

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 712 076**

51 Int. Cl.:

G01N 21/66 (2006.01)

G01R 31/26 (2014.01)

G01R 31/308 (2006.01)

G01N 21/95 (2006.01)

H02S 50/10 (2014.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **18.12.2009** **E 09015703 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **05.12.2018** **EP 2336752**

54 Título: **Procedimiento y dispositivo para encontrar puntos defectuosos en elementos constructivos semiconductores**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
09.05.2019

73 Titular/es:

ISRA VISION GRAPHIKON GMBH (100.0%)
Max-Planck-Straße 3
12489 Berlin, DE

72 Inventor/es:

SEEGER, GREGOR;
LAUTER, MARKUS y
SCHLEGEL, JAN

74 Agente/Representante:

ISERN JARA, Jorge

ES 2 712 076 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

Procedimiento y dispositivo para encontrar puntos defectuosos en elementos constructivos semiconductores

5 La invención se refiere a un procedimiento y un dispositivo para encontrar puntos defectuosos, en particular microfisuras, en elementos constructivos semiconductores, en particular elementos semiconductores de extensión plana, como por ejemplo células solares.

10 Los elementos constructivos semiconductores han alcanzado una gran importancia técnica. Los elementos constructivos semiconductores de extensión plana, como por ejemplo células solares, desempeñan un rol cada vez más importante en la generación de energía. En la fabricación de productos competentes, por ejemplo, paneles solares acabados se realizan una serie de procesos de valor añadido después de la fabricación propiamente dicha del elemento constructivo semiconductor, por ejemplo, de la célula solar. En estos pueden aparecer diferentes puntos defectuosos durante la fabricación. Una parte de estos lleva a que el elemento constructivo semiconductor y/o un producto fabricado con ellos solo sean aptos para funcionar de manera limitada o no sean aptos para funcionar de ninguna manera, o estén muy limitados en cuanto a su estabilidad o durabilidad. Por tanto, por el estado de la técnica se conoce la vigilancia de elementos constructivos semiconductores ya durante su producción en cuanto a puntos defectuosos y, dado el caso, eliminar elementos constructivos semiconductores con defectos o de valor inferior.

20 Por el estado de la técnica se sabe que los elementos constructivos semiconductores, como por ejemplo células solares, cuando por estas fluye en la dirección de paso una corriente, muestran una emisión de luz. Este efecto se conoce como electroluminiscencia. En caso de elementos constructivos semiconductores de extensión plana, mediante la intensidad con resolución espacial de la radiación electroluminiscente pueden deducirse puntos defectuosos en el elemento constructivo semiconductor. Estos pueden tener diferentes causas. Los puntos defectuosos pueden estar causados por ejemplo mediante impurezas en el material semiconductor, dotaciones erróneas, pero también daños mecánicos, como por ejemplo microfisuras. Mientras que algunos de estos puntos defectuosos influyen solo de manera reducida en el modo de funcionamiento y en la vida útil, otros puntos defectuosos, como por ejemplo microfisuras influyen de manera decisiva en la vida útil y explotabilidad del elemento constructivo semiconductor.

25 Por el estado de la técnica se sabe cómo registrar y evaluar la radiación electroluminiscente con resolución espacial para detectar los puntos defectuosos individuales y preferiblemente caracterizarlos. Sin embargo, se ha demostrado que es necesaria una complejidad de evaluación muy alta para identificar microfisuras de esta manera. Parcialmente estas no pueden detectarse de manera fiable en absoluto.

30 Por el documento EP 1 416 288 A1 se conocen un procedimiento y una disposición para la detección óptica de defectos mecánicos en elementos constructivos semiconductores, en particular en disposiciones de células solares, con al menos una unión pn y al menos una capa semiconductor de un material semiconductor con transición de banda directa, aplicándose en al menos una unión pn una tensión para hacer funcionar la unión pn en la dirección de paso y el comportamiento de radiación generado por la tensión aplicada de la capa semiconductor al menos se registra ópticamente y se evalúa para zonas parciales de la capa semiconductor. Los cambios de contraste abruptos se utilizan para encontrar defectos mecánicos. Las zonas sin radiación o que presentan una fotoemisión anormal pueden estar provocadas por zonas inactivas o también nubosidades o suciedad, así como defectos mecánicos. En particular, el hallazgo y diferenciación de microfisuras mecánicas de otros defectos en el estado de la técnica es insuficiente o posible a través de softwares de procesamiento de imágenes muy complejos.

35 El documento US 2004/0085083 A1 describe un procedimiento para llevar a cabo una microscopia por fotoemisión de reverso para llevar a cabo un análisis error en el plano de plaquitas. El procedimiento prevé que a un chip detectado como defectuoso se le aplica una tensión de polarización opuesta a la dirección de tensión normal. Se observa a continuación el reverso de la plaquita. El chip debido a una combinación electrón-agujero de un diodo protector muestra una iluminación intensa. Con ello es fácilmente posible identificar el chip roto en el reverso de la plaquita y a continuación llevar a cabo una microscopia por fotoemisión en el suministro de tensión habitual conforme al funcionamiento.

40 Otros procedimientos para examinar células solares, en particular por medio de la denominada *Lock-In Thermography* (termografía activa) se conocen por los artículos de K. Bothe et al. "*Luminescence emission from forward- and reverse-biased multicrystalline silicon solar cells*", *Journal of Applied Physics*, American Institute of Physics, Nueva York, tomo 106, núm. 10, páginas 104510-1 a 104510-8, 23 de noviembre 2009, y Wolfram Kwapil et al. "*Diode breakdown related to recombination active defects in block-cast multicrystalline silicon solar cells*", *Journal of Applied Physics*, American Institute of Physics, Nueva York, tomo 106, núm. 6, páginas 63530-1 a 63530-7, 25. Septiembre de 2009,.

45 También el US 2005/0252545 A1 describe un procedimiento para someter a prueba células solares, en el que una corriente en dirección hacia adelante durante un breve periodo fluye a través de células solares y a través de una cámara de infrarrojos se realiza una evaluación para detectar células solares defectuosas.

La invención se basa por tanto en el objetivo de suministrar un dispositivo mejorado y un procedimiento mejorado para encontrar puntos defectuosos en elementos constructivos semiconductores que, en particular, permitan una detección fiable y segura de microfisuras como puntos defectuosos.

- 5 El objetivo según la invención se resuelve mediante un procedimiento con las características de la reivindicación 1, así como un dispositivo con las características de la reivindicación 7. Formas de realización ventajosas de la invención resultan de las reivindicaciones dependientes.

10 Para resolver el objetivo está previsto conectar el elemento constructivo semiconductor, que presentan una unión pn, con una fuente de tensión o fuente de corriente de modo que inicialmente esté aplicada una tensión en la dirección de bloqueo al elemento constructivo semiconductor. A continuación se cambia la dirección de tensión de modo que la unión pn se hace funcionar en la dirección de paso. La radiación electromagnética emitida por el elemento constructivo semiconductor tras el cambio de la dirección de tensión se registra y se evalúa. A este respecto se evalúa la intensidad de la radiación luminiscente que se emite, cuando la unión pn se hace funcionar en la dirección de paso. En oposición al procedimiento conocido por el estado de la técnica en las zonas, en las que aparecen microfisuras como puntos defectuosos, directamente o poco después del cambio de la dirección de tensión se observa una electroluminiscencia muy intensiva. La misma microfisura no muestra electroluminiscencia alguna. Cuando en la presente memoria se habla de electroluminiscencia "en una microfisura" se entiende una electroluminiscencia en el entorno de la microfisura.

20 En particular se propone por lo tanto un procedimiento para encontrar puntos defectuosos en un elemento constructivo semiconductor con una unión pn, en particular en un elemento constructivo semiconductor de extensión plana, de manera especialmente preferible en una célula solar, que comprende las etapas: aplicar una tensión al elemento constructivo semiconductor mediante una fuente de tensión, registrar radiación electromagnética, que se envía por el elemento constructivo semiconductor, mediante al menos un detector fotosensible, evaluar la radiación electromagnética registrada, aplicándose la tensión al elemento constructivo semiconductor inicialmente de modo que la unión pn se hace funcionar en la dirección de bloqueo, y a continuación la dirección de tensión se cambia, de modo que la unión pn del elemento constructivo semiconductor se hace funcionar en la dirección de paso, y con el detector fotosensible se registra una intensidad de una radiación luminiscente y la intensidad se evalúa tras el cambio de la dirección de tensión del funcionamiento de la unión pn en la dirección de bloqueo al funcionamiento en la dirección de paso.

35 Un dispositivo correspondiente para encontrar puntos defectuosos en un elemento constructivo semiconductor, en particular en un elemento constructivo semiconductor de extensión plana, de manera especialmente preferible de una célula solar, comprende por lo tanto una fuente de tensión, que puede conectarse con contactos del elemento constructivo semiconductor, para aplicar al elemento constructivo semiconductor una tensión; al menos un detector fotosensible para registrar radiación electromagnética, que se envía por el elemento constructivo semiconductor, y un equipo de evaluación para evaluar la radiación electromagnética registrada emitida por el elemento constructivo semiconductor, estando acoplado un equipo de cambio de dirección de tensión con la fuente de tensión o estando integrado en la fuente de tensión, a través del cual de manera encauzada puede cambiarse la dirección de tensión de la tensión aplicada al elemento constructivo semiconductor, de modo que puede cambiarse de un funcionamiento de una unión pn del elemento constructivo semiconductor en la dirección de bloqueo a un funcionamiento de la unión pn, y el equipo de evaluación acoplado con el al menos un detector fotosensible está configurado para evaluar una intensidad de una radiación luminiscente como la radiación electromagnética tras el cambio de la dirección de tensión de la dirección de bloqueo a la dirección de paso.

40 Según la invención se detectan puntos defectuosos mediante una intensidad radiación excesiva de la radiación luminiscente tras el cambio de la dirección de tensión de la dirección de bloqueo a la dirección de paso. Un equipo de evaluación sencillo comprende para ello un equipo de comparación que compara la intensidad recibida con un valor umbral. Si se sobrepasa el valor umbral, entonces se presenta un punto defectuoso. Este puede identificarse como microfisura.

50 En una forma de realización sencilla el equipo de cambio de dirección de tensión está configurado como equipo de conmutación.

55 Tras un periodo seleccionado de manera adecuada en el que la unión pn se hace funcionar en la dirección de bloqueo, con un equipo de cambio de dirección de tensión de este tipo sencillamente puede conmutarse de la dirección de bloqueo a la dirección de paso, de modo que se forman la intensidad excesiva en los puntos defectuosos causados por fisuras y puede observarse, es decir se forman en el entorno de microfisuras y puede observarse. La radiación luminiscente que puede observarse con el detector fotosensible se sitúa por regla general en la gama de longitud de onda de infrarrojos cercana. Por tanto el detector fotosensible preferiblemente está configurado como cámara sensible en la gama de longitud de onda de infrarrojos cercana, que captura la intensidad de la radiación luminiscente con resolución espacial y la presenta en forma de imágenes. Una resolución espacial se registra, en una forma de realización preferida con una cámara de área, que está configurada por ejemplo como Chip CCD (dispositivo de carga acoplada). Sin embargo, formas de realización alternativas pueden prever una cámara lineal. Mediante un registro con resolución espacial de la radiación luminiscente mediante una cámara

sensible en la gama de longitud de onda de infrarrojos, preferiblemente cercana en forma de imágenes, es posible asociar a los aumentos excesivos detectados localmente posiciones en el elemento constructivo semiconductor. Por ello los puntos defectuoso-detectados en forma de microfisuras en el elemento constructivo semiconductor pueden localizarse de manera fiable.

5 Dado que la intensidad de luminiscencia tras el cambio de la dirección de tensión a la dirección de paso temporalmente se atenúa, en un perfeccionamiento de la invención está previsto que varias imágenes tomadas consecutivamente en el tiempo se evalúen de manera comparativa para evaluar diferencias de contraste para la localización. En parte, el aumento de la radiación luminiscente en el entorno de la microfisura es tan intenso que esta puede localizarse solo de manera aproximativa inicialmente en las imágenes capturadas en primer lugar temporalmente, dado que una zona de entorno mayor de la microfisura muestra la radiación luminiscente excesiva. Con una duración progresiva después del cambio de la dirección de tensión de la dirección de bloqueo a la dirección de paso la intensidad disminuye en total. La microfisura o las microfisuras pueden localizarse ahora localmente de manera más precisa dado que no aparecen efectos de sobreexcitación en el registro de la intensidad y la radiación luminiscente se aproxima de nuevo también en el entorno más cercano de la microfisura al nivel normal. (se indica que la microfisura por sí misma no irradia.) La evaluación de varias imágenes de la radiación luminiscente capturadas en orden temporal puede deducir de manera fiable un comportamiento de atenuación. Un comportamiento de atenuación tal lo muestran solo entornos de puntos defectuosos provocados por microfisuras. Por tanto, mediante el comportamiento de atenuación determinado se permite de manera fiable localizar microfisuras como puntos defectuosos. Por lo tanto se examina una atenuación temporal de la intensidad tras el cambio de la dirección de tensión de la dirección de bloqueo a la dirección de paso y una bajada de la intensidad de luminiscencia se considera como un criterio para una presencia de un punto defectuoso, en particular de una microfisura.

25 En una forma de realización está previsto que, lugares del elemento constructivo semiconductor sin radiación, que están situados en una zona en la que se detectó un aumento excesivo de intensidad excesivo de la radiación luminiscente tras el cambio de la dirección de tensión de la dirección de bloqueo a la dirección de paso, se identifiquen como lugares de una microfisura. Por lo tanto, de manera correspondiente el equipo de evaluación está configurado para implementar esto.

30 En un perfeccionamiento de la invención preferido, durante el funcionamiento de la unión pn en la dirección de bloqueo se lleva a cabo una denominada medición de derivación (*shunt*), durante la cual por medio de una cámara termográfica se registra una emisión de calor el elemento constructivo semiconductor y se evalúan diferencias térmicas locales y en particular se detectan aumentos excesivos de calor locales como puntos defectuosos (*hot spots*). La integración de una medición de derivación al procedimiento no prolonga la duración del procedimiento, o solo de manera insustancial, y proporciona informaciones adicionales sobre puntos defectuosos que no pueden determinarse debido a la medición de electroluminiscencia.

40 Puntos defectuosos se consideran todos los defectos de tipo electrónico o mecánico que limitan un uso de acuerdo con el uso determinado del elemento constructivo semiconductor, reducen su vida útil y/o o hacen completamente imposible su uso. Para llevar a cabo la medición de derivación o puede utilizarse el al menos un detector fotosensible, siempre y cuando este presente también en la gama de longitud de onda de infrarrojos de onda más larga una sensibilidad suficiente, o al menos un detector fotosensible adicional que es sensible en particular para radiación de calor, que está asentada en la gama de longitud de onda de infrarrojos de onda más larga.

45 El procedimiento se lleva a cabo preferiblemente de manera automatizada. Un control controla a este respecto la aplicación de la tensión, el registro de la radiación electromagnética así como su evaluación.

A continuación la invención se explica con más detalle con referencia al dibujo. A este respecto muestran:

- 50 la figura 1 una representación de un dispositivo para encontrar puntos defectuosos;
- la figura 2 un diagrama de flujo esquemático de un procedimiento para encontrar puntos defectuosos en un elemento constructivo semiconductor; y
- 55 la figura 3 tres gráficos, en los cuales están representados la dirección de tensión que se aplica en el elemento constructivo semiconductor, una intensidad de luminiscencia en una zona intacta y una intensidad de luminiscencia en una microfisura en cada caso trazados esquemáticamente frente al tiempo.

60 En la figura 1 se representa esquemáticamente un dispositivo para encontrar puntos defectuosos en un elemento constructivo semiconductor. El dispositivo 1 es especialmente adecuado para examinar elementos constructivos semiconductores expandidos de manera plana en cuanto a puntos defectuosos, es decir lugares y zonas defectuosas del elemento constructivo semiconductor 2. A modo de ejemplo como elemento constructivo semiconductor 2 en la figura 1 está representada una célula solar 3.

65

El dispositivo 1 comprende un contacto configurado como contacto de lado trasero 4 así como contactos de lado delantero 5, 6 dispuestos enfrentados. Los contactos de lado delantero 5, 6 y del contacto de lado trasero 4 están configurados de modo que el elemento constructivo semiconductor 2, por ejemplo la célula solar 3, puede disponerse entre el contacto de lado trasero 4 y los contactos de lado delantero 5 y 6. En la figura 1 la célula solar 3 está dispuesta entre el contacto de lado trasero 4 y los contactos de lado delantero 5, 6. La disposición se realiza de modo que el elemento constructivo semiconductor puede ponerse en contacto eléctricamente. Esto significa que el contacto de lado trasero 4 y los contactos de lado delantero 5, 6 en cada caso están en contacto mediante conducción eléctrica con contactos eléctricos del elemento constructivo semiconductor. La geometría de los contactos individuales 4-6 está seleccionada de manera adaptada en cada caso a los elementos constructivos semiconductores que van a examinarse. Tal como se explica más tarde, los contactos de lado delantero están configurados de modo que estos, por un lado, cubren una superficie lo más reducida posible del elemento constructivo semiconductor y no obstante produce un contacto eléctrico suficientemente bueno con el elemento constructivo semiconductor. Esto significa que a lo largo de una primera dirección 8 presentan en cada caso una expansión lo más reducida posible. Además, es ventajoso cuando los contactos de lado delantero también presentan una altura de construcción reducida en perpendicular a la expansión plana lateral del elemento constructivo semiconductor 2, es decir de la célula solar 3. Por lo tanto los contactos de lado delantero 5, 6 están configurados de modo que a lo largo de una segunda dirección 9, que es perpendicular a la primera dirección 8 presentan una expansión reducida.

Para establecer un contacto fiable los contactos de lado delantero 5, 6 están configurados con clavijas de contacto elásticas 10. Estas representan el contacto eléctrico con contactos de elementos constructivos semiconductores 11.

Entre el contacto de lado trasero 4, por un lado, y los contactos de lado delantero 5, 6, por otro lado, a través de una fuente de tensión 7 puede aplicarse una tensión eléctrica. Con la fuente de tensión 7 o en la fuente de tensión está acoplado o integrado un denominado equipo de cambio de dirección de tensión 12. A través de este equipo de cambio de dirección de tensión 12 es posible seleccionar de manera encauzada la dirección de tensión que se aplica, o puede aplicarse entre los contactos de lado delantero 5, 6 y el contacto de lado trasero 4. La dirección de tensión puede seleccionarse, por un lado, de modo que una unión pn del elemento constructivo semiconductor 2 se hace funcionar en la dirección de paso. En este caso fluye una corriente en la dirección de paso a través del elemento constructivo semiconductor 2, de modo que se emite una radiación luminiscente, es decir una radiación electromagnética, por el elemento constructivo semiconductor. Alternativamente es posible aplicar la tensión entre los contactos de lado delantero 5, 6 y el contacto de lado trasero 4 de modo que la unión pn del elemento constructivo semiconductor 2 se hace funcionar en la dirección de bloqueo. En esta conexión, en el elemento constructivo semiconductor 2 en la unión pn no se genera radiación luminiscente alguna. La electroluminiscencia generada al aplicar una tensión en la dirección de paso, es decir un funcionamiento de la unión pn en la dirección de paso, presenta solo una intensidad escasa. Para poder registrar y evaluar esta está previsto un detector fotosensible 13. Este en la forma de realización representada está configurado como cámara de área. Esto significa que una zona plana, preferiblemente toda la superficie del elemento constructivo semiconductor 2, puede registrarse gráficamente de manera óptima simultáneamente. El detector fotosensible 13, es decir la cámara de área, está seleccionado de modo que es fotosensible en la gama de longitud de onda de la radiación electroluminiscente. La longitud de onda de la radiación electroluminiscente generada depende de la brecha de energía de la unión pn. En el caso de células solares la brecha de energía presenta una energía que se corresponde con una longitud de onda en la gama de longitud de onda de infrarrojos cercana.

La intensidad de la electroluminiscencia registrada ópticamente con resolución espacial mediante el detector fotosensible 13 se alimenta a un equipo de evaluación 14. En una forma de realización sencilla se comparan únicamente valores de intensidad registrados con valores umbrales. En formas de realización perfeccionadas el detector fotosensible 13 registra con resolución espacial la intensidad de la radiación electroluminiscente en sucesión temporal. Por lo tanto el equipo de evaluación 14 tiene la capacidad de evaluar un comportamiento de atenuación de la electroluminiscencia. Una evaluación comparativa de representaciones capturadas sucesivamente permite además llevar a cabo exámenes de contraste para localizar puntos defectuosos. Para ello existe un equipo de comparación 15. Mientras que la electroluminiscencia en zonas intactas activas es casi constante temporalmente la radiación electroluminiscente en microfisuras tras un cambio de la dirección de tensión de la dirección de bloqueo a la dirección de paso inicialmente es muy intensiva. La intensidad de la radiación electroluminiscente en el entorno más cercano de microfisuras es mayor que en otras zonas de radiación intactas. Tras la conmutación de la dirección de alimentación de corriente, sin embargo, la intensidad de la radiación luminiscente en el entorno más cercano de microfisuras se atenúa hasta una medida habitual en las otras zonas intactas. Si se comparan imágenes de intensidad que se han capturado con el detector fotosensible 13, permiten por lo tanto localizar las regiones de las microfisuras de manera inequívoca. Los lugares que tras un cierto periodo no presentan radiación luminiscente ninguna en un funcionamiento de la unión pn en la dirección de paso, que sin embargo directamente tras el cambio de la tensión de la dirección de bloqueo a la dirección de paso no presentan una electroluminiscencia reseñable, pueden identificarse por tanto de manera inequívoca como entorno de microfisuras. La microfisura misma puede detectarse entonces como estructura sin radiación en las fases de atenuación de diferente luminosidad. Por lo tanto, pueden diferenciarse de manera puntos defectuosos que contienen microfisuras de otros puntos defectuosos, por ejemplo, suciedad, partículas, defectos de impresión o defectos en el material semiconductor que en la imagen

capturada de la electroluminiscencia tampoco muestran intensidad alguna igualmente tras una espera del tiempo de atenuación de la electroluminiscencia observable en microfisuras.

Para poder examinar un área entera 16 del elemento constructivo semiconductor 2, es decir de la célula solar 3, de la manera más completa posible es necesario que los contactos de lado delantero 5, 6 cubran las menos zonas como sea posible para el detector fotosensible. Por tanto es ventajosa una expansión lateral lo más escasa posible en el plano de la superficie 16 como también una expansión escasa perpendicular a esta para ello mediante los contactos de lado delantero.

Los resultados de la evaluación se facilitan o en forma de datos electrónicos a través de una interfaz 17 o se emiten a través de un equipo de salida 18, por ejemplo se visualizan a través de un dispositivo de visualización gráfico para el usuario. En una forma de realización preferida el examen del elemento constructivo semiconductor 2 en cuanto a puntos defectuosos se lleva a cabo de manera controlada mediante un control electrónico 19. Este controla, por un lado la fuente de tensión 7 como preferiblemente el equipo de evaluación 14 y dado el caso adicionalmente el detector fotosensible 13.

Además de las microfisuras en el elemento constructivo semiconductor pueden determinarse mediante el examen de la radiación electroluminiscente también otros puntos defectuosos del elemento constructivo semiconductor. Esto se realiza igualmente en el equipo de evaluación 14 mediante la evaluación de la intensidad electroluminiscente registrada. Por ejemplo pueden determinarse zonas inactivas que por ejemplo pueden estar causadas por defectos de dotación del elemento constructivo semiconductor u otros defectos de fabricación.

Otros tipos de puntos defectuosos, en particular aquellos que tienen su causa en la estructura electrónica del elemento constructivo semiconductor pueden determinarse en una denominada medición de derivación. Una medición de derivación de este tipo se lleva a cabo mientras en el elemento constructivo semiconductor 2 se aplica una tensión de modo que la unión pn se hace funcionar en la dirección de bloqueo. En una medición de derivación se examina la radiación de calor irradiada del elemento constructivo semiconductor 2 en cuanto a diferencias locales. La radiación de calor se detecta o con el detector fotosensible 13 o con un detector fotosensible 21 adicional que en particular está adaptado a la longitud de onda de la radiación de calor, que se emite en la gama de longitud de onda de infrarrojos.

La ventaja de una forma de realización de este tipo es que el tiempo necesario para el examen del elemento constructivo semiconductor no se prolonga en absoluto o solo de manera insustancial, dado que para la determinación de los puntos defectuosos, que son fisuras, al elemento constructivo semiconductor 2 debe aplicarse inicialmente una tensión en la dirección de bloqueo de la unión pn antes de que la dirección de tensión se cambie a la dirección de paso para observar entonces el aumento excesivo de intensidad de la radiación luminiscente en la zona de las microfisuras.

En la figura 2 está representado esquemáticamente un diagrama de flujo de un procedimiento a modo de ejemplo 100 para determinar puntos defectuosos. Después del inicio 101 del procedimiento se aplica inicialmente al elemento constructivo semiconductor una tensión de modo que una unión pn del elemento constructivo semiconductor se hace funcionar en la dirección de bloqueo 102. Mientras que la unión pn se hace funcionar en la dirección de bloqueo, en la forma de realización representada del procedimiento 100 se lleva a cabo una denominada medición de derivación 103. A este respecto se registra la radiación de calor irradiada por el elemento constructivo semiconductor 104. El registro de la radiación de calor 104 se realiza preferiblemente con resolución espacial. La radiación de calor registrada, es decir una imagen térmica del área del elemento constructivo semiconductor se evalúa a continuación 105. A este respecto en una forma de realización preferida en la evaluación se buscan diferencias térmicas locales. Esto significa que se buscan regiones o lugares que en particular muestran una radiación de calor mayor que zonas intactas normales del elemento constructivo semiconductor o zonas que muestran una radiación de calor mucho más reducida que zonas intactas normales del elemento constructivo semiconductor. Los resultados determinados de esta manera se emiten 106. Una emisión puede llevarse a cabo sin embargo también en otro momento del procedimiento 100.

Tras llevar a cabo la medición de derivación, es decir al menos el registro de la radiación de calor 104, o alternativamente, siempre y cuando no se lleve a cabo medición de derivación 103 alguna, un transcurso de un primer periodo ΔT_1 107 adecuado la dirección de la tensión aplicada al elemento constructivo semiconductor se cambia de modo que a continuación la unión pn del elemento constructivo semiconductor se hace funcionar en la dirección de paso 108. Durante o a continuación del cambio de la dirección de tensión aplicada se registra 109 la radiación luminiscente irradiada por el elemento constructivo semiconductor. La radiación luminiscente se registra en una forma de realización referida con resolución espacial, por ejemplo, con una cámara de área. En el caso de una cámara de área se trata preferiblemente de un fotodetector fabricado a base de silicio. Sin embargo, pueden utilizarse también otros detectores fotosensibles discrecionales que sean capaces de registrar con resolución espacial el elemento constructivo semiconductor de forma plana. En el registro se crean representaciones de intensidad de la radiación luminiscente de la superficie del elemento constructivo semiconductor. A continuación se evalúa la intensidad de la radiación luminiscente 110. En el caso de una evaluación sencilla la intensidad de luminiscencia registrada se compara 111 con un valor umbral. Esto puede realizarse tanto de manera integrada a través de toda el área como localmente. Si la intensidad se evalúa de manera integrada a través del área, entonces

un registro con resolución espacial de la intensidad no es forzosamente necesario. Si en la zona visible del detector fotosensible se encuentra una microfisura entonces, tras el cambio de la dirección de tensión de la dirección de bloqueo a la dirección de paso ha aumentado de manera excesiva notablemente con respecto a aquella intensidad que se emite por un elemento constructivo semiconductor intacto. Si por lo tanto se sobrepasa un valor umbral entonces en el campo de visión que se registra por el detector fotosensible, al menos existe una microfisura. Para poder localizar esta también es necesario un registro con resolución espacial y evaluación de la radiación luminiscente. Esto puede realizarse de nuevo locamente mediante una comparación con un valor umbral. De modo adyacente a lugares en los que se encuentra una microfisura, tras el cambio de la dirección de tensión de la dirección de bloqueo a la dirección de paso inicialmente puede observarse una intensidad de luminiscencia aumentada en exceso por encima de un valor umbral.

En una forma de realización mejorada se evalúa la intensidad de luminiscencia con resolución temporal. Esto puede llevarse a cabo tanto en el caso de un registro integral o evaluación integral de la intensidad de luminiscencia como en el caso registro y evaluación con resolución espacial. Esto se indica a través de una flecha 112. Para poder evaluar el comportamiento de atenuación de la intensidad de luminiscencia es necesario que la intensidad de la radiación luminiscente se registre de manera consecutiva en el tiempo. Mediante una evaluación comparativa puede registrarse 113 el comportamiento de atenuación de la radiación luminiscente. Este comportamiento de atenuación representa una segunda característica para la identificación de microfisura. En lugares en el entorno de una microfisura la intensidad de luminiscencia se atenúa a un nivel de intensidad tal como se observa en zonas de radiación intactas, es decir, distanciadas de puntos defectuosos. Esta atenuación se realiza en un orden de magnitud de algunos segundos por regla general. Por lo tanto, es posible una determinación muy rápida de las microfisuras posible. Dado que el comportamiento de atenuación temporal, así como el aumento excesivo de intensidad pueden determinarse mediante sustracción sencilla o evaluación comparativa pueden determinarse microfisuras con el procedimiento descrito sin una complejidad de cálculo y de evaluación. Durante la evaluación puede determinarse 114 por tanto muy bien el contraste entre zonas activas y zonas inactivas en la zona de microfisuras. En el caso de una evaluación con resolución espacial se localiza 115 adicionalmente la microfisura en el elemento constructivo semiconductor. Ha de señalarse que en lugares en los cuales están presentes las microfisuras inicialmente con frecuencia también se observa una intensidad de luminiscencia con un fotodetector. Aparentemente muestra por lo tanto también la microfisura misma una intensidad de luminiscencia elevada que sin embargo entonces se atenúa completamente o casi completamente. La causa para ello ha de buscarse en un comportamiento de sobreexcitación del detector fotosensible.

Se entiende para el experto en la materia que en la evaluación de la radiación luminiscente también pueden determinarse otros tipos puntos defectuosos, es decir zonas inactivas, etc.

Los puntos defectuosos determinados se emiten a continuación 116. Esto puede realizarse, por ejemplo, electrónicamente en forma de un juego de datos a través de una interfaz o a través de una visualización gráfica en un dispositivo de visualización, por ejemplo una pantalla. Tras la emisión de los puntos defectuosos el procedimiento ha finalizado 117.

En la figura 3 están representados esquemáticamente tres gráficos. En un primer gráfico 31 la dirección de tensión, que se aplica al elemento constructivo semiconductor está trazada frente al tiempo. En el gráfico central 32 la intensidad de luminiscencia de una célula solar intacta o de una zona intacta de una célula solar está trazada frente al tiempo. En el gráfico inferior 33 finalmente la intensidad de luminiscencia registrada de una célula solar con una microfisura o en la zona de una microfisura de un elemento constructivo semiconductor está trazada frente al tiempo.

En un momento t_1 se aplica o está aplicada una tensión al elemento constructivo semiconductor de modo que la unión pn se hace funcionar en la dirección de bloqueo. Ni en la zona de la microfisura ni en la zona de la célula solar intacta puede observarse una radiación luminiscente. En un momento t_2 la dirección de tensión se cambia, de modo que ahora disminuye por encima de la unión pn la tensión en la dirección de paso. En el entorno más cercano de la microfisura se utiliza ahora una intensidad de luminiscencia reforzada frente a las zonas intactas. La intensidad de la radiación luminiscente en el entorno más cercano de la microfisura supera la intensidad de la radiación luminiscente del resto de las zonas intactas en un múltiplo. El cambio de la dirección de tensión se realiza después de que haya transcurrido al menos un periodo ΔT_1 adecuado. Este puede determinarse en cada caso fácilmente de manera experimental y depende, entre otros, del material semiconductor del elemento constructivo semiconductor y de los valores de tensión aplicados en concreto. La intensidad de la radiación luminiscente que va a utilizarse en la zona de la microfisura está aumentada en exceso claramente con respecto a la intensidad que se registra en la zona intacta de la célula solar. Mientras que la intensidad de la radiación luminiscente en la zona intacta de la célula solar tras una subida inicial permanece casi constante temporalmente y alcanza en un momento t_3 el nivel del resto de las zonas intactas. De la comparación de las curvas e intensidad para la zona intacta y la zona de la microfisura puede detectarse una diferencia notable en la radiación luminiscente incidente, de modo que una evaluación de la intensidad de la radiación luminiscente tanto en cuanto a la intensidad de luminiscencia inicial observada como una evaluación en cuanto a un comportamiento de atenuación temporal de la intensidad suministran en cada caso una característica independiente para determinar una microfisura en un elemento constructivo semiconductor. Ha de indicarse en este punto que el aumento excesivo de la intensidad de la radiación luminiscente solo se observa cuando el elemento constructivo semiconductor anteriormente un periodo predefinido, que puede determinarse de

manera sencilla y depende del contacto y de la configuración del elemento constructivo semiconductor respectivo, se abastece inicialmente con una tensión de modo que la unión pn se hace funcionar en la dirección de bloqueo. Si esto no se realiza, entonces en la zona de la microfisura no puede observarse ninguna intensidad de luminiscencia aumentada en exceso.

5 Las intensidades y periodos están indicados en la figura 3 solo esquemáticamente. Tanto la relación de las intensidades de luminiscencia tras el cambio de la dirección de tensión en la microfisura y en la zona intacta como una relación del periodo $\Delta T1$ adecuado respecto al tiempo de atenuación de la intensidad de luminiscencia en la microfisura están seleccionadas solo a modo de ejemplo para propósitos de la representación y no representan ningún valor medido o empleado experimentalmente. Asimismo, las dimensiones de los componentes individuales en la figura 1 están representados solo esquemáticamente. En particular una expansión del elemento constructivo semiconductor 2 perpendicular a su área 16 está representada ampliada con el fin de ilustrar. Partes del dispositivo 1 están indicadas en perspectiva para ilustrar, otras están representadas solo esquemáticamente como bloques.

15 Lista de números de referencia

- 1 dispositivo para encontrar puntos defectuosos
- 2 elemento constructivo semiconductor
- 3 célula solar
- 20 4 contacto de lado trasero
- 5, 6 contactos de lado delantero
- 7 fuente de tensión
- 8 primera dirección
- 9 segunda dirección
- 25 10 clavijas elásticas
- 11 contactos de elemento constructivo semiconductor
- 12 equipo de cambio de dirección de tensión
- 13 detector fotosensible
- 14 equipo de evaluación
- 30 15 equipo de comparación
- 16 área del elemento constructivo semiconductor
- 17 interfaz
- 18 equipo de emisión
- 19 control
- 35 21 detector fotosensible adicional
- 31 gráfico tensión aplicada en el elemento constructivo semiconductor frente al tiempo
- 32 gráfico intensidad de luminiscencia en una zona intacta trazada frente al tiempo
- 33 gráfico intensidad de luminiscencia en la zona de una microfisura trazada frente al tiempo
- 100 procedimiento para encontrar puntos defectuosos
- 40 101 inicio
- 102 aplicar una tensión en la dirección de bloqueo
- 103 llevar a cabo una medición de derivación
- 104 registrar radiación de calor
- 105 evaluar radiación de calor registrada
- 45 106 emitir resultados
- 107 transcurso de un periodo $\Delta T1$
- 108 cambio de la dirección de tensión, de modo que una unión pn del elemento constructivo semiconductor se hace funcionar en la dirección de paso
- 109 registrar radiación luminiscente
- 50 110 evaluar intensidad de radiación luminiscente
- 111 comparar la intensidad con un valor umbral
- 112 flecha
- 113 evaluar un comportamiento de atenuación
- 114 determinar diferencias de contraste
- 55 115 localizar puntos defectuosos (fisuras)
- 116 emitir puntos defectuosos determinados

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento (100) para encontrar puntos defectuosos en un elemento constructivo semiconductor (2) con una unión pn, en particular en un elemento constructivo semiconductor (2) de extensión plana, de manera especialmente preferible en una célula solar, que comprende las etapas,
 5 aplicar una tensión al elemento constructivo semiconductor (2) por medio de una fuente de tensión (7); registrar radiación electromagnética, que se envía por el elemento constructivo semiconductor (2), por medio de al menos un detector fotosensible (13); evaluar la radiación electromagnética registrada;
 10 caracterizado por que la tensión se aplica al elemento constructivo semiconductor (2) inicialmente de modo que la unión pn se hace funcionar en la dirección de bloqueo, y a continuación se cambia la dirección de tensión, de modo que la unión pn del elemento constructivo semiconductor (2) se hace funcionar en la dirección de paso, y con el detector fotosensible (13) se registra una intensidad de una radiación luminiscente como la radiación electromagnética y se evalúa la intensidad registrada temporalmente tras el cambio de la dirección de tensión, de un funcionamiento de la unión pn en la dirección de bloqueo a un funcionamiento en la dirección de paso, detectándose un punto defectuoso mediante un aumento excesivo de intensidad tras el cambio de la dirección de tensión de la dirección de bloqueo a la dirección de paso.
 15
2. Procedimiento (100) según la reivindicación 1, caracterizado por que se examina una atenuación temporal de la intensidad tras el cambio de la dirección de tensión de la dirección de bloqueo a la dirección de paso, y se considera una bajada de la intensidad de luminiscencia como un criterio para una presencia de un punto defectuoso.
 20
3. Procedimiento (100) según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que durante el funcionamiento del elemento constructivo semiconductor (2) en la dirección de bloqueo se lleva a cabo una medición de derivación, durante la cual se registra radiación de calor del elemento constructivo semiconductor (2) como radiación electromagnética por medio del al menos un detector fotosensible (13) o de un detector fotosensible adicional (21) y se evalúan diferencias de calor locales, detectándose en particular aumentos excesivos de calor como puntos defectuosos.
 25
4. Procedimiento (100) según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que el al menos un detector fotosensible (13) registra la intensidad con resolución espacial, de modo que, a los puntos defectuosos, que se detectan mediante el aumento excesivo de intensidad de la radiación luminiscente se asocian posiciones en el elemento constructivo semiconductor (2).
 30
5. Procedimiento (100) según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que la intensidad de la radiación luminiscente con resolución espacial se registra por medio de una cámara sensible en la gama de longitud de onda de infrarrojos cercana en forma de imágenes y se evalúan varias imágenes tomadas consecutivamente en el tiempo de manera comparativa para evaluar diferencias de contraste para la localización de los puntos defectuosos.
 35
6. Procedimiento (100) según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que lugares del elemento constructivo semiconductor sin radiación (2), que están situados en una zona en la que se detectó el aumento excesivo de intensidad de la radiación luminiscente tras el cambio de la dirección de tensión de la dirección de bloqueo a la dirección de paso, se identifican como lugares de una microfisura.
 40
7. Dispositivo (1) para encontrar puntos defectuosos en un elemento constructivo semiconductor (2), en particular en un elemento constructivo semiconductor (2) de extensión plana, de manera especialmente preferible de una célula solar (3), que comprende una fuente de tensión (7), que puede conectarse con contactos (11) del elemento constructivo semiconductor (2), para aplicar al elemento constructivo semiconductor (2) una tensión; al menos un detector fotosensible (13) para registrar radiación electromagnética, que se envía por el elemento constructivo semiconductor (2),
 45 y un equipo de evaluación (14) para evaluar la radiación electromagnética emitida registrada por el elemento constructivo semiconductor (2), caracterizado por que un equipo de cambio de dirección de tensión (12) está acoplado con la fuente de tensión (7) o está integrado en la fuente de tensión (7), a través de la cual puede cambiarse de manera encauzada la dirección de tensión de la tensión aplicada al elemento constructivo semiconductor (2), de modo que, de un funcionamiento de una unión pn del elemento constructivo semiconductor (2) en la dirección de bloqueo puede cambiarse a un funcionamiento de la unión pn en la dirección de paso, y el equipo de evaluación (14) acoplado con el al menos un detector fotosensible (13) está configurado para evaluar una intensidad de una radiación luminiscente registrada tras el cambio de la dirección de tensión de la dirección de bloqueo a la dirección de paso como la radiación electromagnética, estando configurado el equipo de evaluación (14) para detectar un punto defectuoso mediante un aumento excesivo de intensidad tras el cambio de la dirección de tensión de la dirección de bloqueo a la dirección de paso.
 50
 55
 60
8. Dispositivo (1) según la reivindicación 7, caracterizado por que el equipo de cambio de dirección de tensión (12) es un equipo de conmutación,
 65

9. Dispositivo (1) según la reivindicación 7 u 8, caracterizado por que el al menos un detector fotosensible (13) es una cámara sensible en la gama de longitud de onda de infrarrojos cercana que captura la intensidad de la radiación luminiscente con resolución espacial y la presenta en forma de imágenes.
- 5 10. Dispositivo (1) según una de las reivindicaciones 7 a 9, caracterizado por que el equipo de evaluación (14) está configurado para evaluar un comportamiento de atenuación temporal de la intensidad.
- 10 11. Dispositivo (1) según una de las reivindicaciones 7 a 10, caracterizado por que el equipo de evaluación (14) comprende un equipo de comparación (15) que está configurado para una evaluación comparativa de imágenes capturadas de manera consecutiva en el tiempo.
- 15 12. Dispositivo (1) según una de las reivindicaciones 7 a 11, caracterizado por que el al menos un detector fotosensible (13) o un detector fotosensible adicional (21) son sensibles para radiación de calor, y están configurados para el registro con resolución espacial de radiación de calor, mientras que el elemento constructivo semiconductor (2) se hace funcionar en la dirección de bloqueo para registrar diferencias de radiación térmica locales y evaluarlas con el equipo de evaluación (14).
- 20 13. Dispositivo (1) según una de las reivindicaciones 7 a 12, caracterizado por que el equipo de evaluación (14) está configurado para identificar lugares del elemento constructivo semiconductor sin radiación (2), que están situados en una zona en la que se detectó el aumento excesivo de intensidad de la radiación luminiscente tras el cambio de la dirección de tensión de la dirección de bloqueo a la dirección de paso, como lugares de una microfisura.

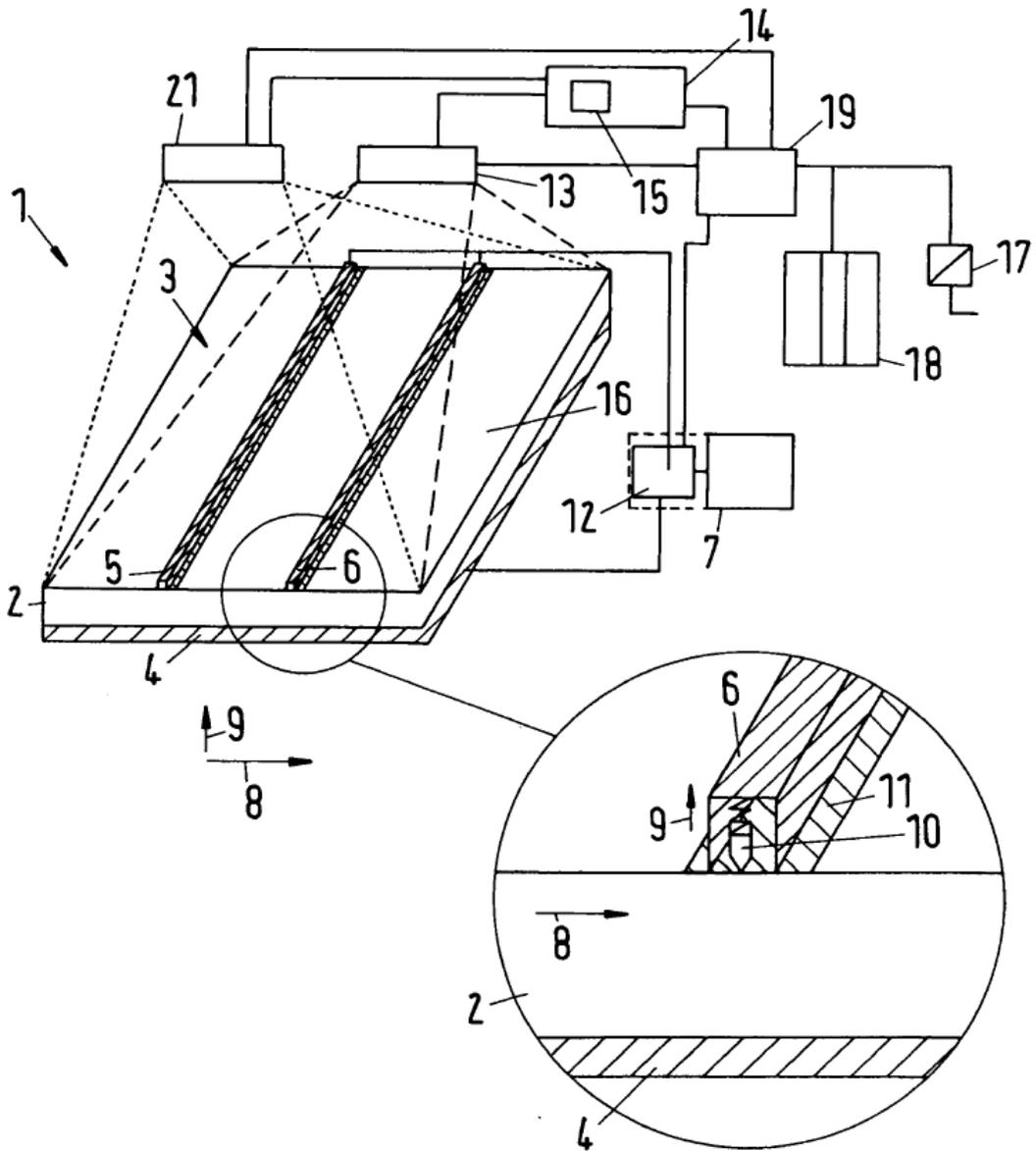


Fig.1

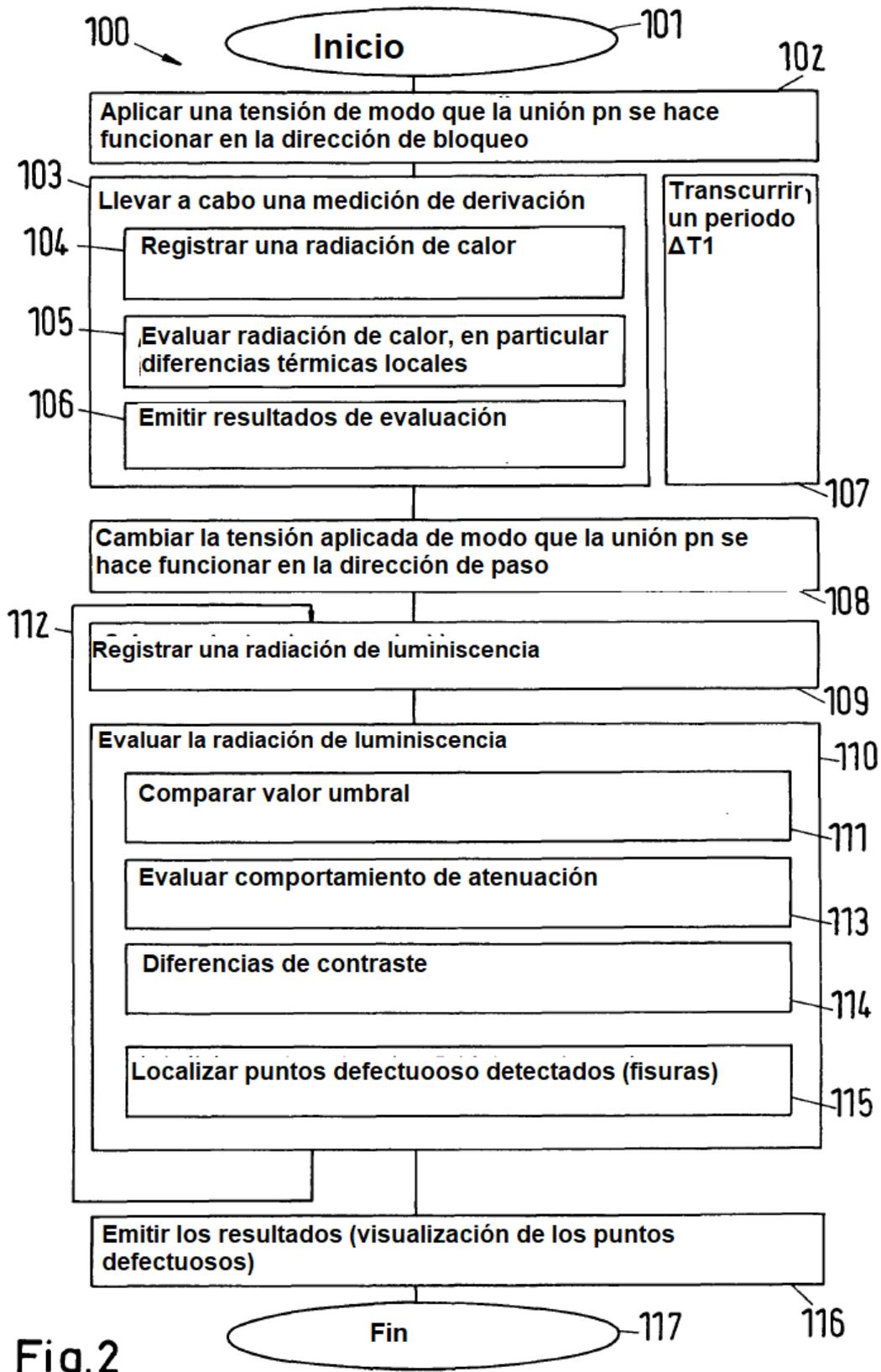


Fig.2

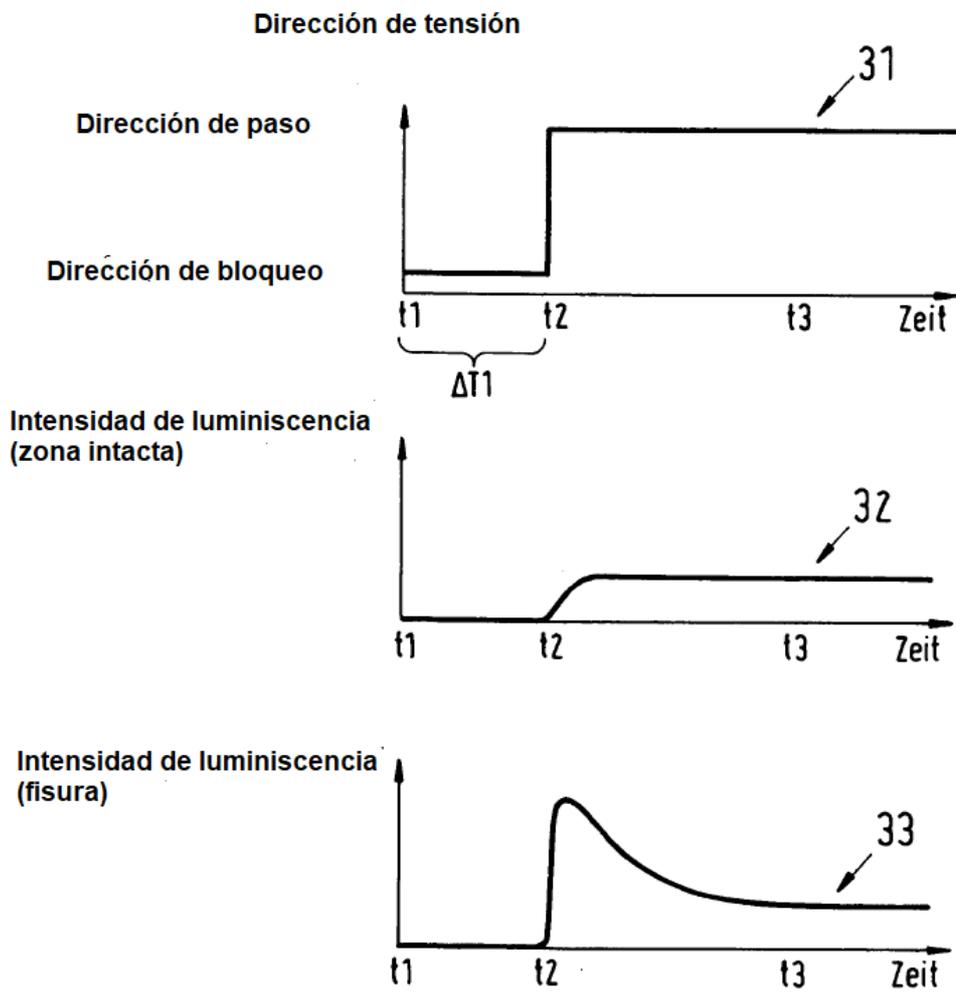


Fig.3