

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 964 990**

51 Int. Cl.:

G01K 7/16 (2006.01)

H02S 50/10 (2014.01)

G01K 7/42 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **12.09.2019** **PCT/EP2019/074317**

87 Fecha y número de publicación internacional: **02.04.2020** **WO20064344**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **12.09.2019** **E 19778826 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **02.08.2023** **EP 3844465**

54 Título: **Dispositivo fotovoltaico con envejecimiento reducido**

30 Prioridad:

27.09.2018 DE 102018216607

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
10.04.2024

73 Titular/es:

SIEMENS ENERGY GLOBAL GMBH & CO. KG
(100.0%)
Otto-Hahn-Ring 6
81739 München, DE

72 Inventor/es:

FLEISCHER, MAXIMILIAN;
POHLE, ROLAND;
SIMON, ELFRIEDE y
VON SICARD, OLIVER

74 Agente/Representante:

CARVAJAL Y URQUIJO, Isabel

ES 2 964 990 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

Dispositivo fotovoltaico con envejecimiento reducido

La invención se refiere a un dispositivo fotovoltaico que comprende una célula fotovoltaica de perovskita y, en particular, al envejecimiento de dicha célula fotovoltaica de perovskita.

5 La generación de energía solar mediante energía fotovoltaica (FV) está contribuyendo cada vez más a la producción de electricidad, por ejemplo, en Europa Central, por motivos medioambientales y cada vez más también económicos. Ya se ha instalado un gran número de sistemas fotovoltaicos en todo el mundo, que se basan principalmente en enfoques convencionales con células fotovoltaicas a base de silicio, en las que el componente sensible a la luz de la célula fotovoltaica, que proporciona una tensión eléctrica U_1 cuando se irradia con luz L , es decir, que convierte la luz

10 L que incide sobre la célula fotovoltaica en una tensión eléctrica de salida U_1 , consiste esencialmente en silicio. Sin embargo, desde hace algunos años, se investigan los llamados materiales de perovskita, como $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3$ (o más generalmente $(\text{CH}_3\text{NH}_3)\text{MX}_3\text{-xYx}$ (donde $\text{M}=\text{Pb}$ o Sn y $\text{X}, \text{Y}=\text{I}, \text{Br}$ o Cl)), para su uso en células fotovoltaicas, que, debido a sus propiedades optoelectrónicas, permiten una conversión muy eficiente de la energía de radiación electromagnética en energía eléctrica. Las células fotovoltaicas a base de perovskita, es decir, las células fotovoltaicas

15 cuyos componentes sensibles a la luz consisten esencialmente en un material de perovskita, se caracterizan, por un lado, por ser comparativamente baratas. Por otro lado, las células fotovoltaicas de perovskita representan una alternativa seria a las células fotovoltaicas convencionales a base de silicio, ya que los progresos realizados en los últimos años en lo que respecta a su eficiencia, en la que influye la denominada "eficiencia de fotoconversión" (PCE), de unos pocos puntos porcentuales a más del 20 % en la actualidad, indican que se pueden alcanzar eficiencias que superan significativamente las de las células fotovoltaicas convencionales. Es posible utilizar una célula fotovoltaica Rowskit sola o en un módulo fotovoltaico en tándem, por ejemplo, en combinación con una célula fotovoltaica de silicio convencional. Esto último se describe, por ejemplo, en el documento PCT/EP2018/055499. El documento DE 10 2017 205 524 A1 divulga también una célula fotovoltaica de perovskita en un módulo fotovoltaico en tándem en el que la temperatura de las células se mide con ayuda de un sensor de temperatura. El documento DE 35 16 876 A1 divulga

20 una célula fotovoltaica en la que la temperatura interna de la célula se deriva de una medición de la tensión de circuito abierto. El documento US2011/036344A1 describe un sistema fotovoltaico con células fotovoltaicas cuya temperatura se controla mediante un sensor. Si la temperatura medida supera un umbral predeterminado, las condiciones de funcionamiento de la célula fotovoltaica se ajustan para que la temperatura interna de la célula fotovoltaica disminuya. Proskuryakov et al. 2007: "Impedance spectroscopy of unetched CdTe/CdS solar cells-equivalent Circuit analysis" divulga una investigación de ciertas propiedades de las células solares utilizando espectroscopia de impedancia a diferentes temperaturas. Bag et al. 2015: "Kinetics of Ion Transport in Perovskite Active Layers and its Implications for Active Layer Stability" divulga una investigación de la dependencia de la temperatura de varios parámetros eléctricos, como la impedancia y la conductividad, de células fotovoltaicas de perovskita.

Sin embargo, a pesar de su prometedor desarrollo, las células fotovoltaicas de perovskita están sujetas al problema de que su eficiencia o grado de acción no es constante. En particular, se ha descubierto que la eficiencia de una célula fotovoltaica de perovskita es sensible a las altas temperaturas debido a su típica falta de estabilidad térmica, en otras palabras, la eficiencia de una célula fotovoltaica de perovskita disminuye al aumentar la temperatura. Sin embargo, la falta de estabilidad térmica no solo afecta a la célula fotovoltaica de perovskita a corto plazo. Las tensiones térmicas también provocan un envejecimiento acelerado de la célula fotovoltaica de perovskita, que puede dar lugar, por

35 ejemplo, a la degradación del material de perovskita subyacente al componente sensible a la luz, así como a la migración de iones y/o la formación de defectos en el componente sensible a la luz. Cada uno de estos efectos influye negativamente en las propiedades optoelectrónicas del material del componente sensible a la luz, de modo que los parámetros que caracterizan a la célula fotovoltaica, como la tensión de circuito abierto, la intensidad de la corriente de cortocircuito y, en última instancia, la eficiencia, para la que sirve de medida la denominada "eficiencia de conversión fotónica" (ECF), se deterioran a medio y largo plazo.

Es, por lo tanto, un objeto de la presente invención reducir el envejecimiento a medio y largo plazo de la célula fotovoltaica de perovskita.

Esta tarea se resuelve mediante el dispositivo fotovoltaico descrito en la reivindicación 1 y el procedimiento operativo descrito en la reivindicación 8. Las subreivindicaciones describen realizaciones ventajosas.

50 El dispositivo fotovoltaico presenta una célula fotovoltaica de perovskita para convertir la luz que incide en la célula fotovoltaica de perovskita en una tensión eléctrica de salida U_1 , que puede tomarse en los terminales eléctricos de la célula fotovoltaica de perovskita, y un dispositivo para controlar la temperatura interna instantánea $T(t_1)$ de la célula fotovoltaica de perovskita y para iniciar una medida correspondiente para reducir la temperatura interna si esta supera el umbral de temperatura T_S . En este contexto, la disposición está configurada para determinar una medida de la

55 temperatura interna T de la célula fotovoltaica de perovskita y, con este fin, medir un parámetro eléctrico PARAM de la célula fotovoltaica de perovskita al menos en un estado de medición del dispositivo fotovoltaico y determinar la medida de la temperatura interna instantánea $T(t_1)$ de la célula fotovoltaica de perovskita a partir del parámetro medido PARAM(t_1).

Según la invención, la disposición está dispuesta para comparar la medida determinada de la temperatura interna

instantánea T de la célula fotovoltaica de perovskita con un valor umbral TS y, en el caso particular de que la medida determinada de la temperatura interna instantánea T supere el valor umbral TS, para ajustar las condiciones de funcionamiento de la célula fotovoltaica de perovskita de manera que la temperatura interna disminuya. De este modo, se evitan daños y/o el envejecimiento prematuro o acelerado de la célula fotovoltaica de perovskita debido a temperaturas internas excesivas de la célula fotovoltaica de perovskita.

En un procedimiento para hacer funcionar dicho dispositivo fotovoltaico con el objetivo último de ralentizar el envejecimiento de la célula fotovoltaica de perovskita del dispositivo fotovoltaico, el parámetro eléctrico de la célula fotovoltaica de perovskita se mide así en el estado de medición del dispositivo fotovoltaico y la medida de la temperatura interna instantánea de la célula fotovoltaica de perovskita se determina a partir del parámetro medido.

La formulación utilizada aquí y en lo sucesivo de que debe determinarse una "medida" para la temperatura interna incluye naturalmente la especialidad de que no solo se determina la medida para la temperatura, sino realmente la temperatura misma. Para la aplicación que aquí se pretende, de hecho no es absolutamente necesario que exista una temperatura absoluta, ya que, como se describirá a continuación, depende de la comparación con un valor umbral TS. Siempre que este valor umbral TS también esté adecuadamente dimensionado o escalado, basta con poder recurrir únicamente a una medida de la temperatura interna.

Para garantizar un funcionamiento altamente eficiente de la célula fotovoltaica de perovskita a medio y largo plazo, los parámetros mencionados con anterioridad que influyen en el envejecimiento deben controlarse y evitarse en la medida de lo posible. En este caso, se tiene especialmente en cuenta la temperatura interna de la célula fotovoltaica de perovskita, es decir, la temperatura dentro de la célula fotovoltaica de perovskita, por ejemplo, la del componente sensible a la luz. La temperatura interna influye considerablemente en el rendimiento y la estabilidad a largo plazo de las células fotovoltaicas de perovskita. Sin embargo, todavía no es posible medir directamente la temperatura interna con los medios habituales, ya que no se dispone de células fotovoltaicas con sensores de temperatura integrados.

Por consiguiente, se persigue el concepto de utilizar el efecto de la temperatura sobre determinados parámetros eléctricos de la célula fotovoltaica de perovskita para deducir la temperatura. Se supone que los parámetros eléctricos determinados y su cambio son una medida de la temperatura interna instantánea de la célula fotovoltaica de perovskita. El enfoque subyacente al concepto es que la monitorización y el correspondiente control de la célula fotovoltaica con el objetivo de reducir la degradación de la célula fotovoltaica de perovskita puede realizarse sin tener que cambiar físicamente la propia célula fotovoltaica.

En consecuencia, el procedimiento de funcionamiento prevé que la medida determinada de la temperatura interna instantánea T de la célula fotovoltaica de perovskita se compare con un valor umbral TS y que, en el caso particular en el que la medida determinada de la temperatura interna instantánea T supere el valor umbral TS, se ajusten las condiciones de funcionamiento de la célula fotovoltaica de perovskita para que disminuya la temperatura interna. En el caso particular, una corriente I1 resultante a una tensión de salida U1 de la célula fotovoltaica de perovskita se reduce ajustando la resistencia de entrada de una electrónica de potencia del dispositivo fotovoltaico.

Por ejemplo, la magnitud medida PARAM que, sin la conversión correspondiente, no representa todavía una temperatura, sino que es solo una medida de la temperatura, puede compararse con un valor umbral TS, para el que vale lo mismo, es decir, que no representa una temperatura real, sino que es solo una medida de la misma.

La disposición está dispuesta, además, para hacer funcionar la electrónica de potencia del dispositivo fotovoltaico, que, al menos en un estado de funcionamiento normal del dispositivo fotovoltaico, convierte la tensión eléctrica de salida U1 proporcionada por la célula fotovoltaica de perovskita cuando está iluminada con luz L en una tensión de salida U2 que puede tomarse en una salida A de la electrónica de potencia, de tal manera que, en un caso específico, una corriente I1 eléctrica resultante en una tensión de salida U1 de la célula fotovoltaica de perovskita se reduce adaptando una resistencia de entrada de la electrónica de potencia del dispositivo fotovoltaico.

Debido a la corriente reducida, hay menos pérdidas óhmicas y, por lo tanto, menos generación de calor. A medio y largo plazo, esto hace que la célula fotovoltaica de perovskita envejezca más lentamente.

La disposición para determinar la medida de la temperatura interna instantánea T de la célula fotovoltaica de perovskita comprende una fuente de energía eléctrica y una unidad de control del dispositivo fotovoltaico, que se proporciona básicamente para operar el dispositivo fotovoltaico y que también puede operar la fuente de energía dentro de este marco. La unidad de control está configurada para operar la fuente de energía en el estado de medición de tal manera que, para medir el parámetro eléctrico PARAM a través de las conexiones eléctricas de la célula fotovoltaica de perovskita y alimentada desde la fuente de energía eléctrica, se aplica una tensión eléctrica predeterminable a la célula fotovoltaica de perovskita y, en particular, a su componente sensible a la luz, para medir una respuesta I1 de la célula fotovoltaica de perovskita a la tensión aplicada y determinar el parámetro eléctrico PARAM a partir de la respuesta I1 en conjunción con la tensión aplicada, de manera que pueda concluirse la medición de la temperatura interna.

La fuente de energía eléctrica es idealmente una fuente de energía que ya se prevé en la electrónica de potencia, por ejemplo, una batería o un condensador.

En este caso, la disposición para determinar la medida de la temperatura interna instantánea de la célula fotovoltaica

de perovskita comprende la mencionada electrónica de potencia del dispositivo fotovoltaico y la unidad de control del dispositivo fotovoltaico, que también está configurada para operar la electrónica de potencia. En particular, la unidad de control está configurada para operar la electrónica de potencia en el estado de medición de tal manera que, para medir el parámetro eléctrico, la electrónica de potencia aplica una tensión eléctrica predeterminable a la célula fotovoltaica de perovskita y, en particular, a su componente sensible a la luz a través de las conexiones eléctricas de la célula fotovoltaica de perovskita y alimentada desde la fuente de energía eléctrica integrada en la electrónica de potencia, puede medirse una respuesta I1 de la célula fotovoltaica de perovskita a la tensión aplicada y el parámetro eléctrico PARAM puede determinarse a partir de la respuesta I1 en conjunción con la tensión aplicada y, de este modo, puede inferirse la medida de la temperatura interna.

Por consiguiente, el procedimiento de funcionamiento prevé que, para medir el parámetro eléctrico PARAM, se aplique una tensión eléctrica predeterminable a la célula fotovoltaica de perovskita y, en particular, a su componente sensible a la luz, se mida una respuesta I1 de la célula fotovoltaica de perovskita a la tensión aplicada y se determine el parámetro eléctrico PARAM a partir de la respuesta I1 en conjunción con la tensión aplicada, pudiendo deducirse así la medida de la temperatura interna. La fuente de energía eléctrica es idealmente una fuente de energía que ya se prevé en la electrónica de potencia, por ejemplo, una batería o un condensador, es decir, la electrónica de potencia es el componente que lleva a cabo los pasos anteriores.

La monitorización de la temperatura interna puede, por lo tanto, llevarse a cabo utilizando los componentes del dispositivo fotovoltaico que están presentes de todos modos.

El parámetro eléctrico puede ser, por ejemplo, una impedancia de la célula fotovoltaica de perovskita o un voltamperograma cíclico que puede determinarse utilizando el procedimiento de voltamperometría cíclica, en este último caso en particular un pico del voltamperograma cíclico medido.

La medida deseada de la temperatura interna instantánea, y aquí en particular la propia temperatura interna instantánea, puede determinarse a partir del parámetro eléctrico medido, es decir, a partir de la impedancia y/o del voltamperograma cíclico, sobre la base de un modelo. El modelo subyacente, que describe la relación entre el parámetro medido y la temperatura interna asociada, es idealmente específico para la célula fotovoltaica de perovskita individual, es decir, pueden aplicarse diferentes modelos a diferentes células fotovoltaicas de perovskita. Sin embargo, cabe suponer que los modelos para células fotovoltaicas de perovskita comparables son bastante similares entre sí. En consecuencia, por razones de viabilidad, podría utilizarse un mismo modelo para células fotovoltaicas de perovskita de la misma serie o con los mismos datos técnicos.

Alternativamente, también es posible determinar la medida de la temperatura interna instantánea a partir del parámetro eléctrico medido utilizando una tabla de consulta asociada a la célula fotovoltaica de perovskita.

Mediante la monitorización de la temperatura interna actual o de una medida de la temperatura interna de la célula fotovoltaica de perovskita, se puede evitar el sobrecalentamiento de la célula fotovoltaica de perovskita y, por lo tanto, el envejecimiento acelerado mediante la adopción de las medidas adecuadas. La monitorización de la temperatura y/o la ejecución de las medidas pueden llevarse a cabo ventajosamente mediante la electrónica de potencia ya existente en conexión con la unidad de control del dispositivo fotovoltaico, de modo que no sea necesario instalar componentes adicionales.

Otras ventajas y realizaciones se desprenderán de los dibujos y de la descripción correspondiente.

Con respecto a las expresiones “para operar el dispositivo fotovoltaico” o “que la unidad de control está dispuesta para operar el dispositivo fotovoltaico”, etc., es decir, expresiones en las que la unidad de control debe “operar” el dispositivo fotovoltaico o uno de sus componentes, cabe señalar que la operación respectiva es una regulación o un control del componente operado respectivo, dependiendo de la situación y la necesidad. Se supone que un experto en la técnica tendrá claro, en función de la situación y la necesidad, si la unidad de control está controlando o regulando en la situación respectiva.

A continuación, la invención y las realizaciones de ejemplo se explican con más detalle haciendo referencia a los dibujos. En ellos, los mismos componentes en diferentes figuras se identifican mediante los mismos signos de referencia. Por lo tanto, es posible que, en la descripción de una segunda figura, no se proporcionen más explicaciones para un signo de referencia concreto que ya se haya explicado en relación con otra primera figura. En tal caso, puede suponerse para la realización de la segunda figura que el componente marcado allí con este signo de referencia tiene las mismas propiedades y funcionalidades que las explicadas en relación con la primera figura, incluso sin una explicación más detallada en relación con la segunda figura. Además, en aras de la claridad, no se muestran todos los signos de referencia en todas las figuras, sino solo aquellos a los que se hace referencia en la descripción de la figura respectiva.

En ellas:

FIG. 1 muestra una célula fotovoltaica de perovskita,

FIG. 2 muestra un dispositivo fotovoltaico.

A efectos de aclaración, cabe señalar en primer lugar que términos como “arriba”, “abajo”, “sobre”, “encima de”, “debajo de”, etc. se refieren en el contexto respectivo a un sistema de coordenadas en el que la fuente de la luz que la célula fotovoltaica debe convertir en tensión eléctrica, es decir, por ejemplo, el sol, se encuentra “encima” o “sobre” la célula fotovoltaica.

La FIG. 1 muestra un ejemplo simplificado de una célula 110 fotovoltaica. La célula 110 fotovoltaica presenta un componente 111 sensible a la luz que está incrustado en un sustrato 112, por ejemplo, vidrio. El componente 111 sensible a la luz, que proporciona una tensión eléctrica U_1 cuando se irradia con luz L , es decir, que convierte la luz L que incide sobre la célula 110 fotovoltaica en una tensión eléctrica de salida U_1 , consiste esencialmente en un material de perovskita, como se ha descrito al principio, razón por la cual la célula 110 fotovoltaica también se denomina en lo sucesivo “célula fotovoltaica de perovskita”. En la práctica, el componente 111 sensible a la luz consta de varias capas, pero esto no desempeña un papel importante en el contexto que aquí se trata y, por consiguiente, no se explica en detalle. El modo general de funcionamiento de una célula 110 fotovoltaica y, en particular, el de un componente 111 sensible a la luz también son suficientemente conocidos y, por lo tanto, no se explicarán en detalle a continuación. Simplemente se menciona que la tensión eléctrica de salida U_1 generada en el componente 111 sensible a la luz debido a la irradiación con luz L puede aprovecharse en los electrodos 113, 114 de la célula fotovoltaica. En la práctica, los electrodos 113, 114 se extienden típicamente por toda la superficie 111o, 111u superior o inferior del componente 111 sensible a la luz. En este caso, el electrodo 113 de la superficie 111o del componente 111 sensible a la luz orientado hacia la luz L o la fuente de luz correspondiente, no mostrada específicamente, es al menos transparente para la parte del espectro de la luz L para la que el componente 111 sensible a la luz presenta su máxima eficiencia. Este material parcialmente transparente puede ser, por ejemplo, espiro-OMeTAD dopado con Li-TFSI. Por otra parte, el electrodo 114 de la superficie 111u inferior del componente 111 sensible a la luz no tiene por qué ser transparente y puede ser, por ejemplo, de oro. La célula 110 fotovoltaica de perovskita comprende, además, una conexión 115 eléctrica con líneas 115-1, 115-2, con la que puede conectarse a una electrónica 120 de potencia, como se indica en la FIG. 2, a fin de proporcionar a la electrónica 120 de potencia la tensión U_1 generada durante la iluminación. La electrónica 120 de potencia está diseñada típicamente como un inversor que convierte la tensión continua U_1 proporcionada por la célula 110 fotovoltaica de perovskita en una tensión alterna U_2 adecuada para un consumidor 2 y proporcionada a una salida 124 de la electrónica de potencia.

La FIG. 2 muestra un dispositivo 1 fotovoltaico de ejemplo y simplificado con una célula 110 fotovoltaica de perovskita como se explica en la FIG. 1 y con la electrónica 120 de potencia mencionada con anterioridad. El dispositivo 1 fotovoltaico también comprende una unidad 130 de control que está configurada para hacer funcionar el dispositivo 1 fotovoltaico en función del modo de funcionamiento deseado o requerido. Por ejemplo, un modo normal, en el que la célula 110 fotovoltaica de perovskita proporciona la tensión de salida U_1 debido a la iluminación con luz L , y un modo de medición, en el que la temperatura interna instantánea T de la célula 110 fotovoltaica de perovskita se mide como se describe a continuación, pueden proporcionarse como modos de funcionamiento. En este caso, en particular para controlar el funcionamiento de la célula 110 fotovoltaica de perovskita como parte del dispositivo 1 fotovoltaico, se regula de hecho o, en caso necesario, se controla la electrónica 120 de potencia, que por una parte está conectada a la unidad 130 de control a través de una conexión 131 de datos. Por otra parte, la electrónica 120 de potencia está asociada a la célula 110 fotovoltaica, y la tensión eléctrica U_1 generada por la célula 110 fotovoltaica de perovskita cuando se ilumina con luz L se suministra a la electrónica 120 de potencia a través de la línea 115 eléctrica.

En el funcionamiento normal del dispositivo 1 fotovoltaico, la célula 110 fotovoltaica de perovskita y, en particular, su componente 111 sensible a la luz se iluminan con luz L y generan la tensión de salida U_1 . Esta se alimenta a la electrónica 120 de potencia y se convierte allí, según sea necesario y operado por la unidad 130 de control, en una tensión eléctrica U_2 que, finalmente, se pone a disposición del consumidor 2 eléctrico.

Durante el funcionamiento normal del dispositivo 1 fotovoltaico, como se ha mencionado en la introducción, puede producirse un aumento sustancial de las temperaturas internas T de la célula 110 fotovoltaica de perovskita, lo que tiene un efecto negativo sobre el envejecimiento de la célula 110 fotovoltaica de perovskita. Con el fin de anticiparse a esta evolución, el dispositivo 1 fotovoltaico dispone de un dispositivo 200 para controlar la temperatura interna $T(t_1)$ instantánea, es decir, en un momento determinado, de la célula 110 fotovoltaica de perovskita. En particular, la disposición 200 está configurada para medir un parámetro eléctrico instantáneo $PARAM(t_1)$ de la célula 110 fotovoltaica de perovskita en el estado de medición introducido con anterioridad y para deducir la temperatura interna $T(t_1)$ de la célula 110 fotovoltaica de perovskita a partir del parámetro medido $PARAM(t_1)$. En una primera realización ventajosa, la disposición 200 se implementa mediante la unidad 130 de control en cooperación con la electrónica 120 de potencia y, en particular, con una fuente 121 de energía integrada en la electrónica 120 de potencia, pero en una realización alternativa también puede implementarse mediante una fuente 121' de energía separada.

El parámetro eléctrico $PARAM$ a partir del cual la disposición 200 deduce la temperatura interna T de la célula 110 fotovoltaica de perovskita puede ser, en una primera aproximación, la impedancia instantánea $IMP(t_1)$ de la célula 110 fotovoltaica de perovskita y, en particular, la del componente 111 sensible a la luz, es decir, $PARAM(t_1) = IMP(t_1)$. Para medir la impedancia instantánea $IMP(t_1)$, se aplica una tensión eléctrica alterna U_{imp} al componente 111 sensible a la luz mediante la electrónica 120 de potencia y se acciona mediante la unidad 130 de control a través de la línea 115 eléctrica y los electrodos 113, 114 alimentados desde una fuente 121 de energía y de una manera conocida per se, y se mide la corriente resultante, a partir de la cual puede determinarse en última instancia la impedancia instantánea $IMP(t_1)$. La fuente 121 de energía, que suministra la energía eléctrica para que se aplique la tensión U_{imp} , puede

diseñarse, por ejemplo, como una batería o un condensador y puede integrarse en la electrónica 120 de potencia. Dado que el principio de una medición de impedancia puede suponerse conocido de por sí, no se explicará más aquí. Solo debe mencionarse que la frecuencia de la tensión alterna U_{imp} puede variarse en el ámbito de la medición, si es necesario, para obtener al final un resultado más preciso, ya que se determinan una multitud de impedancias IMP para diferentes frecuencias f , de modo que la temperatura T se determina utilizando una multitud de valores medidos independientes $IMP(f)$. En última instancia, la impedancia instantánea $IMP(t_1)$ de la célula 110 fotovoltaica de perovskita determinada de este modo sirve como medida de la temperatura instantánea de la célula 110 fotovoltaica de perovskita.

El parámetro eléctrico instantáneo $PARAM(t_1)$ a partir del cual la disposición 200 infiere la temperatura interna instantánea $T(t_1)$ de la célula 110 fotovoltaica de perovskita puede, en un segundo enfoque, en lugar de la impedancia, ser un voltamperograma cíclico instantáneo $CYCL(t_1)$ determinable por el procedimiento de voltamperometría cíclica, es decir es decir, $PARAM(t_1)=CYCL(t_1)$, en el que el voltamperograma cíclico determinado o medido $CYCL(t_1)$ representa una medida para la temperatura interior instantánea $T(t_1)$ por determinar. Puramente a modo de ejemplo, se hace referencia a "Cyclovoltammetrische Bestimmung redoxaktiver Gase mittels eines Festelektrolytsensors" de M. Scheiter et al., publicado en los manuscritos del 12º Simposio de Sensores de Dresde 2015, páginas 239-244, donde se muestra una dependencia de los voltamogramas cíclicos medidos mediante voltamperometría cíclica de la temperatura respectiva de una célula de medición. En consecuencia, un voltamperograma cíclico medido puede utilizarse para extraer conclusiones sobre la temperatura respectiva. En la voltamperometría cíclica, por ejemplo, se aplica una curva de tensión esencialmente en forma de diente de sierra a un par de electrodos. La electrónica 120 de potencia, accionada por la unidad 130 de control a través de la línea 115 eléctrica y los electrodos 113, 114 y alimentada desde la fuente 121 de energía, aplica así una tensión en forma de diente de sierra U_{cycl} al componente 111 sensible a la luz y mide la corriente resultante I_{cycl} durante un período de tiempo correspondiente, a partir del cual puede determinarse en última instancia un denominado voltamograma cíclico $CYCL(t_1)$, en el que la corriente medida I_{cycl} se representa gráficamente frente a la tensión aplicada U_{cycl} y al que se puede asignar, por ejemplo, el tiempo t_1 en el que se inició la medición. El voltamograma cíclico $CYCL$ se caracteriza por el hecho de que, al igual que la impedancia IMP , depende de la temperatura, de modo que la temperatura T puede deducirse del voltamograma cíclico $CYCL$. En última instancia, un voltamograma cíclico puede describirse con diversas variables, por ejemplo, tiene un pico característico I_{cycl_max} . El parámetro eléctrico $PARAM(t_1)$ por medir puede, por ejemplo, realizarse mediante este pico o, en particular, su altura, es decir, $PARAM(t_1)=I_{cycl_max}$.

Tanto en el primer enfoque para determinar $PARAM(t_1)$, que se basa en una medición de impedancia, como en el segundo enfoque, en el que el parámetro eléctrico $PARAM(t_1)$ se determina utilizando una medición de voltamperometría cíclica, la disposición 200 puede configurarse de tal manera que la temperatura instantánea $T(t_1)$ se determine a partir del parámetro eléctrico instantáneo medido $PARAM(t_1)=IMP(t_1)$ o $PARAM(t_1)=CYCL(t_1)$ sobre la base de un modelo. El correspondiente modelo subyacente M , que describe la correlación entre el parámetro medido $PARAM(t_1)$ y la temperatura interna asociada $T(t_1)$, es idealmente específico para la célula 110 fotovoltaica de perovskita individual, es decir, pueden aplicarse diferentes modelos M para diferentes células fotovoltaicas de perovskita. Sin embargo, cabe suponer que los modelos M para células fotovoltaicas de perovskita comparables son bastante similares entre sí. En consecuencia, por razones de viabilidad, podría utilizarse un mismo modelo M para células fotovoltaicas de perovskita de la misma serie o con los mismos datos técnicos. El modelo M es, por lo tanto, una función que asigna una temperatura interna $T(t_1)$ de la célula 11 fotovoltaica de perovskita a un parámetro medido $PARAM(t_1)$, es decir, $T(t_1)=M(PARAM(t_1))$. Para garantizar la ausencia de ambigüedad en la medición, dicho modelo M debe mostrar una correlación estrictamente monótona entre las magnitudes consideradas T y $PARAM$ al menos en el intervalo de medición pertinente.

Alternativamente a la determinación basada en el modelo de la temperatura interna instantánea $T(t_1)$ de la célula 110 fotovoltaica de perovskita, la disposición 200 puede funcionar o configurarse de tal manera que la temperatura instantánea $T(t_1)$ se determine a partir del parámetro eléctrico medido $PARAM(t_1)$ utilizando una tabla de consulta asociada a la célula 110 fotovoltaica de perovskita. Para determinar dicha tabla de consulta para la célula 110 fotovoltaica de perovskita, la célula 110 fotovoltaica puede, por ejemplo, exponerse a condiciones ambientales fijas durante períodos de tiempo suficientemente largos, en particular antes de la instalación de la célula 110 fotovoltaica de perovskita, de modo que pueda suponerse con suficiente certeza que la temperatura interna T corresponde a la temperatura conocida del entorno de la célula 110 fotovoltaica de perovskita. Un valor de impedancia medido $IMP(t_0)$ resultante de una medición de la impedancia IMP efectuada en el correspondiente tiempo t_0 , o un voltamperograma cíclico $CYCL(t_0)$ determinado correspondientemente, puede asignarse entonces a la correspondiente temperatura $T(t_0)$. Esto se lleva a cabo para un gran número de temperaturas y los respectivos valores de medición de impedancia o voltamperogramas cíclicos resultantes se utilizan, por ejemplo, para rellenar una tabla de consulta, que puede utilizarse durante el funcionamiento normal de la célula 110 fotovoltaica de perovskita para deducir la temperatura interna actual $T(t_1)$ a partir de un valor de impedancia medido $IMP(t_1)$ o de un voltamperograma cíclico medido $CYCL(t_1)$.

De ello se deduce que, en ambos enfoques para medir el parámetro eléctrico instantáneo $PARAM(t_1)$, se puede deducir una temperatura interna instantánea $T(t_1)$ a partir de este parámetro $PARAM(t_1)$ en la disposición 200 y, en particular, por su unidad 130 de control. La unidad 130 de control está configurada, entre otras cosas, para supervisar la temperatura interna T sobre la base de estas mediciones y, si es necesario, para iniciar medidas con respecto a la reducción del envejecimiento de la célula 110 fotovoltaica de perovskita. La monitorización puede llevarse a cabo, por

ejemplo, realizando la determinación descrita de la temperatura interna $T(t_i)$ en varios momentos t_i con $i=1, 2, 3, \dots$. La unidad 130 de control compara la respectiva temperatura interna instantánea determinada $T(t_i)$ con un valor umbral de temperatura TS . El valor umbral de temperatura TS se selecciona de tal manera que la célula 110 fotovoltaica de perovskita, mientras la temperatura interna instantánea $T(t_i)$ esté por debajo de este valor umbral TS , no sufra ningún daño a medio o largo plazo, es decir, que el envejecimiento de la célula 110 fotovoltaica de perovskita al menos no progrese significativamente debido a la temperatura interna T . El valor umbral de temperatura TS depende de la temperatura de la célula 110 fotovoltaica de perovskita. Este valor umbral TS está relacionado, por lo tanto, con la temperatura dependiente del material a la que, por ejemplo, comienza la descomposición o similar del material del componente 111 sensible a la luz. Típicamente, esta temperatura o el valor umbral TS puede ser del orden de magnitud de aproximadamente $TS=120\text{ }^{\circ}\text{C}$. Como se ha indicado, sin embargo, esto varía con el material en el que se basa el componente 111 sensible a la luz.

La disposición 200, y en particular la unidad 130 de control, hace que las condiciones de funcionamiento de la célula 110 fotovoltaica de perovskita se ajusten para reducir la temperatura interna al menos a $T < TS$ en caso de que la temperatura interna instantánea T supere el umbral de temperatura TS . De este modo, se evitan daños y/o el envejecimiento prematuro o acelerado de la célula 110 fotovoltaica de perovskita debido a temperaturas internas excesivas de la célula 110 fotovoltaica de perovskita.

Las condiciones de funcionamiento que deben ajustarse pueden comprender, por ejemplo, la tensión de funcionamiento y la corriente de funcionamiento de la célula 110 fotovoltaica de perovskita, que son ajustadas por la unidad 130 de control en cooperación con la electrónica 120 de potencia de tal manera que se consiga la reducción de temperatura deseada debido a una menor generación de calor en la célula 110 fotovoltaica de perovskita. En este caso, las condiciones de funcionamiento se adaptan de tal manera que, por ejemplo, se reducen las pérdidas óhmicas para que se produzca una menor generación de calor. Específicamente, por ejemplo, una resistencia 123 de entrada de la electrónica 120 de potencia puede adaptarse de tal manera que un rendimiento 11 de corriente resultante de una tensión de salida U_1 de la célula 110 fotovoltaica de perovskita se modifique y, en particular, se reduzca. Esto también da lugar a un cambio del punto de funcionamiento de la célula 110 fotovoltaica de perovskita en su característica corriente-tensión, que puede no corresponder ya al punto de funcionamiento óptimo ("punto de máxima potencia" o MPP), pero en el que la temperatura interna T de la célula 110 fotovoltaica de perovskita disminuye debido a la corriente I_1 preferentemente reducida. Debido a la corriente reducida, hay menos pérdidas óhmicas y, por lo tanto, menos generación de calor. A medio y largo plazo, esto hace que la célula 110 fotovoltaica de perovskita envejezca más lentamente.

En la primera realización mencionada con anterioridad, la disposición 200 para controlar la temperatura interna instantánea $T(t_1)$ de la célula 110 fotovoltaica de perovskita y para iniciar una medida apropiada para reducir la temperatura interna si supera el umbral de temperatura TS es implementada por la unidad 130 de control en cooperación con la electrónica 120 de potencia del dispositivo 1 fotovoltaico y la fuente 121 de energía integrada en el mismo. En este contexto, el término "integrado" debe entenderse en el sentido de que la fuente 121 de energía, que proporciona la tensión eléctrica requerida en los dos enfoques, no está meramente alojada, por ejemplo, en una carcasa de la electrónica 120 de potencia. Más bien, "integrada" significa que la fuente 121 de energía, que en este caso está diseñada en particular como una batería o como un condensador, está integrada en la circuitería de la electrónica 120 de potencia. De manera especialmente ventajosa, la fuente 121 de energía puede ser un componente incluido en la circuitería de la electrónica 120 de potencia de todos modos. Esto también abre la posibilidad de que la fuente 121 de energía pueda ser cargada por la tensión de salida U_1 proporcionada por la célula 110 fotovoltaica de perovskita tras la irradiación con luz L durante el funcionamiento normal del dispositivo 1 fotovoltaico, es decir, en particular cuando la temperatura interna T está por debajo del umbral de temperatura TS . En los documentos PCT/EP2015/061129 y PCT/EP2015/061932, se muestran ejemplos de tales circuitos con almacenamiento de energía integrado en la electrónica de potencia.

Alternativamente a estar integrada en la electrónica 120 de potencia, la fuente 121 de energía también puede ser una fuente 121' de energía separada dispuesta fuera e independientemente de la electrónica 120 de potencia, por ejemplo, una batería o también una conexión a una red eléctrica pública o no pública. Esto se demuestra en la FIG. 2 mediante la fuente 121' de energía indicada con líneas discontinuas, que puede estar conectada al componente 111 sensible a la luz, por ejemplo, a través de la conexión 115 eléctrica y los electrodos 113, 114 correspondientes. Por supuesto, la fuente 121' de energía también puede conectarse a los electrodos 113, 114 del componente 111 sensible a la luz a través de una conexión adicional independiente. Sin embargo, esto es menos ventajoso, ya que, en este caso, se requeriría un esfuerzo adicional con respecto al cableado y el contacto correspondientes. Dependiendo del tipo de fuente 121' de energía separada, puede ser necesaria una electrónica 122' para convertir una tensión eléctrica alterna suministrada, por ejemplo, por la red 121' en la tensión U_{imp} o U_{cycl} necesaria para determinar PARAM. En este caso, la electrónica 122', que puede diseñarse como rectificador, convertidor o inversor, por ejemplo, según sea necesario, sería accionada en consecuencia por la unidad 130 de control.

Sin embargo, la integración de la fuente 121 de energía en la electrónica 120 de potencia tiene la ventaja significativa sobre el uso de una fuente 121' de energía separada de que la conexión 131 de datos ya existente entre la unidad 130 de control y la electrónica 120 de potencia puede utilizarse para operar la fuente 121 de energía en la electrónica 120 de potencia directamente de tal manera que suministre la tensión requerida U_{imp} o U_{cycl} en las situaciones específicas. Resulta especialmente ventajoso utilizar una fuente de energía ya presente en el circuito electrónico de

la electrónica 120 de potencia. Dicha electrónica 120 de potencia moderna suele estar conectada o comprender los denominados "optimizadores de potencia", que están acoplados eléctricamente al inversor 120 y presentan un componente que puede sustituirse como fuente de energía o que puede funcionar por sí mismo como tal. Este componente del circuito electrónico de la electrónica 120 de potencia puede utilizarse en la aplicación aquí descrita como fuente 121 de energía eléctrica para proporcionar la tensión de polarización en los electrodos 113, 114, siendo la unidad 130 de control la que se encarga del control o regulación correspondientemente necesarios. En el caso descrito, no es necesario modificar la electrónica 120 de potencia, sino que se utiliza el circuito electrónico disponible.

Independientemente del tipo de fuente 121 de energía, es decir, como se integra según los documentos PCT/EP2015/061129 y PCT/EP2015/061932 en la electrónica 120 de potencia o se implementa por un optimizador de potencia, en ambos enfoques se determina una medida de la temperatura interna instantánea $T(t_1)$ de la célula 110 fotovoltaica de perovskita para determinar el parámetro eléctrico $PARAM(t_1)$. Tan pronto como esta medida implica que se ha superado el umbral de temperatura predeterminado, se ajustan las condiciones de funcionamiento de la célula 110 fotovoltaica de perovskita para que la temperatura interna disminuya al menos hasta $T < T_S$.

Signos de referencia

15	1	dispositivo fotovoltaico
	110	célula fotovoltaica de perovskita
	111	componente sensible a la luz
	111o	superficie superior
	111u	superficie inferior
20	112	soporte
	113	electrodo
	114	electrodo
	115	conexión eléctrica, conexión
	115-1	línea eléctrica
25	115-2	línea eléctrica
	120	electrónica de potencia
	121	fuente de energía, batería, condensador, supercondensador
	121'	fuente de energía, red
	122'	electrónica
30	123	resistencia de entrada
	124	salida
	130	unidad de control
	131	conexión de datos

REIVINDICACIONES

1. Dispositivo (1) fotovoltaico con

- una célula (110) fotovoltaica de perovskita para convertir la luz L que incide en la célula (110) fotovoltaica de perovskita en una tensión eléctrica de salida U1, y

5 - una disposición (200) para determinar una medida de una temperatura interna T de la célula (110) fotovoltaica de perovskita,

en donde

10 - la disposición (200) está configurada para medir un parámetro eléctrico PARAM(t1) de la célula (110) fotovoltaica de perovskita al menos en un estado de medición del dispositivo (1) fotovoltaico y para determinar la medida de la temperatura interna instantánea T(t1) de la célula (110) fotovoltaica de perovskita a partir del parámetro medido PARAM(t1), en donde la disposición (200) está configurada para comparar la medida determinada de la temperatura interna instantánea T de la célula (110) fotovoltaica de perovskita con un valor umbral TS y, en el caso particular de que la medida determinada de la temperatura interna instantánea T(t1) supere el valor umbral TS, para ajustar las condiciones de funcionamiento de la célula (110) fotovoltaica de perovskita de manera que la temperatura interna T de la célula (110) fotovoltaica de perovskita disminuya.

20 2. Dispositivo (1) fotovoltaico de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizado porque la disposición (200) está configurada para operar una electrónica (120) de potencia del dispositivo (1) fotovoltaico que, al menos en un estado de funcionamiento normal del dispositivo (1) fotovoltaico convierte la tensión eléctrica de salida U1 proporcionada por la célula (110) fotovoltaica de perovskita cuando se ilumina con luz L en una tensión de salida U2 que puede derivarse a una salida (124) de la electrónica (120) de potencia, de tal manera que, en un caso específico, una corriente (I1) eléctrica resultante de una tensión de salida U1 de la célula (110) fotovoltaica de perovskita se reduce adaptando una resistencia de entrada (123) de la electrónica (120) de potencia del dispositivo (1) fotovoltaico.

25 3. Dispositivo (1) fotovoltaico de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 o 2, caracterizado porque la disposición (200) para determinar la medida de la temperatura interna instantánea T de la célula (110) fotovoltaica de perovskita comprende

- una fuente (121, 121') de energía eléctrica y

- una unidad (130) de control para hacer funcionar el dispositivo fotovoltaico que incluye la fuente (121, 121') de energía eléctrica,

en donde la unidad (130) de control está configurada para

30 - hacer funcionar la fuente (121, 121') de energía en el estado de medición de tal manera que, para medir el parámetro eléctrico PARAM, se aplique una tensión eléctrica predeterminable (U_imp, U_cycl) a la célula (110) fotovoltaica de perovskita y, en particular, a su componente (111) sensible a la luz a través de una conexión (115) eléctrica de la célula (110) fotovoltaica de perovskita y alimentada desde la fuente (121, 121') de energía eléctrica,

- medir una respuesta (I1) de la célula (110) fotovoltaica de perovskita a la tensión aplicada (U_imp, U_cycl),

35 - determinar el parámetro electrónico PARAM a partir de la respuesta (I1) junto con la tensión aplicada (U_imp, U_cycl).

4. Dispositivo (1) fotovoltaico de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 o 2, caracterizado porque la disposición (200) para determinar la medida de la temperatura interna instantánea T(t1) de la célula (110) fotovoltaica de perovskita comprende

- la electrónica (120) de potencia del dispositivo (1) fotovoltaico y

40 - una unidad (130) de control del dispositivo (1) fotovoltaico para hacer funcionar el dispositivo (1) fotovoltaico, incluida la electrónica (120) de potencia,

en donde la unidad (130) de control está configurada para operar la electrónica (120) de potencia en el estado de medición de tal manera que

45 - la electrónica (120) de potencia, para medir el parámetro eléctrico PARAM, aplique una tensión eléctrica predeterminable (U_imp, U_cycl) a la célula (110) fotovoltaica de perovskita y, en particular, a su componente (111) sensible a la luz a través de una conexión (115) eléctrica de la célula (110) fotovoltaica de perovskita y alimentada desde una fuente (121) de energía eléctrica integrada en la electrónica (120) de potencia,

- se puede medir una respuesta (I1) de la célula fotovoltaica de perovskita a la tensión aplicada (U_imp, U_cycl),

50 - el parámetro eléctrico PARAM puede determinarse a partir de la respuesta (I1) junto con la tensión aplicada (U_imp, U_cycl).

5. Dispositivo (1) fotovoltaico de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, caracterizado porque el parámetro eléctrico PARAM es una impedancia IMP de la célula (110) fotovoltaica de perovskita, en donde la impedancia medida IMP(t1) representa la medida de la temperatura interna instantánea T(t1) por determinar.
- 5 6. Dispositivo (1) fotovoltaico de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, caracterizado porque el parámetro eléctrico PARAM es un voltamperograma cíclico CYCL que puede determinarse con ayuda del procedimiento de voltamperometría cíclica, en particular un pico I_cycl_max del voltamperograma cíclico CYCL, en donde el voltamperograma cíclico medido CYCL(t1) representa la medida para la temperatura interna instantánea T(t1) por determinar.
- 10 7. Dispositivo (1) fotovoltaico de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, caracterizado porque la disposición (200) está configurada para determinar la medida para la temperatura interna instantánea T(t1) a partir del parámetro eléctrico medido PARAM(t1) basado en el modelo.
- 15 8. Procedimiento de funcionamiento de un dispositivo (1) fotovoltaico de acuerdo con la reivindicación 1 para ralentizar el envejecimiento de la célula (110) fotovoltaica de perovskita del dispositivo (1) fotovoltaico, en donde el parámetro eléctrico PARAM de la célula (110) fotovoltaica de perovskita se mide en el estado de medición del dispositivo (1) fotovoltaico y se determina la medida de la temperatura interna instantánea T(t1) de la célula (110) fotovoltaica de perovskita a partir del parámetro medido PARAM(t1), en donde la medida determinada de la temperatura interna instantánea T(t1) de la célula (110) fotovoltaica de perovskita se compara con un valor umbral TS, y porque, en el caso específico de que la medida determinada de la temperatura interna instantánea T(t1) supere el valor umbral TS, las condiciones de funcionamiento de la célula (110) fotovoltaica de perovskita se adaptan de manera que la temperatura interna T disminuya.
- 20 9. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 8, caracterizado porque, en el caso particular, una corriente (I1) resultante a una tensión de salida U1 de la célula (110) fotovoltaica de perovskita se reduce ajustando una resistencia (123) de entrada de la electrónica (120) de potencia del dispositivo (1) fotovoltaico.
- 25 10. Procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 8 o 9, caracterizado porque, para medir el parámetro eléctrico PARAM, se aplica una tensión eléctrica predeterminable (U_imp, U_cycl) a la célula (110) fotovoltaica de perovskita y, en particular, a su componente (111) sensible a la luz, se mide una respuesta (I1) de la célula fotovoltaica de perovskita a la tensión aplicada (U_imp, U_cycl), y se determina el parámetro eléctrico PARAM a partir de la respuesta (I1) junto con la tensión aplicada (U_imp, U_cycl).
- 30 11. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 10, caracterizado porque una electrónica (120) de potencia del dispositivo (1) fotovoltaico se utiliza para aplicar la tensión eléctrica predeterminable (U_imp, U_cycl) a la célula (110) fotovoltaica de perovskita y/o para medir la respuesta (I1) de la célula fotovoltaica de perovskita a la tensión aplicada (U_imp, U_cycl).
- 35 12. Procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 8 a 11, caracterizado porque el parámetro eléctrico PARAM es una impedancia IMP de la célula (110) fotovoltaica de perovskita o un voltamperograma cíclico CYCL que puede determinarse con ayuda del método de voltamperometría cíclica, en particular un pico I_cycl_max del voltamperograma cíclico CYCL.
13. Procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 8 a 12, caracterizado porque la medida de la temperatura interna instantánea T(t1) se determina a partir del parámetro eléctrico medido PARAM de una manera basada en un modelo.

FIG 1

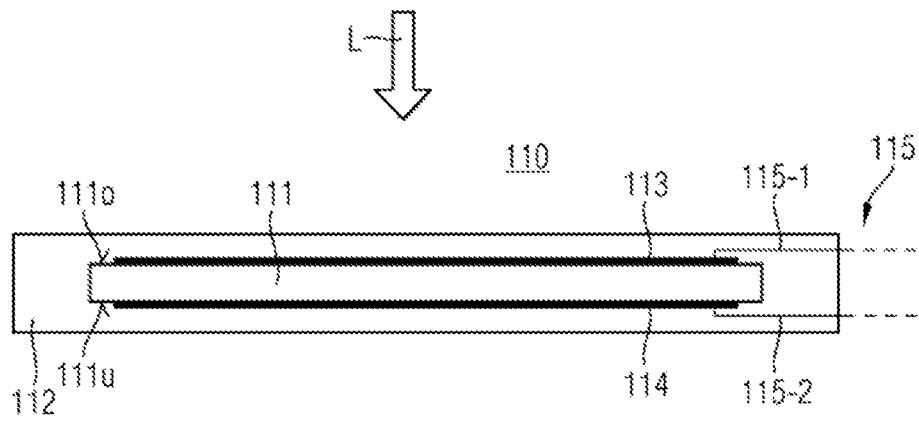


FIG 2

