

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 784 850**

51 Int. Cl.:

H02S 40/34 (2014.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **28.09.2012 PCT/EP2012/069294**

87 Fecha y número de publicación internacional: **04.04.2013 WO13045682**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **28.09.2012 E 12778258 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **22.01.2020 EP 2761673**

54 Título: **Módulo solar con caja de conexión y método para fabricarlo**

30 Prioridad:

30.09.2011 EP 11183515

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

01.10.2020

73 Titular/es:

**(CNBM) BENGBU DESIGN & RESEARCH
INSTITUTE FOR GLASS INDUSTRY CO., LTD.
(100.0%)
No. 1047 Tushan Road
Bengbu, CN**

72 Inventor/es:

**DÖCH, MATTHIAS y
KUSTER, HANS-WERNER**

74 Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

ES 2 784 850 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 solar con caja de conexión y método para fabricarlo

5 Los sistemas fotovoltaicos estratificados para la transformación directa de luz solar en energía eléctrica son suficientemente conocidos. Comúnmente, estos se denominan "células solares", refiriéndose el termino "células
solares de capa delgada" a sistemas estratificados con pequeños espesores de solo unos pocos micrómetros, que
necesitan un sustrato de soporte para obtener una resistencia mecánica suficiente. Los sustratos de soporte
10 conocidos comprenden vidrio inorgánico, plásticos (polímeros) o metales, especialmente aleaciones metálicas, y,
dependiendo del respectivo espesor de capa y de las propiedades específicas del material, pueden estar
configurados como placas rígidas o láminas flexibles.

Respecto de la manejabilidad tecnológica y del rendimiento, se han manifestado como ventajosas las células solares
de capa delgada con una capa semiconductor de silicio amorfo, micromorfo o policristalino, telururo de cadmio
15 (CdTe), arseniuro de galio (GaAs) o un compuesto de calcopirita, especialmente diseleniuro de cobre-indio/galio-
diazufre, expresado abreviadamente por la fórmula $Cu(In,Ga)(S,Se)_2$. En particular, el diseleniuro de cobre-indio
($CuInSe_2$ o CIS) se caracteriza, debido a su distancia de banda adaptada al espectro de la luz solar, por un
coeficiente de absorción especialmente alto.

20 Con células solares individuales se pueden conseguir típicamente tan solo niveles de tensión de menos de 1 voltio.
Para obtener una tensión de salida técnicamente aprovechable se conexionan una multiplicidad de células solares
en serie una con otra dentro de un módulo solar. En este caso, los módulos solares de capa delgada ofrecen la
ventaja especial de que las células solares ya se pueden conexionar en forma integrada durante la fabricación de las
capas. En la bibliografía de patentes ya se han descrito módulos solares de capa delgada en numerosas ocasiones.
25 Únicamente a modo de ejemplo cabe remitirse a los documentos DE 4324318 C1 y EP 2200097 A1.

Típicamente, las capas para la fabricación de las células solares de capa delgada se aplican directamente sobre un
sustrato que se pega con otro sustrato para formar un conjunto estable frente a la intemperie. La construcción
estratificada entre los dos sustratos comprende una capa de electrodo dorsal y una capa absorbadora
30 fotovoltaicamente activa. La capa absorbadora dispone de una capa semiconductor y una capa de electrodo frontal.
Cada módulo solar de capa delgada presenta dos terminales de tensión para realizar una conexión eléctrica exterior.
A este fin, por ejemplo, están previstos dos conductores colectores que contactan con la capa de electrodo dorsal y
que están unidos cada uno de ellos de manera eléctricamente conductora con un conductor de lámina o de cinta
plana tendido hasta el lado dorsal del módulo. En el lado dorsal del módulo los dos conductores de lámina están
35 conectados a una o varias cajas de conexión que están provistas de un cable de conexión o una unión de enchufe.
Una caja de conexión de esta clase es conocida, por ejemplo, por el documento DE 102005025632 A1. El módulo
solar puede conexionarse en serie en las cajas de conexión con otros módulos solares para obtener una ristra de
módulos o puede unirse con una carga eléctrica, la cual consiste frecuentemente en un inversor para transformar la
tensión continua generada en una tensión alterna adecuada para la red eléctrica pública.

40 En la producción industrial en serie se conectan manualmente los conductores de lámina a las cajas de conexión,
para lo cual están previstos, por ejemplo, contactos de pinzado. No es posible una sencilla y barata automatización y
así la fabricación de los módulos solares está ligada a unos costes de producción relativamente elevados.

45 Asimismo, en los módulos solares de capa delgada se puede observar un continuo aumento de la resistencia en
serie, la cual, después de tiempos de servicio de varios millares de horas de funcionamiento, alcanza
paulatinamente un valor al menos aproximadamente constante. Este envejecimiento conduce a un empeoramiento
no deseado del rendimiento del módulo solar. Se supone que una importante causa de ello es la difusión de
moléculas de agua en el material semiconductor de las células solares. Para frenar este envejecimiento es conocido
50 el recurso de sellar herméticamente a agua y vapor la rendija marginal entre los dos sustratos laminados por medio
de una cinta de obturación que sirva de barrera antidifusión. Además, se fijan las cajas de conexión al sustrato, por
ejemplo por medio de un pegamento termofusible, y así el interior queda herméticamente sellado.

La solicitud de patente internacional WO 2009/129405 A2 y la patente DE 103 34 935 B3 describen una caja de
conexión para un módulo solar en la que unas manchas de contacto pueden ser unidas eléctricamente con los
terminales de conductores de lámina a través de una escotadura de una placa de fondo. Los terminales de los
conductores de lámina pueden ser contactados a través de un agujero de contacto, en cuyo caso la placa de fondo
de la caja de conexión no cierra el agujero de contacto. Esto tampoco es posible debido a que, de lo contrario, las
manchas de contacto ya no pueden contactar con los conductores de lámina.

60 Frente a esto, el problema de la presente invención consiste en perfeccionar módulos solares convencionales de
una manera ventajosa, debiendo hacerse posibles especialmente una fijación automática y una conexión eléctrica
de las cajas de conexión. Además, se deberá evitar fiablemente y con seguridad que penetre agua o vapor de las
cajas de conexión en las células solares.

65

Estos y otros problemas se resuelven según la propuesta de la invención por medio de un módulo solar o una disposición de módulos solares y un método para su fabricación con las características de las reivindicaciones de igual rango. Se indican ejecuciones ventajosas de la invención por medio de las características de las reivindicaciones subordinadas.

5 Según la invención, se muestra un módulo solar con un conjunto laminado constituido por dos sustratos. Entre los sustratos se encuentra una construcción estratificada que dispone de una capa de electrodo frontal, una capa de electrodo dorsal y una capa semiconductora situada entre las dos capas de electrodo para conformar una pluralidad de células solares conexionadas en serie. El módulo solar consiste preferiblemente en un módulo solar de capa delgada con células solares de capa delgada conexionadas en forma integrada. En particular, la capa semiconductora consiste en un compuesto de calcopirita que puede ser, por ejemplo, un semiconductor I-III-VI del grupo de diseleniuro de cobre-indio/galio-diazufre (Cu(InGa)(SSE)₂), por ejemplo diseleniuro de cobre-indio (CuInSe₂ o CIS) o compuestos afines. Los dos sustratos pueden contener, por ejemplo, vidrio inorgánico, polímeros o aleaciones metálicas y, dependiendo del espesor de capa y las propiedades del material, pueden estar configurados como placas rígidas o láminas flexibles.

20 El módulo solar presenta dos terminales de tensión de polaridad opuesta en los que dicho módulo puede ser contactado eléctricamente. A este fin, el módulo solar comprende dos elementos de contacto que están unidos cada uno de ellos de manera eléctricamente conductora con las capas de electrodo frontal y/o dorsal. Preferiblemente, los dos elementos de contacto están unidos cada uno de ellos de manera eléctricamente conductora con tan solo la capa de electrodo dorsal.

25 Preferiblemente, cada uno de los dos elementos de contacto está unido de manera eléctricamente conductora con las capas de electrodo frontal y/o dorsal a través de un conductor colector (barra bus) de forma de tira o de cinta. Por tanto, cada elemento de contacto está unido de manera eléctricamente conductora con las capas de electrodo frontal y/o dorsal a través de un conductor colector, en cuyo caso el elemento de contacto es diferente del conductor colector. En particular, el elemento de contacto no está construido como una parte o sección, especialmente como una sección extrema, del conductor colector.

30 Los dos conductores colectores están contruidos, por ejemplo, como conductores de lámina (metálica) de forma de cinta o de tira y consisten, por ejemplo, en aluminio o cobre estañado, si bien pueden emplearse también otros materiales eléctricamente conductores que puedan transformarse en láminas. Ejemplos de éstos son aluminio, oro, plata o estaño y aleaciones de ellos. Los conductores colectores pueden tener, por ejemplo, un espesor en el intervalo de 0,03 mm a 0,3 mm y una anchura en el intervalo de 2 mm a 16 mm.

35 Una unión eléctricamente conductora entre los conductores colectores y la respectiva capa de electrodo se materializa, por ejemplo, por soldadura autógena, ligadura, soldadura de aporte, pinzado o pegadura por medio de un pegamento eléctricamente conductor. Preferiblemente, los dos conductores colectores están cada uno de ellos aplicados sobre la capa de electrodo dorsal y unidos de manera eléctricamente conductora con la capa de electrodo dorsal.

40 Los dos elementos de contacto están dispuestos en al menos un agujero de contacto (perforación) de al menos un sustrato, pudiendo estar dispuestos los dos elementos de contacto en un mismo agujero de contacto o cada uno de ellos en un agujero de contacto independiente. En caso de que estén previstos dos agujeros de contacto, estos dos agujeros de contacto pueden estar formados en un mismo sustrato o en sustratos diferentes. Los dos elementos de contacto se encuentran al menos seccionalmente, en particular por completo, dentro de una cavidad que está formada o delimitada por el al menos un agujero de contacto.

45 Es esencial en este caso que el al menos un agujero de contacto esté configurado de modo que posibilite una unión eléctrica entre los elementos de contacto y las capas de electrodo frontal y/o dorsal. En caso de que estén previstos dos conductores colectores, se crea un acceso a los dos conductores colectores a través del al menos un agujero de contacto. Preferiblemente, el módulo solar comprende dos agujeros de contacto que crean cada uno de ellos acceso a uno de los dos conductores colectores. Cada elemento de contacto se encuentra al menos seccionalmente, en particular por completo dentro de una cavidad que está formada o delimitada por el un agujero de contacto.

50 El módulo solar comprende también al menos un elemento de cubierta que cierra el al menos un agujero de contacto y está fijado con este fin al sustrato que conforma el agujero de contacto. El elemento de cubierta cubre completamente el agujero de contacto. A modo de ejemplo, el módulo solar comprende dos elementos de cubierta que cubren o cierran completamente un respectivo agujero de contacto independiente y están fijados al sustrato. Los elementos de cubierta están configurados, por ejemplo, en forma de una placa. Preferiblemente, el elemento de cubierta está fijado al sustrato de modo que el agujero de contacto está cerrado por el elemento de cubierta de una manera hermética a y agua.

60 El al menos un elemento de cubierta dispone de dos piezas de contacto que están eléctricamente unidas cada una de ellas con uno de los dos elementos de contacto. En este caso, el al menos un elemento de cubierta puede contener un material eléctricamente conductor, estando unido el elemento de cubierta de manera eléctricamente

conductora con los dos elementos de contacto de modo que los dos elementos de contacto estén unidos cada uno de ellos de manera eléctricamente conductora con uno de los dos elementos de contacto a través del elemento de cubierta.

5 Preferiblemente, están previstos dos elementos de cubierta que están provistos, cada uno de ellos, de una pieza de contacto (correspondiente) que está unida de manera eléctricamente conductora con uno de los dos elementos de contacto. En esta ejecución del módulo solar los elementos de cubierta pueden estar constituidos cada uno de ellos al menos parcialmente, en particular por completo, por un material eléctricamente conductor o pueden contener un material eléctricamente conductor de esta clase, estando unido cada uno de los elementos de cubierta de una
10 manera eléctricamente conductora con un elemento de contacto (correspondiente) de modo que la pieza de contacto esté unida de manera eléctricamente conductora con el elemento de contacto a través del elemento de cubierta. A modo de ejemplo, el elemento de cubierta y la pieza de contacto pueden consistir en un material eléctricamente conductor, estando fijada la pieza de contacto al elemento de cubierta. En particular, el elemento de cubierta y la pieza de contacto pueden estar contruidos como una sola pieza o como un solo bloque. Asimismo, el módulo solar comprende al menos una caja de conexión que, abrazando al por lo menos un elemento de cubierta, está fijada al sustrato provisto del al menos un agujero de contacto y presenta dos contrapiezas de contacto que están unidas cada de ellas de manera eléctricamente conductora con una de las dos piezas de contacto en forma de una unión de enchufe. A modo de ejemplo, el módulo solar comprende dos elementos de cubierta y dos cajas de conexión, en cuyo caso las dos cajas de conexión, abrazando cada una de ellas a un elemento de cubierta independiente, están fijadas al sustrato y presentan una respectiva contrapieza de contacto que está unida de manera eléctricamente conductora con una de las dos piezas de contacto en forma de una unión de enchufe. Es esencial en este caso que las dos contrapiezas de contacto estén contruidas de modo que éstas, al fijar la al menos una caja de conexión al sustrato provisto del al menos un agujero de contacto, se pongan automáticamente en contacto eléctrico con la pieza de contacto correspondiente. El al menos un elemento de cubierta no es parte de la al menos una caja de
20 conexión, es decir que la caja o cajas de conexión y el elemento o elementos de cubierta son diferentes unas de otros.

La al menos una caja de conexión puede servir de base para un enchufe de conexión o una línea de conexión. Además, puede alojar otros elementos funcionales como diodos o una electrónica de control. La al menos una caja
30 de conexión se fabrica, por ejemplo, a base de un material eléctricamente aislante, ofreciéndose para una producción industrial los plásticos y elastómeros termoplásticos que se procesan por el método de fundición inyectada. Como plásticos y elastómeros termoplásticos se emplean, por ejemplo, poliamida, polioximetileno, politereftalato de butileno o caucho de etileno-propileno-dieno. Como alternativa, se pueden emplear también materiales de encapsulación, como sistemas de acrilato o de resina epoxídica, para fabricar la al menos una caja de
35 conexión. Sin embargo, es imaginable también que la al menos una caja de conexión se fabrique de metal u otro material eléctricamente conductor con insertos eléctricamente aislantes.

Por tanto, los dos terminales de tensión del módulo solar comprenden cada uno de ellos un elemento de contacto unido de manera eléctricamente conductora con las capas de electrodo frontal y/o dorsal, eventualmente un
40 conductor colector que contacta con las capas de electrodo frontal y/ dorsal, una pieza de contacto unida de manera eléctricamente conductora con el elemento de contacto y una contrapieza de contacto unida de manera eléctricamente conductora con dicha pieza de contacto. La contrapieza de contacto lleva generalmente conectado un conductor de conexión o un enchufe de conexión de la caja de conexión.

45 El módulo solar según la invención hace posibles de manera ventajosa un montaje automatizado sencillo y barato de la al menos una caja de conexión en el sustrato y también su unión eléctrica con las capas de electrodo frontal y/o dorsal para habilitar los dos terminales de tensión del módulo solar. En principio, la unión de enchufe entre la pieza de contacto y la contrapieza de contacto puede estar configurada de cualquier manera deseada, siempre que se posibilite una unión eléctrica por enchufado de la caja de conexión. Preferiblemente, con este fin, las piezas de
50 contacto están configuradas cada una de ellas como una clavija de contacto y las contrapiezas de contacto están configuradas cada una de ellas como un elemento de pinzado elástico para sujetar por pinzado la clavija de contacto.

Una fijación de la al menos una caja de conexión al sustrato provisto del al menos un agujero de contacto, en el lado dorsal o frontal del módulo solar, puede materializarse, por ejemplo, mediante pegadura, lo que tiene la ventaja de que, gracias a la unión pegada, se puede obtener herméticamente el interior de la caja de conexión contra gases, agua o humedad. En particular, los sitios de contacto eléctrico en el interior de la caja de conexión están así protegidos contra la corrosión. Para obtener una unión pegada puede estar prevista un cordón adhesivo o una cinta adhesiva con un pegamento a base de acrílico, poliuretano o poliisobutileno. Esta unión pegada con el sustrato puede efectuarse de una sencilla manera automatizada. Preferiblemente, la al menos una caja de conexión se pega sobre el lado dorsal del módulo.
60

En una ejecución ventajosa del módulo solar según la invención la al menos una caja de conexión está fijada al sustrato provisto del al menos un agujero de contacto por medio de las dos uniones eléctricas de enchufe entre las
65 piezas de contacto y las contrapiezas de contacto. En este caso, la fijación de la al menos una caja de conexión puede efectuarse por medio de las uniones eléctricas de enchufe, adicionalmente a su fijación independiente al

5 sustrato, por ejemplo, mediante pegadura, con lo que se puede mejorar la firme retención de la caja de conexión en el sustrato. Sin embargo, es alternativamente imaginable también que la al menos una caja de conexión se fije exclusivamente al sustrato por medio de las dos uniones eléctricas de enchufe, prescindiéndose de una fijación independiente de la caja de conexión, por ejemplo, mediante pegadura. Por tanto, el montaje y la conexión eléctrica de la al menos una caja de conexión pueden efectuarse de una manera especialmente sencilla mediante un simple enchufado de las contrapiezas de contacto sobre las piezas de contacto. A modo de ejemplo, están previstas dos cajas de conexión que pueden fijarse exclusivamente cada una de ellas al sustrato por enchufado de una contrapieza de contacto sobre una pieza de contacto.

10 Puede ser ventajosos que las uniones eléctricas de enchufe entre las piezas de contacto y las contrapiezas de contacto presenten un respectivo órgano de encastre de modo que la fijación de la al menos una caja de conexión pueda efectuarse por medio de una unión de encastre. Si las piezas de contacto están configuradas cada una de ellas como una clavija de contacto y las contrapiezas de contacto están configuradas cada una de ellas como un elemento de pinzado elástico para sujetar por pinzado la clavija de contacto, este órgano de pinzado puede materializarse de una manera especialmente sencilla, por ejemplo haciendo que un componente de la unión eléctrica de enchufe (pieza de contacto o contrapieza de contacto) esté provisto de al menos un saliente que, para realizar una fijación de enclavamiento de la caja de conexión, pueda encajar en una cavidad correspondiente del otro componente (contrapieza de contacto o pieza de contacto) de la unión eléctrica de enchufe.

20 En el módulo solar según la invención la al menos una caja de conexión puede fijarse mediante una unión adhesiva al sustrato provisto del al menos un agujero de contacto, pudiendo apantallarse el interior de la caja de conexión de una manera hermética a agua o vapor. Dado que la al menos una caja de conexión abraza al por lo menos un elemento de cubierta, se tiene que, gracias a esta medida, se puede apantallar igualmente el al menos un agujero de contacto de una manera hermética a agua o vapor. Se puede conseguir una mejora adicional de la hermeticidad a agua o vapor introduciendo en el al menos un agujero de contacto una masa de obturación que selle las células solares con respecto al ambiente exterior de una manera hermética a agua y vapor. La masa de obturación puede consistir, por ejemplo, en un pegamento a base de acrílico, poliuretano o poliisobutileno. Además, la masa de obturación puede servir para inmovilizar el respectivo elemento de contacto en el agujero de contacto a fin de mejorar aún más el montaje automatizado.

30 En el módulo solar según la invención el al menos un elemento de cubierta está fijado al sustrato correspondiente. Preferiblemente, se efectúa una fijación por medio de una unión mediada por material, especialmente mediante un cordón adhesivo o una cinta adhesiva con un pegamento a base de acrílico, poliuretano o poliisobutileno. Preferiblemente, se efectúa una unión entre el elemento de cubierta y el sustrato mediante soldadura por ultrasonidos. Por tanto, en la producción en serie se hace posible de manera sencilla y barata un montaje automatizado del al menos un elemento de cubierta en el sustrato. En cuanto a la automatización, es ventajoso que las dos piezas de contacto estén construidas cada una de ellas de modo que éstas, al fijar el al menos un elemento de cubierta al sustrato, entren automáticamente en contacto eléctrico con los elementos de contacto. La fijación del al menos un elemento de cubierta al sustrato está concebida preferiblemente de modo que el al menos un agujero de contacto esté cerrado de manera hermética a gas y agua.

45 Es ventajoso que las piezas de contacto estén unidas con el al menos un elemento de cubierta por medio de una respectiva unión soltable o desmontable (sin destrucción), por ejemplo, una unión atornillada. Por tanto, las piezas de contacto pueden adaptarse deliberadamente en cuanto a la respectiva aplicación, pudiendo producirse el elemento de cubierta (restante) como una pieza igual. Además, la pieza de contacto puede producirse a partir de un material diferente del elemento de cubierta restante.

50 La invención se extiende también a un método de fabricación automatizada de un módulo solar como el descrito más arriba, especialmente un módulo solar de capa delgada, que comprende los pasos siguientes:

- habilitar un conjunto laminado constituido por dos sustratos entre los cuales se encuentra una construcción estratificada que presenta una capa de electrodo frontal, una capa de electrodo dorsal y una capa semiconductor situada entre ellas para conformar una pluralidad de células solares conexas en serie;
- formar al menos un agujero de contacto en al menos un sustrato;
- disponer dos elementos de contacto en el al menos un agujero de contacto y unirlos de manera eléctricamente conductora con las capas de electrodo frontal y/o dorsal;
- fijar al sustrato al menos un elemento de cubierta que cubre (completamente) el al menos un agujero de contacto, especialmente de una manera hermética a gas y agua, presentando el al menos un elemento de cubierta dos piezas de contacto que se unen cada una de ellas de manera eléctricamente conductora con uno de los dos elementos de contacto;
- fijar al menos una caja de conexión, que abraza el al menos un elemento de cubierta, al sustrato provisto del al menos un agujero de contacto, presentando la al menos una caja de conexión dos contrapiezas de contacto que se ponen cada una de ellas en unión de enchufe eléctricamente conductora con una de las dos piezas de contacto.

A modo de ejemplo, se establece un contacto eléctrico con los dos elementos de contacto por medio del al menos un elemento de cubierta de tal modo que las dos piezas de contacto se unan cada una de ellas de manera eléctricamente conductora con uno de los dos elementos de contacto. En particular, pueden estar previstos dos elementos de cubierta que dispongan, cada uno de ellos, de una pieza de contacto, uniéndose cada pieza de contacto de manera eléctricamente conductora con un elemento de contacto (correspondiente). A modo de ejemplo, la pieza de contacto se une de manera eléctricamente conductora con el elemento de contacto (correspondiente) a través del elemento de cubierta.

Preferiblemente, los elementos de contacto se inmovilizan cada uno de ellos por medio de una masa de obturación introducida en el agujero de contacto y encargada de sellar las células solares con respecto al ambiente exterior de una manera hermética a agua y vapor, con lo que los elementos de contacto pueden ponerse en posición de una manera especialmente sencilla.

Preferiblemente, la al menos una caja de conexión se fija (por ejemplo exclusivamente) al sustrato provisto del al menos un agujero de contacto por enchufado de las contrapiezas de contacto sobre las piezas de contacto, con lo se posibilita un montaje especialmente sencillo de la caja de conexión.

Breve descripción de los dibujos

Se explicará ahora la invención con más detalle con ayuda de ejemplos de realización, haciéndose referencia a las figuras adjuntas. Muestran:

- La figura 1, una representación esquemática en corte de un módulo solar de capa delgada;
- La figura 2, otra representación esquemática en corte del módulo solar de capa delgada de la figura 1 en la zona de la caja de conexión;
- La figura 3, una representación esquemática de una variante del módulo solar de capa delgada de la figura 1;
- y
- La figura 4, una representación esquemática de otra variante del módulo solar de capa delgada de la figura 1.

Descripción detallada de los dibujos

Se considerará, en primer lugar, la figura 1 en la que se ilustra un módulo solar de capa delgada según la presente invención designado en conjunto con el número de referencia 1. Según esta representación, el módulo solar de capa delgada 1 comprende una pluralidad de células solares de capa delgada 2 conexas en serie una con otra en forma integrada, de las cuales se muestran dos a modo de ejemplo. Se sobrentiende que el módulo solar de capa delgada dispone generalmente de una multiplicidad (por ejemplo aproximadamente 100) de células solares de capa delgada 2.

El módulo solar de capa delgada 1 se basa aquí, por ejemplo, en la llamada configuración en sustratos. Este módulo comprende un sustrato de soporte eléctricamente aislante 7 con una construcción estratificada 6 aplicada sobre el mismo que está dispuesta en el lado frontal (III) de entrada de luz del sustrato de soporte 7. El sustrato de soporte 7 consiste aquí, por ejemplo, en vidrio o plástico, pudiendo utilizarse igualmente otros materiales aislantes con suficiente resistencia y con un comportamiento inerte frente a los pasos de proceso realizados. Dependiendo del respectivo espesor de capa y de las propiedades específicas del material, el sustrato de soporte 7 puede estar configurado como una placa rígida o una lámina flexible. A modo de ejemplo, el sustrato de soporte 7 puede estar construido en forma de una placa rígida de vidrio con una permeabilidad a la luz relativamente pequeña.

La construcción estratificada 6 se ha obtenido, por ejemplo, por evaporación sobre el sustrato de soporte 7 por medio de deposición química (CVD) o deposición física (PVD) a partir de la fase gaseosa o bombardeo iónico (pulverización catódica asistida por campos magnéticos). La construcción estratificada 6 comprende una capa de electrodo dorsal 9 dispuesta en el lado frontal (III) del sustrato de soporte 7. La capa de electrodo dorsal 9 contiene, por ejemplo, una capa de un material impermeable a la luz como molibdeno y se aplica, por ejemplo, por pulverización catódica sobre el sustrato de soporte 7. La capa de electrodo dorsal 9 tiene, por ejemplo, un espesor de aproximadamente 1 µm. En otra forma de realización la capa de electrodo dorsal 9 comprende una pila de capas individuales diferentes. Preferiblemente, la pila de capas contiene una barrera antidifusión para impedir una difusión de, por ejemplo, sodio del sustrato de soporte 7 en las capas depositadas sobre la capa de electrodo dorsal 9, las cuales forman una capa absorbidora fotovoltaicamente activa 8.

La capa absorbidora 8 contiene una capa semiconductor 10, por ejemplo p-dopada, especialmente un semiconductor de calcopirita p-conductor, tal como un compuesto del grupo de diseleniuro de cobre-indio (CuInSe₂), especialmente Cu(InGa)(SSe)₂ dopado con sodio (Na). Una conversión de los diferentes metales de la capa semiconductor en el material semiconductor se produce por calentamiento en un horno RTP (RTP = Rapid Thermal Processing). La capa semiconductor 10 tiene, por ejemplo, un espesor de 500 nm a 5 µm y especialmente de alrededor de 2 µm. Sobre la capa semiconductor 10 se ha depositado una capa tampón 11 que contiene aquí, por ejemplo, un estrato individual de sulfuro de cadmio (CdS) y un estrato individual de óxido de cinc intrínseco (i-ZnO). Sobre la capa tampón 11 se ha aplicado una capa de electrodo frontal 12, por ejemplo por evaporación. La capa de electrodo frontal 12 es transparente a la radiación en el dominio espectral sensible para la capa semiconductor 11 ("capa de ventana") a fin de garantizar un debilitamiento tan solo pequeño de la luz solar incidente. Generalizando, la

capa de electrodo frontal transparente 12 puede denominarse capa TCO (TCO = Transparent Conductive Electrode) y se basa en un óxido metálico dopado, por ejemplo óxido de cinc n-conductor dopado con aluminio (AZO). Se forma por la capa de electrodo frontal 12, la capa tampón 11 y la capa semiconductor 10 una heterotransición, es decir, una secuencia de capas de tipo de conducción opuesto. El espesor de la capa de electrodo frontal 12 es de, por ejemplo, 300 nm.

El sistema estratificado se ha subdividido con un método en sí conocido para fabricar un módulo solar 1 (de capa delgada) en zonas individuales fotovoltaicamente activas, es decir, células solares de cada delgada 2. La subdivisión se efectúa por medio de incisiones 13 utilizando una tecnología de estructuración adecuada, tal como inscripción con laser y tratamiento mecánico, por ejemplo por desbastado o rayado. Las células solares de capa delgada contiguas 2 están conexionadas en serie una con otra a través de una zona de electrodo 14 de la capa de electrodo dorsal 9.

En el ejemplo aquí representado tanto el terminal de tensión positivo (+) resultante como el terminal de tensión negativo (-) resultante 5 del módulo solar 1 se conducen hasta el lado dorsal (VI) del módulo solar de capa delgada 1 a través de la capa de electrodo dorsal 9 y se contactan allí eléctricamente, lo que se explicará con más detalle en relación con la figura 2.

Sobre la capa de electrodo frontal 12 está aplicada una capa intermedia 15 que está concebida, por ejemplo, como capa adhesiva termoplástica y contiene polivinilbutiral (PVB) o etileno-acetato de vinilo (EVA). El espesor de la capa intermedia 15 es de, por ejemplo, 0,76 mm. Para proporcionar protección contra las influencias del medio ambiente, la construcción estratificada compuesta del sustrato de soporte 7, la capa de electrodo dorsal 9 y la capa absorbidora fotovoltaicamente activa 8 está sellada, a través de la capa intermedia 15, con un sustrato de cubierta 16 configurado como un disco de cubierta que está pegado con su lado dorsal (II). La capa intermedia 15 se convierte por calentamiento en plásticamente deformable y, al enfriarse, une firmemente los dos sustratos 7, 16 uno con otro. El sustrato de cubierta 16 es transparente para la luz solar y contiene, por ejemplo, vidrio extrablancos templado con un pequeño contenido de hierro. El sustrato de cubierta 16 presenta, por ejemplo, una superficie de 1,6 m x 0,7 m. Las células solares de capa delgada 2 pueden ser irradiadas por luz incidente sobre el lado frontal (I) del sustrato de cubierta 16. En particular, el sustrato de cubierta 16 puede estar construido también como una lámina de plástico. En general, el sustrato de cubierta 16 sirve para fines de sellado y protección mecánica de la construcción estratificada 6.

Es conveniente que la zona marginal entre el sustrato de soporte 7 y el sustrato de cubierta 16 se selle periféricamente con un sellado marginal como barrera antidifusión de vapor, preferiblemente con un material plástico, por ejemplo poliisobutileno, para proteger la capa absorbidora fotovoltaicamente activa 8, sensible a la corrosión, contra el oxígeno del aire y la humedad.

Cabe considerar ahora la figura 2 en la que se muestra una representación esquemática en corte del módulo solar de capa delgada 1 en la zona de la caja de conexión 3. El módulo solar de capa delgada 1 dispone aquí, por ejemplo, de dos cajas de conexión 3, cada una de ellas para un terminal de tensión 5. Las dos cajas de conexión 3 sirven para un contactado eléctrico del módulo solar de capa delgada 1, por ejemplo para conexionarlo con otros módulos solares de capa delgada a fin de formar una ristra de módulos, o para la unión con una carga eléctrica, por ejemplo un inversor. A este fin, la caja de conexión 3 dispone, por ejemplo, de un cable de conexión 4. Igualmente, sería posible también equipar la caja de conexión 3 con un enchufe de conexión. La caja de conexión 3 se ha fabricado aquí, por ejemplo, como una pieza de fundición inyectada de plástico.

Para realizar una conexión eléctrica de la caja de conexión 3 a las células solares de capa delgada 2 se ha practicado en el sustrato de soporte 7 un agujero de contacto 17 a través del cual se crea acceso a un conductor colector 18 unido de manera eléctricamente conductora con la capa de electrodo dorsal 9. El conductor colector 18 posibilita de manera ventajosa un contactado en un sitio adecuado, por ejemplo en el borde del módulo.

En el agujero de contacto 17 está inserto un elemento de contacto elástico 19 elásticamente deformable, diferente del conductor colector 18 y hecho de un material eléctricamente conductor, por ejemplo acero para muelles, que está en contacto físico con el conductor colector 18. El elemento de contacto elástico 19 se encuentra al menos parcialmente dentro del agujero de contacto 17. Mediante una masa de obturación 20, que está distribuida por toda la superficie en la zona interior del agujero de contacto 17, se efectúa una inmovilización del elemento de contacto elástico 19 en el agujero de contacto 17. Gracias a la masa de obturación 20 se sellan el conductor colector 18 o las células solares de capa delgada 2 de una manera hermética a agua y vapor con respecto al ambiente exterior, con lo que se impide la entrada de moléculas de agua en el módulo solar de capa delgada 1. En principio, se puede elegir como masa de obturación 20 cualquier material que sea adecuado para inmovilizar el elemento de contacto elástico 19 y sirve de barrera antiagua y antivapor. A modo de ejemplo, puede utilizarse con este fin una masa de obturación de poliisobutileno.

En la zona de agujero de contacto 17 está fijado un elemento de cubierta 21 en el lado dorsal (IV) del sustrato de soporte 7. El elemento de cubierta 21 comprende una base 22 de forma de placa y una clavija de contacto 23 conformada en ella que, aproximadamente en el centro, sobresale verticalmente de la base 22 en el lado alejado del

agujero de contacto 17. La base 22 cubre o cierra completamente el agujero de contacto 17, con lo que el agujero de contacto 17 está cerrado de manera hermética a gas y agua. Mediante soldadura por ultrasonidos del lado inferior de la base 22 con el sustrato de soporte 7 se efectúa una fijación del elemento de cubierta 21 en el lado dorsal (IV) del sustrato de soporte 7, con lo que se forma la zona de soldadura anularmente periférica 30.

El elemento de cubierta 21 se ha fabricado como una sola pieza o un solo bloque a base de un material metálico, habiéndose elegido aquí, por ejemplo, aluminio, cuya dureza relativamente pequeña posibilita bien una soldadura por ultrasonidos. Además, el elemento de cubierta 21 puede fabricarse a bajo coste por el método de fundición. El elemento de cubierta 21 es diferente de la caja de conexión 3 es decir que no es una pieza o parte integrante o sección de la caja de conexión 3.

Cuando el elemento de cubierta 21 no está montado, el elemento de contacto elástico 19 sobresale un poco del agujero de contacto 17, con lo que el elemento de contacto elástico 19 se deforma elásticamente al asentar la base 22 del elemento de cubierta 21 sobre el sustrato de soporte 7. Gracias al apoyo cargado por muelle se puede garantizar un buen contacto eléctrico entre el elemento de cubierta 21 o la clavija de contacto 23 y el elemento de contacto elástico 19. Después del montaje del elemento de cubierta 21 el elemento de contacto elástico 19 se encuentra completamente dentro del agujero de contacto 17.

La caja de conexión 3 está provista, en su interior, de un elemento de pinzado elástico 24 que consta de dos muelles metálicos curvados 25 que están dispuestos de modo que puedan alojar entre ellos a la clavija de contacto 23 con una fuerza de pinzado. Al asentar la caja de conexión 3 sobre el lado dorsal (IV) del sustrato de soporte 7 se puede enchufar y aprisionar la clavija de contacto 23 de manera sencilla entre los dos muelles metálicos 25. A este fin, la caja de conexión 3, en su lado inferior vuelto hacia el sustrato de soporte 7, está provista de una escotadura 28 que aloja a la base 22 y una abertura 27 formada en ella para la clavija de contacto 23. Preferiblemente, los dos muelles metálicos 25 ejercen una fuerza de pinzado tal que, al enchufar la clavija de contacto 23 en el elemento de pinzado elástico 24, se retira al menos parcialmente una capa de óxido formada en la clavija de contacto 23 consistente en aluminio. Sin embargo, es imaginable también que la clavija de contacto 23 no esté metálicamente desnuda, sino que, para protegerla contra la oxidación y la corrosión, puede estar recubierta con una capa protectora de un barniz o una película de plástico que se retira al enchufarla en el elemento de pinzado elástico 24.

La caja de conexión 3 abraza al elemento de cubierta 21. El elemento de pinzado elástico 24 está conectado eléctricamente al cable de conexión 4 (o a un enchufe de conexión), lo que no se representa explícitamente en la figura 2.

Se efectúa una fijación de la caja de conexión 3 al sustrato de soporte 7, en el lado inferior de la caja de conexión 3, mediante una capa adhesiva anularmente periférica 26 que consiste, por ejemplo, en un pegamento de acrilato o poliuretano. Aparte de una unión sencilla y duradera, estos pegamentos desarrollan una función de obturación y protegen los componentes eléctricos contenidos contra la humedad y la corrosión. En una ejecución alternativa se fija la caja de conexión 3 al sustrato de soporte 7 mediante exclusivamente la acción de pinzado entre la clavija de contacto 23 y el elemento de pinzado elástico 24, prescindiéndose de una capa adhesiva 26.

Por tanto, la caja de conexión 3 puede fijarse al sustrato de soporte 7 y conectarse eléctricamente al conductor colector 18 de una sencilla manera automatizada. A este fin, se introduce primero (después de formar el agujero de contacto 17) el elemento de contacto elástico 19 en el agujero de contacto 17 y se le inmoviliza allí en contacto eléctrico con el conductor colector 18 por medio de la masa de obturación 20. A continuación, se asienta la base 22 del elemento de cubierta 21 sobre el lado dorsal (IV) del sustrato de soporte 7 y se la inmoviliza mediante soldadura por ultrasonidos. El elemento de cubierta 21 o la clavija de contacto 23 entra entonces automáticamente en contacto eléctrico con el elemento de contacto elástico 19. Asimismo, la caja de conexión 3 se asienta sobre el lado dorsal (IV) del sustrato de soporte 7, enchufándose la clavija de contacto 23 en elemento de pinzado elástico 24. Gracias a la capa adhesiva 26 previamente aplicada sobre la caja de conexión 3 y/o el lado dorsal (IV) del sustrato de soporte 7 se fija la caja de conexión 3 al sustrato de soporte 7. Como alternativa, se efectúa la fijación por medio de solamente la unión de enchufe entre la clavija de contacto 23 y el elemento de pinzado elástico 24.

La construcción mostrada en la figura 2 comprende tres medidas con las cuales las células solares de capa delgada 2 están protegidas contra la entrada de agua y vapor. Éstas son la masa de obturación 20 en el agujero de contacto 17, la zona de soldadura 30 entre la base 22 y el sustrato de soporte 7, y la capa adhesiva 26 entre la caja de conexión 3 y el sustrato de soporte 7. Se puede evitar así una entrada de moléculas de agua de una manera fiable y segura.

Como ya se ha explicado, el módulo solar de capa delgada 1 comprende dos cajas de conexión 3 que están asociadas cada una de ellas a un terminal de tensión 5. Aunque esto no se muestra en la figura 2, sería igualmente posible que esté prevista una única caja de conexión 3 para los dos terminales de tensión 5. En este caso, habría que cuidar de que se evite una descarga eléctrica disruptiva entre los dos elementos de pinzado elásticos 24, lo que puede conseguirse, por ejemplo, por medio de un tabique aislante. Asimismo, sería posible que esté previsto solamente un único elemento de cubierta 21 que disponga entonces, de manera correspondiente, de dos secciones que estén asociadas cada una de ellas a un elemento de contacto elástico 19 y estén eléctricamente aisladas una

respecto de otra. Sería posible también que esté previsto solamente un único agujero de contacto 17 en el que estén dispuestos los dos elementos de contacto elásticos 19 de los dos terminales de tensión 5, quedando aislados eléctricamente uno respecto de otro.

5 En la figura 3 se ilustra una variante del módulo solar de capa delgada 1 de las figuras 1 y 2. Para evitar repeticiones innecesarias se discutirán únicamente las diferencias con respecto a este módulo solar de capa delgada 1 y, por lo demás, se hará referencia a las explicaciones allí ofrecidas.

10 Según esta variante, la base 22 del elemento de cubierta 21 no se ha fijado al sustrato de soporte 7 mediante soldadura por ultrasonidos, sino con un adhesivo 29. El adhesivo 29 es, por ejemplo, una capa adhesiva o una cinta adhesiva de doble cara con un pegamento a base de acrílico, poliuretano o poliisobutileno.

15 En la figura 4 se ilustra otra variante del módulo solar de capa delgada 1 de las figuras 1 y 2, discutiéndose de nuevo únicamente las diferencias con respecto al primer ejemplo de realización.

20 En esta ejecución el elemento de cubierta 21 no está construido como una sola pieza o un solo bloque, sino que se compone de una base 22 de forma de placa que está provista aquí de un taladro roscado 31 en el que está atornillada la clavija de contacto 23 por medio de un zócalo roscado 32. Según la aplicación, esto permite una deliberada adaptación de la clavija de contacto 23. Además, los materiales de la base 22 y la clavija de contacto 23 pueden ser diferentes uno de otro. En particular, la base 22 puede consistir también en un material eléctricamente aislante. La base 22 está pegada sobre el sustrato de soporte 7 por un adhesivo anularmente periférico 29 (pegamento termofusible). Cuando se fija la base 22 al sustrato de soporte 7, la clavija de contacto 23 entra en contacto eléctrico directo con el elemento de contacto elástico 19.

25 La invención proporciona un módulo solar, especialmente un módulo solar de capa delgada, que posibilita en la producción industrial en serie un montaje automatizado sencillo y barato de las cajas de conexión en agujeros de contacto y su conexión a la capa o capas de electrodo de las células solares. Se puede impedir de manera fiable y segura la difusión de moléculas de agua en los agujeros de contacto.

30 Lista de símbolos de referencia

1	Módulo solar de capa delgada
2	Célula solar de capa delgada
3	Caja de conexión
4	Cable de conexión
35	5 Terminal de tensión
	6 Construcción estratificada
	7 Sustrato de soporte
	8 Capa absorbedora
	9 Capa de electrodo dorsal
40	10 Capa semiconductor
	11 Capa tampón
	12 Capa de electrodo frontal
	13 Incisión
	14 Zona de electrodo
45	15 Capa intermedia
	16 Sustrato de cubierta
	17 Agujero de contacto
	18 Conductor colector
	19 Elemento de contacto elástico
50	20 Masa de obturación
	21 Elemento de cubierta
	22 Base
	23 Clavija de contacto
	24 Elemento de pinzado elástico
55	25 Muelle metálico
	26 Capa adhesiva
	27 Abertura
	28 Escotadura
	29 Adhesivo
60	30 Zona de soldadura
	31 Taladro roscado
	32 Zócalo roscado

REIVINDICACIONES

1. Módulo solar (1), especialmente módulo solar de capa delgada, que comprende:

5 - un conjunto laminado constituido por dos sustratos (7, 16) entre los cuales se encuentra una construcción
 estratificada (6) que presenta una capa de electrodo frontal (12), una capa de electrodo dorsal (9) y una capa
 semiconductor intercalada (10) para conformar una pluralidad de células solares (2) conexas en serie,
 - dos elementos de contacto (19) que están unidos de manera eléctricamente conductora con las capas de
 10 electrodo frontal y/o dorsal (9, 12), estando dispuesto cada uno de los elementos de contacto en al menos un
 agujero de contacto (17) de al menos un sustrato (7, 16),
 - al menos un elemento de cubierta (21) que está fijado al sustrato (7) provisto del al menos un agujero de
 contacto (17) y que cierra el al menos un agujero de contacto (17),
 - dos piezas de contacto (23) que están unidas con el al menos un elemento de cubierta (21) y que están
 15 unidas cada una de ellas de manera eléctricamente conductora con los dos elementos de contacto (19),
 - al menos una caja de conexión (3) que, abrazando al por lo menos un elemento de cubierta (21), está fijada
 al sustrato (7) provisto del al menos un agujero de contacto (17) y presenta dos contrapiezas de contacto (24)
 que están unidas cada de ellas de manera eléctricamente conductora con una de las dos piezas de contacto
 (23) en forma de una unión de enchufe.

20 2. Módulo solar (1) según la reivindicación 1, en el que los dos elementos de contacto (19) están unidos cada uno de
 ellos de manera eléctricamente conductora con las capas de electrodo frontal y/o dorsal (9, 12) a través de un
 conductor colector (18) de forma de tira.

25 3. Módulo solar (1) según cualquiera de las reivindicaciones 1 ó 2, en el que los dos elementos de contacto (19)
 están configurados cada uno de ellos como un elemento de contacto elástico elásticamente deformable.

30 4. Módulo solar (1) según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, en el que las piezas de contacto (23) están
 configuradas cada una de ellas como una clavija de contacto y las contrapiezas de contacto (24) están configuradas
 cada una de ellas como un elemento de pinzado elástico.

5. Módulo solar (1) según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, en el que la al menos una caja de conexión (3)
 está fijada al sustrato (7) provisto del al menos un agujero de contacto (17) por medio de las uniones eléctricas de
 enchufe entre las piezas de contacto (23) y las contrapiezas de contacto (24).

35 6. Módulo solar (1) según la reivindicación 5, en el que las uniones eléctricas de enchufe entre las piezas de
 contacto (23) y las contrapiezas de contacto (24) presentan un respectivo órgano de encastre.

40 7. Módulo solar (1) según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, en el que está introducida en el al menos un
 agujero de contacto (17) una masa de obturación (20) que sella las células solares (2) con respecto al ambiente
 exterior de una manera hermética a agua y vapor.

8. Módulo solar (1) según la reivindicación 7, en el que los elementos de contacto (19) están inmovilizados en el al
 menos un agujero de contacto (17) por medio de la masa de obturación (20).

45 9. Módulo solar (1) según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8, en el que el al menos un elemento de cubierta
 (21) está fijado al sustrato (7) provisto del al menos un agujero de contacto (17) con ayuda de una unión mediada
 por material.

50 10. Módulo solar según la reivindicación 9, en el que la unión mediada por material entre el elemento de cubierta
 (21) y el sustrato (7) está materializada de manera que se extiende alrededor del agujero de contacto (17).

55 11. Módulo solar según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 10, en el que las piezas de contacto (23) están
 construidas cada una de ellas de modo que éstas, al fijar el al menos un elemento de cubierta (21) al sustrato (7)
 provisto del al menos un agujero de contacto (17), entran automáticamente en contacto eléctrico con los elementos
 de contacto (19).

60 12. Módulo solar (1) según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 11, en el que las piezas de contacto (23) están
 unidas con el al menos un elemento de cubierta (21) por medio de una respectiva unión soltable, por ejemplo una
 unión atornillada.

13. Método de fabricación automatizada de un módulo solar (1), especialmente un módulo solar de capa delgada,
 que comprende los pasos siguientes:

65 - habilitar un conjunto laminado constituido por dos sustratos (7, 16) entre los cuales se encuentra una
 construcción estratificada (6) que presenta una capa de electrodo frontal (12), una capa de electrodo dorsal

(9) y una capa semiconductor intercalada (10) para conformar una pluralidad de células solares (2) conexas en serie;

- formar al menos un agujero de contacto (17) en al menos un sustrato (7);

5 - disponer dos elementos de contacto (19) en el al menos un agujero de contacto (17) y unirlos de manera eléctricamente conductora con las capas de electrodo frontal y/o dorsal (9, 12);

- fijar al sustrato al menos un elemento de cubierta (21) que cubre el al menos un agujero de contacto (17), presentando el al menos un elemento de cubierta (21) dos piezas de contacto (23) que se unen cada una de ellas de manera eléctricamente conductora con uno de los dos elementos de contacto (19);

10 - fijar al menos una caja de conexión (3), que abraza el al menos un elemento de cubierta (21), al sustrato (7) provisto del al menos un agujero de contacto (17), presentando la al menos una caja de conexión (3) dos contrapiezas de contacto (24) que se ponen cada una de ellas en unión de enchufe eléctricamente conductora con una de las dos piezas de contacto (23).

15 14. Método según la reivindicación 13, en el que los elementos de contacto (19) se inmovilizan cada uno de ellos por medio de una masa de obturación (20) introducida en el agujero de contacto (17) y encargada de sellar las células solares (2) con respecto al ambiente exterior de una manera hermética a agua y vapor.

20 15. Método según cualquiera de las reivindicaciones 13 o 14, en el que la al menos una caja de conexión (3) se fija al sustrato (7) provisto del al menos un agujero de contacto (17) por enchufado de las contrapiezas de contacto (24) sobre las piezas de contacto (23).

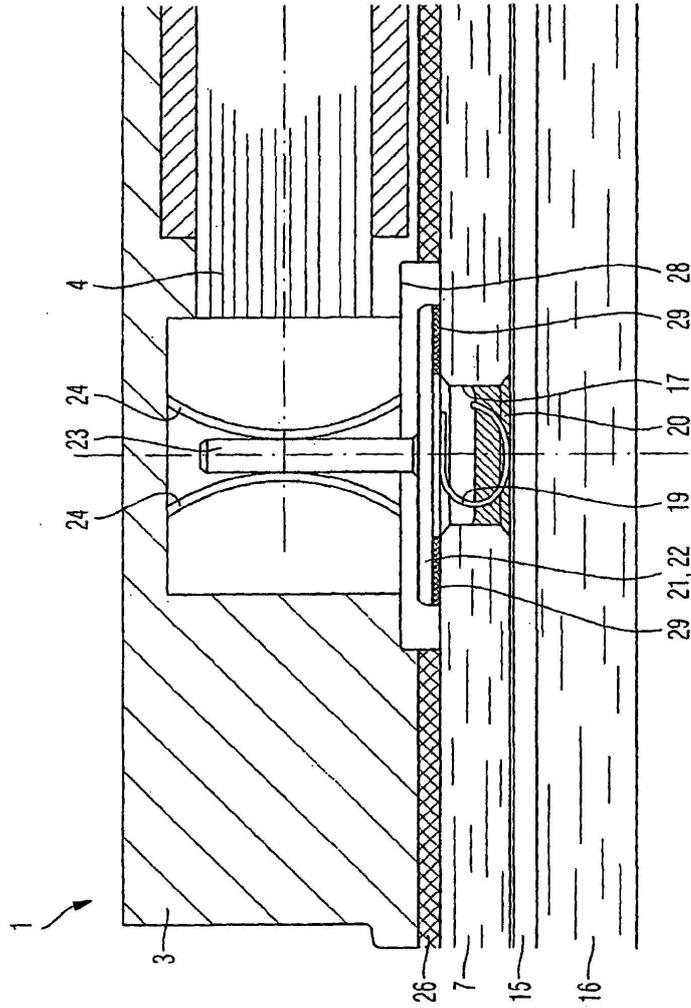


Fig. 3

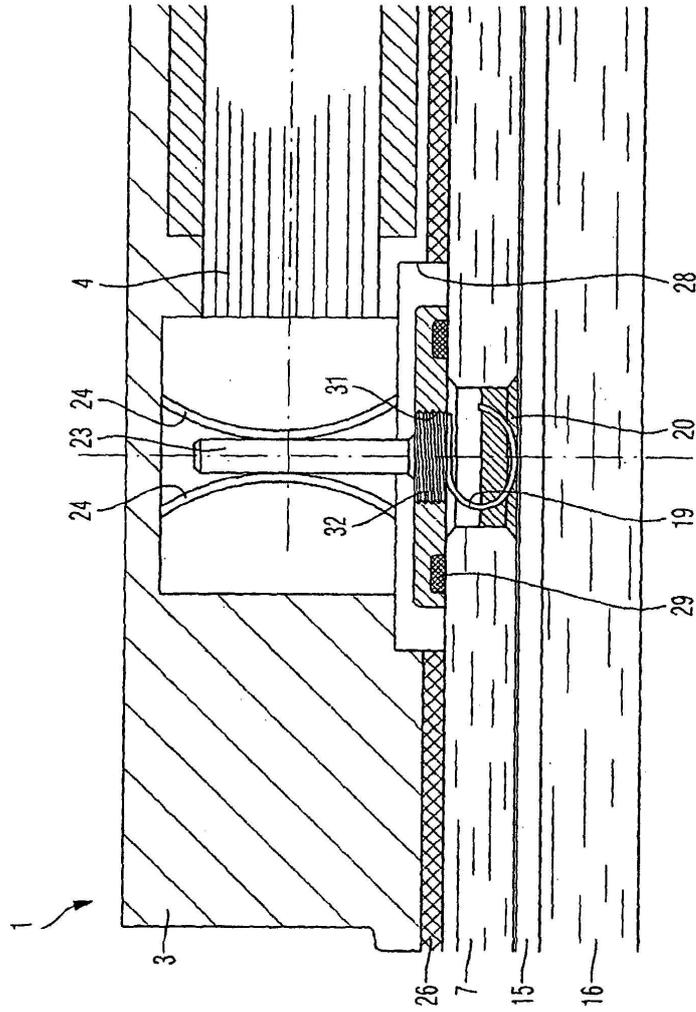


Fig. 4