

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 659 781**

51 Int. Cl.:

**G01N 21/64** (2006.01)

**G01N 21/88** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **11.10.2006 PCT/AU2006/001420**

87 Fecha y número de publicación internacional: **19.04.2007 WO07041758**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **11.10.2006 E 06790291 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **06.12.2017 EP 1946079**

54 Título: **Método y sistema para inspeccionar una estructura semiconductora de salto de banda indirecto**

30 Prioridad:

**11.10.2005 AU 2005905598**

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

**19.03.2018**

73 Titular/es:

**BT IMAGING PTY LIMITED (100.0%)  
18 BULLETIN PLACE  
SYDNEY, NSW 2000, AU**

72 Inventor/es:

**TRUPKE, THORSTEN y  
BARDOS, ROBERT ANDREW**

74 Agente/Representante:

**ELZABURU, S.L.P**

ES 2 659 781 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

Método y sistema para inspeccionar una estructura semiconductor de salto de banda indirecto

**Campo técnico**

La presente invención se refiere al ensayo de material semiconductor de salto de banda indirecto.

**5 Antecedentes**

La fabricación de dispositivos fotovoltaicos es un mercado en rápida expansión, con velocidades de crecimiento típicas de más del treinta por ciento (30%) anual. El sector predominante de la fabricación de células solares es la tecnología basada en obleas de múltiples cristales. En esta industria, una proporción significativa de la producción total se encuentra por debajo de las especificaciones y es rechazada, lo que causa sustanciales pérdidas financieras a la industria cada año. La producción de una célula solar implica una secuencia altamente especializada de etapas de tratamiento que comienza con una oblea semiconductor en bruto, tal como de silicio.

La divulgación de Bel'kov, V. V. et al.: "Microwave-induced patterns in *n*-GaAs and their photoluminescence imaging" (Patrones inducidos por microondas en *n*-GaAs y su formación de imágenes de fotoluminiscencia), *Physical Review B*, Vol. 61, Nº 20, *The American Physical Society*, 15 de mayo de 2000, págs. 13698-13702, describe una técnica de formación de imágenes de fotoluminiscencia (PL –"photoluminescence"–) de *n*-GaAs. La fotoluminiscencia es la luz emitida por un material semiconductor en respuesta a una excitación óptica. Utilizando la formación de imágenes de fotoluminiscencia, se estudian sin contacto patrones autoorganizados de alta densidad electrónica en las capas de *n*-GaAs homogéneas bajo irradiación de microondas homogéneas. La muestra sin contacto de *n*-GaAs se aloja en una guía de ondas rectangular, la cual tiene una ventana de malla metálica para observación, acoplada a un generador de microondas, y se somete a irradiación de microondas. Este conjunto, que incluye la muestra de *n*-GaAs, es enfriado hasta 4,2 K en un criostato de inmersión que contiene helio líquido, e iluminado uniformemente con varios diodos electroluminiscentes (LEDs –"light emitting diodes"–) rojos (620 nm), organizados en un anillo. El criostato tiene una ventana alineada con la ventana de malla metálica. Una cámara de vídeo es orientada de cara a la muestra, con su óptica y un filtro de interferencia de 820 nm (paso largo) interpuestos en ese orden entre la ventana del criostato y la cámara. La cámara capta imágenes de 3 mm x 4 mm, algunas de las cuales muestran la formación de puntos oscuros en la fotoluminiscencia procedente de la muestra bajo irradiación de microondas.

El sistema de Bel'kov puede ser utilizado para ensayar *n*-GaAs, que es un semiconductor de salto de banda directo. Dada la elevada magnitud de la eficiencia de fotoluminiscencia en semejante semiconductor, la muestra de *n*-GaAs permite utilizar LEDs con una potencia relativamente baja como fuentes de luz para inducir la fotoluminiscencia, en las cuales la iluminación de las fuentes diverge. También, la disposición de la guía de ondas y de las ventanas de criostato limita el área de observación de la cámara. Desventajosamente, esto únicamente permite el ensayo de áreas pequeñas (3 mm x 7 mm). Por otra parte, el sistema requiere que las muestras se ensayen a las bajas temperaturas producidas por un criostato. La configuración de Bel'kov permite que la iluminación de fuente procedente de los LEDs sea captada por la cámara de vídeo. El filtro de paso largo está destinado a bloquear la iluminación procedente de los LEDs y a transmitir la fotoluminiscencia por encima de 820 nm a la cámara, pero también transmite cualquier iluminación procedente de los LEDs por encima de 820 nm a la cámara. Para muestras de *n*-GaAs, la fotoluminiscencia de alta eficiencia generada supera en gran medida cualquier iluminación indeseada procedente de los LEDs. A la vista de estas y otras limitaciones, el sistema de Bel'kov no resulta adecuado para ensayar semiconductores de salto de banda indirecto.

La divulgación de Masarotto et al.: "Development of an UV scanning photoluminescence apparatus for SiC characterization" (Desarrollo de un aparato de fotoluminiscencia de barrido de UV para la caracterización de SiC), *Eur J AP* 20, 141-144, 2002, describe un aparato de PL de barrido adaptado para la caracterización de SiC. La relación de correspondencia de PL se obtiene barriendo la muestra haciendo uso de un portamuestras x-y [con movimiento en el plano x-y] con un escalón de 1 µm y un haz de láser de Ar<sup>+</sup> enfocado por un objetivo de microscopio, con un diámetro de punto de 4 µm. Puede obtenerse bien una intensidad de PL integrada, o bien una PL resuelta espectralmente. Este sistema barre PL según un modo punto por punto. Tal sistema, desventajosamente, tan solo permite el ensayo de un área pequeña, esto es, un punto, en cualquier instante dado, debido a la operación de barrido.

La Solicitud de Patente Europea Nº EP 0 545 523, y la publicación de Buczkowski et al.: "Photoluminescence intensity analysis in application to contactless characterization of silicon wafers" (Análisis de intensidad de fotoluminiscencia en aplicación a la caracterización sin contacto de obleas de silicio), *J. Electrochem Soc*, 150(8), G 436-G 442, 2003, también preconizan, ambas, la caracterización de la oblea de silicio utilizando un haz enfocado.

La divulgación de Trupke et al.: "Photoluminescence: a surprisingly sensitive lifetime technique" (Fotoluminiscencia: una técnica de periodo de vida sorprendentemente sensible), *Thirty-first IEEE Photovoltaic Specialist Conference [Trigésimo Primera Conferencia de Especialistas Fotovoltaicos del IEEE]*, 3 de enero de 2005, páginas 903-906, preconiza un método de inspección de obleas de silicio basado en la medición de la fotoluminiscencia. Se ilumina una gran área de la oblea de silicio y la señal de fotoluminiscencia se mide utilizando un diodo de silicio. La señal detectada es tratada con el fin de determinar el tiempo de vida efectivo de portadores en exceso, dependiente del

grado de inyección, en la oblea. El detector único que se utiliza en esta publicación resulta, sin embargo, inadecuado para obtener una imagen de la superficie de la oblea.

5 Ninguno de los documentos 'de haz de barrido' de la técnica anterior preconiza el hecho de que pueda captarse simultáneamente fotoluminiscencia a lo largo y ancho de una gran área de la muestra bajo iluminación homogénea en toda la gran área, lo que serían condiciones operativas más aproximadas de un dispositivo semiconductor. Por otra parte, un sistema de haz de barrido es desventajosamente lento debido al funcionamiento de barrido del sistema.

10 Existe, por tanto, la necesidad de un sistema de inspección para estructuras semiconductoras de salto de banda indirecto, especialmente el silicio, incluyendo obleas en bruto o parcialmente tratadas que pudieran, de otro modo, dar como resultado una célula solar rechazada.

### Compendio

De acuerdo con un aspecto de la invención, se proporciona un método para inspeccionar una estructura semiconductoras de salto de banda indirecto de acuerdo con la reivindicación 1.

15 De acuerdo con otro aspecto de la invención, se proporciona un sistema para inspeccionar una estructura semiconductoras de salto de banda indirecto de acuerdo con la reivindicación 10.

### Breve descripción de los dibujos

Se describen en lo que sigue de esta memoria realizaciones de la invención con referencia a los dibujos, en los cuales:

20 La Figura 1 es un diagrama de bloques de un sistema para inspeccionar una estructura semiconductoras de salto de banda indirecto, de acuerdo con una realización de la invención;

La Figura 2 es un diagrama de bloques de un sistema para inspeccionar una estructura semiconductoras de salto de banda indirecto de acuerdo con otra realización de la invención;

La Figura 3 es un diagrama de bloques de un sistema para inspeccionar una estructura semiconductoras de salto de banda indirecto de acuerdo con una realización adicional de la invención;

25 La Figura 4 es un diagrama de bloques de un sistema para inspeccionar una estructura semiconductoras de salto de banda indirecto de acuerdo con aún otra realización de la invención;

La Figura 5 es un diagrama de bloques de un sistema para inspeccionar una estructura semiconductoras de salto de banda indirecto de acuerdo con una realización adicional de la invención;

30 La Figura 6 es un diagrama de flujo de un método para inspeccionar una estructura semiconductoras de salto de banda indirecto de acuerdo con una realización de la invención; y

La Figura 7 es un diagrama de bloques de un sistema para inspeccionar una estructura semiconductoras de salto de banda indirecto de acuerdo con aún otra realización de la invención.

### Descripción detallada

35 Se divulgan métodos y sistemas para inspeccionar estructuras semiconductoras de salto de banda indirecto. En la descripción que sigue, se exponen numerosos detalles específicos, incluyendo materiales semiconductores de salto de banda indirecto, dispositivos de captación de imágenes y otros similares. Sin embargo, resultará evidente de esta divulgación para los expertos de la técnica que es posible realizar modificaciones y/o sustituciones sin apartarse del alcance de la invención, según se define en las reivindicaciones que se acompañan. En otras circunstancias, pueden omitirse detalles específicos para no oscurecer la invención.

40 En el caso de que se haga referencia, en uno cualquiera o más de los dibujos que se acompañan, a etapas y/o características que tienen los mismos o similares números de referencia, esas etapas y/o características tienen, para los propósitos de esta descripción, la(s) misma(s) función (funciones) o funcionamiento(s), a menos que sea manifiesta la intención contraria.

45 En el contexto de esta memoria, la expresión "que comprende" tiene un significado de propósito abierto, no exclusivo: «que incluye principalmente, pero no necesariamente en exclusiva», pero ni «que consiste esencialmente en» ni «que consiste únicamente en». Variantes de la expresión "que comprende", tales como «comprenden» y «comprende», tienen significados correspondientes.

#### 1. Introducción

50 Las realizaciones de la invención proporcionan sistemas y métodos de inspección para estructuras semiconductoras de salto de banda indirecto, incluyendo obleas en bruto o parcialmente tratadas. En particular, los sistemas y

métodos resultan particularmente adecuados para el ensayo de estructuras de silicio, incluyendo obleas en bruto y parcialmente tratadas, dispositivos de silicio parcialmente fabricados, estructuras de silicio sobre aislante (SOI – “silicon-on-insulator”–) en bruto o parcialmente tratadas, y dispositivos de silicio completamente fabricados. Los sistemas y métodos son capaces de detectar sin contacto defectos existentes en la oblea en bruto antes de su tratamiento y a todo lo largo de las diversas etapas de fabricación, hasta alcanzar el dispositivo semiconductor terminado, incluyendo dispositivos que han sido parcialmente metalizados. Por “sin contacto”, lo que quiere decirse es que no es necesario ningún contacto eléctrico. Por ejemplo, las realizaciones de la invención pueden inspeccionar estructuras de silicio e identificar defectos que, en caso contrario, podrían dar lugar a que la estructura fuera una célula solar u otro dispositivo fotovoltaico rechazado. Los sistemas y métodos son también capaces de determinar sin contacto parámetros de material resueltos en el espacio, tales como densidades de defectos locales, dislocaciones locales, características de corriente-tensión locales, longitud de difusión local y tiempo de vida de portadores minoritarios locales después de varias etapas de tratamiento. Las realizaciones de la invención se sirven de la fotoluminiscencia (PL) simultáneamente inducida a lo largo y ancho de grandes áreas de estructuras semiconductoras de salto de banda indirecto para caracterizar las estructuras semiconductoras de salto de banda indirecto.

En las realizaciones de la invención, en lugar de analizar el contenido espectral de la fotoluminiscencia, la variación espacial de una señal de fotoluminiscencia se utiliza para obtener información acerca de la calidad del material semiconductor de salto de banda indirecto. Como las realizaciones de la invención resultan particularmente bien adecuadas para utilizarse con silicio, la descripción que sigue en esta memoria se refiere a estructuras de silicio, incluyendo obleas de silicio. Sin embargo, a la luz de esta descripción, los expertos de la técnica apreciarán que las realizaciones de la invención pueden llevarse a la práctica con otros semiconductores de salto de banda indirecto, tales como el germanio y aleaciones de silicio y germanio. Los sistemas y métodos para inspeccionar estructuras de silicio pueden permitir que las obleas sean inspeccionadas a velocidades adecuadas para una aplicación industrial (por ejemplo, aproximadamente 1 oblea por segundo).

En las realizaciones de la invención, la luz adecuada para inducir la fotoluminiscencia en el silicio es generada y utilizada para iluminar de manera sustancialmente uniforme una gran área de una muestra de silicio. La expresión “sustancialmente uniforme” se utiliza para describir la luz, a la que puede hacerse igualmente referencia como homogénea, ya que, en la práctica, la iluminación no es perfectamente uniforme. Por ejemplo, puede utilizarse luz monocromática o sustancialmente monocromática (por ejemplo, procedente de un láser o de un diodo de láser), o luz parcialmente filtrada procedente de una fuente de luz de amplio espectro (por ejemplo, una lámpara de flash) para iluminar la muestra de silicio. En particular, se aplica una filtración de paso corto a la luz generada para reducir en gran medida el contenido espectral de la luz por encima de una longitud de onda especificada. Se utiliza una disposición óptica en combinación con la fuente de luz para iluminar homogéneamente una gran área de la oblea. De preferencia, toda el área de la oblea que ha de ser investigada se ilumina homogéneamente. La fotoluminiscencia simultáneamente inducida en la estructura de silicio por la luz incidente, sustancialmente uniforme y simultánea, es captada utilizando un dispositivo de captación de imágenes capaz de captar simultáneamente la fotoluminiscencia inducida. El dispositivo de captación de imágenes comprende, preferiblemente, un elemento de enfoque y un conjunto geoméricamente ordenado en el plano focal de elementos electrónicos sensibles a la luz. El conjunto geoméricamente ordenado en el plano focal de elementos electrónicos sensibles a la luz puede comprender un conjunto geoméricamente ordenado de dispositivos de acoplamiento de carga (CCD –“charge coupled device”–). El conjunto geoméricamente ordenado en el plano focal puede estar hecho de silicio. Sin embargo, como se describe en lo que sigue de esta memoria, pueden ponerse en práctica otros dispositivos, además de un conjunto geoméricamente ordenado de CCD, sin apartarse del alcance de la invención según se define en las reivindicaciones que se acompañan. El dispositivo de captación de imágenes puede ser utilizado en combinación con disposiciones de formación de imágenes y/o filtración ópticas.

En algunas realizaciones de la invención, la oblea de silicio es iluminada desde una de sus caras utilizando la fuente de luz en cuestión, y la fotoluminiscencia inducida en la gran área de la oblea por la luz incidente es captada desde la cara opuesta de la oblea de silicio. En otras realizaciones, la fotoluminiscencia es captada desde la misma cara de la oblea de silicio que es iluminada. Se aplican entonces técnicas de formación de imágenes y de tratamiento de imágenes a las imágenes de PL captadas. El análisis de los datos permite determinar parámetros de material locales dentro de la estructura de silicio utilizando la variación espacial de la fotoluminiscencia inducida en la gran área. Esto puede permitir identificar estructuras de silicio que son defectuosas en una etapa temprana en la fabricación del dispositivo, a fin de rechazar las estructuras que serán rechazadas en última instancia.

Si bien las realizaciones de la invención resultan adecuadas para una aplicación industrial, los métodos y sistemas pueden ser aplicados a la investigación científica. Pueden utilizarse imágenes de fotoluminiscencia, por ejemplo, para determinar las áreas ricas en defectos locales, dislocaciones locales, características de corriente-tensión locales, longitud de difusión local y/o tiempo de vida de portadores minoritarios locales, que pueden ser beneficiosas no solo en el sector fotovoltaico, sino también en otros campos como la microelectrónica. Las realizaciones de la invención pueden ser aplicadas en el modo sin contacto y son, por tanto, particularmente adecuadas para inspeccionar parámetros de material locales tras etapas de tratamiento individuales. Las realizaciones de la invención se describen con mayor detalle en lo que sigue de esta memoria.

## 2. Inspección de una estructura semiconductor de salto de banda indirecto

La Figura 6 es un diagrama de flujo de alto nivel que ilustra un método 600 para inspeccionar una estructura semiconductor de salto de banda indirecto. En la etapa 610, comienza el tratamiento. En la etapa 612, se genera luz adecuada para inducir fotoluminiscencia en la estructura semiconductor de salto de banda indirecto. En la etapa 614, la luz es filtrada en paso corto para reducir la luz de longitud de onda larga de la luz generada por encima de un pico de emisión especificado. En la etapa 616, la luz es colimada. La etapa 614 y la etapa 616 pueden también ser llevadas a cabo en el orden inverso. En la etapa 618, una gran área de la estructura semiconductor de salto de banda indirecto es iluminada de forma sustancialmente uniforme y simultánea con la luz filtrada en paso corto y colimada. En la etapa 620, se captan imágenes de fotoluminiscencia simultáneamente inducida por la iluminación sustancialmente uniforme y simultánea que incide a lo largo y ancho de la gran área de la estructura semiconductor de salto de banda indirecto, utilizando un dispositivo de captación de imágenes capaz de captar simultáneamente la fotoluminiscencia inducida. En la etapa 622, las imágenes de fotoluminiscencia son imágenes tratadas para cuantificar propiedades electrónicas especificadas de la estructura semiconductor de salto de banda indirecto utilizando la variación espacial de la fotoluminiscencia inducida en la gran área. El tratamiento termina entonces en la etapa 622. El método anterior para inspeccionar una estructura semiconductor de salto de banda indirecto es expuesto en lo que sigue de esta memoria con referencia a varias realizaciones que implementan diversos sistemas para inspeccionar tales estructuras.

## 3. Iluminación y obtención de imágenes en caras opuestas

La Figura 1 ilustra un sistema 100 para inspeccionar una estructura de silicio 140 que es, preferiblemente, una oblea de silicio. Pueden fabricarse dispositivos fotovoltaicos y microelectrónicos en un cierto número de estadios sobre tal oblea de silicio. El sistema 100 de la Figura 1 puede ser utilizado para inspeccionar una oblea en bruto o parcialmente tratada, una oblea que se ha sometido a un número cualquiera de etapas de tratamiento para formar un dispositivo fotovoltaico tal como una célula solar o un dispositivo microelectrónico, y un dispositivo terminado de resultados del procedimiento de fabricación. Por ejemplo, la oblea de silicio 140 puede tener dimensiones de 150 mm x 150 mm x 0,25 mm. La estructura puede comprender una estructura en bruto o parcialmente tratada de silicio sobre aislante (SOI –“silicon-on-insulator”–), con un sustrato que es transparente a la luz incidente. El método de inspección puede llevarse a cabo a la temperatura de la sala. Para facilidad de explicación, se hace referencia sencillamente a la estructura de silicio en lo que sigue de esta memoria como muestra de silicio.

El sistema 100 comprende una fuente de luz 110, una unidad de filtro de paso corto 114 y un dispositivo 122 de captación de imágenes. La unidad de filtro de paso corto 114 puede comprender uno o más filtros de paso corto. Un filtro de paso corto pasa a través de la luz de excitación y absorbe o refleja una emisión (emisiones) de longitud de onda larga indeseada(s). Ejemplos de filtros de paso corto incluyen filtros coloreados y filtros de interferencia dieléctricos. Alternativamente, puede utilizarse un espejo dieléctrico (por ejemplo, a 45 grados) que refleja esa parte de la luz que se utilizará y transmite la luz de longitud de onda larga no deseada. La unidad de filtro de paso corto también puede comprender una combinación de filtros de paso corto y espejos dieléctricos.

El sistema también comprende un colimador 112 y puede comprender un homogeneizador 116, el cual es un dispositivo para convertir un haz colimado de luz que tiene una intensidad no uniforme en una región uniformemente iluminada de un plano sobre el que incide perpendicularmente el haz colimado. Ejemplos de ello incluyen un(os) conjunto(s) geoméricamente ordenado(s) de lentes cilíndricas transversales y un conjunto geoméricamente ordenado de microlentes. Un colimador puede consistir en lentes de diversas clases. En la realización de la Figura 1, los elementos del sistema 100 se han dispuesto como sigue: una fuente de luz 110 situada frente a la muestra de silicio 140, el colimador 112, la unidad de filtro de paso corto 114 y el homogeneizador 116, ópticamente alineado en esa secuencia. En otra realización de la invención, el orden del colimador 112 y la unidad de filtro de paso corto 114 puede ser invertido. Puede utilizarse una lente de campo 117 entre el homogeneizador y la muestra de silicio. Los elementos están separados de la muestra de silicio 140 de manera tal, que puede iluminarse un área grande de la muestra 140 de forma homogénea.

La fuente de luz 110 genera luz adecuada para inducir simultáneamente fotoluminiscencia a lo largo y ancho de una gran área de la muestra de silicio 140. La potencia óptica total de la luz generada puede superar 1,0 vatios. Las fuentes de luz de potencia más alta son capaces de inducir más rápida e intensamente fotoluminiscencia en la muestra de silicio 140. La fuente de luz 110 puede generar luz monocromática o sustancialmente monocromática. La fuente de luz 110 puede ser al menos un láser. Por ejemplo, puede utilizarse un láser de diodo de 808 nm para generar luz monocromática. Pueden también ponerse en práctica dos o más láseres con diferentes longitudes de onda principales. Otra fuente de luz 110 puede comprender una fuente de luz de amplio espectro (por ejemplo, una lámpara de flash), combinada con una filtración apropiada para proporcionar luz parcialmente filtrada. Aún otra fuente de luz 110 puede ser un diodo electroluminiscente (LED –“light emitting diode”–). Aún otra fuente de luz 110 puede comprender un conjunto geoméricamente ordenado de diodos electroluminiscentes (LED). Por ejemplo, tal conjunto geoméricamente ordenado de diodos electroluminiscentes puede comprender un elevado número (por ejemplo, 60) de LEDs en un conjunto geoméricamente ordenado compacto, con extracción del calor. Puede hacerse uso de otras fuentes de luz de alta potencia sin apartarse del alcance de la invención.

La luz procedente de la fuente de luz 110 es colimada hasta obtener haces paralelos por medio de un colimador o

unidad colimadora 112, la cual puede comprender más de un elemento. Se aplica filtración de paso corto a la luz generada. Esto puede hacerse utilizando una unidad de filtro de paso corto de interferencia 114 que comprende uno o más elementos de filtro. La filtración de paso corto de la luz generada reduce la luz de longitud de onda larga por encima de un pico de emisión especificado. El filtro de paso corto 114 puede reducir en un factor de aproximadamente 10 o más el flujo total de fotones dentro de una cola de longitud de onda larga de la luz generada. La cola de longitud de onda larga puede comenzar en una longitud de onda que es aproximadamente el 10 por ciento (10%) más alta que el pico de emisión de longitud de onda más larga de la fuente de luz 110. Por ejemplo, la filtración puede eliminar componentes espectrales indeseadas tales como componentes infrarrojas, con longitudes de onda comprendidas en el intervalo entre 900 nm y 1.800 nm, o en un subintervalo de este intervalo. Pueden utilizarse múltiples filtros de paso corto debido a que un solo filtro puede no ser suficiente por sí mismo para eliminar o reducir las componentes espectrales indeseadas. Los filtros de paso corto pueden ser implementados en numerosas posiciones diferentes en la combinación global de elementos ópticos entre la fuente de luz 110 y la muestra de silicio 140. Por ejemplo, pueden colocarse filtros entre el homogeneizador 116 y la lente de campo 117. En caso de que se utilice más de un filtro de paso corto, entonces uno o más de los filtros pueden disponerse de manera que se inclinen en un cierto ángulo con respecto al eje óptico del haz colimado, a fin de evitar reflexiones múltiples de la luz reflejada. La luz de paso corto filtrada y colimada puede ser entonces homogeneizada por un homogeneizador 116, al objeto de iluminar de forma homogénea una gran área de la muestra de silicio 140. Sin embargo, el orden de las etapas puede ser alterado. El área homogéneamente iluminada de la muestra de silicio puede ser mayor o igual que aproximadamente  $1,0 \text{ cm}^2$ . El homogeneizador 116 distribuye los haces colimados uniformemente a lo largo y ancho de la superficie de la muestra de silicio 140.

La iluminación homogénea que incide en la superficie de la muestra de silicio 140 es suficiente para inducir fotoluminiscencia simultáneamente en la muestra de silicio. Esta fotoluminiscencia se ha representado en la Figura 1 por flechas o rayos que emanan de la superficie opuesta de la muestra de silicio 140. Por facilidad de ilustración únicamente, no se ha mostrado fotoluminiscencia correspondiente emanando de la primera superficie de la muestra de silicio 140 hacia la que se ha orientado la fuente de luz 110. La eficiencia cuántica de fotoluminiscencia externa del silicio puede ser muy baja (del orden de  $< 10^{-6}$ ). Un dispositivo 130 de captación de imágenes capta imágenes de la fotoluminiscencia simultáneamente inducida en la muestra de silicio. La unidad de filtro de paso corto 114 reduce o elimina la luz incidente procedente de la fuente de luz 110 de manera que no sea recibida por el dispositivo 130 de captación de imágenes. La radiación de cola de la fuente de luz puede ser del orden de  $10^{-4}$  de un pico de fuente, lo que puede exceder significativamente la eficiencia de PL del silicio (del orden de  $10^{-6}$ ), en contraste con la de semiconductores de salto de banda directo como el AlGaAs (del orden de  $10^{-2}$ ). En esta realización, la fuente de luz 110 está orientada hacia la superficie de una de las caras de la muestra de silicio 140 para la iluminación de esa superficie. La muestra de silicio 140 actúa como filtro de paso largo de la luz generada que ilumina la muestra de silicio 140. El dispositivo 130 de captación de imágenes se orienta en dirección a la superficie de la cara opuesta de la muestra de silicio 140 con el fin de captar las imágenes de PL de esa cara opuesta. Puede utilizarse una unidad de filtro de paso largo 118 en combinación con el dispositivo 130 de captación de imágenes. Esta unidad de filtro 118 puede ser opcional, puesto que la oblea de silicio 140 puede suprimir cualquier luz residual procedente de la fuente de luz 110 dependiendo del espesor de la oblea y de las longitudes de onda de la luz incidente. El dispositivo 130 de captación de imágenes (y el filtro de paso largo 118) está adecuadamente separado de la otra superficie de cara a la cual está enfrenteado el dispositivo 130 de captación de imágenes.

El dispositivo 130 de captación de imágenes comprende un elemento de enfoque 120 (por ejemplo, una o más lentes) y un conjunto geoméricamente ordenado 122 en el plano focal de elementos electrónicos sensibles a la luz. En esta realización, el conjunto geoméricamente ordenado 122 en el plano focal de elementos electrónicos sensibles a la luz comprende un conjunto geoméricamente ordenado de dispositivos de acoplamiento de carga (CCD –“charge coupled devices”–). El conjunto geoméricamente ordenado en el plano focal puede estar hecho de silicio y puede ser refrigerado. La refrigeración mejora la relación entre señal y ruido de dicho conjunto geoméricamente ordenado en el plano focal. Por ejemplo, el dispositivo 130 de captación de imágenes puede ser una cámara de vídeo digital que tiene un conjunto geoméricamente ordenado de CCD de silicio, y estar provisto de una interfaz digital (por ejemplo, USB o Firewire), o bien un medio de almacenamiento (por ejemplo, una cinta de DV o un lápiz de memoria), para la comunicación de las imágenes grabadas. Alternativamente, el conjunto geoméricamente ordenado 122 en el plano focal de elementos electrónicos sensibles a la luz puede estar hecho de InGaAs. Como se describe más adelante con referencia a otras realizaciones de la invención, el dispositivo 130 de captación de imágenes puede comprender un detector de píxel. El detector de píxel puede ser un detector de píxel de contacto acoplado a la superficie opuesta de la muestra de silicio. Alternativamente, el dispositivo 130 de captación de imágenes puede comprender un detector de píxel o un conjunto geoméricamente ordenado de dispositivos de acoplamiento de carga (CCD) y un haz de fibras gradualmente estrechado que está acoplado entre la superficie opuesta de la muestra de silicio 140 y el detector de píxel o conjunto geoméricamente ordenado de CCD 140, o un CCD en modo de contacto. Pueden ponerse en práctica otros dispositivos de captación de imágenes siempre y cuando los dispositivos sean capaces de captar simultáneamente la fotoluminiscencia inducida en toda una gran área de la muestra semiconductor.

Se aplican técnicas de tratamiento de imagen a las imágenes de PL para cuantificar propiedades electrónicas especificadas de la muestra de silicio 140. Se comprueba si existen variaciones espaciales de la intensidad de PL. Como se muestra en la Figura 1, una computadora de propósito general 150 puede captar y analizar imágenes de

PL grabadas por el dispositivo 130 de captación de imágenes, a través de un canal de comunicaciones 152, el cual puede ser una interfaz de comunicaciones o un dispositivo de almacenamiento adecuados. Las técnicas de tratamiento de imagen pueden ser implementadas en software, hardware o una combinación de ambos. Las propiedades electrónicas específicas pueden comprender una o más áreas ricas en defectos locales, dislocaciones locales, características de corriente-tensión locales, longitud de difusión local y tiempo de vida de portadores minoritarios locales. Las realizaciones de la invención son capaces de determinar tales propiedades sin contacto. La formación de imágenes es distinta de la relación de correspondencia de fotoluminiscencia, que es lenta y, por tanto, inadecuada para una aplicación industrial como herramienta de producción en cadena, y para ensayo espectroscópico de PL, que implica, por lo común, ensayar un área pequeña de un semiconductor. El sistema de acuerdo con esta realización de la invención puede ser utilizado para identificar áreas defectuosas de la oblea 140. Las realizaciones de la invención pueden ser utilizadas para ensayar sin contacto, utilizando fotoluminiscencia, la estructura de silicio después de cada etapa de tratamiento de un dispositivo fotovoltaico. Puede, por tanto, hacerse un seguimiento de la influencia de las etapas de tratamiento individuales sobre la calidad espacial del material.

La Figura 4 ilustra un sistema 400 para inspeccionar una estructura de silicio 440 de acuerdo con una realización adicional de la invención. En el dibujo, se han dado a las características de la Figura 4 que son como las de la Figura 1 números de referencia análogos (por ejemplo, la fuente de luz 110 de la Figura 1 y la fuente de luz 410 de la Figura 4 tienen tales números de referencia análogos). La estructura 440 es, de nuevo, preferiblemente una oblea de silicio. A fin de simplificar el dibujo, no se ha mostrado una computadora de propósito general. El sistema 400 comprende una fuente de luz 410, una unidad de filtro de paso corto 414 y un dispositivo 422 de captación de imágenes. El sistema comprende también un colimador 412 y puede comprender un homogeneizador 416. Puede también emplearse una lente de campo (no mostrada).

De nuevo, la fuente de luz 410 genera luz adecuada para inducir fotoluminiscencia de forma simultánea en toda una gran área de la muestra de silicio 440. La potencia de la luz generada supera 1,0 vatios. Fuentes de luz 410 que pueden ponerse en práctica comprenden uno o más láseres, una fuente de luz de amplio espectro combinada con una filtración adecuada para proporcionar luz parcialmente filtrada, y un conjunto geométricamente ordenado de diodos electroluminiscentes (LED). Pueden utilizarse en la práctica otras fuentes de luz de alta potencia sin apartarse del alcance de la invención.

En esta realización, el dispositivo de captación de imágenes comprende un detector de píxel 422 y, en particular, un detector de píxel de contacto 422 acoplado a la superficie de la muestra de silicio 440 que es opuesta a la superficie iluminada. El detector de píxel de contacto 422 detecta la fotoluminiscencia inducida simultáneamente en toda una gran área de la muestra de silicio 440. El detector de píxel de contacto 422 puede tener una eficiencia de captación de fotoluminiscencia más alta que la del dispositivo de captación de imágenes de la Figura 1. Por otra parte, el detector de píxel de contacto 422 puede tener una resolución más baja que la del conjunto geométricamente ordenado de CCD de la Figura 1. También, puede no ser necesario un filtro de paso largo entre la muestra 440 y el detector de píxel de contacto 422. La muestra de silicio 440 puede llevar a cabo esta función.

La Figura 5 ilustra otro sistema 500 para inspeccionar una estructura de silicio 540, de acuerdo con otra realización de la invención. De nuevo, a las características de la Figura 5 que son similares a las de la Figura 1 se les han dado números de referencia análogos. La estructura 540 comprende, preferiblemente, una oblea de silicio. A fin de simplificar el dibujo, no se ha mostrado, de nuevo, una computadora de propósito general. El sistema 500 comprende una fuente de luz 510, una unidad de filtro de paso corto 514 y un dispositivo 522 de captación de imágenes. El sistema también comprende un colimador 512 y puede comprender un homogeneizador 516.

En esta realización, el dispositivo de captación de imágenes comprende un detector de píxel o un conjunto geométricamente ordenado de dispositivos de acoplamiento de carga (CCD) 522, que está acoplado mediante un haz de fibras gradualmente estrechado 560 a la superficie de la muestra de silicio 540 que es opuesta a la superficie iluminada. El haz de fibras gradualmente estrechado 560 puede reducir el área del conjunto geométricamente ordenado de CCD con respecto al tamaño de la muestra en un factor de 2 a 3, y hasta aproximadamente 10. Por ejemplo, el conjunto geométricamente ordenado de CCD o detector de píxel puede tener un tamaño de 60 mm x 60 mm.

#### 4. Iluminación y formación de imágenes por la misma cara

La Figura 2 ilustra un sistema 200 para inspeccionar una estructura de silicio 240, de acuerdo con aún otra realización de la invención. En el dibujo, a las características de la Figura 2 que son como las de la Figura 1 se les han dado números de referencia análogos. La estructura 240 es, de nuevo, preferiblemente una oblea de silicio. A fin de simplificar el dibujo, no se ha mostrado una computadora de propósito general. El sistema 200 comprende una fuente de luz 210, una unidad de filtro de paso corto 214 y un dispositivo 230 de captación de imágenes. El sistema 200 también comprende un colimador 212 y puede comprender un homogeneizador 216. Puede también emplearse una lente de campo (no mostrada).

De nuevo, la fuente de luz 210 genera luz adecuada para inducir fotoluminiscencia homogéneamente en toda una gran área de la muestra de silicio 240. La potencia óptica total de la luz generada supera 1,0 vatios. Puede emplearse cualquiera de entre diversas fuentes de luz como la fuente de luz 210. Detalles de tales fuentes de luz se

han expuesto anteriormente en esta memoria con referencia a la Figura 1.

En la realización de la Figura 2, los elementos del sistema 200 se han dispuesto como sigue: una fuente de luz 210 situada enfrentada a la muestra de silicio 240, el colimador 212, la unidad de filtro de paso corto 214 y el homogeneizador 216, ópticamente alineados en esta secuencia. Pueden ponerse en práctica, sin embargo, otros ordenamientos de algunos de estos elementos o de todos ellos, sin apartarse del alcance de la invención. Esta combinación de elementos de iluminación está fuera de eje por cuanto la fuente de luz 210 y sus elementos ópticos asociados están orientados con respecto a la superficie de la muestra 240 en un ángulo de menos de 90 grados. Los elementos están, todos ellos, separados de la muestra de silicio 240 de manera tal, que el área grande de la muestra 240 puede ser iluminada. El dispositivo 230 de captación de imágenes (y una unidad de filtro de paso largo 218) está orientado perpendicularmente con respecto a la superficie de la muestra de silicio 240. La unidad de filtro de paso largo 218 es necesaria para eliminar luz incidente procedente de la fuente de luz 210. De esta forma, el dispositivo 230 de captación de imágenes capta fotoluminiscencia procedente de la misma cara que la iluminada por la luz incidente proveniente de la fuente de luz 210, para inducir fotoluminiscencia (de nuevo indicada por rayos o flechas que emanan de la superficie de la muestra de silicio 240).

La fuente de luz 210 genera luz adecuada para inducir fotoluminiscencia en la muestra de silicio. La potencia óptica total de la luz generada supera 1,0 vatios.

El dispositivo 130 de captación de imágenes de esta realización comprende un elemento de enfoque 220 (por ejemplo, una lente) y un conjunto geoméricamente ordenado 222 en el plano focal de elementos electrónicos sensibles a la luz. En esta realización, el conjunto geoméricamente ordenado 222 en el plano focal de elementos electrónicos sensibles a la luz comprende un conjunto geoméricamente ordenado de dispositivos de acoplamiento de carga (CCD). Preferiblemente, el conjunto geoméricamente ordenado en el plano focal puede estar hecho de silicio y puede ser refrigerado. Por ejemplo, el dispositivo 130 de captación de imágenes puede ser una cámara de vídeo digital que tiene un conjunto geoméricamente ordenado de CCD de silicio y puede estar provisto de una interfaz digital (por ejemplo, USB o Firewire) o un medio de almacenamiento (por ejemplo, una cinta de DV o un lápiz de memoria) para la comunicación de las imágenes grabadas. Alternativamente, el conjunto geoméricamente ordenado 222 en el plano focal de elementos electrónicos sensibles a la luz puede estar hecho de InGaAs. Como se describe más adelante en esta memoria con referencia a otras realizaciones de la invención, el dispositivo 230 de captación de imágenes comprende un detector de píxel.

Se aplican técnicas de tratamiento de imagen a las imágenes de PL con el fin de cuantificar propiedades electrónicas especificadas de la muestra de silicio 240 utilizando la variación espacial de la fotoluminiscencia inducida en la gran área. Las propiedades electrónicas especificadas pueden comprender uno o más de entre áreas ricas en defectos locales, dislocaciones locales, características de corriente-tensión locales y tiempo de vida de portadores minoritarios locales.

La Figura 3 ilustra un sistema 300 para inspeccionar una estructura de silicio 340 de acuerdo con aún otra realización de la invención. Este sistema 300 también comprende una fuente de luz 310, una unidad de filtro de paso corto 314 y un dispositivo 330 de captación de imágenes. El sistema 300 también comprende un colimador 312 y puede comprender un homogeneizador 316. El sistema puede también comprender una lente de campo (no mostrada). El dispositivo 330 de captación de imágenes puede comprender un elemento de enfoque 320 (por ejemplo, una lente) y un conjunto geoméricamente ordenado 322 en el plano focal de elementos electrónicos sensibles a la luz. Puede también haberse dispuesto una unidad de filtro de paso largo 318 entre la cámara 330 y la superficie desde la que emana la fotoluminiscencia. Los elementos del sistema 300 son los mismos que los de la Figura 2, a excepción de que la fuente de luz 310 y sus elementos ópticos asociados están orientados perpendicularmente a la superficie de la muestra 340. El dispositivo 330 de captación de imágenes (y la unidad de filtro de paso largo 318) está fuera de eje por cuanto el dispositivo 330 de captación de imágenes (y la unidad de filtro de paso largo 318) está orientado con respecto a la superficie de la muestra 340 en un ángulo de menos de 90 grados. El dispositivo 330 de captación de imágenes capta la fotoluminiscencia procedente de la misma cara que la que es iluminada por la fuente de luz 310 para inducir la fotoluminiscencia (de nuevo, indicada por rayos o flechas) que emana de la superficie de la muestra de silicio 340.

La Figura 7 ilustra un sistema 700 para inspeccionar una estructura de silicio 740 como el de las Figuras 2 y 3, a excepción de que, en esta realización, la fuente de luz 710 y su óptica asociada 712, 714, 716, así como el sistema 730, 722, 720, 718 de captación de imágenes, están, ambos, fuera de eje (no son perpendiculares) con respecto a la muestra 740.

Las realizaciones de la invención pueden ser utilizadas ventajosamente con semiconductores de salto de banda indirecto, los cuales no generan fotoluminiscencia de forma tan eficiente como los semiconductores de salto de banda directo como el GaAs, el AlGaAs y muchos semiconductores III-V. Pueden iluminarse grandes áreas, incluyendo hasta el área completa de una oblea, para inducir fotoluminiscencia de forma simultánea. Ventajosamente, toda la oblea es iluminada simultáneamente, lo que permite un ensayo más rápido y más consistente. Por ejemplo, una célula solar funciona normalmente cuando es iluminado todo el dispositivo, no solo una parte de la célula solar. Pueden obtenerse de esta manera más detalles cuantitativos de la célula. Si bien las realizaciones de la invención se han descrito con referencia a la inspección de obleas para identificar defectos en las

oblas, las realizaciones de la invención no están limitadas a tales aplicaciones. Las realizaciones de la invención pueden ser utilizadas para inspeccionar dispositivos parcial o completamente formados, a fin de identificar defectos en los dispositivos. Las realizaciones de la invención tienen una aplicación más general en la industria de la microelectrónica.

- 5 Las realizaciones de la invención en que la fuente de luz y el sistema de captación de imágenes se encuentran en caras opuestas o en la misma cara de la estructura semiconductor de salto de banda indirecto, pueden ser utilizadas para identificar posibles defectos en obleas en bruto y en dispositivos semiconductores parcialmente fabricados. Puede utilizarse la configuración de fuente de luz y sistema de captación de imágenes en la misma cara para ensayar dispositivos semiconductores completamente fabricados, especialmente en el caso de que una de las superficies del dispositivo esté completamente metalizada.
- 10

Lo anterior describe únicamente un pequeño número de métodos y sistemas para inspeccionar semiconductores de salto de banda indirecto de acuerdo con realizaciones de la invención. Las realizaciones están destinadas a ser ilustrativas y no limitativas.

**REIVINDICACIONES**

- 1.- Un método para inspeccionar una estructura semiconductor (140) de salto de banda indirecto, de manera que dicho método comprende las etapas de:
- 5 generar luz desde una fuente de luz (110) que comprende un láser, un diodo de láser o un diodo electroluminiscente, que tiene un pico de longitud de onda de emisión adecuado para inducir fotoluminiscencia en dicha estructura semiconductor (140) de salto de banda indirecto;
- filtrar en paso corto dicha luz generada para reducir la luz de longitud de onda larga de dicha luz generada por encima de dicho pico de longitud de onda de emisión, que es recibida por un dispositivo (130) de captación de imágenes;
- 10 colimar dicha luz generada;
- iluminar de manera sustancialmente uniforme y simultánea una gran área que incluye hasta toda la superficie de dicha estructura semiconductor (140) de salto de banda indirecto, con dicha luz filtrada en paso corto y colimada;
- 15 captar simultáneamente la fotoluminiscencia inducida desde dicha estructura semiconductor (140) de salto de banda indirecto por dicha iluminación, utilizando el dispositivo (130) de captación de imágenes, capaz de captar simultáneamente dicha fotoluminiscencia inducida; y
- realizar un tratamiento de imagen con las imágenes de dicha fotoluminiscencia captada, a fin de cuantificar propiedades electrónicas especificadas, resueltas en el espacio, de dicha estructura semiconductor (140) de salto de banda indirecto, utilizando la variación espacial de dicha fotoluminiscencia inducida en dicha gran área;
- 20 de tal manera que la estructura semiconductor (140) de salto de banda indirecto comprende una oblea en bruto o parcialmente tratada, o una oblea que se ha sometido a un número cualquiera de etapas de tratamiento con el fin de formar un dispositivo fotovoltaico tal como una célula solar.
- 2.- El método de acuerdo con la reivindicación 1, en el cual dicho semiconductor de salto de banda indirecto comprende silicio.
- 3.- El método de acuerdo con la reivindicación 1 o la reivindicación 2, en el cual el área iluminada de dicha estructura semiconductor (140) de salto de banda indirecto es igual o mayor que aproximadamente  $1,0 \text{ cm}^2$ .
- 25 4.- El método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, en el cual el área iluminada corresponde a toda la superficie de una de las caras de dicha estructura semiconductor (140) de salto de banda indirecto.
- 5.- El método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, de tal manera que dicho método se lleva a cabo con dicha estructura semiconductor (140) de salto de banda indirecto a la temperatura de la sala.
- 30 6.- El método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, en el cual dicha fuente (110, 210) de dicha luz generada se orienta hacia la superficie de una de las caras de dicha estructura (140, 240) para la iluminación de esa superficie, y dicho dispositivo (130, 230) de captación de imágenes se orienta hacia esa misma superficie para captar dicha fotoluminiscencia procedente de esa superficie, o hacia la superficie de una cara opuesta de dicha estructura (140), a fin de captar dicha fotoluminiscencia procedente de la superficie de dicha cara opuesta.
- 35 7.- El método de acuerdo con la reivindicación 6, en el cual se utilizan uno o más filtros de paso largo (118) en combinación con dicho dispositivo (130) de captación de imágenes.
- 8.- El método de acuerdo con la reivindicación 1, en el cual dichas propiedades electrónicas especificadas comprenden una o más densidades de defectos locales, dislocaciones locales, características de corriente-tensión locales, longitud de difusión local y tiempo de vida de portadores minoritarios locales.
- 40 9.- El método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8, en el cual dicha estructura semiconductor (140) de salto de banda indirecto comprende una oblea de silicio, y de tal manera que dicho método se lleva a cabo a una velocidad adecuada para una capacidad de producción de una oblea por segundo.
- 10.- Un sistema (100) para inspeccionar una estructura semiconductor (140) de salto de banda indirecto, de tal manera que dicho sistema (100) comprende:
- 45 una fuente de luz (110) que comprende un láser, un diodo de láser o un diodo electroluminiscente para generar luz que tiene pico de longitud de onda de emisión adecuado para inducir fotoluminiscencia en dicha estructura semiconductor (140) de salto de banda indirecto;
- 50 un dispositivo (130) de captación de imágenes, destinado a captar fotoluminiscencia inducida por dicha iluminación, procedente de dicha estructura semiconductor (140) de salto de banda indirecto;

- una unidad de filtro de paso corto (114), dispuesta entre dicha fuente de luz (110) y dicha estructura semiconductor (140) de salto de banda indirecto, de tal manera que la unidad de filtro de paso corto (114) se ha configurado para reducir la luz de longitud de onda larga de dicha luz generada, por encima de dicho pico de longitud de onda de emisión, que es recibida por el dispositivo (130) de captación de imágenes;
- 5 un colimador (112), dispuesto entre dicha fuente de luz (110) y dicha estructura semiconductor (140) de salto de banda indirecto, de tal manera que dicha luz colimada y filtrada en paso corto ilumina de forma sustancialmente uniforme y simultánea una gran área que incluye hasta una superficie completa de dicha estructura semiconductor (140) de salto de banda indirecto; y
- 10 un procesador (150) de imagen, destinado a tratar imágenes de dicha fotoluminiscencia captada a fin de cuantificar propiedades electrónicas especificadas, resueltas en el espacio, de dicha estructura semiconductor (140) de salto de banda indirecto, utilizando la variación espacial de dicha fotoluminiscencia inducida en dicha gran área;
- de tal manera que
- la estructura semiconductor (140) de salto de banda indirecto comprende una oblea en bruto o parcialmente tratada, o bien una oblea que se ha sometido a un número cualquiera de etapas de tratamiento para formar un dispositivo fotovoltaico tal como una célula solar.
- 15 11.- El sistema de acuerdo con la reivindicación 10, en el cual dicho semiconductor de salto de banda indirecto comprende silicio.
- 12.- El sistema de acuerdo con la reivindicación 10 o la reivindicación 11, en el cual el área iluminada de dicha estructura semiconductor (140) de salto de banda indirecto es igual o mayor que aproximadamente  $1,0 \text{ cm}^2$ .
- 20 13.- El sistema de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 10 a 12, en el cual el área iluminada corresponde a toda la superficie de una de las caras de dicha estructura semiconductor (140) de salto de banda indirecto.
- 14.- El sistema de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 10 a 13, de tal manera que dicho sistema (100) inspecciona dicha estructura semiconductor (140) de salto de banda indirecto a la temperatura de la sala.
- 25 15.- El sistema de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 10 a 14, en el cual dicha fuente de luz (110, 210) está orientada hacia la superficie de una de las caras de dicha estructura (140, 240) para la iluminación de esa superficie, y dicho dispositivo (130, 230) de captación de imágenes está orientado hacia esa misma superficie para captar dicha fotoluminiscencia procedente de esa superficie, o hacia la superficie de una cara opuesta de dicha estructura (140) para captar dicha fotoluminiscencia procedente de la superficie de dicha cara opuesta.
- 30 16.- El sistema de acuerdo con la reivindicación 15, que comprende adicionalmente uno o más filtros de paso largo (118) para uso en combinación con dicho dispositivo (130) de captación de imágenes.
- 17.- El sistema de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 10 a 16, en el cual dicho dispositivo (130) de captación de imágenes comprende un elemento de enfoque (120) y un conjunto geoméricamente ordenado (122) en el plano focal de elementos electrónicos sensibles a la luz, o un detector de píxel (422).
- 35 18.- El sistema de acuerdo con la reivindicación 17, en el cual dicho conjunto geoméricamente ordenado (122) en el plano focal de elementos electrónicos sensibles a la luz comprende un conjunto geoméricamente ordenado de dispositivos de acoplamiento de carga (CCDs).
- 19.- El sistema de acuerdo con la reivindicación 17 o la reivindicación 18, en el cual dicho conjunto geoméricamente ordenado (122) en el plano focal está hecho de silicio o de InGaAs.
- 40 20.- El sistema de acuerdo con la reivindicación 10, en el cual dichas propiedades electrónicas especificadas comprenden una o más de densidades de defectos locales, dislocaciones locales, características de corriente-tensión locales, longitud de difusión local y tiempo de vida de portadores minoritarios locales.
- 21.- El sistema de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 10 a 20, en el cual dicha estructura semiconductor (140) de salto de banda indirecto comprende una oblea de silicio, y de tal manera que dicho sistema (100) se ha configurado para inspeccionar obleas de silicio a una velocidad adecuada para una capacidad de producción de una oblea por segundo.
- 45

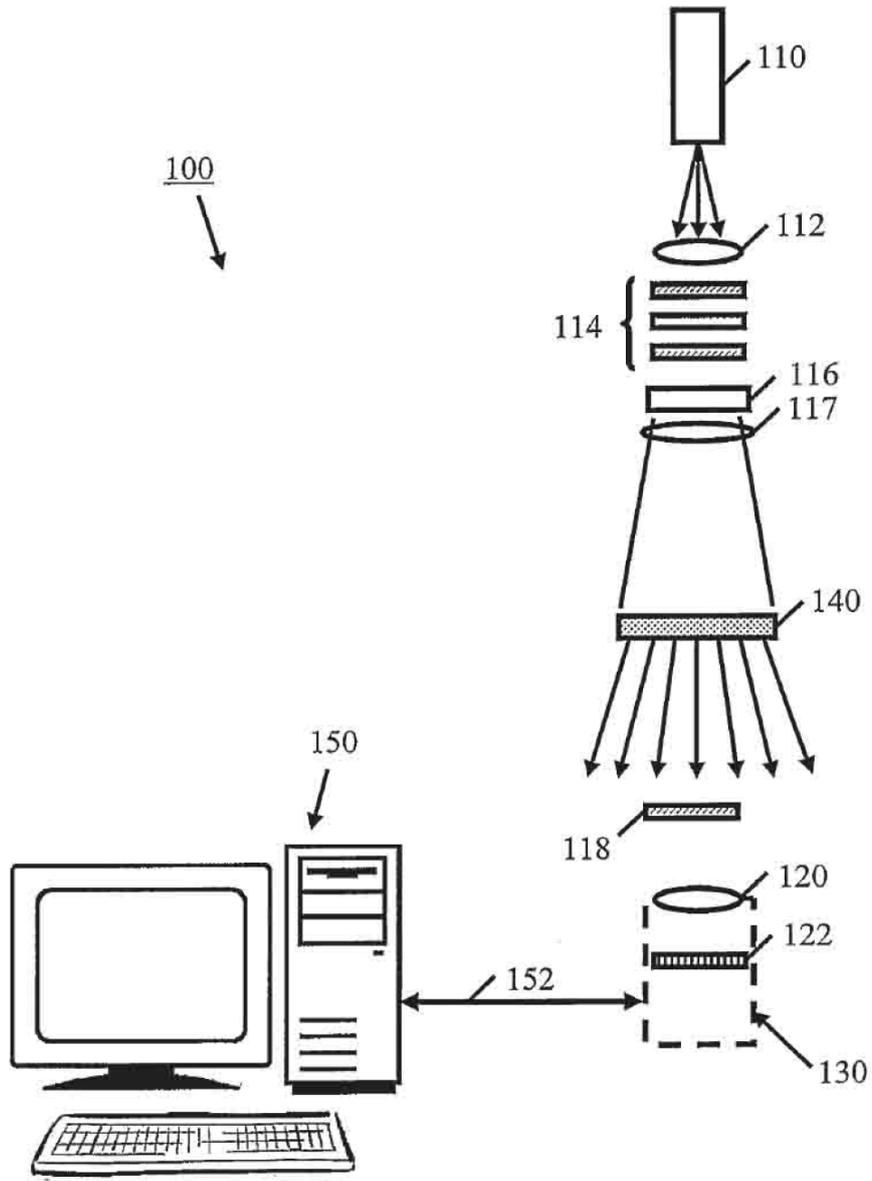


FIG. 1

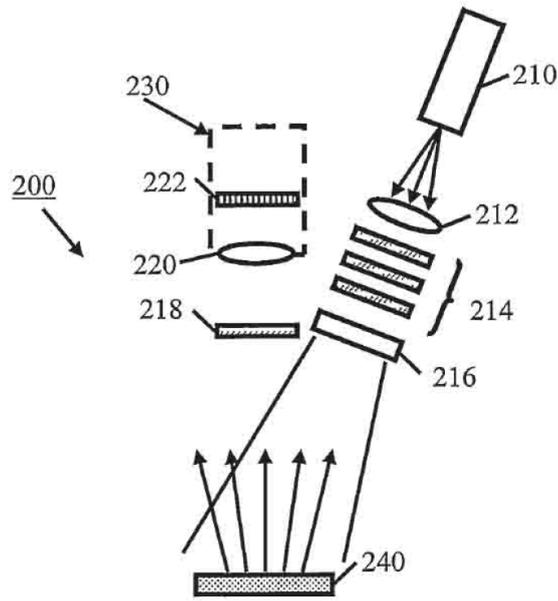


FIG. 2

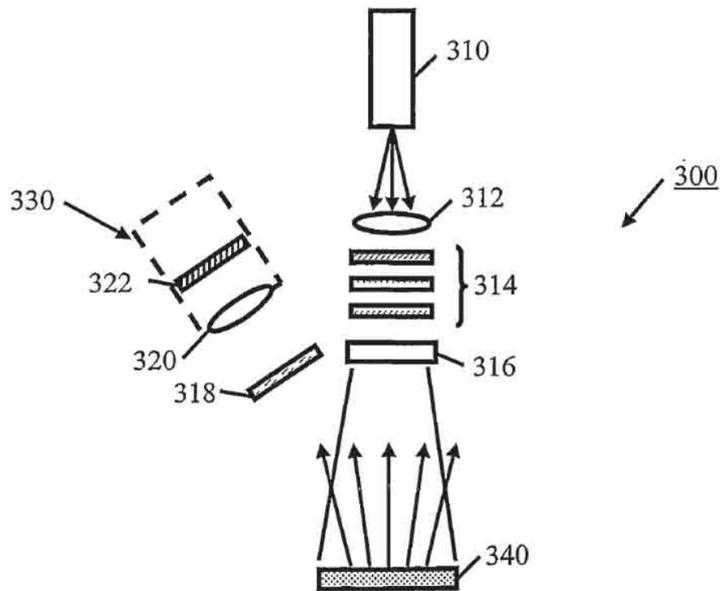


FIG. 3

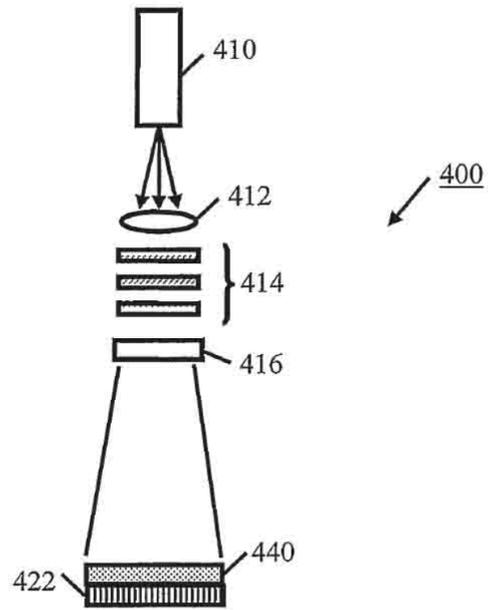


FIG. 4

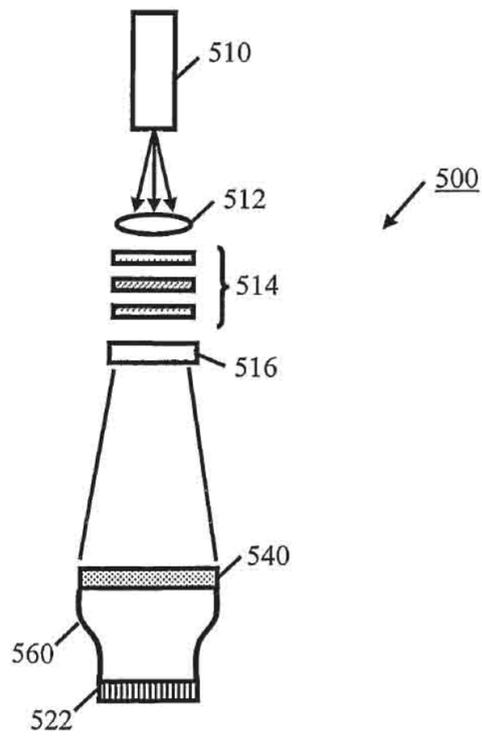
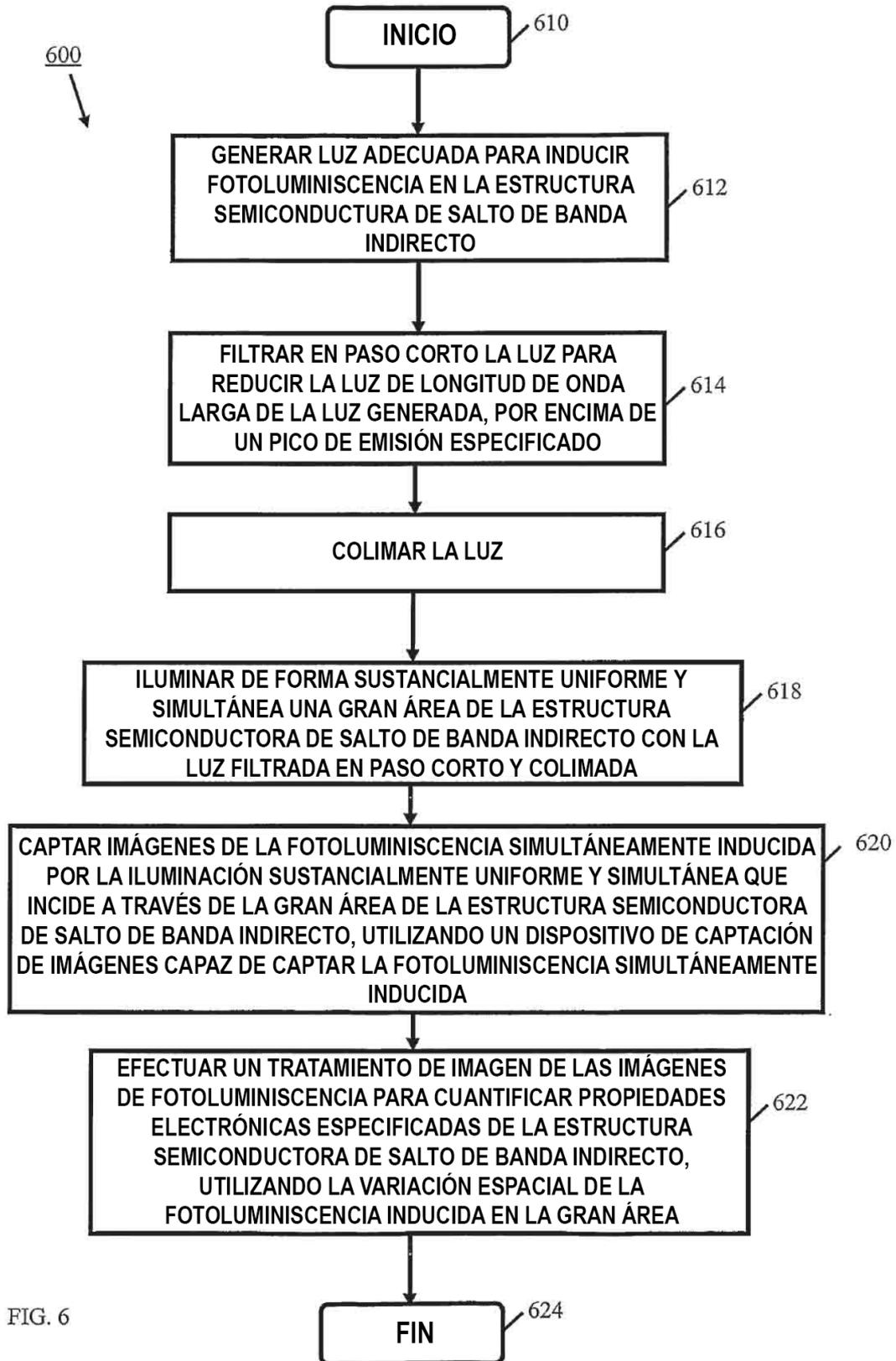


FIG. 5



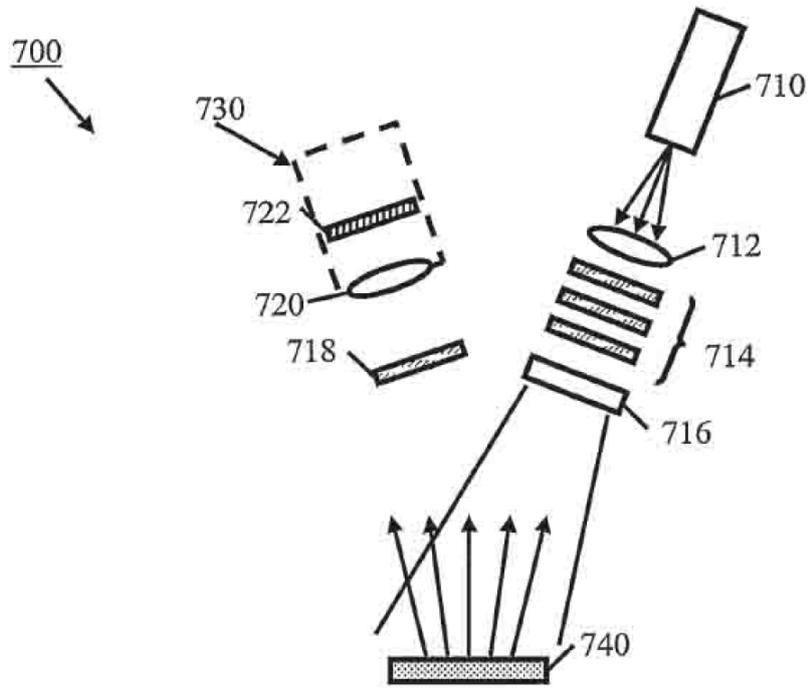


FIG. 7