad de unidades de DCS interconectadas eléctricamente.

Los materiales que forman las capas 4-6 conductoras porosas deben tener una resistencia a la corrosión adecuada para soportar el entorno en la DSC, y preferiblemente también ser resistentes a temperaturas superiores a 500°C al aire sin oxidarse. Preferiblemente, las capas 4-6 conductoras porosas están realizadas de un material seleccionado de un grupo que consiste en titanio, aleaciones de titanio, aleaciones de níquel, grafito y carbono amorfo, o mezclas de los mismos. Lo más preferiblemente, las capas conductoras porosas están realizadas de titanio o una aleación de titanio o mezclas de los mismos.

El módulo 1 de DSC también incluye una primera lámina 10 que cubre el lado superior del módulo de DSC y una segunda 11 lámina que cubre el lado inferior del módulo de DSC y que actúan como barreras de líquido para el electrolito. La primera lámina 10 en el lado superior del módulo de DSC cubre los electrodos de trabajo y es necesario que sea transparente, permitiendo que pase la luz. Las láminas 10, 11 están realizadas, por ejemplo, de

un material polimérico.

Para evitar la migración del electrolito entre las unidades 2a-c de DSC vecinas conectadas en serie que conduce a pérdidas de eficiencia de DSC, no se permite que los iones del electrolito se muevan entre unidades vecinas. Una solución para este problema es inmovilizar el electrolito creando un electrolito en gel del electrolito e impidiendo de ese modo que el electrolito líquido fluya entre unidades de DSC adyacentes. Otra solución puede ser depositar un electrolito no líquido, tal como un conductor sólido.

La figura 1b muestra una sección transversal a través de un módulo de célula solar sensibilizada con colorante según una segunda realización de la invención. En esta realización, cada unidad de célula está rodeada por una barrera 12 de iones en forma de una capa no porosa que penetra a través del módulo de DCS. La barrera 12 de iones rodea la unidad de DSC para impedir que el electrolito se escape a una unidad de célula adyacente, o que entre en contacto con el electrolito en una unidad de célula adyacente. La barrera 12 de iones se deposita en el espacio 8 entre las capas 3 del electrodo de trabajo y las capas 4 de contacto trasero de unidades de célula adyacentes. La barrera 12 de iones penetra a través del sustrato 7 aislante poroso, y entre las capas 5 de contraelectrodo de unidades de célula adyacentes. Preferiblemente, la barrera de iones también penetra a través de la capa 6 de conexión en serie. La barrera de iones impide que se muevan iones entre unidades de célula adyacentes. Sin embargo, no tiene una función de aislante eléctrico. Por tanto, las capas 4, 5 conductoras primera y segunda y la capa 6 de conexión en serie todavía son conductoras, aunque se vean penetradas por la barrera de iones. La barrera de iones está realizada, por ejemplo, de un material polimérico. Por ejemplo, la barrera de iones está realizada del mismo material polimérico que las láminas 10, 11 primera y segunda.

A continuación se describirá un método rentable para depositar capas conductoras porosas sobre los lados superior e inferior de un sustrato 7 aislante poroso de tal manera que las capas conductoras porosas en el lado superior del sustrato aislante poroso están interconectadas eléctricamente con las capas conductoras porosas en el lado inferior del sustrato aislante poroso. Además, se describe cómo puede usarse una disposición de este tipo de capas conductoras porosas para proporcionar un método rentable para producir un módulo de DSC que comprende varias unidades de DSC interconectadas eléctricamente.

Por ejemplo, puede formarse una conexión eléctrica entre una capa de contacto trasero y una capa de contraelectrodo de la siguiente manera: se deposita en primer lugar una capa de conexión en serie eléctricamente de modo que penetre a través de un sustrato aislante poroso. Posteriormente, se posita una capa de contacto trasero de tal modo que parte de la capa de contacto trasero se deposita encima de la capa de conexión en serie depositada de tal manera que la capa de contacto trasero esté en contacto directo con la capa de conexión en serie. Posteriormente, se deposita una capa de contraelectrodo sobre el lado opuesto del sustrato aislante poroso de tal modo que se deposita una parte de la capa de contraelectrodo en la misma posición lateral que la capa de conexión en serie, de tal manera que la capa de contraelectrodo esté en contacto directo con la capa de conexión en serie. Por tanto, la capa de contacto trasero en el lado superior del sustrato aislante poroso y la capa de contraelectrodo en el lado inferior del sustrato aislante poroso están interconectadas eléctricamente mediante la capa de conexión en serie.

La capa conductora porosa se forma, por ejemplo, mediante la deposición de un depósito que comprende partículas de hidruro de metal sobre un sustrato aislante poroso, y tratando el depósito, de modo que las partículas de hidruro de metal sólido se transformen en metal y las partículas metálicas se sintericen para formar una capa conductora porosa. El depósito de polvo de hidruro de metal, por ejemplo polvo de hidruro de titanio, puede imprimirse ventajosamente sobre un sustrato a base de microfibras cerámicas, tal como una microfibras de vidrio o un sustrato de microfibras cerámicas. Para los sustratos aislantes porosos es posible formar una capa conductora porosa a ambos lados del sustrato aislante poroso. Por ejemplo, es posible formar una capa conductora porosa en un lado del sustrato y otra capa conductora porosa en el otro lado del sustrato.

Las capas 4, 5, 6 conductoras porosas pueden disponerse sobre el sustrato aislante poroso mediante impresión con una tinta que incluye partículas conductoras sólidas. Las partículas sólidas pueden mezclarse con un líquido para formar una tinta adecuada para el procedimiento de impresión. Los hidruros de metal pueden mezclarse con un líquido para formar una tinta adecuada para el procedimiento de impresión. Las partículas también pueden molerse o tratarse de otro modo para conseguir un tamaño de partícula adecuado para formar la capa conductora porosa. Las partículas sólidas son preferiblemente a base de metal y pueden ser metales puros, aleaciones de metal o hidruros de metal o hidruros de aleaciones de metal o mezclas de los mismos. Las capas conductoras porosas resultantes deben tener una resistencia a la corrosión adecuada para soportar el entorno en la DSC. Ejemplos de un material adecuado es titanio o aleaciones a base de titanio o mezclas de los mismos. Otros ejemplos de materiales adecuados son aleaciones de níquel.

También pueden añadirse a la tinta otros componentes en forma sólida. Para la impresión del depósito pueden usarse diversas técnicas conocidas en la técnica. Ejemplos de técnicas de impresión son estucado con boquilla plana, huecograbado, serigrafía, estucado con cuchilla, estucado con lámina, aplicación de rasqueta, impresión flexográfica, pulverización o estucado por inmersión. La deposición de polvo seco puede realizarse, por ejemplo, mediante cribado o deposición electrostática de polvo.

El depósito se trata mediante una etapa de tratamiento con calor. Durante el tratamiento con calor también tendrá lugar una sinterización de las partículas, aumentando de ese modo la conductividad y la estabilidad mecánica de la capa. Los hidruros de metal se transformarán en metal durante el tratamiento con calor. Mediante el calentamiento a vacío o con gas inerte, se impide la contaminación de las partículas, y se mejora el contacto eléctrico entre partículas.

Un procedimiento de calentamiento rápido, tal como procesamiento térmico rápido (RTP, *rapid thermal processing*) o recocido térmico rápido (RTA, *rapid thermal annealing*), en el que se calienta el depósito hasta altas temperaturas (hasta 1200°C) en una escala temporal de segundos, presenta ventajas para evitar la contaminación de las partículas por la atmósfera de sinterización. También puede usarse la sinterización instantánea, es decir usar un equipo tal como Sinteron 2000, suministrado por Polytec. Las temperaturas de tratamiento con calor pueden ser suficientes para que se tenga lugar la sinterización entre las partículas. Las temperaturas dependen del material usado, pero normalmente se encuentran en el intervalo de 700 - 1200°C.

Para conseguir un efecto catalítico en el contraelectrodo, es posible mezclar partículas platinadas de óxidos de metal conductores con las partículas de hidruro de metal, tales como ITO, ATO, PTO y FTO platinados. Las partículas platinadas de carburos de metal, siliciuros de metal y nitruros de metal conductores también pueden mezclarse con las partículas de hidruro de metal. También, pueden mezclarse partículas de grafito o negro de carbón platinado con las partículas de hidruro de metal.

A continuación, se explicará un ejemplo de un método de fabricación de un módulo de DSC que tiene una estructura en serie con referencia a las figuras 2 - 12.

La figura 2 muestra una vista desde arriba y dos secciones transversales A-A y B-B de un sustrato 7 aislante poroso depositado con una capa 6a de conexión en serie. En este ejemplo, el sustrato 7 aislante poroso es una microfibrá cerámica. Las secciones transversales ilustran que la capa de conexión en serie penetra en el sustrato aislante poroso desde el lado superior hasta el lado inferior del sustrato aislante poroso. Esto significa que hay un trayecto eléctrico desde el lado superior hasta el lado inferior del sustrato aislante poroso. La capa 6a de conexión en serie se imprime con una tinta que contiene partículas que son lo suficientemente pequeñas como para penetrar en la red porosa en el interior de la microfibrá cerámica. Las secciones transversales ilustran que las partículas en la tinta penetran en la microfibrá cerámica toda la distancia desde la parte superior hasta la parte inferior del sustrato.

La figura 3 muestra una vista desde arriba y dos secciones transversales del sustrato 7 aislante poroso depositado con una capa 6a de conexión en serie que penetra en el sustrato aislante poroso. Adicionalmente, se imprimen dos capas 4a-b conductoras porosas más en el lado superior del sustrato 7 aislante para formar capas de contacto trasero. Una de estas capas 4a de contacto trasero está en contacto directo con la capa 6a de conexión en serie, tal como puede observarse en la vista desde arriba y la sección transversal inferior B-B, y la otra capa 4b de contacto trasero no está en contacto eléctrico con la capa 6a de conexión en serie. Puede observarse a partir de las secciones transversales que las dos capas 4a-b no penetran en el sustrato 7 aislante y que se depositan encima del sustrato 7 aislante y están en contacto con el sustrato 7 aislante. Una de las capas 4a está en contacto eléctrico con la capa 6a de penetración. Las capas 4a-b conductoras porosas se imprimen con una tinta que incluye partículas conductoras, que son demasiado grandes como para poder penetrar a través de la red porosa en el interior de la microfibrá cerámica.

La figura 4 muestra un módulo de DSC con dos unidades de DCS adyacentes, que están conectadas en serie. La figura 4 muestra una vista desde arriba y dos secciones transversales del sustrato 7 aislante poroso depositado con la capa 6a de conexión en serie y las capas 4a-b de contacto trasero impresas en el lado superior del sustrato 7 aislante. Además, se imprimen dos capas 5a-b más en el otro lado del sustrato 7, es decir, el lado inferior del sustrato para formar capas de contraelectrodo. Las capas 5a-b de contraelectrodo no se muestran en la vista desde arriba sino sólo en las vistas en sección transversal. La vista en sección transversal inferior B-B muestra que una de las capas 5b impresa en el lado inferior del sustrato 7 aislante está en contacto directo con la capa 6a de conexión en serie y, por tanto, en contacto eléctrico directo con la capa 6a de conexión en serie. Esto significa que una de las capas 5b de contraelectrodo está en contacto eléctrico con una de las capas 4a de contacto trasero a través de la capa 6a de conexión en serie. Las capas 5a-b conductoras porosas se imprimen con una tinta que incluye partículas conductoras que son demasiado grandes como para poder penetrar a través de la red porosa en el interior del sustrato 7 cerámico.

En muchos casos, se desea conectar en serie un gran número de unidades de DCS para acumular una alta tensión de salida del módulo de DSC. En tales casos, suele desearse diseñar un patrón de dirección de conexión en serie eléctrica, de modo que los terminales de salida de las unidades de DCS se sitúen físicamente próximos entre sí. Se muestra un ejemplo de tal patrón en la figura 12. La dirección de la conexión en serie eléctrica se indica mediante la línea curva. Las figuras 2 - 11 ilustran cómo puede conseguirse esto.

La figura 5 muestra una vista desde arriba y dos secciones transversales A-A y B-B de un sustrato 7 aislante poroso depositado con una capa 6b de conexión en serie que penetra en el sustrato aislante poroso, y que es perpendicular

a la capa 6a de conexión en serie. La capa 6b de conexión en serie se produce del mismo modo que la capa 6a de conexión en serie, y se produce preferiblemente al mismo tiempo.

La figura 6 muestra una vista desde arriba y dos secciones transversales del sustrato 7 aislante poroso depositado con la capa 6b de conexión en serie. Además, se imprimen dos capas 4a y 4c conductoras porosas más en el lado superior del sustrato 7 aislante para formar capas de contacto trasero. Una de estas capas 4c de contacto trasero está en contacto directo con la capa 6b de conexión en serie, tal como puede observarse en la vista desde arriba y la sección transversal inferior B-B, y la otra capa 4a de contacto trasero no está en contacto eléctrico con la capa 6b de conexión en serie.

La figura 7 muestra un módulo de DSC con dos unidades de DCS adyacentes, que están conectadas en serie. La figura 7 muestra una vista desde arriba y dos secciones transversales del sustrato 7 aislante poroso depositado con la capa 6b de conexión en serie y las capas 4a y 4c de contacto trasero. Además, se imprimen dos capas 5a y 5c más en el otro lado del sustrato 7 aislante para formar capas de contraelectrodo. Las capas 5a y 5c de contraelectrodo no se muestran en la vista desde arriba sino sólo en las vistas en sección transversal. La vista en sección transversal A-A muestra que una de las capas 5a de contraelectrodo y una de las capas 4c de contacto trasero están en contacto directo con la capa 6b de conexión en serie. Esto significa que la capa 5a de contraelectrodo está en contacto eléctrico con la capa 4c de contacto trasero a través de la capa 6a de conexión en serie.

La figura 8 muestra una vista desde arriba y dos secciones transversales A-A y B-B de un sustrato 7 aislante poroso depositado con una capa 6c de conexión en serie que penetra en el sustrato aislante poroso, y que se alinea con la capa 6a de conexión en serie y en perpendicular a la capa 6b de conexión en serie. La capa 6c de conexión en serie se produce del mismo modo que las capas 6a y 6b de conexión en serie, y se produce preferiblemente al mismo tiempo.

La figura 9 muestra una vista desde arriba y dos secciones transversales del sustrato 7 aislante poroso depositado con la capa 6c de conexión en serie. Adicionalmente, se imprimen dos capas 4c y 4d conductoras porosas adicionales en el lado superior del sustrato 7 aislante para formar capas de contacto trasero. Una de estas capas 4d de contacto trasero está en contacto directo con la capa 6c de conexión en serie, tal como puede observarse en la vista desde arriba y la sección transversal inferior B-B, y la otra capa 4c de contacto trasero no está en contacto eléctrico con la capa 6c de conexión en serie.

La figura 10 muestra un módulo de DSC con dos unidades de DCS adyacentes, que están conectadas en serie. La figura 10 muestra una vista desde arriba y dos secciones transversales del sustrato 7 aislante poroso depositado con la capa 6c de conexión en serie y las capas 4c y 4d de contacto trasero. Además, se imprimen dos capas 5c y 5d más en el otro lado del sustrato para formar capas de contraelectrodo. Las capas 5c y 5d de contraelectrodo no se muestran en la vista desde arriba sino sólo en las vistas en sección transversal. La vista en sección transversal B-B muestra que una de las capas 5a de contraelectrodo y una de las capas 4d de contacto trasero están en contacto directo con la capa 6c de conexión en serie. Esto significa que la capa 5c de contraelectrodo está en contacto eléctrico con la capa 4d de contacto trasero a través de la capa 6c de conexión en serie.

La figura 11 muestra un módulo de DSC con cuatro unidades de DCS adyacentes, que están conectadas en serie mediante las capas 6a-c de conexión en serie. La capa 5b de contraelectrodo de una primera unidad de DSC se conecta a una capa 4a de contacto trasero de una segunda unidad de DSC a través de las capas 6a de conexión en serie. La capa 5a de contraelectrodo de la segunda unidad de DSC se conecta a una capa 4c de contacto trasero de una tercera unidad de DSC a través de las capas 6b de conexión en serie. La capa 5c de contraelectrodo de la tercera unidad de DSC se conecta a una capa 4d de contacto trasero de una cuarta unidad de DSC a través de las capas 6c de conexión en serie. Preferiblemente, las capas 6a-c de conexión en serie se imprimen sobre el sustrato 7 aislante al mismo tiempo y en una primera etapa de producción. Las capas 4a-d de contacto trasero se imprimen sobre el sustrato 7 aislante al mismo tiempo en una segunda etapa de producción y las capas 5a-d de contraelectrodo se imprimen sobre el sustrato 7 aislante al mismo tiempo en una tercera etapa de producción. Sin embargo, es posible cambiar el orden en que se producen las capas. En una siguiente etapa, las capas impresas se tratan, por ejemplo, mediante calentamiento y sinterización, para formar capas conductoras porosas. Después de eso, las capas 3 porosas del electrodo de trabajo se depositan encima de las capas 4 de contacto trasero.

El sustrato 7 aislante mostrado en la figura 11 se imprime con tres depósitos 6a-c de una tinta que contiene partículas que son lo suficientemente pequeñas como para penetrar en la red porosa en el interior de la microfibrilla cerámica. Además, se imprimen cuatro capas más encima del sustrato 7 aislante con una tinta que contiene partículas que son demasiado grandes como para penetrar en la red porosa en el interior de la microfibrilla cerámica. Tres de esas cuatro capas están en contacto directo con un depósito de la tinta de penetración, tal como puede observarse en la vista desde arriba. Por tanto, tres de estas capas están en contacto eléctrico con la capa de penetración respectiva. Además, se imprimen cuatro capas más en el otro lado del sustrato 7 aislante, es decir, el lado inferior del sustrato 7 aislante con una tinta que contiene partículas que son demasiado grandes como para penetrar en la red porosa en el interior de la microfibrilla cerámica. Las capas no se muestran en la vista desde arriba. Esto significa que una de las capas inferiores está en contacto eléctrico con una de las capas superiores a través de

la capa de penetración. La figura muestra que es posible cambiar la dirección de la conexión en serie eléctrica. La dirección de la conexión en serie eléctrica se indica mediante la línea curva. La dirección de la conexión en serie eléctrica puede modificarse simplemente mediante impresión de la tinta de penetración en diferentes ubicaciones sobre el sustrato 7 aislante y mediante impresión de las capas superiores y las capas inferiores de tal manera que se obtiene la conexión en serie eléctrica del modo deseado.

La figura 12 muestra un ejemplo de un módulo de DSC que incluye un gran número de unidades de DSC conectadas en serie, de tal manera que los terminales 14 de salida de las unidades se sitúan físicamente próximos entre sí.

Según una realización de la invención, puede fabricarse un módulo de DSC que comprende al menos dos unidades de célula solar sensibilizada con colorante dispuestas adyacentes entre sí y conectadas en serie, con un método que comprende:

- imprimir con una tinta que incluye partículas conductoras sobre al menos dos primeras áreas adyacentes pero independientes en un lado de un sustrato aislante poroso para formar primeras capas conductoras porosas,
- imprimir con una tinta que incluye partículas conductoras sobre al menos dos segundas áreas adyacentes pero independientes en el lado opuesto del sustrato aislante poroso para formar segundas capas conductoras porosas, las áreas primeras y segundas se imprimen de modo que las áreas primeras y segundas están desplazadas longitudinalmente unas con relación a otras y las áreas se imprimen con una tinta que tiene partículas conductoras, que son demasiado grandes como para poder penetrar a través del sustrato aislante poroso,
- formar una tercera capa conductora que penetra a través del sustrato aislante poroso y que se extiende entre la primera área de una de las unidades de célula y la segunda área de la otra unidad de célula, conectando eléctricamente de ese modo la primera capa conductora de una de las unidades de célula con la segunda capa conductora de la otra unidad de célula.

Según una realización de la invención, puede fabricarse un módulo de DSC que comprende al menos dos unidades de célula solar sensibilizada con colorante dispuestas adyacentes entre sí y conectadas en serie, con un método que comprende:

- formar un elemento de conexión en serie que penetra a través de un sustrato aislante poroso,
- imprimir con una tinta que incluye partículas conductoras, sobre al menos dos primeras áreas adyacentes pero independientes en un lado de un sustrato aislante poroso para formar las primeras capas conductoras porosas, de tal manera que la primera área de una de las unidades de célula está en contacto eléctrico con el elemento de conexión en serie y la primera área de la otra unidad de célula esté separada eléctricamente del elemento de conexión en serie,
- imprimir con una tinta que incluye partículas conductoras, sobre al menos dos segundas áreas adyacentes pero independientes en el lado opuesto del sustrato aislante poroso para formar las segundas capas conductoras porosas, de tal manera que las áreas primeras y segundas están desplazadas longitudinalmente unas con respecto a otras de modo que una parte de la primera área de una de las unidades de célula esté enfrentada a una parte de la segunda área de la otra unidad de célula, y de tal manera que la segunda área de la una de las unidades de célula esté separada eléctricamente del elemento de conexión en serie y la segunda área de la otra unidad de célula está en contacto eléctrico con el elemento de conexión en serie.

Ejemplos

Ejemplo 1 - Contactos traseros y contraelectrodo y una capa de conexión en serie sobre un sustrato cerámico poroso.

Se prepara una primera tinta mezclando polvo de TiH_2 con terpineol. Entonces se muele en molino de perlas la tinta durante 3 horas a 8000 rpm usando perlas de zircona de 0,6 mm. Se separan las perlas de zircona de la tinta mediante filtración. La tinta comprende partículas de TiH_2 con un diámetro menor de 0,3 micrómetros. Posteriormente, se imprime la tinta en la forma de un rectángulo de 3 mm de ancho y 10 cm de largo (véase 6a en la figura 2) sobre un sustrato a base de microfibra de vidrio poroso de 15 μm de grosor (véase 7 en la figura 2) y luego se seca a 200°C durante 5 minutos. El diámetro de las partículas de TiH_2 en la tinta era lo suficientemente pequeño como para que TiH_2 penetrase en los poros en el sustrato a base de microfibra de vidrio poroso (véanse las secciones transversales A-A y B-B en la figura 2). La primera capa impresa formará una capa de conexión en serie. El sustrato de microfibra de vidrio poroso incluye un material textil tejido de 10 μm de grosor realizado de hilo de vidrio recubierto con una capa de 5 μm de grosor de fibras de vidrio no tejidas.

Se prepara una segunda tinta mezclando TiH_2 con terpineol. Entonces se muele en molino de perlas la tinta durante

25 minutos a 6000 rpm usando perlas de zircona de 0,3 mm. Se separan las perlas de zircona de la tinta mediante filtración. La tinta comprende partículas de TiH_2 con un diámetro que es menor de 2 micrómetros. Posteriormente, se imprime la segunda tinta en forma de dos rectángulos de 10 cm de ancho y 12 cm de largo (véanse 4a y 4b en la figura 3) sobre un sustrato (véase 7 en la figura 3), de tal manera que se imprime un borde de uno de los rectángulos de 10 cm de ancho y 12 cm de largo (véase 4a en la figura 3) directamente encima del rectángulo de 3 mm de ancho y 10 cm de largo (véase 6a en la figura 3). El borde de 4a en la figura 3 se sitúa aproximadamente en el centro del rectángulo (véanse 4a y 6a en la figura 3). Entonces se seca la segunda tinta a 200°C durante 5 minutos. Las segundas capas impresas formarán capas de contacto trasero.

10 Se prepara una tercera tinta mezclando TiH_2 con terpineol. Entonces se muele en molino de perlas la tinta durante 25 minutos a 6000 rpm usando perlas de zircona de 0,3 mm. Se separan las perlas de zircona de la tinta mediante filtración. La tinta comprende partículas de TiH_2 con un diámetro que es menor de 2 micrómetros. Entonces se mezcla la tinta filtrada con las partículas conductoras platinadas para producir una tinta para depositar contraelectrodos. Posteriormente, se imprime la tercera tinta en la forma de dos rectángulos de 10 cm de ancho y 12 cm de largo (véanse 5a y 5b en la figura 4) en el lado opuesto del sustrato (véase 7 en la figura 4), de tal manera que las capas 5a y 5b en la figura 4 estén enfrentadas a las capas 4a y 4b en la figura 4. Entonces se seca el sustrato impreso a 200°C durante 5 minutos. Las terceras capas impresas formarán contraelectrodos.

20 Posteriormente, se sinterizó a vacío el sustrato cerámico impreso a 585°C y luego se permitió que se enfriase hasta temperatura ambiente. La presión durante la sinterización fue menor de 0,0001 mbar. La capa de conexión en serie sinterizada (6a, figura 4) y los contactos traseros (4a, 4b, figura 4) y los contraelectrodos (5a, 5b, figura 4) eran eléctricamente conductores. Uno de los contactos traseros (4a, figura 4) se conectó eléctricamente con uno de los contraelectrodos (véase 5b, figura 4) a través de la capa de conexión en serie (6a, figura 4). La resistencia laminar de los contactos traseros y los contraelectrodos era inferior a 0,2 ohms/cuadrado.

25 Una variación del ejemplo 1 es que se depositan capas conductoras porosas libres de platino encima de la capa de contraelectrodo que contiene platino. En una disposición de este tipo, la primera capa que contiene platino actuará como capa catalítica independiente.

30 Otra variación del ejemplo 1 es que la tinta para imprimir la capa de conexión en serie comprende óxidos de estaño conductores como FTO, ITO o ATO.

Ejemplo 2 – Fabricación de DSC.

35 Se sumergió el sustrato a base de microfibra de vidrio poroso sinterizado e impreso obtenido a partir del ejemplo 1 en una disolución de $TiCl_4$ 0,02 M en agua y se trató con calor a 70°C durante 30 minutos. Se retiró la capa de la disolución de $TiCl_4$ y se enjuagó con agua y luego etanol. Posteriormente, se imprimieron dos capas de tinta a base de TiO_2 (3 en la figura 1a) encima de los contactos traseros (4a y 4b, véase la figura 4d) y luego se secaron. El grosor de la capa de tinta de TiO_2 secada era de 1-2 μm . Se imprimió una segunda capa de 60 μm de grosor de tinta de TiO_2 directamente encima de la primera capa de TiO_2 y se secó. Se imprimió una tercera capa de TiO_2 encima de la segunda capa de TiO_2 y se secó. Posteriormente, se sometió la estructura a un tratamiento con calor al aire a 500°C durante 30 minutos. Después de permitir que se enfriase la estructura; se sumergió la estructura en $TiCl_4$ 0,02 M en agua y se trató con calor a 70°C durante 30 minutos. Después de enjuagar el sustrato cerámico depositado de TiO_2 en agua y etanol, se trató térmicamente a 500°C al aire durante 5 minutos. Posteriormente, se sumergió la estructura de capa conductora porosa depositada de TiO_2 en una disolución de colorante Z907 20 mM en metoxipropanol y se trató con calor a 70°C durante 30 minutos y luego se enjuagó en metoxipropanol. Después, se depositó el electrolito encima de 4a y 4b en forma de un gel y se selló la célula mediante infiltración de un polímero fundido en los bordes alrededor de cada unidad de DSC (véase 12 en la figura 1b) permitiendo al mismo tiempo la conexión eléctrica externa del contacto trasero de una unidad de DSC y la conexión eléctrica externa del contraelectrodo de la otra unidad de DSC.

Una variación del ejemplo 2 es que se han omitido uno o ambos tratamientos con $TiCl_4$.

55 Otra variación del ejemplo 2 es que se imprime el sellado alrededor de los bordes de cada unidad de DSC usando un prepolímero o un polímero imprimible, en el que el prepolímero puede curarse químicamente, curarse mediante luz o curarse mediante calor.

60 La presente invención no se limita a las realizaciones dadas a conocer sino que puede variarse y modificarse dentro del alcance de las siguientes reivindicaciones. Aunque las etapas de la invención se mencionan en las reivindicaciones en un determinado orden, las reivindicaciones no se limitan a este orden. Por ejemplo, no importa si se aplica en primer lugar la primera o la segunda capa conductora. También es posible proporcionar una o ambas capas conductoras primera y segunda sobre el sustrato aislante poroso, antes de que se forme la capa aislante porosa del elemento de conexión en serie en el sustrato.

65 Además, como alternativa a la formación del elemento de conexión en serie mediante impresión sobre el sustrato aislante poroso con una tinta que incluye partículas conductoras lo suficientemente pequeñas como para penetrar a

través del sustrato aislante poroso, el sustrato aislante poroso puede perforarse de antemano y la impresión se realiza a lo largo de las partes perforadas con una tinta que incluye partículas conductoras. La tinta y las partículas conductoras penetrarán a través de las partes perforadas del sustrato. Este método no depende del tamaño de las partículas en la tinta.

- 5 También es posible tener una o más capas porosas entre el sustrato aislante poroso y la capa de contacto trasero porosa.

REIVINDICACIONES

1. Módulo (1) de célula solar sensibilizada con colorante que tiene una estructura en serie que comprende al menos dos unidades (2a-c) de célula solar sensibilizada con colorante dispuestas adyacentes entre sí y conectadas en serie, incluyendo cada unidad de célula:

 - un electrodo (3) de trabajo,
 - una primera capa (4) conductora para extraer electrones fotogenerados del electrodo de trabajo,
 - un contraelectrodo que incluye una segunda capa (5) conductora,
 - electrolito para transferir electrones del contraelectrodo al electrodo de trabajo, y
 - un elemento (6) de conexión en serie para conectar eléctricamente el contraelectrodo a un electrodo de trabajo de una unidad de célula adyacente,

caracterizado porque el módulo de célula solar comprende un sustrato (7) aislante poroso, la primera capa conductora es una capa conductora porosa formada en un lado por el sustrato aislante poroso, y la segunda capa conductora es una capa conductora porosa formada en el lado opuesto del sustrato aislante poroso, y el elemento (6) de conexión en serie es una capa conductora que penetra a través de dicho sustrato (7) aislante poroso y que se extiende entre la primera capa (4) conductora de una de las unidades de célula y la segunda capa (5) conductora de la unidad de célula adyacente, conectando eléctricamente de ese modo la primera capa conductora de una de las unidades de célula con la segunda capa conductora de la unidad de célula adyacente.
2. Módulo (1) de célula solar sensibilizada con colorante según la reivindicación 1, en el que dichas capas conductoras porosas primera (4) y segunda (5) están realizadas de un material seleccionado de un grupo que consiste en titanio, aleaciones de titanio, aleaciones de níquel, grafito y carbono amorfo, o mezclas de los mismos.
3. Módulo (1) de célula solar sensibilizada con colorante según la reivindicación 1 ó 2, en el que dicha capa conductora del elemento (6) de conexión en serie está realizada de un material seleccionado de un grupo que consiste en titanio, aleaciones de titanio, aleaciones de níquel, grafito, carbono amorfo, o mezclas de los mismos.
4. Módulo (1) de célula solar sensibilizada con colorante según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que las capas conductoras primera (4) y segunda (5) de una unidad de célula están desplazadas longitudinalmente una con respecto a otra para permitir que dicha capa conductora del elemento (6) de conexión en serie se extienda entre un extremo de la primera capa conductora de una unidad de célula y un extremo opuesto de la segunda capa conductora de una unidad de célula adyacente.
5. Módulo (1) de célula solar sensibilizada con colorante según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que cada unidad de célula está rodeada una barrera (12) de iones en forma de una capa no porosa que penetra a través del sustrato (7) aislante poroso para impedir que el electrolito se escape a una unidad de célula adyacente.
6. Módulo (1) de célula solar sensibilizada con colorante según la reivindicación 5, en el que la barrera (12) de iones está realizada de un material polimérico.
7. Módulo (1) de célula solar sensibilizada con colorante según la reivindicación 5 ó 6, en el que el elemento (6) de conexión en serie es una capa conductora porosa y la barrera (12) de iones penetra a través del elemento de conexión en serie.
8. Método para fabricar un módulo (1) de célula solar sensibilizada con colorante que comprende al menos dos unidades de célula solar sensibilizada con colorante dispuestas adyacentes entre sí y conectadas en serie, e incluyendo cada unidad de célula un electrodo (3) de trabajo, una primera capa (4) conductora para extraer electrones fotogenerados del electrodo de trabajo, un contraelectrodo que incluye una segunda capa (5) conductora, electrolito para transferir electrones del contraelectrodo al electrodo de trabajo, y un elemento (6) de conexión en serie para conectar eléctricamente el contraelectrodo a un electrodo de trabajo de una unidad de célula adyacente, caracterizado porque el método comprende:

 - aplicar las primeras capas conductoras de las unidades de célula en forma de capas conductoras porosas en un lado de un sustrato (7) aislante poroso, y
 - aplicar las segundas capas conductoras de las unidades de célula en forma de capas conductoras porosas en el lado opuesto del sustrato aislante poroso, de tal manera que las capas conductoras primera y segunda de cada unidad de célula estén enfrentadas entre sí,

– formar elementos (6) de conexión en serie en forma de capas conductoras que penetran a través del sustrato (7) aislante poroso.

- 5 9. Método según la reivindicación 8, en el que el método comprende:
- imprimir con una tinta que incluye partículas conductoras sobre al menos dos primeras áreas adyacentes pero independientes en un lado del sustrato (7) aislante poroso para formar las primeras capas (4) conductoras porosas, y
- 10 – imprimir con una tinta que incluye partículas conductoras sobre al menos dos primeras áreas adyacentes pero independientes en el lado opuesto del sustrato aislante poroso para formar las segundas capas (5) conductoras porosas.
10. Método según la reivindicación 8 ó 9, en el que dichas capas conductoras primeras (4) y segundas (5) están realizadas de un material seleccionado de un grupo que consiste en titanio, aleaciones de titanio, níquel, aleaciones de níquel, grafito y carbono amorfo, o mezclas de los mismos.
- 15 11. Método según cualquiera de las reivindicaciones 8 - 10, en el que las capas conductoras primera (4) y segunda (5) se imprimen de modo que las capas conductoras primera y segunda estén desplazadas longitudinalmente unas con relación a otras.
- 20 12. Método según cualquiera de las reivindicaciones 8 - 11, en el que el método comprende además:
- aplicar las primeras capas (4) conductoras de las unidades de célula, de tal manera que la primera capa conductora de una de las unidades de célula esté conectada eléctricamente al elemento (6) de conexión en serie, y la primera capa conductora de una unidad de célula adyacente esté separada eléctricamente del elemento de conexión en serie, y
- 25 – aplicar las segundas capas (5) conductoras de las unidades de célula, de tal manera que la segunda capa conductora de dicha primera de las unidades de célula esté separada eléctricamente del elemento de conexión en serie, y la segunda capa conductora de dicha unidad de célula adyacente esté conectada eléctricamente al elemento de conexión en serie, conectando eléctricamente de ese modo la primera capa conductora de una de las unidades de célula con la segunda capa conductora de la unidad de célula adyacente de modo que las unidades de célula estén conectadas en serie.
- 30 13. Método según cualquiera de las reivindicaciones 8 - 12, en el que dichos elementos (6) de conexión en serie se forman mediante impresión sobre el sustrato (7) aislante poroso con una tinta que incluye partículas conductoras, que penetra a través del sustrato aislante poroso.
- 35 14. Método según cualquiera de las reivindicaciones 8 - 13, en el que dicho elemento (6) de conexión en serie se forma mediante perforación de partes seleccionadas del sustrato (7) aislante poroso y mediante impresión con una tinta que incluye partículas conductoras sobre las partes perforadas del sustrato.
- 40 15. Método según cualquiera de las reivindicaciones 8 - 14, en el que dichos elementos (6) de conexión en serie se forman mediante impresión sobre el sustrato (7) aislante poroso con una tinta que incluye partículas realizadas de un material seleccionado de un grupo que consiste en titanio, aleaciones de titanio, níquel, aleaciones de níquel, grafito y carbono amorfo, o mezclas de los mismos.
- 45 16. Método según cualquiera de las reivindicaciones 8 - 15, en el que el método comprende:
- 50 – imprimir con una tinta que incluye partículas conductoras sobre el sustrato (7) aislante poroso para formar dicho elemento (6) de conexión en serie,
- imprimir con una tinta que incluye partículas conductoras sobre al menos dos primeras áreas adyacentes pero independientes en un lado de un sustrato aislante poroso para formar dichas primeras capas (4) conductoras porosas, de tal manera que la primera área de una de las unidades de célula esté en contacto eléctrico con dicho elemento de conexión en serie y la primera área de la otra unidad de célula esté separada eléctricamente del elemento de conexión en serie, e
- 55 – imprimir con una tinta que incluye partículas conductoras sobre al menos dos segundas áreas adyacentes pero independientes en el lado opuesto del sustrato aislante poroso para formar dichas segundas capas (5) conductoras porosas, de tal manera que las áreas primeras y segundas están desplazadas longitudinalmente unas con respecto a otras, y de modo que la segunda área de dicha primera de las unidades de célula esté separada eléctricamente del elemento de conexión en serie y la segunda área de dicha otra unidad de célula esté en contacto eléctrico con dicho elemento de conexión en serie.
- 60

17. Método según cualquiera de las reivindicaciones 8 - 16, en el que el método comprende proporcionar una barrera de iones en forma de una capa no porosa que rodea cada unidad de célula para impedir que el electrolito se escape a una unidad de célula adyacente, y la capa no porosa penetra a través del sustrato (7) aislante poroso.
- 5
18. Método según la reivindicación 17, en el que la barrera de iones se proporciona aplicando un material polimérico de modo que el material polimérico penetra a través del sustrato (7) aislante poroso.
- 10
19. Método según la reivindicación 18, en el que el material polimérico se aplica de modo que el material polimérico penetra a través del elemento (6) de conexión en serie.

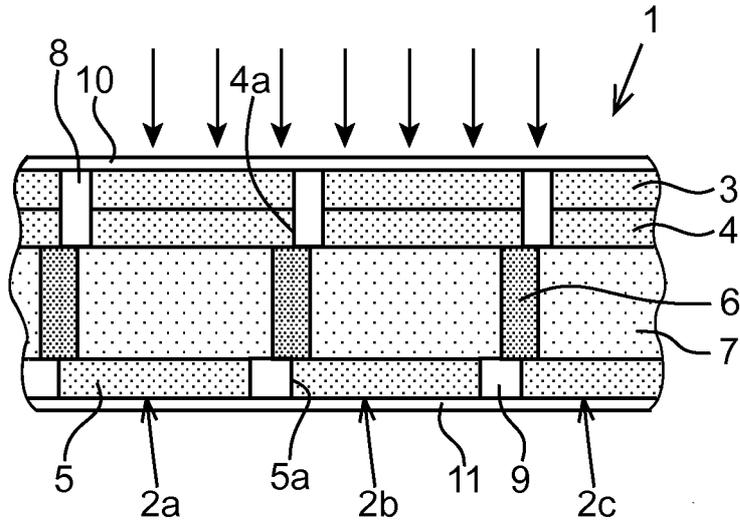


Fig. 1a

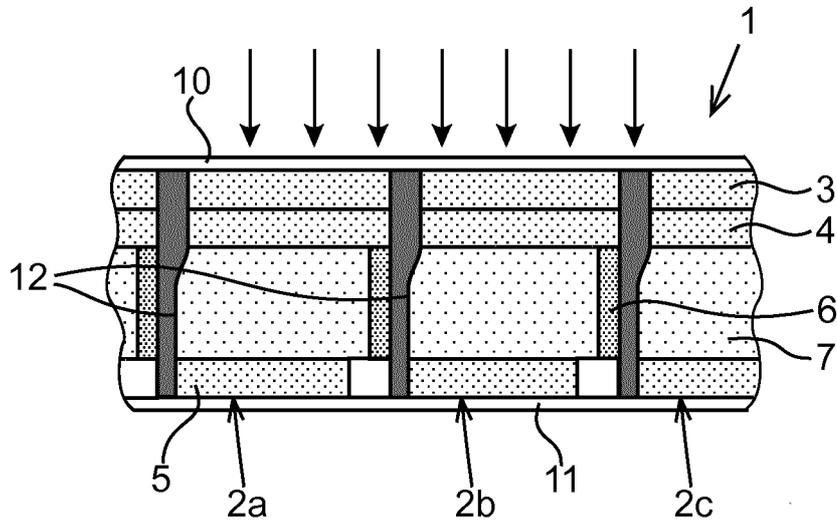


Fig. 1b

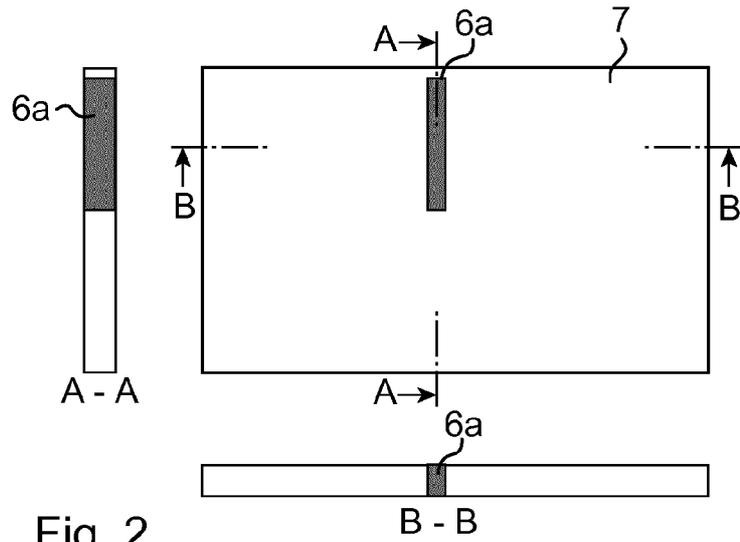


Fig. 2

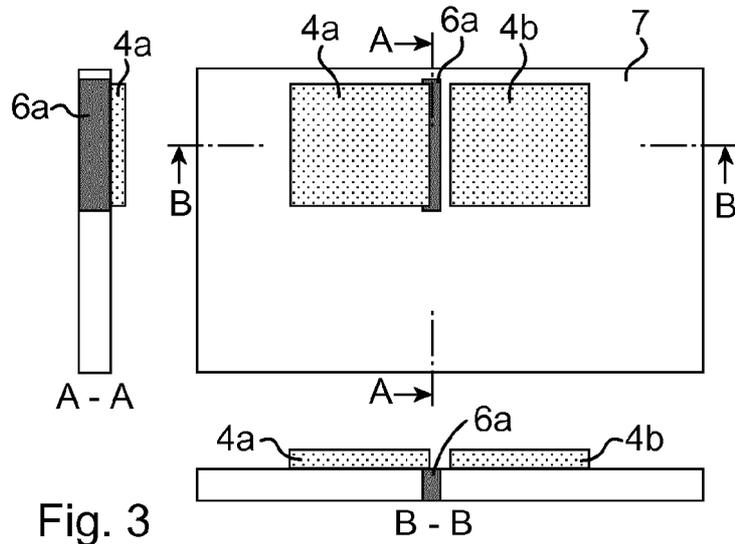


Fig. 3

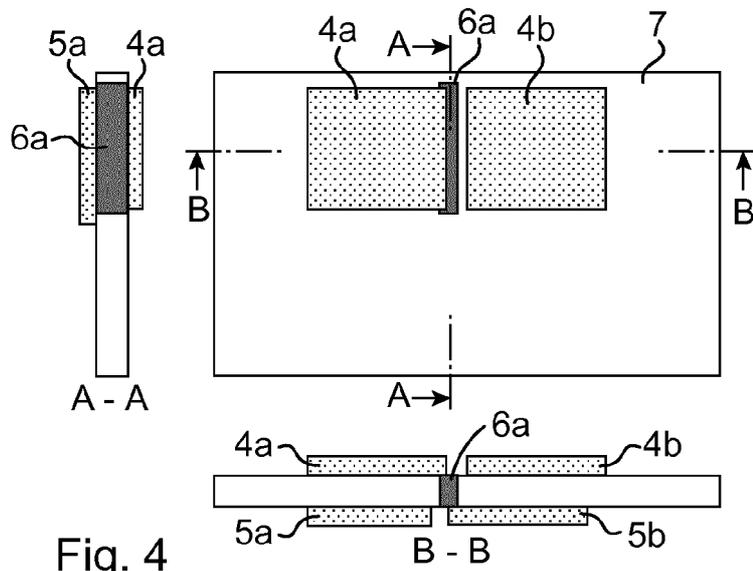


Fig. 4

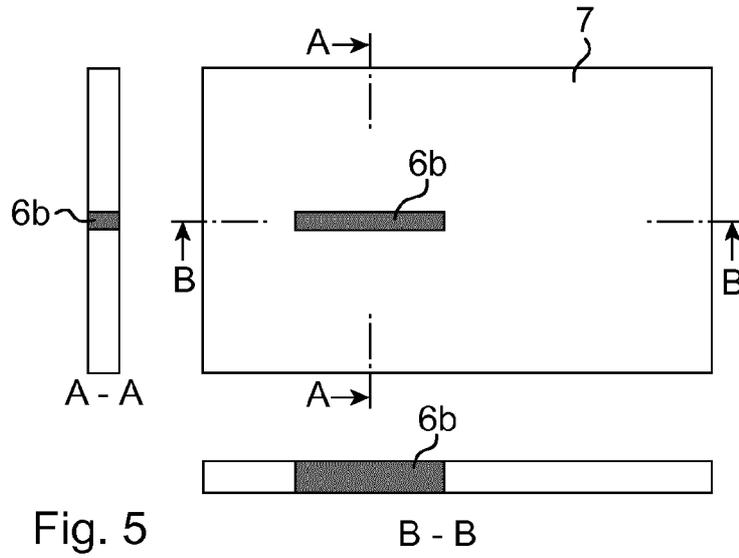


Fig. 5

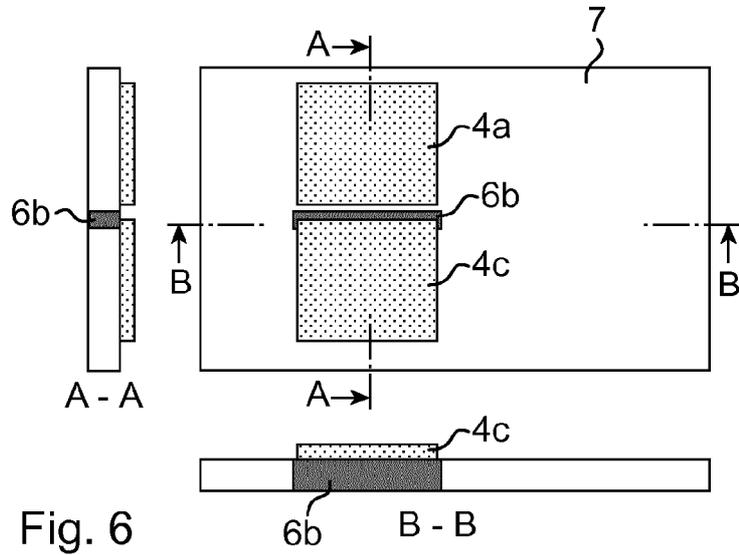


Fig. 6

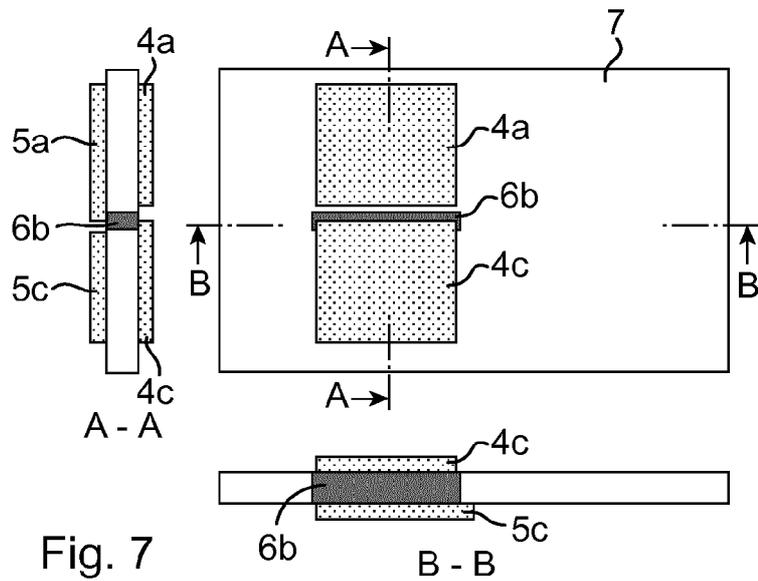
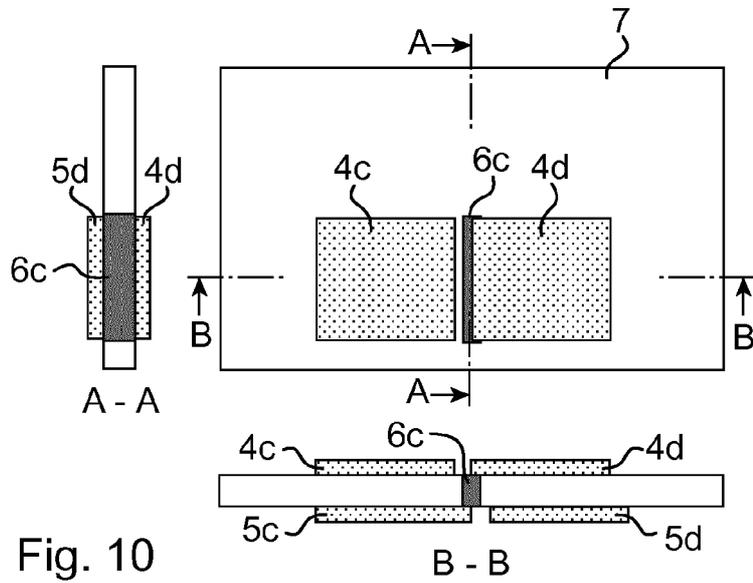
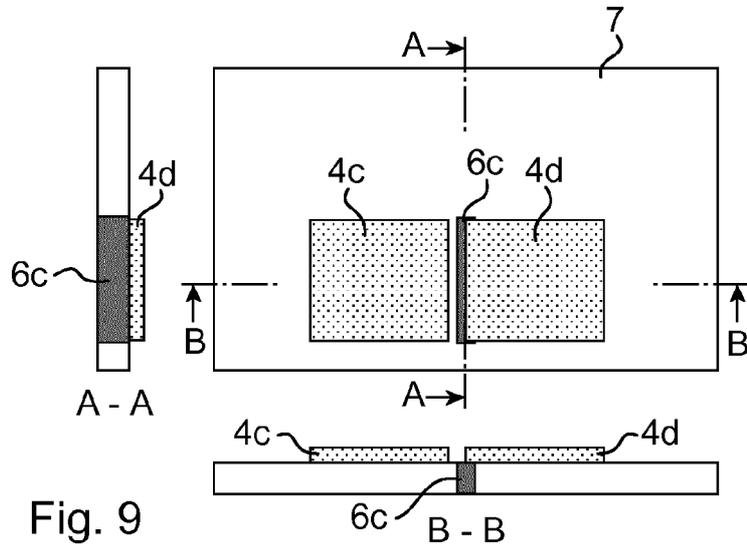
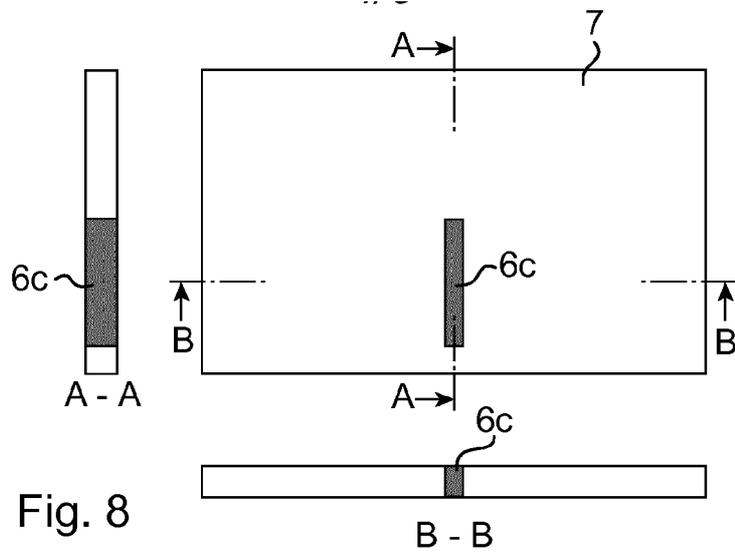


Fig. 7



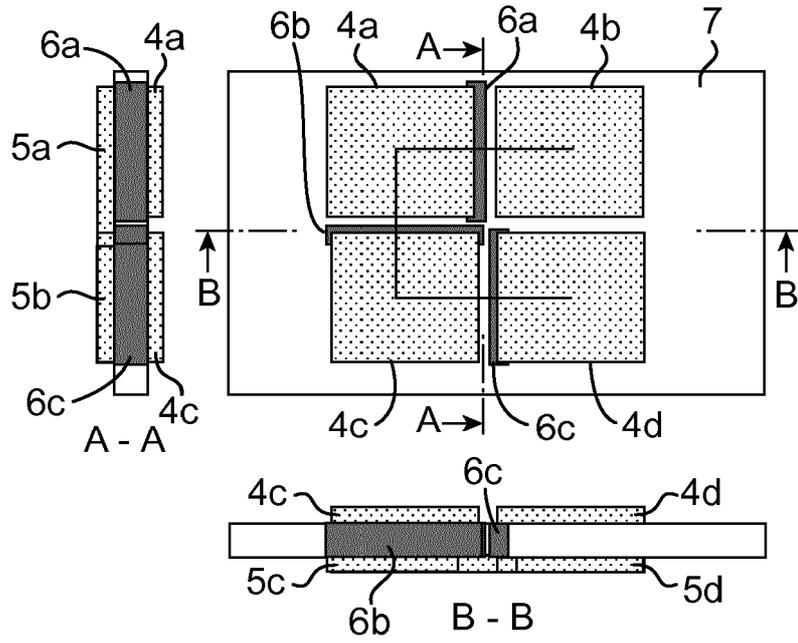


Fig. 11

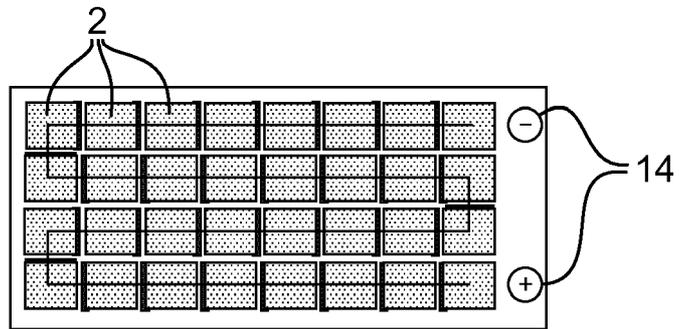


Fig. 12