

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 376 394**

51 Int. Cl.:
G01N 21/95 (2006.01)
G01N 21/88 (2006.01)
G06T 7/00 (2006.01)
H01L 21/00 (2006.01)
H01L 21/66 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **08787571 .2**
96 Fecha de presentación: **29.08.2008**
97 Número de publicación de la solicitud: **2198279**
97 Fecha de publicación de la solicitud: **23.06.2010**

54 Título: **APARATO Y PROCEDIMIENTO PARA DETECTAR ANOMALÍAS DE UN SUSTRATO SEMICONDUCTOR.**

30 Prioridad:
31.08.2007 EP 07115449

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
13.03.2012

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
13.03.2012

73 Titular/es:
**ICOS VISION SYSTEMS NV
ESPERANTOLAAN 8
B-3001 HEVERLEE, BE**

72 Inventor/es:
**JANSSENS, Dominique;
VANDERHEYDT, Luc;
DE GREEVE, Johan y
GOVAERTS, Lieve**

74 Agente/Representante:
Carpintero López, Mario

ES 2 376 394 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

Aparato y procedimiento para detectar anomalías de un sustrato semiconductor

Campo de la invención

5 La presente invención se refiere a un aparato y un procedimiento para detectar anomalías en sustratos semiconductores.

Antecedentes de la invención

10 En el procesamiento de semiconductores y la fabricación de componentes semiconductores y circuitos integrados, el control de calidad es muy importante en todas las fases del proceso de fabricación. Este control de calidad se dirige en gran medida a la detección de defectos, en particular a anomalías de sustratos semiconductores, tales como fisuras y microfisuras, arañazos, polvo, huecos, etc. Puesto que incluso las microfisuras que penetran o no en el sustrato, pueden causar la rotura del sustrato durante el posterior procesamiento, es muy importante poder detectar estas fisuras en una fase temprana del procesamiento. Por ejemplo para la producción de células solares, se usan sustratos de silicio policristalino que son muy quebradizos. Si se encuentran presente microfisuras, probablemente el sustrato se romperá durante el posterior procesamiento.

15 El control de calidad de un sustrato semiconductor se basa en gran medida en la inspección óptica, porque para detectar anomalías los procedimientos de inspección óptica son ventajosos en términos de rendimiento en comparación con otros procedimientos de inspección.

20 Un procedimiento habitual para detectar ópticamente anomalías en sustratos semiconductores compara una imagen de la parte de sustrato a inspeccionar con una imagen de tal sustrato que no contiene sustancialmente ninguna anomalía de al menos ninguna de las anomalías a detectar. Lo primero se denomina usualmente la imagen de inspección, mientras que lo último se denomina usualmente la imagen de referencia. Para comparar ambas imágenes, la imagen de referencia se sustrae de la imagen de inspección. Los valores de píxel que después de la sustracción son superiores a un valor de umbral fijo se etiquetan como anomalía de superficie.

25 Sin embargo, este procedimiento solo se puede aplicar si la imagen de referencia tiene esencialmente el mismo valor de escala de grises, es decir, la misma imagen de fondo, que la imagen de inspección. Asimismo, solo se puede aplicar si no hay variación geométrica, es decir cambio de escala y distorsión, entre la imagen de inspección y de referencia, y si ambas imágenes se pueden alinear correctamente con el fin de sustraer imágenes de partes de sustrato exactamente correspondientes entre sí con el fin de no causar falsos positivos por desalineación.

30 En algunos casos, una imagen de referencia que tiene sustancialmente los mismos valores de escala de grises que la imagen de inspección es inapropiada simplemente porque el sustrato semiconductor a inspeccionar nunca es idéntico a un sustrato correspondiente que se podría usar como superficie de referencia.

35 Un ejemplo que demuestra los atajos de un procedimiento de inspección referencial es la inspección de sustratos de silicio policristalino usados en la producción de células solares. El patrón de límites de cristal en su superficie nunca es idéntico. En consecuencia, nunca se puede capturar una imagen de referencia que tiene los mismos valores de escala de grises que la imagen de inspección.

40 Se han propuestos procedimientos y aparatos para aliviar potencialmente el problema anterior. Por ejemplo en el documento "Solar Cell Crack Inspection by Image Processing", Fu Zhuang, y col. se propone un denominado problema no referencial, es decir, un procedimiento de inspección en el cual no se usa imagen de referencia. Se usa el filtrado 5x5 de Gauss-Laplace para afinar la imagen que es informáticamente bastante costoso. Asimismo, solamente se presentan los resultados de ensayo sobre células solares con patrón bastante homogéneo.

45 Otro procedimiento y también un aparato para detectar microfisuras se describen en el documento DE-A1-10 2005 061 785, en el cual el sustrato se ilumina por retroiluminación infrarroja y luz frontal difusa visible y en el cual se capturan dos imágenes de sustrato y se procesan las imágenes. Para capturar ambas imágenes a diferentes longitudes de onda, se necesitan dos cámaras con planos focales diferentes, lo cual es costoso y requiere un calibrado muy preciso de ambas cámaras.

Un segundo ejemplo de un procedimiento y un aparato para detectar microfisuras se describe en el documento EP-A-1-0 985 924, en el cual se aplica una iluminación infrarroja frontal superior a 2 micrómetros en un ángulo determinado. Con este fin, se usa una cámara de baja resolución cara.

50 Otra solución ejemplar de la técnica anterior se divulga en la publicación de solicitud de patente WO 2005100961 que describe estructuras semiconductoras de formación de imagen que usan una iluminación de estado sólido. Las soluciones según esta invención consisten en una cámara, fuentes de luz, lentes y algoritmos informáticos que se usan para crear imágenes e inspeccionar estructuras semiconductoras, incluyendo por radiación infrarroja. El uso de varias configuraciones de iluminación de estado sólido y algoritmos informáticos refuerza la formación de imagen y la inspección.

Dados los inconvenientes anteriores de los procedimientos de la técnica anterior, un objetivo de la presente invención es proporcionar un procedimiento y un aparato para detectar anomalías de sustratos semiconductores, tales como fisuras, arañazos, huecos, pocillos, o material extraño incluido en el sustrato, de una manera no referencial, con el fin de poder seleccionar sustratos semiconductores defectuosos.

5 En particular, un objeto de la presente invención es proporcionar un procedimiento y un aparato para detectar microfisuras, penetrando o no, en sustratos de polisilicio.

Otro objetivo de la presente invención es proporcionar un procedimiento y un aparato para detectar anomalías de sustratos semiconductores incluyendo las microfisuras de una manera menos costosa en comparación con los procedimientos y aparatos conocidos de la técnica anterior.

10 La presente invención cumple los objetivos anteriores proporcionando un procedimiento que comprende procesamiento de imágenes usando la multiplicación de una imagen filtrada por convolución de paso alto y una imagen ponderada y proporcionando un aparato para llevar a cabo tal procedimiento, usando preferiblemente una sola cámara.

Sumario de la invención

15 La presente invención se dirige a un procedimiento para detectar anomalías en un sustrato semiconductor, tal como microfisuras que penetran o no, en particular en un sustrato de silicio policristalino, que comprende las etapas de:

- a. proporcionar un sustrato semiconductor,
- b. realizar una imagen de inspección I del sustrato iluminando el sustrato con una retroiluminación que tiene longitudes de onda dentro del intervalo de infrarrojo cercano, de manera que dicha microfisuras penetrantes y no penetrantes son menos transparentes que el sustrato o no son transparentes,
- 20 c. generar una imagen K a partir de a imagen I por procesamiento de imagen.
- d. generar una imagen B por binarización de la imagen K,
- e. examinar la imagen I usando la imagen B para determinar las localizaciones de microfisuras penetrantes y no penetrantes en el sustrato semiconductor,

25 caracterizado porque la etapa c. comprende multiplicar una imagen G(I) filtrada por convolución de paso alto a partir de la imagen I y una primera imagen ponderada W generada por ponderación borrosa o binarización de la imagen I, y la etapa e) comprende agrupar la imagen I sobre la base de agrupar la imagen B eligiendo grupos de imagen I por su contraste y seleccionando un número predefinido de grupos de imagen I con el mayor contraste.

Asimismo, la invención se dirige a un aparato que usa tal procedimiento para detectar anomalías en un sustrato semiconductor, en particular en un sustrato de silicio policristalino, que se caracteriza porque comprende:

- 30 a. medios para mantener un sustrato semiconductor,
- b. una retroiluminación para iluminar el lado posterior del sustrato,
- c. una luz frontal difusa para iluminar el lado frontal del sustrato,
- d. una unidad de procesamiento de imágenes
- e. una cámara,

35 en el cual las longitudes de onda de la retroiluminación y la luz frontal difusa se encuentran en intervalos idénticos y en el cual la retroiluminación y/o la luz frontal difusa comprenden LEDs que se montan con una distancia entre dos LEDs y a una distancia del sustrato semiconductor de manera que la luz de cada LED solapa la luz de al menos otro LED.

Breve descripción de los dibujos

- La figura 1 ilustra una realización de un procedimiento según la presente invención.
- 40 La figura 2 ilustra otra realización de un procedimiento según la presente invención.
- La figura 3 ilustra una realización de un aparato según la presente invención.
- La figura 4 ilustra un primer ejemplo según la presente invención.
- La figura 5 ilustra un segundo ejemplo según la presente invención.

Descripción detallada de la invención

45 El experto en la técnica entenderá que las realizaciones descritas en lo sucesivo son meramente ilustrativas según la

presente invención y no limitativas del alcance deseado de la invención. Otras realizaciones también pueden ser consideradas.

Como primera realización y como se ilustra en la figura, la presente invención proporciona un procedimiento para detectar anomalías en un sustrato semiconductor que comprende las etapas de:

- 5 a. proporcionar un sustrato semiconductor,
 - b. realizar una imagen de inspección I del sustrato,
 - c. generar una imagen K a partir de la imagen I por procesamiento de imagen,
 - d. generar la imagen B binarizando la imagen K,
 - e. examinar la imagen I usando la imagen B,
- 10 caracterizado porque generar la imagen K comprende multiplicar una imagen G(I) filtrada por convolución de paso alto a partir de la imagen I y una primera imagen ponderada W1.
- Dependiendo del kernel de filtro, el filtrado por convolución puede atenuar el contenido de imagen de baja frecuencia, mientras pasa o incluso acentúa las altas frecuencias. En el contexto de la presente invención, se usa filtrado por convolución de paso alto con el fin de acentuar en G(I) las anomalías como las microfisuras o los huecos, pero también
- 15 los límites de cristales. Estos filtros de convolución se caracterizan por la gran ponderación en el centro del entorno del píxel, rodeado por menores ponderaciones firmadas principalmente opuestas. El valor del píxel central domina el cálculo del nuevo valor de píxel, mientras que los valores circundantes ayudan a reducir el efecto de la gran ponderación. Esto proporciona el efecto de acentuar regiones de gran cambio rápido del valor de píxel, y realizar áreas de valor de píxel constante casi intacto.
- 20 Multiplicando una imagen G(I) filtrada por convolución de paso alto a partir de la imagen I y una primera imagen ponderada W1, se pueden distinguir anomalías de superficie y en particular las microfisuras de los límites del cristal, permitiendo de este modo la detección de estas anomalías incluso en caso de sustratos semiconductores con patrón no repetitivo tal como polisilicio y la selección de sustratos defectuosos.
- La generación de una imagen G(I) filtrada por convolución de paso alto se puede realizar por un filtro de Laplace. Como alternativa al filtrado por convolución de paso alto, se puede usar también un filtrado por convolución multidireccional como un filtro Gabor.
- 25 La primera imagen ponderada W1 se puede generar por la ponderación borrosa de la imagen I. Una función de ponderación borrosa proporciona, por ejemplo, píxeles con un valor de escala de grises dentro de un intervalo determinado de un valor ponderado entre 0 y 1. Los píxeles con valores de escala de grises inferiores al intervalo pueden conseguir un valor ponderado 0 y los píxeles con valores de escala de grises superiores al intervalo pueden conseguir un valor ponderado 1, o cualquier otra función dependiente del tipo de anomalía de sustrato a detectar. La función de ponderación borrosa se puede llevar a cabo como una tabla de consulta.
- 30 La primera imagen ponderada W1 se puede generar por filtrado de umbral, lo cual significa binarizar la imagen I.
- En una realización preferida de la presente invención, se puede generar G(I) por un filtro de convolución de Laplace de 3x3 y la primera imagen ponderada W1 se puede generar por filtrado de umbral de la imagen I.
- 35 La etapa de realizar una imagen de inspección I puede comprender iluminar el sustrato con una retroiluminación que tiene longitudes de onda donde el sustrato es transparente o semitransparente. Las anomalías deberían ser menos transparentes que el sustrato o nada transparente en el mismo intervalo de longitudes de onda. En caso de sustratos de silicio, el intervalo de longitudes de onda debería encontrarse en la banda del infrarrojo cercano (NIR), y preferiblemente entre aproximadamente 950 nanómetros y aproximadamente 1 micrómetro, por que el silicio es transparente por encima de 1 micrómetro, semitransparente a aproximadamente 950 nanómetros y opaco para longitudes de onda inferiores. A estas longitudes de onda, se puede usar una cámara con un sensor estándar basado en silicio.
- 40 En otra realización según la presente invención y según la ilustración de la figura 2, el procedimiento puede comprender, además, una etapa b' para realizar una imagen J del sustrato, y en el cual la primera imagen ponderada W1 se genera por ponderación borrosa o filtrado de umbral de una imagen G(J) filtrada por convolución de paso alto a partir de la imagen J.
- 45 La imagen J se puede capturar mientras se ilumina el sustrato con luz frontal difusa en el que el sustrato es semitransparente. Las anomalías deberían ser menos transparentes que el sustrato o nada transparente dentro del mismo intervalo de longitudes de onda. En el caso de los sustratos de silicio, el intervalo de longitudes de onda debería encontrarse dentro de la banda de infrarrojo cercano (NIR), y preferiblemente alrededor de aproximadamente 850 nanómetros. En una realización más preferida, la retroiluminación para capturar la imagen I y la luz frontal difusa para capturar la imagen J pueden tener un intervalo de longitudes de onda idéntico, porque a continuación se puede usar una sola cámara que mantiene el mismo enfoque para capturar ambas imágenes.
- 50

En una realización preferida, G(I) se puede generar por un filtro de convolución de Laplace de 3X3 y se puede generar la primera imagen ponderada W1 por filtrado de umbral de G(J) que se puede generar por un filtro de convolución de Laplace de 3X3.

5 En otra realización, el procedimiento puede comprender, además, la etapa de multiplicar la imagen G(I) filtrada por convolución por una segunda imagen W2 ponderada de la imagen I. La segunda imagen ponderada W2 se puede generar por ponderación borrosa o filtrado de umbral de la imagen I.

El procedimiento se usa para detectar microfisuras penetrantes y/o no penetrantes en sustratos semiconductores. En particular, se pueden detectar microfisuras penetrantes y/o no penetrantes en sustratos con patrón no repetitivo tales como silicio policristalino.

10 Todos los procedimientos según la presente invención se pueden ampliar mediante una etapa de crecimiento de región, en la cual después de encontrar las fisuras más fáciles de detectar, se elige un píxel de partida en estas fisuras (es decir un punto de partida) para iniciar el crecimiento de región (es decir agrupamiento).

15 Los procedimientos según la presente invención que usan solo retroiluminación se amplía repitiendo el procedimiento buscando el área alrededor de las fisuras encontradas, generando de este modo una imagen ponderada adicional con un mayor intervalo de umbral. Usando está ampliación, se pueden detectar también los extremos de una fisura, que suelen ser más finos y menos penetrantes que el centro de la fisura.

En otra realización y como se ilustra en la figura 3, la presente invención proporciona un aparato según la reivindicación 7.

20 Usando sustancialmente el mismo intervalo de longitudes de onda para la retroiluminación y la iluminación frontal difusa, se puede usar preferiblemente una sola cámara que mantiene el mismo enfoque para capturar imágenes cuando se las ilumina con retroiluminación o se las ilumina con luz frontal difusa. Ambas imágenes pueden ser imágenes procesadas por la unidad de procesamiento de imágenes para detectar anomalías de sustrato, en particular tanto microfisuras penetrantes como no penetrantes.

El aparato puede también comprender un filtro óptico (f) que bloquea la luz visible.

25 En una realización según la presente invención, el aparato puede usar longitudes de onda donde el sustrato es semitransparente. Las anomalías deberían ser menos transparentes que el sustrato nada transparente den el mismo intervalo de longitudes de onda. En el caso de sustratos de silicio, el intervalo de longitudes de onda debería encontrarse en el intervalo del infrarrojo cercano (NIR), preferiblemente entre aproximadamente 935 nanómetros y aproximadamente 965 nanómetros, y más preferiblemente alrededor de aproximadamente 950 nanómetros, porque el silicio es transparente a aproximadamente 950 nanómetros y opaco para longitudes de onda más cotas. A estas longitudes de onda se puede usar una cámara con un sensor estándar basado en silicio.

30 En una realización preferida, la retroiluminación y/o la luz frontal difusa comprenden LEDs que se montan con una distancia entre dos LEDs y a una distancia del sustrato semiconductor de manera que la luz de cada LED solapa la luz de al menos otro LED. Solapando los haces de luz, la luz se difunde y es más robusta respecto de la no-homogeneidad de los LEDs sin usar adicionalmente un difusor.

Ejemplo 1:

Como se ilustra en la figura 4, se describe en lo sucesivo un primer ejemplo según la presente invención.

35 Se dispone un sustrato semiconductor sobre un medio para mantener un sustrato semiconductor. El sustrato se ilumina con una retroiluminación de 950 nanómetros y se captura una imagen de inspección I mediante una cámara con una resolución de entre aproximadamente 50 y aproximadamente 100 micrómetros/píxel. La imagen de inspección I y todas las imágenes derivadas tienen valores de escala de grises de 8 bits, es decir de 0 a 255.

Una imagen G(I) se genera mediante un filtro de convolución de Laplace de 3X3, por ejemplo

$$\begin{matrix}
 & & 1 & & 1 & & 1 & & \\
 & & 1 & & -8 & & 1 & & \\
 45 & & 1 & & 1 & & 1 & &
 \end{matrix}$$

con anomalías acentuadas, tales como fisuras, huecos, material extraño incluido en el sustrato y, los límites de cristal de la imagen I.

Asimismo, se genera una imagen ponderada W1 por binarización (filtrado de umbral) de la imagen I, en la cual

$$W1_{xy} = \begin{matrix} 1 \text{ si } 0 \leq I_{xy} \leq T1 \\ 0 \text{ en otro caso} \end{matrix} \quad (x \text{ e } y \text{ son coordenadas de píxel})$$

donde preferiblemente

para fisuras no penetrantes, huecos, material extraño $T_0 = 0$; $T_1 = 150$

para fisuras penetrantes $T_0 = 205$; $T_1 = 255$.

5 De este modo $G(I)$ y W_1 se multiplica píxel a píxel el fin de distinguir entre los límites de cristal y otras anomalías y se binariza la imagen resultante K en la cual

$$B_{xy} = \begin{cases} 1 & \text{si } K_{xy} > T_2 \\ 0 & \text{en otro caso} \end{cases}$$

donde T_2 es preferiblemente 85

10 La imagen I se examina usando la imagen B . Por lo tanto, en la imagen B se lleva a cabo el agrupamiento con 4 píxeles vecinos (teniendo en cuenta solo 2 píxeles verticales y 2 píxeles vecinos horizontales) u 8 píxeles vecinos (teniendo también en los píxeles diagonales). De estos grupos, solo se toman los grupos donde el Número de píxeles $> T_3$ y la longitud $> T_4$, con T_3 se prefiere 10 y con T_4 se prefiere 20. Entonces, se agrupan los grupos con una distancia inferior a T_5 píxeles, donde T_5 es preferiblemente 3. Basándose en este grupo en la imagen B , los grupos correspondientes de píxeles en la imagen I se eligen por su contraste y solo se toma un número de grupos C_1 (preferiblemente 100) con el mayor contraste. Por lo tanto se toma un número C_2 (preferiblemente 10) de los mayores grupos.

15 El procedimiento como se ilustra en el ejemplo 1 se pueden ampliar repitiendo el procedimiento buscando la zona alrededor de las fisuras encontradas, generando de este modo una imagen W_1 , en la cual

$$W_{1,xy} = \begin{cases} 1 & \text{si } T_0 \leq I_{xy} \leq T_1 \\ 0 & \text{en otro caso} \end{cases}$$

donde preferiblemente $T_0 = 0$; $T_1 = 230$.

20 Usando esta ampliación, se pueden detectar también los extremos de una fisura, que suelen ser más finas y menos penetrantes que el centro de la fisura.

Ejemplo 2

Como se ilustra en la figura 5, se describe en lo sucesivo un segundo ejemplo según la presente invención.

25 Se proporciona un sustrato semiconductor sobre un medio para mantener un sustrato semiconductor. El sustrato se ilumina con una retroiluminación de 950 nanómetros y se captura una imagen de inspección I mediante una cámara con una resolución de entre aproximadamente 50 y aproximadamente 100 micrómetros/píxel. Entonces el sustrato se ilumina con luz frontal difusa de 950 nanómetros y se captura una imagen J mediante la misma cámara. La imagen de inspección I , la imagen J y todas las imágenes derivadas tienen valores de escala de grises de 8 bits, es decir de 0 a 255.

30 Se genera entonces una imagen $G(I)$ por un filtro de convolución de Laplace de 3×3 , por ejemplo

$$\begin{matrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & -8 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{matrix}$$

35 con anomalías acentuadas, tales como fisuras, huecos, material extraño incluido en el sustrato y, los límites de cristal de la imagen I .

Asimismo, se genera una imagen ponderada W_1 por binarización (filtrado de umbral) de la imagen $G(J)$, que es una imagen filtrada por convolución de Laplace de 3×3 a partir de la imagen J , en la cual

$$W_{1,xy} = \begin{cases} 1 & \text{si } T_0 \leq I_{xy} \leq T_1 \\ 0 & \text{en otro caso} \end{cases}$$

donde preferiblemente $T_6 = 150$, $T_7 = 255$ (tanto las fisuras penetrantes como no penetrantes).

40 De este modo $G(I)$ y W_1 se multiplica píxel a píxel el fin de distinguir entre los límites de cristal y otras anomalías y se binariza la imagen resultante K en la cual

ES 2 376 394 T3

$$B_{xy} = \begin{cases} 1 & \text{si } K_{xy} > T2 \\ 0 & \text{en otro caso} \end{cases}$$

donde T2 es preferiblemente 85

5 La imagen I se examina usando la imagen B. Por lo tanto, en la imagen B se lleva a cabo el agrupamiento con 4 píxeles vecinos (teniendo en cuenta solo 2 píxeles verticales y 2 píxeles vecinos horizontales) u 8 píxeles vecinos (teniendo también en los píxeles diagonales). De estos grupos, solo se toman los grupos donde el Número de píxeles > T3 y la longitud > T4, con T3 se prefiere 10 y con T4 se prefiere 20. Entonces, se agrupan los grupos con una distancia inferior a T5 píxeles, donde T5 es preferiblemente 3. Basándose en este grupo en la imagen B, los grupos correspondientes de píxeles en la imagen I se eligen por su contraste y solo se toma un número de grupos C1 (preferiblemente 100) con el mayor contraste. Por lo tanto se toma un número C2 (preferiblemente 10) de los
10 mayores grupos.

REIVINDICACIONES

1.- Procedimiento para detectar anomalías en un sustrato semiconductor, tal como microfisuras penetrantes o no penetrantes, en particular en un sustrato de silicio policristalino, que comprende las etapas de:

- a) proporcionar un sustrato semiconductor,
- 5 b) realizar una imagen de inspección I del sustrato iluminando el sustrato con una retroiluminación que tiene longitudes de onda dentro del intervalo del infrarrojo cercano, de manera que dichas microfisuras penetrantes y no penetrantes son menos transparentes que el sustrato o no son transparentes,
- c) generar una imagen K a partir de a imagen I por procesamiento de imagen,
- 10 d) generar la imagen B por binarización de la imagen K,
- e) examinar la imagen I usando la imagen B para determinar las localizaciones de dichas microfisuras penetrantes y no penetrantes en el sustrato semiconductor,

caracterizado porque

15 la etapa c) comprende multiplicar una imagen G(I) filtrada por convolución de paso alto a partir de la imagen I y una primera imagen ponderada W generada por ponderación borrosa o binarización de la imagen I, y

la etapa e) comprende agrupar la imagen I sobre la base de agrupar la imagen B eligiendo grupos de imagen I por su contraste y seleccionando un número predeterminado de grupos de imagen I con el mayor contraste.

20 2.- Procedimiento según la reivindicación 1, **caracterizado**, además, **porque** comprende la etapa b') para realizar una imagen J del sustrato, y en el cual la primera imagen ponderada W1 se genera por ponderación borrosa o binarización de una imagen G(J) filtrada por convolución de paso alto a partir de la imagen J.

3.- Procedimiento según la reivindicación 1 o 2, **caracterizado**, además, **porque** la imagen G(I) filtrada por convolución de paso alto se realiza por un filtrado de convolución de Laplace de 3X3.

25 4.- Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 - 3, **caracterizado**, además, **porque** comprende la etapa de multiplicar la imagen G(I) filtrada por convolución con una segunda imagen ponderada W2 generada por ponderación borrosa o binarización de la imagen I.

5.- Procedimiento según la reivindicación 2, en el cual la etapa b) comprende iluminar el sustrato con una retroiluminación que tiene longitudes de onda dentro del intervalo del infrarrojo cercano y en el cual la etapa b') comprende iluminar el sustrato con una luz frontal difusa que tiene un intervalo de longitudes de onda idéntico a la retroiluminación.

30 6.- Aparato que usa el procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 - 5.

7.- Aparato según la reivindicación 6, **caracterizado**, además, **porque** comprende:

- a) medios para mantener un sustrato semiconductor (a),
- b) una retroiluminación para iluminar el lado posterior del sustrato (b),
- c) una luz frontal difusa para iluminar el lado frontal del sustrato (c),
- 35 d) una unidad de procesamiento de imágenes (d)
- e) una cámara (e),

en el cual las longitudes de onda de la retroiluminación y la luz frontal difusa se encuentran en intervalos idénticos y en el cual la retroiluminación y/o la luz frontal difusa comprenden LEDs que se montan con una distancia entre dos LEDs y a una distancia del sustrato semiconductor de manera que la luz de cada LED solapa la luz de al menos otro LED.

40 8.- Aparato según la reivindicación 6 o 7, **caracterizado**, además, **porque** tiene una sola cámara (e).

9.- Aparato según cualquiera de las reivindicaciones 6 - 8, **caracterizado**, además, **porque** la longitud de onda se elige a partir de un intervalo de entre 935 y 965 nanómetros, y preferiblemente es esencialmente de 950 nanómetros.

10.- Aparato según cualquiera de las reivindicaciones 6 - 9, **caracterizado**, además, **porque** comprende un filtro óptico (f) que bloquea la luz visible.

45

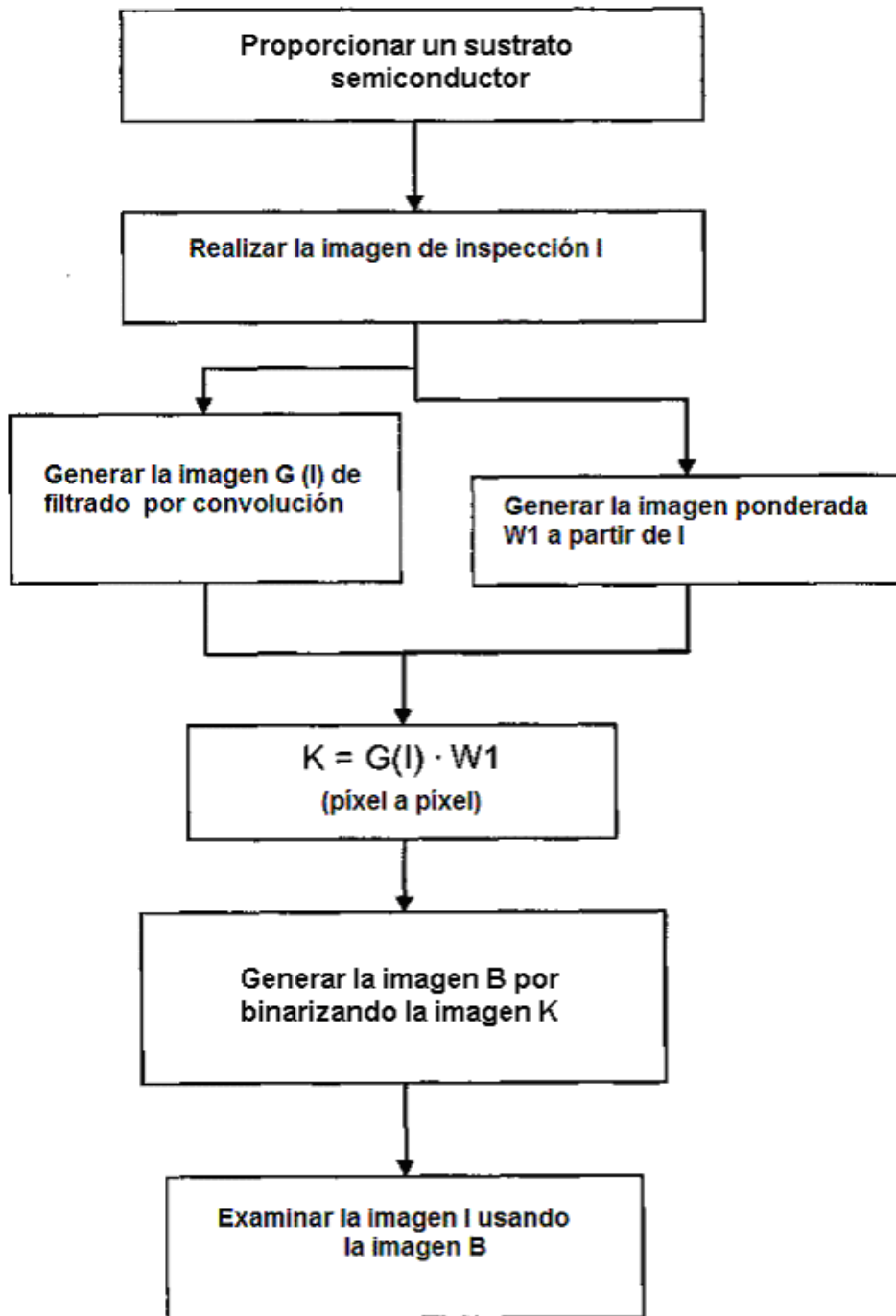


FIG 1

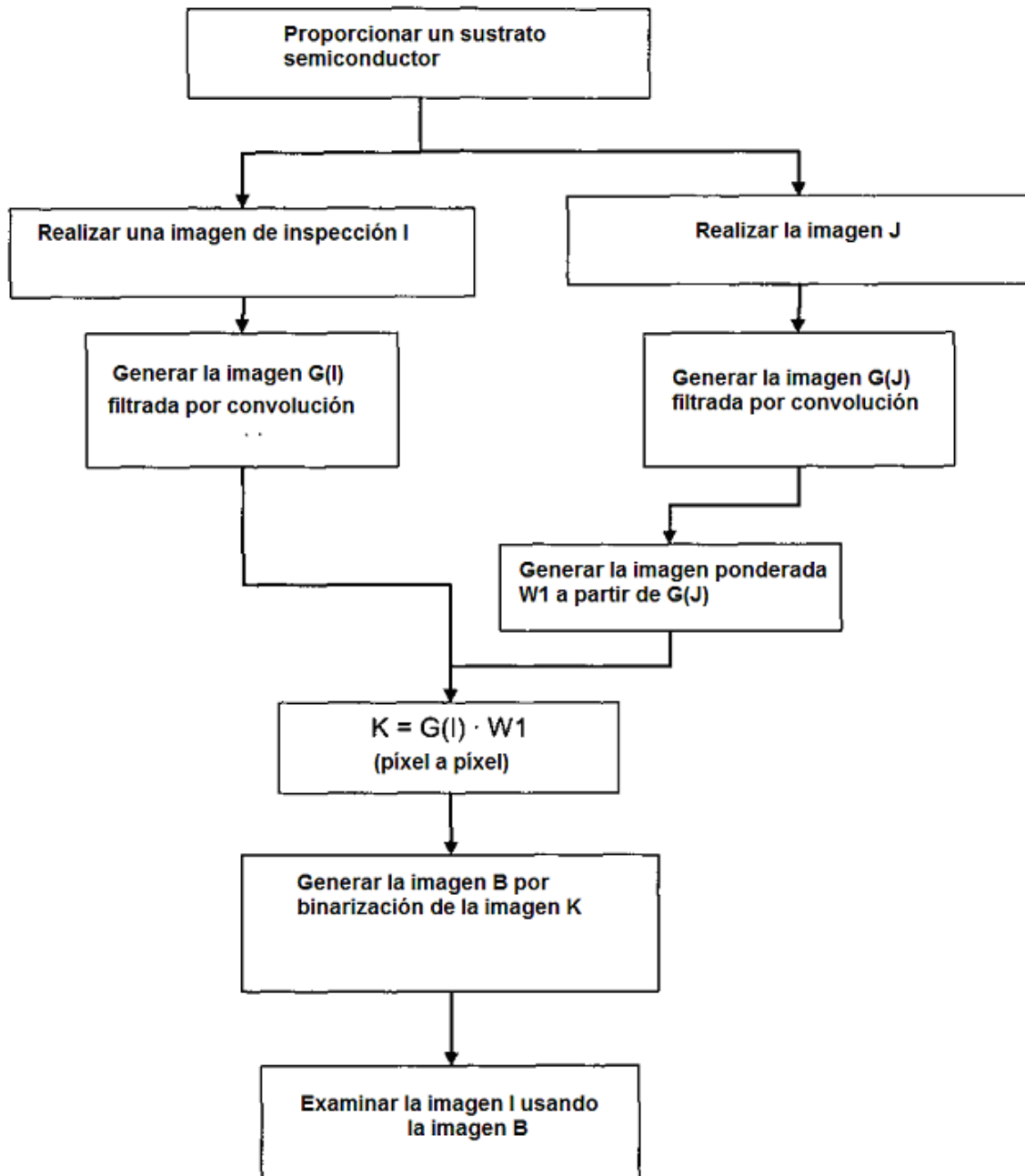


FIG 2

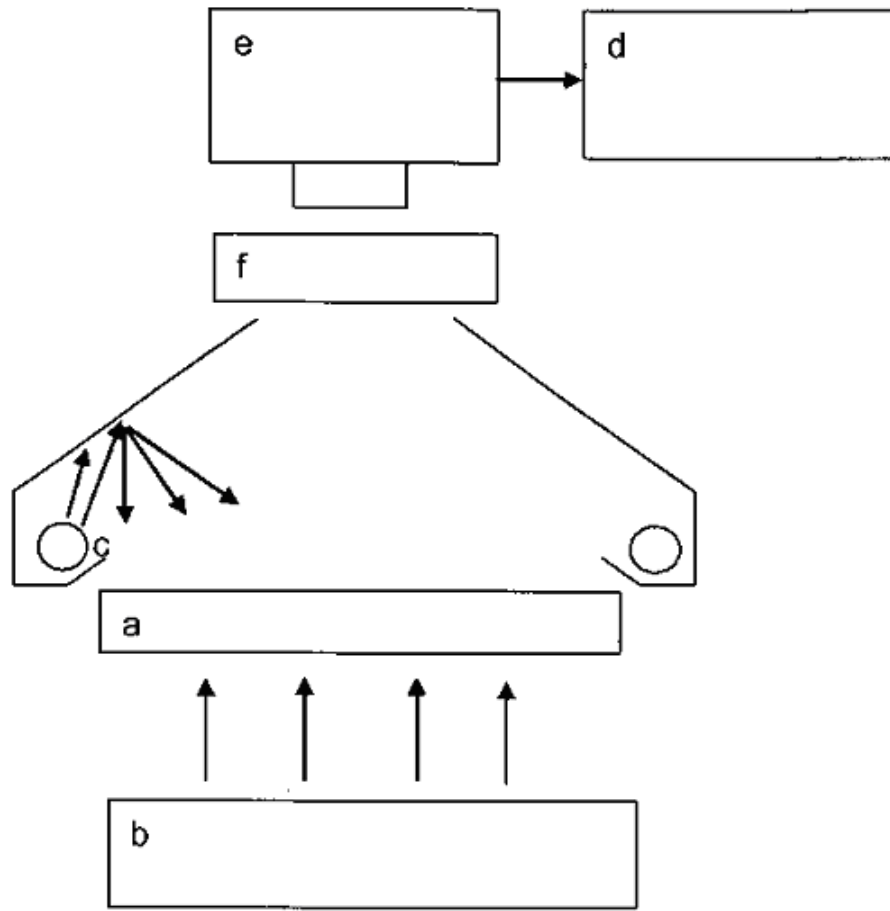


FIG 3

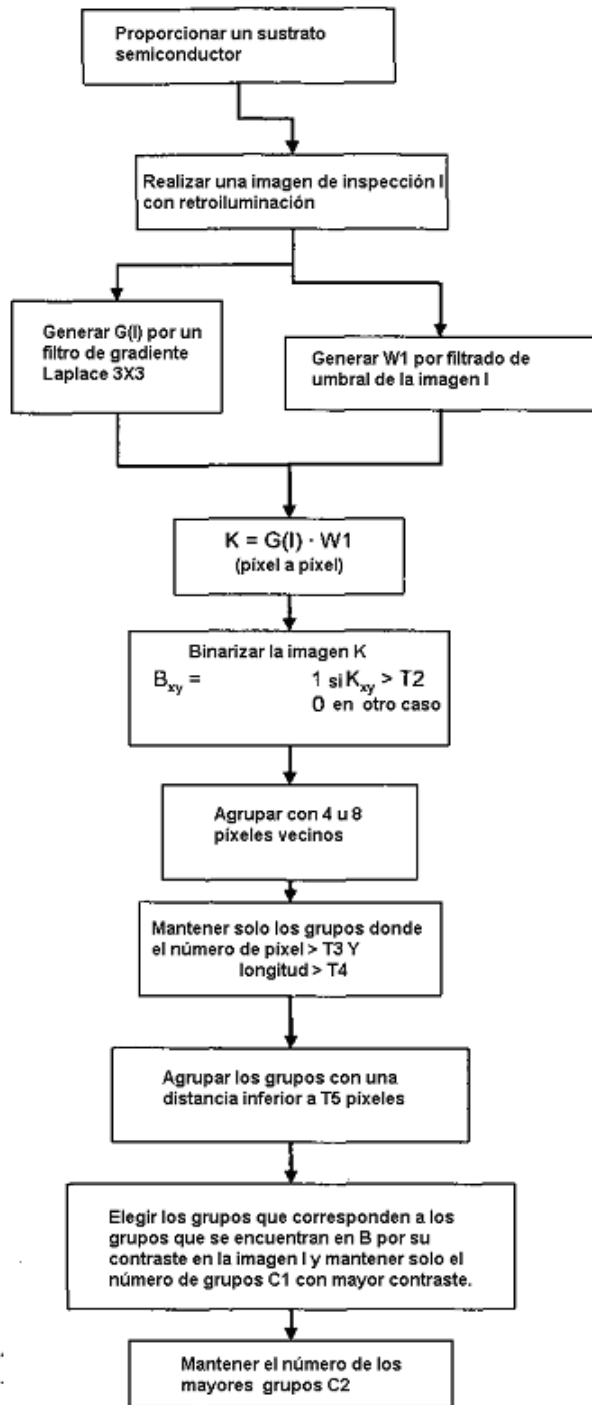


FIG 4

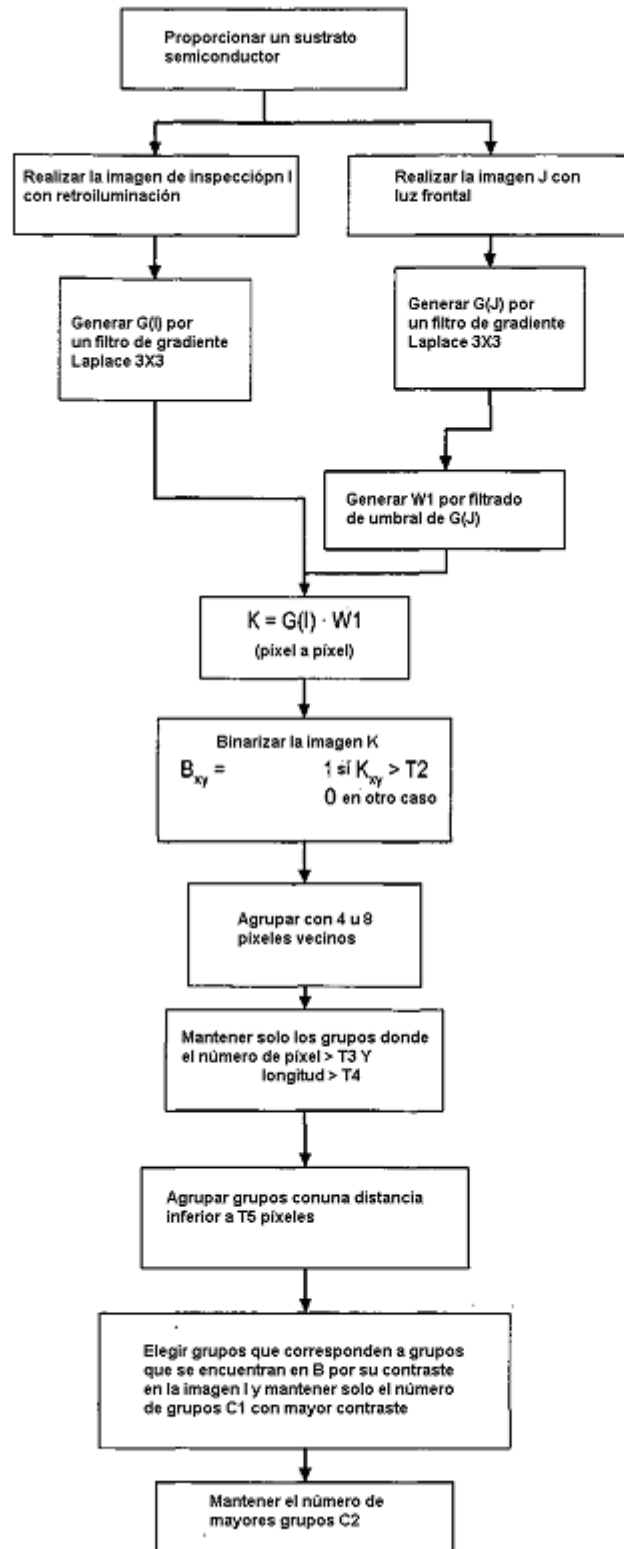


FIG 5