

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 735 051**

51 Int. Cl.:

G01N 21/95 (2006.01)

G01R 31/26 (2014.01)

G01N 21/66 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **04.04.2014 PCT/EP2014/056800**

87 Fecha y número de publicación internacional: **09.10.2014 WO14161983**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **04.04.2014 E 14718930 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **20.03.2019 EP 2981811**

54 Título: **Procedimiento y sistema de control de la calidad de un dispositivo fotovoltaico**

30 Prioridad:

05.04.2013 FR 1353055

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
13.12.2019

73 Titular/es:

**COMMISSARIAT À L'ÉNERGIE ATOMIQUE ET
AUX ÉNERGIES ALTERNATIVES (100.0%)
25, Rue Leblanc, Bâtiment "Le Ponant D"
75015 Paris, FR**

72 Inventor/es:

MABILLE, LOÏC

74 Agente/Representante:

LEHMANN NOVO, María Isabel

ES 2 735 051 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 sistema de control de la calidad de un dispositivo fotovoltaico

5 La invención se refiere a un procedimiento y a un sistema de control de la calidad de un dispositivo fotovoltaico que comprende una célula fotovoltaica ensamblada con un sustrato por mediación de una superficie de contacto de ensamblaje.

10 Una célula fotovoltaica es un componente electrónico que, cuando se somete a radiaciones luminosas tales como las del Sol, genera una corriente eléctrica continua que es función de la intensidad de la luz incidente, y una tensión continua que es dependiente del espectro de esta luz incidente. La célula fotovoltaica está lo más a menudo constituida por uno o varios materiales semiconductores, principalmente a base de silicio, y más raramente de seleniuro de cobre, de telurio de cadmio. La misma puede también estar constituida por materiales de las clases periódicas III y V de la tabla de Mendeleiev tales como el indio, el galio, el fósforo, el arsénico y otros. La célula se presenta generalmente en forma de una placa de poco espesor y de algunos milímetros a varios centímetros de lado.

15 Varias células pueden juntarse en un receptor, módulo o panel solar fotovoltaico y ensamblarse sobre un sustrato. Para algunas aplicaciones tales como el ámbito fotovoltaico de concentración (conocido bajo la sigla CPV), la conexión entre las células fotovoltaicas y el sustrato se realiza por una soldadura metálica o una resina epoxi, entre otros.

20 Una célula fotovoltaica solo convierte una parte de la luz incidente, entre un 10 y un 40% de ésta, según la tecnología utilizada. El excedente de energía luminosa, no convertido en electricidad, es convertido en calor y produce un calentamiento de la célula. Para evitar un sobrecalentamiento de ésta, el sustrato se ensambla generalmente con un disipador de energía. Así, la célula se monta en la cima de una cadena de disipación térmica que comprende el sustrato, la soldadura y el disipador, destinada para disipar el calor producido por la energía luminosa no convertida en electricidad.

25 La superficie de contacto de ensamblado entre la célula fotovoltaica y el sustrato es una zona particularmente crítica de esta cadena térmica. En efecto, durante la concepción de esta superficie de contacto, por fusión de la soldadura para retomar el ejemplo anteriormente citado, o por solidificación de la resina, pueden formarse defectos tales como bolsas de aire, corrientemente llamadas «voids» (del inglés «voids» que significa «vacíos»). Estos defectos producen una ruptura de la cohesión térmica y mecánica en el lugar donde el aire queda aprisionado. Se produce con ello una disminución de la eficacia de la cadena térmica y, con el tiempo, fallos de la célula, incluso una destrucción de ésta.

30 Por consiguiente, es importante realizar, al final del proceso de fabricación del receptor, módulo o panel fotovoltaico, un control de la calidad de la superficie de contacto de ensamblado célula/sustrato con el fin de detectar eventuales defectos del tipo de vacíos.

35 Existen principalmente dos técnicas de detección de vacíos en la superficie de contacto de ensamblado entre célula y sustrato:

- la tomografía por rayos X;
- la formación de imagen por infrarrojos.

40 La primera técnica proporciona excelentes resultados pero necesita un equipo pesado y costoso. La segunda técnica requiere un tiempo de estabilización térmica importante y se muestra por consiguiente poco compatible con las presiones de una fabricación industrial.

45 El documento N. Bosco et al. "CPV Cell Infant Mortality Study", 7th International Conference on Concentrating Photovoltaic Systems (CPV-7), Las Vegas, Nevada, Abril 4-6, 2011 describe dos procedimientos que permiten la detección de vacíos formados en la capa epoxi de fijación de una célula fotovoltaica a un sustrato. El primer procedimiento consiste en la captura de una imagen infrarroja mientras la célula es alimentada por una corriente, siendo las variaciones mostradas en la imagen causadas por las variaciones de resistencia térmica debidas a las bolsas de aire. El segundo procedimiento es un procedimiento de tomografía por rayos X.

La presente invención intenta mejorar la situación.

50 A este respecto, la invención se refiere a un procedimiento de control de la calidad de un dispositivo fotovoltaico que comprende una célula fotovoltaica ensamblada a un sustrato por mediación de una superficie de contacto de ensamblado, que comprende las etapas siguientes de:

- inyección de una corriente eléctrica a través de la célula fotovoltaica;

- adquisición de una señal de medición de radiaciones luminosas emitidas por la célula fotovoltaica, por electroluminiscencia, en respuesta a la corriente inyectada;

5 caracterizado porque la corriente de inyección es una primera corriente que tiene una densidad superior a un umbral de corriente predefinido de detección de defectos de ensamblado, y está prevista una etapa de detección de al menos un defecto en la superficie de contacto de ensamblado a partir de dicha señal de medición adquirida.

10 Una célula fotovoltaica tiene por función principal convertir los fotones en electrones, dicho de otro modo, convertir la luz incidente en electricidad. A la inversa, cuando la célula se polariza, la misma emite luz, en una o varias longitudes de onda predefinidas por el número de uniones p-n que contiene la célula, así como por los materiales que componen estas uniones, en respuesta a la corriente que la atraviesa. Se trata de un fenómeno de electroluminiscencia que resulta de la recombinación radiativa de electrones inyectados y de orificios electrónicos en la materia, produciendo los fotones. Sin embargo, solo una parte de los electrones inyectados son convertidos en fotones. El excedente de electrones, no convertidos en fotones, se recombinan de forma no radiativa, provocando así un calentamiento de la célula, a veces muy importante.

15 Es conocido, particularmente por el documento EP2343534, utilizar la propiedad de electroluminiscencia de una célula fotovoltaica para detectar defectos de estructura de la célula propiamente dicha.

20 La presente invención utiliza igualmente la propiedad de electroluminiscencia de la célula fotovoltaica. Sin embargo, en la invención, esta propiedad de electroluminiscencia de la célula se utiliza, de modo sorprendente, para detectar defectos presentes no en la célula propiamente dicha sino en la superficie de contacto de ensamblado entre la célula y el sustrato. La invención se basa en un fenómeno de modificación del comportamiento electroluminiscente de la célula relacionado con un defecto en la superficie de contacto de ensamblado, observados recientemente por los inventores. En efecto, en la célula, cuando la corriente inyectada es suficientemente fuerte, en el lugar situado en el sitio del defecto en la superficie de contacto de ensamblado, se puede observar un aumento de la intensidad de la (o de las) radiación(es) luminosa(s) emitida(s) por la célula, por electroluminiscencia. Un defecto, tal como una laguna igualmente llamada bolsa de aire o «vacío», de la superficie de contacto de ensamblado entre la célula y el sustrato tiene por consiguiente un impacto sobre el comportamiento electroluminiscente de la célula en el lugar situado en el lugar de este defecto. La invención utiliza de forma astuta este fenómeno para detectar y posicionar los defectos, en particular de las lagunas, en la superficie de contacto de ensamblado, por inyección de una corriente adaptada.

Ventajosamente, el umbral de detección de defectos de ensamblado es igual a $1 \text{ A}\cdot\text{cm}^{-2}$.

30 Con una corriente de densidad superior a $1 \text{ A}/\text{cm}^2$, se puede discernir fácilmente la posición de un defecto en la superficie de contacto de ensamblado para algunos tipos de dispositivos fotovoltaicos. Cuanto más fuerte es la corriente inyectada, más visible es el defecto en la imagen adquirida. El valor máximo de la corriente de inyección puede ser del orden de varias decenas de amperios, incluso más. En cualquier hipótesis, la corriente de inyección debe ser inferior a un valor máximo para el cual produciría un deterioro bien sea de la superficie de contacto de ensamblado (por ejemplo, por fusión de la interfaz debido a un calentamiento demasiado importante de la célula), o de la célula (por ejemplo, por embalamiento térmico). Este valor superior máximo de la corriente de inyección depende de las características físicas de la célula y de la superficie de contacto de ensamblado.

A partir de la señal de medición adquirida, se puede formar una imagen representativa de una superficie de emisión de la célula fotovoltaica, caracterizándose cada pixel de imagen por una magnitud física medida relacionada con las radiaciones luminosas emitidas por la célula en respuesta a la corriente inyectada.

40 La adquisición puede realizarse muy rápidamente por una toma de imagen puntual.

Ventajosamente, la primera corriente se inyecta en forma de un impulso de una duración predeterminada. Ventajosamente aún, el tiempo del impulso de la corriente se encuentra comprendido entre 1 ms y 10 s.

La etapa de inyección puede así consistir en aplicar un simple impulso de corriente a la célula.

45 La adquisición de la señal de radiación es ventajosamente sincronizada con esta etapa de inyección. La señal de radiación es de preferencia adquirida durante la inyección de un impulso de corriente, incluso muy breve, producido de forma instantánea o casi instantánea:

- por una parte, una emisión de luz por la célula, por recombinación radiativa de una parte de los electrones inyectados, y
- por otra parte, un calentamiento de la célula, por recombinación no radiativa del excedente de electrones.

50 La inyección de un impulso de corriente basta para detectar un eventual defecto en la superficie de contacto de ensamblado a partir de la señal de radiaciones luminosas adquiridas. Así, de forma sorprendente, para detectar un eventual defecto de la superficie de contacto de ensamblado, no es necesario inyectar la corriente durante un tiempo

suficientemente largo para permitir a la célula extender el flujo de calor impuesto por la inyección de electrones al conjunto de la cadena térmica, ni esperar una estabilización térmica de ésta.

El procedimiento de la invención puede comprender en su totalidad o parte de las características adicionales siguientes:

- 5 - el procedimiento comprende una operación de tratamiento de la imagen adquirida, durante la cual se detecta al menos una zona de imagen correspondiente a un pico de la indicada magnitud física medida, en el interior de la cual los píxeles de imagen se caracterizan por magnitudes físicas medidas superiores a un umbral predeterminado;
- 10 - la operación de tratamiento comprende una etapa de formación de umbrales que produce una imagen cuyos píxeles están asociados con uno u otro de dos valores predeterminados, según la magnitud física medida que caracteriza el píxel considerado sea inferior o superior a un umbral predefinido;
- la operación de tratamiento comprende una etapa de reconocimiento de forma en la imagen para detectar al menos una zona en forma de elipse;
- 15 - el procedimiento comprende además una etapa de inyección de una segunda corriente eléctrica a través de la célula fotovoltaica, teniendo la indicada segunda corriente una densidad inferior al indicado umbral de corriente predefinido, seguida de una etapa de adquisición de una señal de medición relacionada con las radiaciones luminosas emitidas por la célula fotovoltaica, por electroluminiscencia, en respuesta a la segunda corriente inyectada y por una etapa de detección de al menos un defecto en la célula a partir de la señal de medición adquirida en respuesta a la inyección de la segunda corriente;
- 20 - el dispositivo fotovoltaico a controlar perteneciente a un lote de una pluralidad de dispositivos fotovoltaicos, se selecciona un subconjunto de dispositivos dentro del lote, se realizan ensayos de calificación por tomografía por rayos X en los dispositivos fotovoltaicos seleccionados con el fin de obtener una cartografía de los defectos de ensamblado, se realizan ensayos en los dispositivos seleccionados inyectando diferentes valores de corriente, se determina a partir de que valor límite de corriente los defectos de ensamblado observados por tomografía aparecen igualmente por electroluminiscencia y se deduce de ello el indicado umbral de corriente de detección de defectos de ensamblado.

La invención se refiere también a un sistema de control de la calidad de un dispositivo fotovoltaico que comprende una célula fotovoltaica ensamblada con un sustrato por mediación de una superficie de contacto de ensamblado, que comprende:

- 30 • un dispositivo de inyección de una corriente eléctrica a través de la célula fotovoltaica;
- un dispositivo de adquisición de una señal de medición de radiaciones luminosas emitidas por la célula fotovoltaica, por electroluminiscencia, en respuesta a la corriente inyectada;

35 caracterizado por que el dispositivo de inyección está adaptado para inyectar una primera corriente con una densidad superior a un umbral de corriente predefinido de detección de defectos de ensamblado y con una densidad superior a $1\text{A}\cdot\text{cm}^{-2}$, y por que comprende además un dispositivo de tratamiento de la señal adquirida adaptado para detectar al menos un defecto en la superficie de contacto de ensamblado a partir de dicha señal adquirida.

La invención se comprenderá mejor con la ayuda de la descripción siguiente de un modo de realización particular del procedimiento y del sistema de detección de la invención, en referencia a los dibujos adjuntos en los cuales:

- 40 - la figura 1 representa una ilustración del fenómeno de electroluminiscencia aplicado, a título de ejemplo ilustrativo, a una célula fotovoltaica de triple unión;
- la figura 2 representa una célula fotovoltaica montada en una cadena de disipación térmica, según un ejemplo de realización particular;
- la figura 3 representa un ejemplo de realización de una instalación de adquisición de una señal de medición de radiaciones luminosas emitidas por electroluminiscencia por una célula;
- 45 - la figura 4 representa un esquema bloque funcional del sistema de control de calidad de la invención, según un ejemplo particular de realización;
- la figura 5 representa un organigrama de las etapas del procedimiento de control de calidad de la invención, según un primer modo particular de realización;
- la figura 6 representa un organigrama de las etapas del procedimiento de control de calidad de la invención, según un segundo modo particular de realización;
- 50 - las figuras 7A y 7B representan imágenes obtenidas a partir de radiaciones emitidas por electroluminiscencia por una célula ensamblada con un sustrato por mediación de una superficie de contacto, por la realización del procedimiento de la figura 6, respectivamente antes y después del tratamiento.

55 Una célula fotovoltaica tiene por función principal convertir una luz incidente en electricidad, dicho de otro modo, de convertir los fotones en electrones. A la inversa, cuando una corriente se inyecta a través de la célula, por polarización de ésta, la célula emite radiaciones luminosas por electroluminiscencia. Este fenómeno es el resultado

de la recombinación radiativa de una parte de los electrones inyectados y de orificios electrónicos en la materia que produce los fotones.

5 El fenómeno de electroluminiscencia se ilustra a título de ejemplo en la figura 1 en el caso particular de una célula fotovoltaica de triple unión 1. Esta célula de triple unión 1 comprende tres capas (o uniones) finas superpuestas, C1, C2 y C3, llamadas «Bot» para la capa baja C1, «Mid» para la capa intermedia C2 y «Top» para la capa alta C3. En el ejemplo particular de la figura 1, las capas C1, C2, y C3 están constituidas por semiconductores Ge, InGaAs e InGaP respectivamente. Cuando la célula 1 se polariza, como se ha representado por los signos «+» y «-» en la figura 1, las tres capas C1, C2 y C3 emiten radiaciones luminosas respectivamente en tres longitudes de onda específicas $\lambda_1=1750$ nm, $\lambda_2=880$ nm, $\lambda_3=680$ nm. Estas tres longitudes de onda λ_1 , λ_2 , λ_3 caracterizan la célula 1.

10 Solo una parte de los electrones inyectados en una célula fotovoltaica producen fotones por electroluminiscencia. Los electrones inyectados que no se recombinan de forma radiativa producen un desprendimiento de calor. Para evacuar este calor, la célula fotovoltaica está montada en una cadena de disipación térmica. Un ejemplo de realización de dicha cadena térmica se ha representado en la figura 2. La cadena térmica representada comprende:

- 15
- un substrato 2, sobre el cual la célula 1 está montada por mediación de una superficie de contacto de ensamblado (no aparente en la figura 2), realizada aquí por soldadura,
 - un disipador térmico 3, sobre el cual el substrato 2 va montado.

El término «ensamblado» designa la reunión de entidades inicialmente separadas, en este caso el substrato 2 y la célula 1.

20 La superficie de contacto de ensamblado constituye un elemento crítico de esta cadena térmica. Durante la realización de esta superficie de contacto, aquí por fusión de la soldadura, defectos tales como orificios o bolsas de aire, corrientemente llamadas «vacíos», son susceptibles de formarse. Puede suceder igualmente que, en la realización de la superficie de contacto de ensamblado, un cuerpo extraño caiga en la superficie de contacto. Este cuerpo es susceptible de degradar de forma significativa la eficacia de la cadena térmica si su conductividad térmica es demasiado baja. Durante el funcionamiento de la célula, estos defectos (bolsas/vacíos o cuerpos extraños de

25 baja conductividad térmica) inducen un sobrecalentamiento local y, por consiguiente, disminuyen la eficacia de la cadena térmica.

El procedimiento y el sistema de control de calidad de la invención permiten detectar tales defectos situados en la superficie de contacto de ensamblado entre una célula fotovoltaica y su substrato. Puede utilizarse durante una fase de control de calidad de una célula fotovoltaica ensamblada con su substrato, por ejemplo, al final del proceso de

30 fabricación de un receptor, módulo o panel fotovoltaico que contengan una pluralidad de células.

El procedimiento es realizado por un sistema de control de calidad que se compone de las tres entidades siguientes:

- 35
- una instalación E1 de adquisición de una señal de medición de radiaciones luminosas emitidas por la célula, por electroluminiscencia, en respuesta a una corriente inyectada a través de ésta,
 - un dispositivo E2 de tratamiento de la señal de medición adquirida y
 - un dispositivo de control E3.

La instalación de adquisición E1, de la cual un ejemplo de realización está representado en la figura 3, comprende una fuente 4 de alimentación de tensión continua, un voltímetro 5 de control de la tensión aplicada y un dispositivo de formación de imagen 6.

40 La fuente de alimentación 4 está destinada para ser conectada a los terminales de la célula fotovoltaica y para polarizar ésta, con el fin de inyectar una corriente a través de la célula. La célula fotovoltaica presenta una característica corriente-tensión adecuada, análoga a la de un diodo. El valor de la tensión aplicado en los terminales de la célula determina por consiguiente el valor de la corriente inyectada a su través. El voltímetro 5 está destinado para controlar la tensión aplicada en los terminales de la célula. El voltímetro 5 es facultativo si la visualización de los valores de tensión sobre la alimentación 4 es lo suficientemente precisa.

45 En funcionamiento, bajo el control del dispositivo de control E3, la fuente 4 aplica en los terminales de la célula a controlar:

- 50
- a) una primera tensión V_1 adaptada para inyectar a través de la célula una primera corriente I_1 , llamada «fuerte»,
 - b) y eventualmente una segunda tensión V_2 adaptada para inyectar a través de la célula una segunda corriente I_2 llamada «baja».

En el primer caso a), el valor I_1 de la corriente inyectada permite detectar uno o varios defectos en la superficie de contacto de ensamblado entre la célula y su substrato.

En el segundo caso b), el valor I_2 de la corriente inyectada permite detectar uno o varios defectos en la célula propiamente dicha.

Por convención, una corriente se dice «fuerte» si es superior a un valor límite dado y se dice «baja», si es inferior al valor límite. Este valor límite corresponde a un umbral de corriente determinado de detección de defectos de ensamblado. Dicho de otro modo, cuando una corriente inyectada es superior a este umbral, permite detectar defectos de ensamblado por el procedimiento de la invención, como se explicará más adelante. Este valor límite, o umbral, de corriente es aquí igual a $1 \text{ A}\cdot\text{cm}^2$. Sin embargo, depende del tipo de célula y de sustrato utilizados. El mismo puede ser determinado durante una etapa de configuración previa aplicada a un número limitado de dispositivos fotovoltaicos análogos al o a los que hay que controlar. Por ejemplo, en el caso de un control de calidad que se refiera a un lote de N dispositivos fotovoltaicos, se selecciona un sub-conjunto de dispositivos en el lote, por ejemplo, x% de los N dispositivos del lote o un número limitado p de dispositivos del lote. En un primer tiempo, se realizan ensayos de calificación por tomografía por rayos X sobre los dispositivos fotovoltaicos seleccionados con el fin de obtener una cartografía de los defectos de ensamblado. En un segundo tiempo, se realizan ensayos sobre los dispositivos seleccionados inyectando diferentes valores de corriente y se determina a partir de que valor límite de corriente los defectos de ensamblado observados por tomografía aparecen igualmente por electroluminiscencia, por aplicación del procedimiento de control de calidad de la invención, del cual un modo de realización particular se describe más adelante. Se deduce de ello el umbral de corriente que permite la detección de defectos de ensamblado, correspondiente al valor límite de corriente así determinado.

El dispositivo de formación de imagen espectral 6 es apto para adquirir una señal espectral de medición de radiaciones luminosas emitidas por electroluminiscencia, en respuesta a una corriente inyectada, por los diferentes puntos o elemento superficial de la superficie de emisión de la célula. Más precisamente, en funcionamiento, el dispositivo 6 mide una magnitud física, aquí la intensidad luminosa, relacionada con las radiaciones emitidas por elementos de superficie de emisión de la célula. El dispositivo de formación de imagen puede ser por ejemplo una cámara hiperespectral, provista de una matriz de captadores aptos para medir un número de fotones. En variante, puede tratarse de una cámara apta para medir la intensidad de las radiaciones luminosas en una banda espectral menos extensa, que cubra al menos una de las longitudes de onda que caracterizan esta célula, o también un espectrómetro. En cualquier hipótesis, la señal de medición adquirida por el dispositivo 6 permite formar aquí una imagen 2D (es decir de dos dimensiones) que representa la superficie de emisión de la célula considerada. Cada píxel de imagen, correspondiente a un punto o elemento de superficie de la superficie de emisión, se caracteriza por un valor representativo de la intensidad luminosa de las radiaciones luminosas detectadas. En la imagen 2D formada, las intensidades luminosas de los diferentes píxeles pueden ser representadas por ejemplo por colores o degradaciones de color. En lugar de una representación de la superficie de emisión en 2D, se podría considerar una representación, o imagen, en 3D (es decir en tres dimensiones) en la cual la intensidad luminosa asociada con un elemento de superficie estaría representada utilizando una tercera dimensión.

Los filtros pueden estar asociados con el dispositivo de formación de imagen 6, particularmente con la cámara hiperespectral, para seleccionar en la señal de amplio espectro adquirida una o varias banda(s) espectral(es) estrecha(s) calada(s) en la o las longitudes de onda que caracterizan la célula a controlar. Cada píxel de imagen está así caracterizado por un valor de intensidad luminosa correspondiente a la intensidad luminosa de las radiaciones emitidas a la(s) longitudud(es) de onda filtradas.

El dispositivo de tratamiento E2 está destinado para tratar una imagen de las radiaciones luminosas emitidas por la célula tomada por la cámara. Comprende:

- un módulo 7 de corrección de los efectos de borde;
- un módulo de formación de umbral 8;
- un módulo de reconocimiento de forma 9;
- un módulo de detección 10.

El funcionamiento y los cometidos respectivos de estos diferentes módulos 7-10 aparecerán de forma más detallada en la descripción del procedimiento.

El dispositivo de control E3 está conectado a los diferentes elementos del sistema y destinado para controlar el funcionamiento de estos elementos, como eso se explicará en la descripción del procedimiento de detección.

Ahora se describirá, en referencia con la figura 5, un primer modo de realización del procedimiento de control de calidad de la invención. Este primer modo de realización trata de detectar los defectos en la superficie de contacto de ensamblado entre una célula fotovoltaica y su sustrato. A título de ejemplo ilustrativo, el procedimiento se aplica para la detección de defecto(s) en la superficie de contacto de ensamblado entre la célula 1 y su sustrato 2.

Durante una etapa S0 de inyección de una corriente, la célula 1, de una superficie de 1 cm^2 en este ejemplo particular y puramente ilustrativo, se polariza por aplicación de una tensión V_1 por la fuente 5, permitiendo obtener una corriente de inyección fuerte I_1 de un valor deseado. Por ejemplo, habida cuenta de la característica corriente-tensión de la célula 1, la tensión V_1 puede ser igual a 3,3 V y la corriente de inyección I_1 resultante igual a 15 A. Con

dicho valor de corriente, la temperatura de la célula 1 puede alcanzar una temperatura de aproximadamente 100°C. La tensión V_1 es aplicada en forma de un impulso, o pico, de corta duración ΔT . El valor de ΔT está comprendido entre 1 ms y 10 s. Esta duración ΔT corresponde a una ventana temporal de inyección de corriente I_1 a través de la célula 1. Se apreciará que la duración de ΔT al ser muy breve, el control de calidad es poco consumidor de tiempo y por consiguiente fácilmente utilizable para controlar la calidad de la superficie de contacto de ensamblado célula-substrato al final de la fabricación.

En respuesta a la corriente fuerte I_1 inyectada, la célula 1 emite radiaciones luminosas, por electroluminiscencia, a las longitudes de onda $\lambda_1=1750$ nm, $\lambda_2=880$ nm, $\lambda_3=680$ nm, que caracterizan la célula 1.

La etapa S0 de inyección de la corriente I_1 es seguida de una etapa S1 de adquisición de una señal de medición relacionada con las radiaciones luminosas emitidas por la célula 1 en respuesta a la corriente I_1 inyectada. Durante esta etapa S1, el dispositivo de formación de imagen 6 adquiere una señal de medición de la intensidad luminosa de las radiaciones luminosas emitidas por la célula 1. En el ejemplo particular descrito aquí, el dispositivo 6 funciona en una ancha banda espectral que cubre las tres longitudes de onda $\lambda_1=1750$ nm, $\lambda_2=880$ nm, $\lambda_3=680$ nm. Detecta por consiguiente las radiaciones emitidas por las tres capas C1, C2 y C3 de la célula triple unión 1. La señal adquirida por el dispositivo 6 forma una imagen 2D (es decir de dos dimensiones), indicada por IM_0 , que representa la superficie de emisión luminosa de la célula 1. Cada píxel de imagen se caracteriza por un valor de intensidad luminosa de las radiaciones emitidas por un punto o elemento de superficie correspondiente de la superficie de emisión de la célula 1 y detectadas por el dispositivo de formación de imagen 6.

Durante una etapa S2, el módulo de corrección 7 realiza una operación de corrección de efectos de borde en la imagen IM_0 . En efecto, la corriente I_1 se inyecta en la célula 1 por medio de barras colectoras (del inglés «bus bars») que se extienden a lo largo de dos bordes opuestos de la célula 1. Con ello resulta que la densidad de electrones, y por consiguiente de fotones producidos, es más importante en la proximidad de estos bordes. La intensidad de las radiaciones luminosas emitidas por la célula es por consiguiente más fuerte en la proximidad de los bordes donde están situadas las barras colectoras. Es lo que se llama aquí los «efectos de borde». El módulo de corrección 7 corrige estos efectos de borde dividiendo cada línea de píxeles de la imagen por la media de la proyección de la imagen sobre el eje perpendicular en las barras colectoras. La imagen corregida es indicada por IM_1 . Cada píxel de la imagen IM_1 se caracteriza por un valor de intensidad luminosa, eventualmente corregida según la posición del píxel.

Durante una etapa S3, el módulo de umbral 8 realiza una operación de formación de umbral de los píxeles de la imagen corregida IM_1 . La operación consiste, para cada píxel de imagen, en determinar si el valor de intensidad que caracteriza este píxel es superior o inferior a un umbral predeterminado TH de intensidad luminosa. Este umbral puede ser determinado manualmente o por aprendizaje a partir de una calibración por muestreo de la producción. Si el valor de intensidad luminosa del píxel es inferior al umbral TH, un primer valor, aquí cero, es atribuido al píxel. Si el valor de intensidad luminosa del píxel es superior al umbral TH, un segundo valor, aquí uno, es atribuido al píxel. Así, al término de la etapa de formación de umbral, se obtiene una imagen 2D, indicada por IM_2 , de píxeles con bien sea el valor «0», o el valor «1», correspondiendo los píxeles a «1» a puntos de la célula 1 donde la intensidad luminosa medida es la más fuerte. Los píxeles de valor 1 corresponden a picos de intensidad luminosa.

Es conocido que una bolsa (o un «vacío») presente una forma de elipsoide. En la imagen de formación de umbral IM_2 obtenida al término de la etapa de formación de umbral S3, un «vacío» tiene por consiguiente sustancialmente un contorno en forma de elipse, que contiene píxeles de valor 1. La etapa de formación de umbral S3 es seguida de una etapa de reconocimiento de forma S4, realizada por el módulo 9 en la imagen de umbral IM_2 . Durante esta etapa S4, el módulo 9 identifica cualquier forma de elipse formada por píxeles de valor 1 en la imagen formada de umbral IM_2 .

Durante una etapa S5, el módulo 10 detecta las bolsa(s), o «vacíos», que corresponden a las zonas en forma de elipse detectadas durante la etapa S2 y produce una cartografía 2D, indicada por IM_3 , de la superficie de emisión de la célula 1 que hace aparecer la o las bolsa(s), o «vacío(s)», detectado(s).

Las figuras 7A y 7B representan respectivamente la imagen IM_0 , es decir antes del tratamiento, y la imagen IM_3 , es decir después del tratamiento. Las intensidades luminosas se representan por degradaciones de color gris. En la figura 7B, las bolsas detectadas, indicadas 11, están representadas por zonas más claras que el resto de la imagen.

Se subrayará aquí que la respuesta electroluminiscente de la célula 1 en caso de inyección de una corriente fuerte (en este caso superior a 1 A.cm⁻²) permite detectar defectos presentes en la superficie de contacto de ensamblado entre la célula 1 y su substrato 2. Eso resulta del hecho que un defecto en la superficie de contacto de ensamblado tiene por efecto modificar el comportamiento electroluminiscente de la célula 1 propiamente dicha. En el lugar de la célula 1 situado a la derecha del defecto en la superficie de contacto de ensamblado, se produce un aumento de la intensidad de las radiaciones luminosas λ_1 , λ_2 y λ_3 emitidas por la célula 1 por electroluminiscencia. Cualquier defecto de tipo bolsa (o «vacío») en la superficie de contacto de ensamblado tiene un impacto sobre las propiedades físicas de la célula 1 y, por consiguiente, sobre el comportamiento de ésta en electroluminiscencia. Así, una bolsa (o «vacío») en la superficie de contacto produce una heterogeneidad en la emisión de radiaciones luminosas de la

célula por electroluminiscencia. La intensidad luminosa emitida es más intensa en el lugar de la célula bajo el cual se sitúa una bolsa, a nivel de la superficie de contacto de ensamblado.

5 El procedimiento de la invención consiste así en cartografiar la intensidad de emisión de radiaciones luminosas de la célula y en detectar en ella las heterogeneidades de emisión debidas a la presencia de vacíos (o de bolsas) en la superficie de contacto de ensamblado entre esta célula y su sustrato.

La célula propiamente dicha puede igualmente contener defectos (tales como «shunts» -es decir zonas de paso preferencial de la corriente-, rayados, fisuras, u otros) susceptibles de producir un sobrecalentamiento local de la célula y extinción de ésta, incluso la destrucción de la célula.

10 En un segundo modo de realización del procedimiento de la invención, se detecta, por una parte, eventuales defectos estructurales en la célula por inyección de una corriente baja I_2 y, por otra parte, de eventuales defectos en la superficie de contacto de ensamblado de la célula y de su sustrato por inyección de una corriente fuerte I_1 .

15 El procedimiento según el segundo modo de realización comprende una primera fase de detección de defectos en la célula seguida de una segunda fase de detección de bolsas en la superficie de contacto de ensamblado entre la célula y su sustrato. A título de ejemplo ilustrativo, el procedimiento se aplica a la célula 1, al sustrato 2 y a la superficie de contacto de ensamblado.

20 La primera fase de detección comprende una etapa S6 de inyección de una corriente baja I_2 , de un valor inferior a 1 A.cm^{-2} , a través de la célula 1. A este respecto, la célula 1 es polarizada por aplicación de una tensión V_2 por la fuente 5, que permite obtener la corriente baja I_2 el valor deseado. Por ejemplo, habida cuenta de las características de la célula 1, la tensión V_2 puede ser igual a 2,9 V y la corriente de inyección I_2 igual a 500 mA. La tensión V_2 se aplica durante un tiempo comprendido entre 1 ms y 10 s.

En respuesta a la corriente I_2 inyectada, la célula 1 emite radiaciones luminosas, por electroluminiscencia, a las longitudes de onda $\lambda_1=1750 \text{ nm}$, $\lambda_2=880 \text{ nm}$, $\lambda_3=680 \text{ nm}$, que caracterizan la célula 1.

25 La etapa S6 de inyección de corriente es seguida de una etapa S7 de adquisición de una señal de medición de la intensidad de radiaciones luminosas emitidas por la célula 1 en respuesta a la corriente inyectada I_2 . Durante esta etapa S7, el dispositivo de formación de imagen 6 mide la intensidad luminosa de las radiaciones emitidas por cada punto o elemento de superficie de la superficie de emisión de la célula. Esta señal contiene particularmente las radiaciones emitidas en las tres longitudes de onda $\lambda_1=1750 \text{ nm}$, $\lambda_2=880 \text{ nm}$, $\lambda_3=680 \text{ nm}$ emitidas por las tres capas C1, C2 y C3 de la célula de triple unión 1. La señal adquirida por el dispositivo 6 forma una imagen 2D (es decir de dos dimensiones), indicada por IM_0' , que representa la superficie de emisión luminosa de la célula 1. Cada píxel de imagen IM_0' se caracteriza por un valor de intensidad luminosa de las radiaciones emitidas por una posición correspondiente de la superficie de emisión de la célula 1 y detectadas por el dispositivo de formación de imagen 6.

30 La imagen IM_0' es seguidamente corregida, durante una etapa S8 de corrección de efectos de borde análoga a la etapa S2 anteriormente descrita. La imagen corregida es indicada por IM_1' .

35 El procedimiento comprende seguidamente una etapa S9 de detección de defectos y de generación de una cartografía, o imagen, resultante, indicada por IM_1' . La etapa S9 consiste en detectar las zonas de imagen cuya emisión es muy diferente de la media de emisión de la imagen, dicho de otro modo de las zonas muy oscuras o muy claras con relación al resto de la imagen. Más precisamente, a partir de los valores de intensidad luminosa de los píxeles de la imagen aquí corregida, se calcula una media M de intensidad luminosa de emisión. Luego, para cada píxel, se determina si el valor de intensidad luminosa atribuida a este píxel se aparta de esta media M de al menos $x\%$, es decir si el valor de intensidad del píxel está situado fuera de la zona de valores comprendida entre $(M - \frac{x}{100} \cdot M)$ y $(M + \frac{x}{100} \cdot M)$. Por ejemplo, el parámetro x puede ser del orden del 30%. Luego se identifican las zonas de imagen constituidas por píxeles así detectados (cuyo valor de intensidad se encuentra fuera de la zona indicada anteriormente). Los defectos estructurales no tienen formas predefinidas, pueden tratarse de trazos, puntos, o de formas cualesquiera. Se forma seguidamente la imagen IM_1' , o cartografía, correspondiente a la superficie de emisión de la célula 1 y que hace aparecer los defectos detectados.

45 La primera fase de detección de defectos en la célula 1 es seguida de la segunda fase de detección de bolsas (o «vacíos») en la superficie de contacto entre la célula 1 y su sustrato 2. Esta segunda fase de detección ejecuta las etapas S0 a S5 tales como se han descrito anteriormente.

50 Se podría considerar realizar la fase de detección de bolsas en la superficie de contacto de ensamblado antes de la fase de detección de defectos en la célula.

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento de control de la calidad de un dispositivo fotovoltaico que comprende una célula fotovoltaica (1) ensamblada con un sustrato (2) por mediación de una superficie de contacto de ensamblado, que comprende las etapas siguientes:

- 5 • inyección (S_0) de una corriente eléctrica (I_1) a través de la célula fotovoltaica (1);
- adquisición (S_1) de una señal (IM_0) de medición de radiaciones luminosas emitidas por la célula fotovoltaica, por electroluminiscencia, en respuesta a la corriente inyectada;

siendo la corriente de inyección (I_1) una primera corriente con una densidad superior a un umbral de corriente predefinido de detección de defectos de ensamblado, y está prevista una etapa (S_5) de detección de al menos un defecto en la superficie de contacto de ensamblado a partir de dicha señal de medición adquirida.

10 **2.** Procedimiento según la reivindicación 1, caracterizado por que el umbral de detección de defectos de ensamblado es igual a 1 A.cm^2 .

3. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que la primera corriente (I_1) se inyecta bajo la forma de un impulso de una duración predeterminada.

15 **4.** Procedimiento según la reivindicación anterior, caracterizado por que el tiempo del impulso de corriente está comprendido entre 1 ms y 10 s.

5. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que la etapa (S_1) de adquisición de la señal de medición de radiaciones luminosas está sincronizada con la etapa (S_0) de inyección de la primera corriente (I_1).

20 **6.** Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que se forma a partir de la señal de medición adquirida una imagen representativa (IM_0) de una superficie de emisión de la célula, estando cada píxel de imagen caracterizado por una magnitud física medida representativa de radiaciones luminosas emitidas por un elemento de superficie correspondiente de la célula.

25 **7.** Procedimiento según la reivindicación 6, caracterizado por que comprende una operación (S_3 - S_4) de tratamiento de la imagen adquirida, durante la cual se detecta al menos una zona de imagen correspondiente a un pico de la indicada magnitud física medida, en el interior de la cual los píxeles de imagen se caracterizan por magnitudes físicas medidas superiores a un umbral predeterminado (TH).

30 **8.** Procedimiento según la reivindicación anterior, caracterizado por que la operación de tratamiento comprende una etapa de umbral (S_3) que produce una imagen cuyos píxeles están asociados con uno u otro de dos valores predeterminados, según que la magnitud física medida que caracteriza el píxel considerado sea inferior o superior a un umbral predefinido.

9. Procedimiento según la reivindicación 7 u 8, caracterizado por que la operación de tratamiento comprende una etapa (S_4) de reconocimiento de forma en la imagen para detectar al menos una zona en forma de elipse.

35 **10.** Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que comprende además una etapa (S_6) de inyección de una segunda corriente eléctrica (I_2) a través de la célula fotovoltaica, teniendo la indicada segunda corriente (I_2) una densidad inferior al indicado umbral de corriente predefinido, seguida de una etapa (S_7) de adquisición de una señal de medición relacionada con las radiaciones luminosas emitidas por la célula fotovoltaica, por electroluminiscencia, en respuesta a la segunda corriente inyectada (I_2) y una etapa (S_{11}) de detección de al menos un defecto en la célula (1) a partir de la señal de medición adquirida en respuesta a la inyección de la

40 segunda corriente (I_2).

11. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que, el dispositivo fotovoltaico a controlar que pertenece a un lote de una pluralidad de dispositivo fotovoltaicos, se selecciona un sub-conjunto de dispositivos en el lote, se realizan ensayos de calificación por tomografía por rayos X sobre los dispositivos fotovoltaicos seleccionados con el fin de obtener una cartografía de los defectos de ensamblado, se realizan ensayos sobre los dispositivos seleccionados inyectando diferentes valores de corriente, se determina a partir de

45 qué valor límite de corriente los defectos de ensamblado observados por tomografía aparecen igualmente por electroluminiscencia y se deduce de ello el indicado umbral de corriente de detección de defectos de ensamblado.

12. Sistema de control de la calidad de un dispositivo fotovoltaico que comprende una célula fotovoltaica (1) ensamblada con un sustrato (2) por mediación de una superficie de contacto de ensamblado, que comprende:

- 50 • un dispositivo (5, E3) de inyección de una corriente eléctrica a través de la célula fotovoltaica (1);

- un dispositivo (6) de adquisición de una señal de medición de radiaciones luminosas emitidas por la célula fotovoltaica, por electroluminiscencia, en respuesta a la corriente inyectada;

5 estando el dispositivo de inyección (5) adaptado para inyectar una primera corriente con una densidad superior a un umbral de corriente predefinido de detección de defectos de ensamblado y con una densidad superior a $1\text{A}\cdot\text{cm}^{-2}$, y comprendiendo el sistema además un dispositivo (E2) de tratamiento de la señal adquirida adaptado para detectar al menos un defecto en la superficie de contacto de ensamblado a partir de dicha señal adquirida.

13. Sistema según la reivindicación 12, caracterizado por que el dispositivo de inyección (5, E3) está adaptado para inyectar un impulso de corriente de una duración comprendida entre 1 ms y 10 s.

10 **14.** Sistema según una de las reivindicaciones 12 y 13, caracterizado por que el dispositivo de inyección (5, E3) y el dispositivo de adquisición (6) están adaptados para sincronizar la inyección de corriente y la adquisición de la señal de medición.

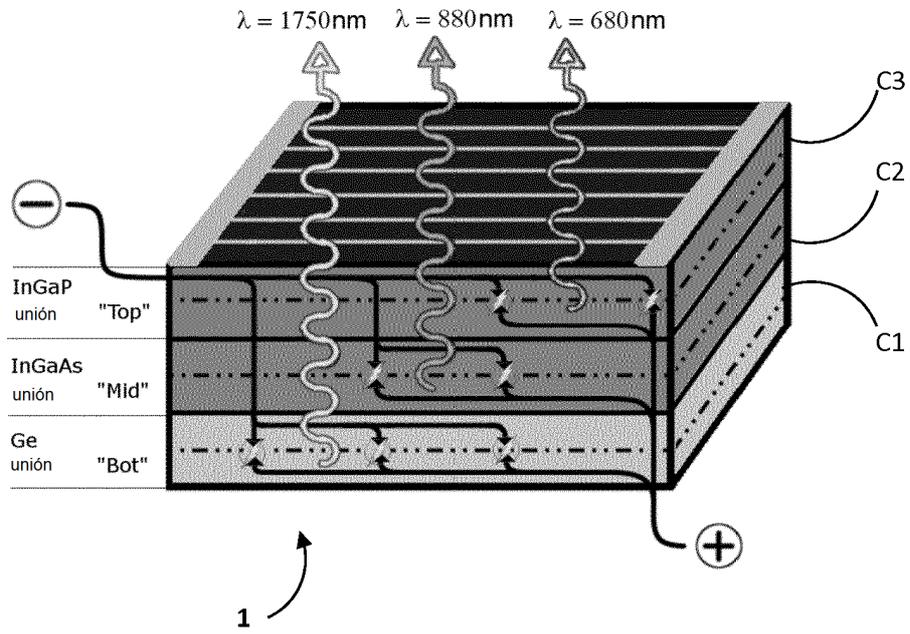


Figura 1

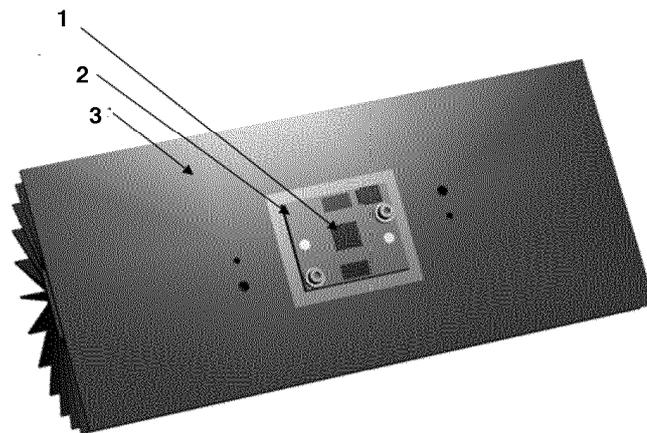


Figura 2

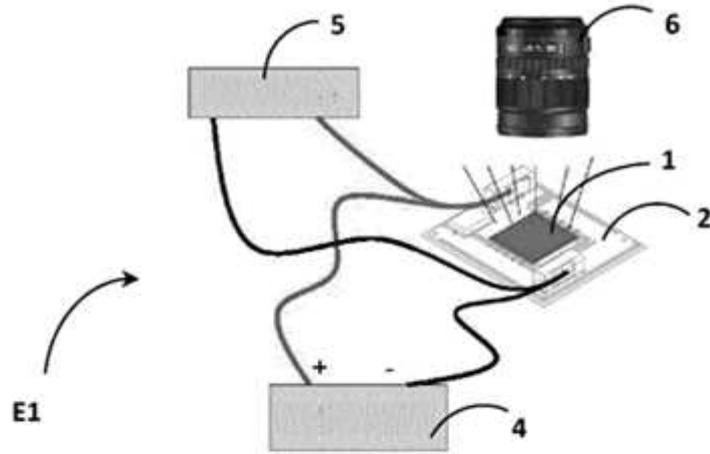


Figura 3

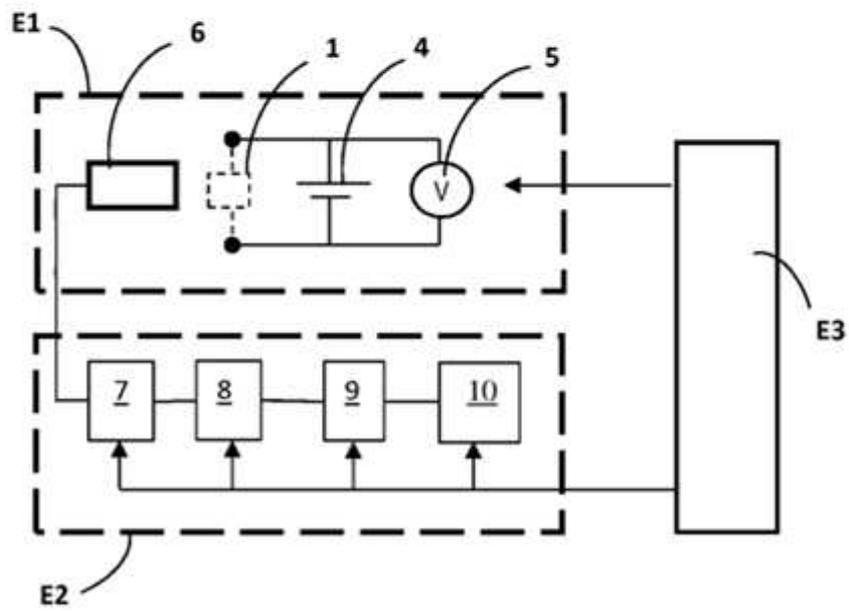


Figura 4

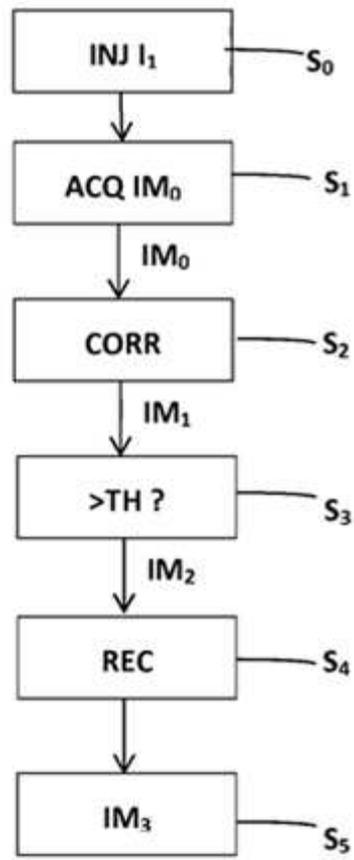


Figura 5

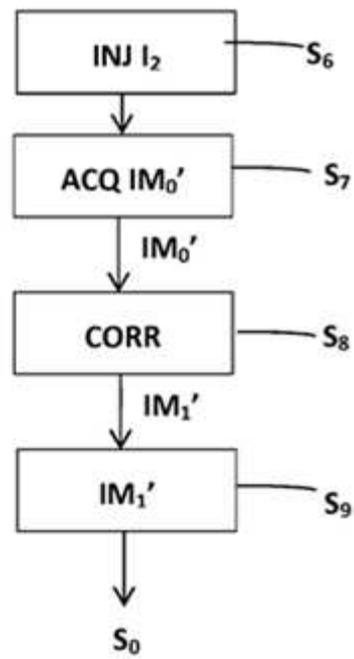


Figura 6

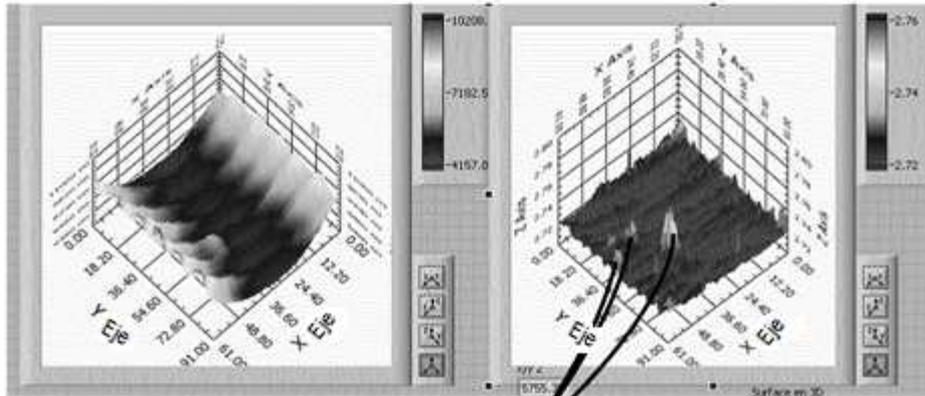


Figura 7A

11

Figura 7B