

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 818 376**

51 Int. Cl.:

G01N 21/95 (2006.01)

G01R 31/308 (2006.01)

G01R 31/26 (2010.01)

F21S 8/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **21.05.2012 PCT/US2012/038849**

87 Fecha y número de publicación internacional: **13.12.2012 WO12170191**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **21.05.2012 E 12726523 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **08.07.2020 EP 2718697**

54 Título: **Aparato y método de prueba de células solares**

30 Prioridad:

10.06.2011 US 201113157826

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

12.04.2021

73 Titular/es:

**THE BOEING COMPANY (100.0%)
100 North Riverside Plaza
Chicago, IL 60606-1596, US**

72 Inventor/es:

**JUNGWIRTH, DOUGLAS R.;
QUEZADA, EMILIO;
CAMPBELL, GREGORY A.;
ERMER, JAMES H. y
JONES, RUSSELL K.**

74 Agente/Representante:

CARVAJAL Y URQUIJO, Isabel

ES 2 818 376 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 método de prueba de células solares

Campo

La presente descripción se refiere a un aparato y método de prueba de células solares.

5 Antecedentes

Actualmente existen muchas iniciativas para desarrollar formas alternativas de generación de energía o fuentes de energía renovables. Una forma o fuente de energía renovable para la generación de energía eléctrica es la energía fotovoltaica o el uso de una fuente de luz, como el sol para generar electricidad. Las células solares son dispositivos fotovoltaicos que convierten la energía luminosa o los fotones en energía eléctrica. La producción en masa de células solares individuales y los módulos solares concentradores requieren pruebas ópticas para detectar defectos en las células solares o módulos solares concentradores y medir el rendimiento de las células solares. La prueba óptica requiere por lo general iluminar las células solares utilizando una fuente de luz de alta intensidad. Sin embargo, las pruebas existentes se realizan por lo general en varios bancos de pruebas separados y a bajos niveles de potencia. Adicionalmente, los aparatos y procedimientos de prueba actuales son ineficaces y hacen que sea poco práctico probar el 100 % de las células solares o los módulos solares concentradores.

Nagamine F *ET AL*: "Nuevo Simulador Solar Para Mediciones De Células Solares De múltiples uniones", actas de la conferencia de especialistas en fotovoltaica, Louisville, 10-14 de mayo de 1993; [actas de la conferencia de especialistas en fotovoltaica], Nueva York, IEEE, EE.UU., vol. CONF. 23, 10 de mayo de 1993, páginas 686-690, se refiere a un simulador solar que se basa en la idea de un método de luz suplementaria para la medición del rendimiento de células solares de múltiples uniones. De acuerdo con el simulador solar descrito, la luz de una lámpara se divide en varios haces, en la que algunos de los haces se usan como luz principal con filtros AM, y en la que el resto de los haces se usan para luces suplementarias con filtros de paso de banda. Estos haces diferentes se combinan y se irradian a las células solares.

El documento US 5.025.145 se refiere a la medición de la longitud de difusión del portador minoritario de una muestra de semiconductores para evaluar las impurezas contaminantes que reducen la vida útil del portador. El documento EP 0 887 652 A2 describe un aparato y método de medición para medir las características de las células solares.

Por consiguiente, existe la necesidad de un aparato y método más eficaz y confiable para probar las células solares.

Sumario

La invención reivindicada trata sobre un aparato de prueba de células solares de acuerdo con la reivindicación 1 y sobre un método para probar una célula solar de acuerdo con la reivindicación 11.

De acuerdo con una realización, un aparato de prueba de células solares incluye un iluminador para dirigir la energía luminosa en una célula solar bajo prueba. El aparato de prueba de células solares incluye también un dispositivo para colocar selectivamente diferentes filtros de una multiplicidad de filtros en una trayectoria óptica entre el iluminador y la célula solar bajo prueba para medir al menos el rendimiento y detectar cualquier defecto en la célula solar. La multiplicidad de filtros incluye un primer conjunto de filtros y un segundo conjunto de filtros. Cada filtro del primer conjunto de filtros está adaptado para pasar un porcentaje predeterminado de intensidad de la energía luminosa del iluminador a la célula solar bajo prueba. Cada uno del segundo conjunto de filtros está adaptado para probar la célula solar bajo diferentes espectros de luz.

El dispositivo para colocar selectivamente los diferentes filtros comprende: una rueda de filtro giratoria con la multiplicidad de filtros montados en la rueda de filtro giratoria; y un motor para girar la rueda giratoria del filtro, incluyendo el motor un codificador para determinar una ubicación o posición precisa de la rueda de filtro giratoria y cada uno de la multiplicidad de filtros. La multiplicidad de filtros comprende además un filtro de bloqueo de luz para realizar una prueba de electroluminiscencia de la célula solar para detectar la emisión de luz de la célula solar en respuesta a una corriente eléctrica de un amperaje predeterminado que se aplica a la célula solar.

El aparato de prueba de células solares puede incluir también un divisor de haz. El divisor de haz puede dirigir una porción predeterminada de la luz desde un filtro seleccionado de la multiplicidad de filtros hacia la célula solar para al menos uno de medir el rendimiento y detectar cualquier defecto en la célula solar. El divisor de haz también puede dirigir otra porción predeterminada de la energía luminosa a un aparato para medir las características de la luz del filtro seleccionado de la multiplicidad de filtros colocados en la trayectoria óptica entre el iluminador y la célula solar.

De acuerdo con otra realización, un método para probar una célula solar puede incluir filtrar la luz dirigida a la célula

solar por cada uno de una multiplicidad de filtros para al menos uno de medir el rendimiento y detectar cualquier defecto en la célula solar. El método puede incluir también dividir la luz para dirigir una porción predeterminada de la luz filtrada sobre la célula solar y dirigir otra porción predeterminada de la luz a un aparato para medir las características de la luz de cada uno de la multiplicidad de filtros.

- 5 Otros aspectos y características de la presente divulgación, tal como se define únicamente por las reivindicaciones, resultará evidente para los expertos habituales en la materia tras la revisión de la siguiente descripción detallada no limitada de la divulgación junto con las figuras adjuntas.

Breve descripción de las diversas vistas de los dibujos

- 10 La siguiente descripción detallada de las realizaciones se refiere a los dibujos adjuntos, que ilustran realizaciones específicas de la divulgación. Otras realizaciones que tienen diferentes estructuras y operaciones no se apartan del alcance de la presente divulgación.

La Figura 1 es un ejemplo de una célula solar o célula fotovoltaica de múltiples uniones de la técnica anterior para convertir la energía luminosa en energía o potencia eléctrica.

- 15 La Figura 2 es un diagrama esquemático de un ejemplo de un aparato de prueba de células solares de acuerdo con una realización de la presente divulgación.

La Figura 3 es un ejemplo de un mecanismo de múltiples filtros para un aparato de prueba de células solares de acuerdo con una realización de la presente divulgación.

Las Figuras 4A y 4B (colectivamente Figura 4) son un diagrama de flujo de un ejemplo de un método para probar células solares de acuerdo con una realización de la presente divulgación.

- 20 La Figura 5 es un ejemplo de una curva de corriente frente a tensión (I-V) para una célula solar de acuerdo con una realización de la presente divulgación.

La Figura 6 es un ejemplo de una tabla de diferentes posiciones de un mecanismo de múltiples filtros para probar una célula solar de acuerdo con una realización de la presente divulgación.

Descripción

- 25 La siguiente descripción detallada de las realizaciones se refiere a los dibujos adjuntos, que ilustran realizaciones específicas de la divulgación. Otras realizaciones que tienen diferentes estructuras y operaciones no se apartan del alcance de la presente divulgación. Los mismos números de referencia pueden referirse al mismo elemento o componente en los diferentes dibujos.

- 30 Tal y como se usa en el presente documento, una célula solar puede ser una célula solar de unión única o una célula solar de múltiples uniones. Se describirá una breve descripción de las células solares para ayudar a comprender la presente invención. Las células solares son dispositivos semiconductores diseñados para generar energía eléctrica cuando se exponen a radiación electromagnética, como la luz y en particular la luz generada por el sol. Una célula solar puede incluir una capa de tipo p de material semiconductor y una capa de tipo n de material semiconductor que forma una unión p-n. La célula solar puede ser también una célula solar de múltiples uniones que incluye múltiples capas tipo p y n de material semiconductor que forma múltiples uniones p-n. Un ejemplo de una célula solar de múltiples uniones 100 se ilustra en la Figura 1.

- 40 La luz ingresa al material semiconductor a través de la capa o región n y genera un par de electrón-orificio (EHP) en el material debido al efecto fotoeléctrico. La región n puede estar diseñada para ser fina, mientras que la región o área de agotamiento que se forma entre la región n y p puede ser gruesa en comparación con la región n. Si el EHP se genera en la región de agotamiento, un campo eléctrico que se forma hace que el electrón y el orificio se separen. El resultado es una corriente a través del dispositivo denominada fotocorriente. Si el EHP se genera en las regiones n o p, el electrón y el orificio pueden derivar en direcciones aleatorias y pueden o no formar parte de la fotocorriente.

- 45 En una célula solar de una sola capa, gran parte de la energía luminosa incidente no puede convertirse en electricidad. Si un fotón incidente tiene menos energía que la banda prohibida de energía del material semiconductor o la energía necesaria para excitar un electrón desde la banda de conducción a la banda de valencia del material, el fotón no puede ser absorbido porque no hay suficiente energía para excitar el electrón desde la banda de conducción hacia la banda de valencia. Por consiguiente, la luz con menos energía que la banda prohibida no es convertida por la célula solar en energía eléctrica. Si un fotón incidente tiene más energía que la banda prohibida del material semiconductor, el exceso de energía se convertirá en calor porque el electrón solo puede absorber la cantidad exacta de energía requerida para moverse a la banda de valencia.

- 50 Las células solares de múltiples uniones pueden hacer un mejor uso del espectro solar al tener múltiples capas de semiconductores con diferentes intervalos de banda adaptados para absorber diferentes porciones del espectro de luz o diferentes longitudes de onda de luz con diferentes niveles de energía de fotones. Cada capa de una célula solar de múltiples uniones puede estar hecha de un tipo diferente de material semiconductor o dopaje de material

semiconductor que absorbe una porción diferente del espectro de luz o intervalo de longitudes de onda de la luz. Un ejemplo de una célula solar de múltiples uniones 100 se ilustra en la Figura 1. Una forma de una célula solar de múltiples uniones es una célula solar de 3 capas o una célula solar de unión triple como se ilustra en la Figura 1. Una capa superior 102 de material semiconductor puede incluir una sección de material semiconductor de tipo n 102a y una sección de material semiconductor de tipo p 102b y tendrá el intervalo de banda más grande para que solo los fotones más energéticos sean absorbidos en esta capa y convertidos en electricidad. Los fotones menos energéticos pasarán a través de la capa superior 102 ya que no son lo suficientemente energéticos como para generar EHP en la capa superior del material 102 y pueden ser absorbidos por una capa intermedia de material semiconductor 104 que tendrá un intervalo de banda más pequeño que la sección superior 102. Una unión de túnel 103 está dispuesta entre la capa superior 102 y la capa intermedia 104. La capa intermedia 104 puede incluir una sección de material semiconductor de tipo n 104a y una sección de material semiconductor de tipo p 104b. De forma similar, una capa inferior 106 tendrá un intervalo de banda más pequeño que la capa intermedia 104 para absorber cualquier fotón que no sea lo suficientemente energético como para generar un EHP en la capa superior 102 o la capa intermedia 104. Se puede disponer otra unión de túnel 105 entre la capa intermedia 104 y la capa inferior 106. La capa inferior 106 puede incluir también una sección de material semiconductor de tipo n 106a y una sección de material semiconductor de tipo p 106b. Cada capa 102-106 que va de la capa superior 102 a la capa inferior 106 tendrá un intervalo de banda más pequeño que la capa anterior para absorber fotones de diferentes energías para la conversión a energía eléctrica. Cada capa 102-106 absorbe los fotones que tienen energías mayores que el intervalo de banda de esa capa y menores que el intervalo de banda de la capa superior. Una descripción más detallada de las células solares y las células solares de múltiples uniones se describe en "Tecnología y Futuras Células Solares De Múltiples Uniones de 111V" de Steven Lanse I, Escuela de Ingeniería Eléctrica e Informática, Instituto de Tecnología de Georgia, 21 de abril de 2005.

La Figura 2 es un diagrama esquemático de un ejemplo de un aparato de prueba de células solares 200 de acuerdo con una realización de la presente divulgación. El aparato de prueba de células solares 200 incluye un iluminador 202 para dirigir la energía luminosa o los fotones en una célula solar 204 bajo prueba. El iluminador 202 puede ser una fuente de luz de alta intensidad, como una lámpara de arco u otra fuente de luz capaz de realizar la prueba y las valoraciones descritas en el presente documento. La célula solar 204 puede montarse en un dispositivo móvil 206 que permite que la célula solar 204 se mueva fácilmente a una ubicación o posición de prueba en el aparato de prueba de células solares 200 y que se retire y reemplace por otra célula solar que va a ser probada. La prueba de células solares puede ser parte de un proceso automatizado. El dispositivo 206 puede permitir también la conexión al equipo, tal como un medidor de corriente-tensión 208 u otro equipo de medición para medir las características de la célula solar 204 bajo prueba. El dispositivo 206 puede permitir también que se aplique una corriente eléctrica de un amperaje predeterminado desde una fuente de corriente o tensión 256 a la célula solar 204 para realizar una prueba de electroluminiscencia de la célula solar 204, tal como se describe en más detalle en el presente documento. La prueba de electroluminiscencia detecta cualquier emisión de luz de la célula solar 204 que pueda ser indicativa de un defecto en la célula solar 204.

El iluminador 202 puede estar acoplado a un homogeneizador 210 para acondicionar la luz del iluminador 202 para dirigirla a la célula solar 204. Se puede usar un protector de luz 212 y/o un difusor en el conjunto del iluminador 202 para controlar la transmisión de luz desde el iluminador 202 u homogeneizador 210 a la célula solar.

El aparato de prueba de células solares 200 incluye también un dispositivo 214 para posicionar selectivamente diferentes filtros de una multiplicidad de filtros 216 en una trayectoria óptica 218 entre el iluminador 202 y la célula solar 204 para al menos uno de medir el rendimiento de la célula solar 204 y detectar cualquier defecto en la célula solar 204 basándose en las características de luz producidas por cada filtro 216. El dispositivo 214 para colocar selectivamente diferentes filtros de la multiplicidad de filtros 216 puede incluir un mecanismo 220 para colocar cada uno de la multiplicidad de filtros 216 entre el iluminador 202 y la célula solar 204. Las características de rendimiento de la célula solar 204 se pueden medir y realizar pruebas bajo cada una de las diferentes condiciones o características de luz y la intensidad de la luz o los niveles de energía incidentes en la célula solar causados por cada uno de los diferentes filtros 216 como se describe en el presente documento. El dispositivo 214 incluye una rueda de filtro giratoria en 222 con la multiplicidad de filtros 216 montados en el mismo. Con referencia a la Figura 3, se describirá un ejemplo de un mecanismo de múltiples filtros o rueda de filtro giratoria con una multiplicidad de filtros diferentes montados en su interior que pueden usarse para la rueda giratoria 222. Se puede usar cualquier mecanismo capaz de mover los diferentes filtros a su lugar para realizar las diferentes mediciones y pruebas como se describe en el presente documento.

El dispositivo 214 para colocar selectivamente diferentes filtros de la multiplicidad de filtros 216 en la trayectoria óptica 218 entre el iluminador 202 y la célula solar 204 incluye un primer conjunto de filtros 216a y un segundo conjunto de filtros 216b. Cada uno del primer conjunto de filtros 216a está adaptado para pasar un porcentaje predeterminado de intensidad de la energía luminosa del iluminador 202 a una célula solar 204 bajo prueba. El segundo conjunto de filtros 216b puede filtrar cada una de las longitudes de onda seleccionadas o un espectro de luz seleccionado desde el iluminador 202 para dirigir las longitudes de onda o el espectro de luz no filtrada a la célula solar 204 para probar la célula solar bajo los diferentes espectros de luz o intervalos de longitud de onda para medir el rendimiento de la célula solar o para detectar cualquier defecto en las diferentes capas de una célula solar de múltiples uniones. Similar a lo descrito anteriormente, las diferentes capas de una célula solar de múltiples uniones pueden incluir diferentes

materiales semiconductores para ser reactivos o absorber diferentes espectros de luz para la generación de energía eléctrica.

5 La rueda de filtro giratoria 222 es girada por un motor 224. El motor 224 incluye un codificador 226 para determinar una ubicación o posición precisa de la rueda de filtro giratoria 222 y cada filtro 216 montado en la rueda 222. El motor 224 y el codificador 226 pueden colocar con precisión cada uno de la multiplicidad de filtros 216 en la trayectoria óptica 218 entre el iluminador 202 y la célula solar 204 para probar la célula solar 204 bajo las diferentes características de luz producidas por cada filtro 216. El motor 224 puede montarse en una primera placa de montaje 228. La rueda de filtro giratoria 222 puede estar dispuesta en un lado opuesto de la primera placa de montaje 228 del motor 224. Un eje de accionamiento 230 puede extenderse a través de la primera placa de montaje 228 y puede acoplarse a un cubo de la rueda de filtro 222. Y el extremo opuesto del eje de accionamiento 230 puede estar acoplado de forma giratoria a una segunda placa de montaje 232 en un lado opuesto de la rueda de filtro 222 desde la primera placa de montaje 228. Por consiguiente, la rueda de filtro 222 puede estar dispuesta entre la primera placa de montaje 228 y la segunda placa de montaje 232. Se puede formar una abertura en cada una de la primera placa de montaje 228 y la segunda placa de montaje 232 en alineación con un filtro actualmente seleccionado 216 de la rueda de filtro 222 para permitir que la luz del iluminador 202 pase a través del filtro seleccionado 216 actualmente colocado en la trayectoria óptica 218 entre el iluminador 202 y la célula solar 204 que se está probando.

20 El aparato de prueba de células solares 200 puede incluir también un divisor de haz 234 para dirigir una porción predeterminada de la energía luminosa desde el iluminador 202 y desde un filtro seleccionado 216 de la multiplicidad de filtros sobre la célula solar 204 para probar la célula solar 204. El divisor de haz puede dirigir también otra porción predeterminada de energía luminosa a un aparato 236 para medir las características de la luz del filtro seleccionado 216 de la multiplicidad de filtros actualmente colocados en la trayectoria óptica 218 entre el iluminador 202 y la célula solar 204. Una lente de imagen 238 puede estar dispuesta entre el divisor de haz 234 y la célula solar 204 que se está probando para enfocar la luz en la célula solar 204. La lente de imagen 238 también puede facilitar la captura de imágenes de la célula solar 204 por una cámara 240 cuando se realiza una prueba de electroluminiscencia de la célula solar 204, tal como se describe en más detalle en el presente documento. La prueba de electroluminiscencia se realiza colocando un filtro de bloqueo de luz montado en la rueda de filtro 222 entre el iluminador 202 y la célula solar 204. La cámara 240 puede montarse en un lado opuesto 242 de la segunda placa de montaje 230 desde la rueda de filtro giratoria 222.

30 El aparato 236 para medir las características de la luz del filtro seleccionado 216 puede incluir una esfera de integración 244. La esfera de integración 244 puede montarse en el lado opuesto 242 de la segunda placa de montaje 232 desde la rueda de filtro 222. La esfera de integración 244 permite mediciones de características de luz que son independientes del ángulo de incidencia de la luz. Otra o segunda lente de imagen 246 puede estar dispuesta próxima al divisor de haz 234 y entre el divisor de haz 234 y la esfera de imagen 244. La segunda lente de imagen 246 puede enfocar la luz del divisor de haz 234 en la esfera de imagen 244.

35 El aparato 236 para medir las características de la luz, del filtro seleccionado 216 puede incluir también un puerto 248 para un analizador de espectro 250; El analizador de espectro 250 puede medir el espectro de luz que está siendo transmitido por el filtro 216 actualmente dispuesto entre el iluminador 202 y la célula solar 204.

40 El aparato 236 para medir las características de la luz del filtro actual 216 puede incluir también puertos para isótopos 252 . También se pueden proporcionar puertos adicionales que pueden registrar simultáneamente otras señales, como varias señales de Isotipo (superior, intermedia e inferior) y señales de plena potencia.

El aparato 236 para medir las características de la luz del filtro actual 216 puede incluir también un detector de intensidad de luz 254 para detectar o medir la intensidad o la potencia de candela de la luz que pasa el filtro actual 216 de la rueda de filtro giratoria 222. El detector de intensidad 254 puede ser un detector de silicio (Si) u otro detector de intensidad de luz.

45 El aparato de prueba de células solares 200 puede incluir también una fuente de corriente-tensión 256 para aplicar una corriente eléctrica de un amperaje predeterminado a la célula solar 204 para realizar una prueba de electroluminiscencia de la célula solar cuando se coloca un filtro de bloque montado en la rueda de filtro giratoria 222 en la trayectoria óptica 218.

50 El aparato de prueba de células solares 200 puede incluir también un ventilador o ventiladores de enfriamiento 258 para enfriar el aparato 200 del calor resultante del funcionamiento del iluminador 202.

55 Un sistema informático o procesador 260 puede controlar el funcionamiento del aparato de prueba de células solares 200. El procesador 260 puede estar acoplado al iluminador 202 y al motor 224 y al codificador 226. El procesador 260 puede controlar el funcionamiento del iluminador 202 y la rotación de la rueda de filtro 222 para colocar los filtros seleccionados 216 en la trayectoria óptica 218 para probar la célula solar 204 bajo las diferentes características de luz proporcionadas por los diferentes filtros 216 de la rueda de filtro 222.

El procesador 260 también puede estar acoplado al detector de intensidad de luz 254 para registrar la intensidad de la luz de los filtros 216. El procesador 260 puede conectarse adicionalmente al medidor de corriente-tensión u otro equipo de medición para registrar las curvas de corriente-tensión y otros parámetros de la célula solar 204. El procesador 260 puede estar también conectado a la fuente de corriente/tensión 256 para controlar el funcionamiento de la fuente de corriente/tensión 256 durante la prueba de electroluminiscencia de la célula solar 204. El procesador 260 puede conectarse además a la cámara 240 y las imágenes de la célula solar 204 capturadas por la cámara 240 durante la prueba de electroluminiscencia pueden almacenarse y procesarse por el procesador 260.

La Figura 3 es un ejemplo de un mecanismo de múltiples filtros o rueda de filtro 300 con una multiplicidad de filtros diferentes 302-316 montados en el mismo para su uso con un aparato de prueba de células solares de acuerdo con una realización de la presente divulgación. La rueda de filtro 300 puede usarse para la rueda de filtro 222 y la Figura 2. Cada uno de la multiplicidad de filtros 302-316 puede colocarse circunferencialmente alrededor de un cubo 318 de la rueda 304 para colocar cada uno de los filtros 302-316 en la trayectoria óptica 218 (Figura 2) entre el iluminador 202 y la célula solar 204 a medida que la rueda 300 gira alrededor del cubo 318 por el motor 224.

Un primer filtro o abertura 302 de la rueda de filtro 300 en una primera posición o ubicación en la rueda de filtro 300 puede transmitir o pasar el 100 por ciento o toda la intensidad de la luz del iluminador a la célula solar. El primer filtro 302 puede denominarse filtro del 100 por ciento. Un segundo filtro o abertura 304 en una segunda posición o ubicación en la rueda de filtro 300 puede transmitir o pasar aproximadamente el 66 por ciento de la intensidad de la luz del iluminador a la célula solar. El segundo filtro 304 puede referirse como un filtro del 66 por ciento. Un tercer filtro o abertura 306 en una tercera posición o ubicación en la rueda de filtro 300 puede transmitir o pasar aproximadamente el 33 por ciento de la intensidad de la luz del iluminador a la célula solar. El tercer filtro 304 puede denominarse filtro del 33 por ciento. Un cuarto filtro 308 o abertura en una cuarta posición o ubicación en la rueda de filtro 300 puede transmitir o pasar aproximadamente el 10 por ciento de la intensidad de la luz del iluminador a la célula solar. El cuarto filtro 308 puede denominarse filtro del 10 por ciento. Los filtros 302-308 pueden definir un primer conjunto de filtros que están adaptados para pasar un porcentaje predeterminado de intensidad de luz del iluminador a la célula solar bajo prueba.

Un quinto filtro 310 o abertura en una quinta posición o ubicación de la rueda de filtro 300 puede ser un filtro de azul para pasar un espectro de luz no azul del iluminador a la célula solar para la prueba. El espectro de luz sin azul puede ser luz con sustancialmente todo o la mayor parte del espectro azul o la porción azul del intervalo de frecuencia o el ancho de banda de luz filtrándose o eliminándose. Un sexto filtro 312 o abertura en una sexta posición o ubicación de la rueda de filtro 300 puede ser un filtro de rojo para pasar un espectro de luz sin rojo del iluminador a la célula solar bajo prueba. El espectro de luz sin rojo puede ser luz con sustancialmente todo o la mayor parte del espectro rojo o porción roja del intervalo de frecuencia o ancho de banda de luz filtrándose o eliminándose. Un séptimo filtro 314 o abertura en una séptima posición o ubicación de la rueda de filtro 300 puede ser un filtro de infrarrojo para pasar un espectro de luz sin infrarrojo del iluminador a la célula solar. El espectro de luz infrarrojo puede ser luz con sustancialmente todo o la mayor parte del intervalo de frecuencia infrarroja o ancho de banda de luz eliminado o filtrado. Los filtros 310-314 pueden definir un segundo conjunto de filtros para probar la célula solar bajo diferentes espectros de luz. Como se ha descrito anteriormente en una célula solar de múltiples uniones, diferentes capas de la célula solar serán reactivas o absorberán diferentes espectros de luz para generar energía eléctrica. Las mediciones realizadas cuando los diferentes espectros de luz son transmitidos por los diferentes filtros 310-314 sobre la célula solar permiten determinar la cantidad o nivel de energía eléctrica que la célula solar bajo prueba es capaz de generar cuando cada espectro diferente de luz incide sobre la célula solar.

La rueda de filtro 300 puede incluir también un filtro de bloqueo de luz 316 para evitar que la luz incida sobre la célula solar desde el iluminador. El filtro de bloqueo de luz 316 puede usarse para realizar una prueba de electroluminiscencia de la célula solar para detectar la emisión de luz de la célula solar en respuesta a una corriente eléctrica de un amperaje predeterminado aplicado a la célula solar por una fuente de corriente, como la fuente de corriente 256 en la Figura 2. Como se ha descrito anteriormente, una cámara, como la cámara 240 en la Figura 2, puede capturar una imagen o imágenes de la célula solar en respuesta a la corriente eléctrica que se aplica a la célula solar para detectar la emisión de luz de la célula solar que indica que la célula solar puede tener un defecto. La imagen de la célula solar puede dividirse en haces de diferentes longitudes de onda de energía luminosa correspondientes a diferentes capas de una célula solar de múltiples uniones. La imagen de la célula solar puede dividirse en haces de diferentes longitudes de onda mediante un divisor de haz o dispositivo similar.

Las Figuras 4A y 4B (colectivamente Figura 4) son un diagrama de flujo de un ejemplo de un método 400 para probar células solares de acuerdo con una realización de la presente divulgación. El método 400 puede ser incorporado y/o realizado por el aparato 200 y la Figura 2. En el bloque 402, y dispositivo de iluminación, tal como, por ejemplo, el dispositivo de iluminación 202 en la Figura 2 puede activarse. En el bloque 404, se puede permitir que el dispositivo de iluminación se estabilice térmicamente.

En el bloque 406, se puede insertar una célula solar en un dispositivo de prueba y moverlo a una ubicación de prueba. En el bloque 408, un dispositivo de filtro puede ser movido u operado para colocar un primer filtro o un filtro seleccionado de una multiplicidad de filtros en posición en una trayectoria óptica entre el iluminador y la célula solar.

El dispositivo de filtro puede ser similar al dispositivo 214 en la Figura 2 o la rueda de filtro 300 y la Figura 3.

5 En el bloque 410, se puede abrir un protector de luz o douser para permitir que la luz del iluminador sea filtrada por el filtro seleccionado de la multiplicidad de filtros y se dirija desde el filtro hacia la célula solar. Como se ha descrito anteriormente, la luz puede dividirse mediante un divisor de haz para dirigir una porción predeterminada de la luz filtrada hacia la célula solar y dirigir otra porción predeterminada de la luz a un aparato para medir las características de la luz de cada uno de los múltiples filtros.

10 En el bloque 412, se pueden realizar pruebas y mediciones en la célula solar para al menos medir uno del rendimiento de la célula solar o para detectar cualquier defecto. Las mediciones que se pueden realizar pueden incluir el registro de una intensidad o potencia de la energía luminosa, medir una energía eléctrica total generada por la célula solar, realizar una medición de la curva de corriente frente a tensión (I-V). La medición de la curva I-V se puede normalizar para compararla con otras mediciones I-V. Un ejemplo de una curva I-V 500 se ilustra en la Figura 5.

15 En el bloque 414, las mediciones y los resultados de las pruebas pueden almacenarse para su análisis con los resultados de otros filtros para medir el rendimiento o detectar cualquier defecto en la célula solar. En el bloque 416 se puede determinar si el filtro actual es un último filtro o la última posición del filtro de la rueda de filtro o si la rueda actual es el filtro de bloqueo de luz. Si el filtro actual es el último filtro o la posición del filtro de la multiplicidad de filtros o es el filtro de bloqueo de luz, el método 400 puede avanzar al bloque 420 y se puede realizar una prueba de electroluminiscencia de la célula solar. Si el filtro actual no es el último filtro o el filtro de bloqueo de luz, el método 400 puede avanzar al bloque 418 y el dispositivo de filtro o la rueda de filtro se pueden mover a la siguiente posición para colocar el siguiente filtro en la trayectoria óptica entre el dispositivo de iluminación y la célula solar. El método 400
20 puede después pasar por cada uno de los filtros o posiciones de filtro para probar la célula solar bajo las diversas características de luz como se describe en el presente documento.

25 Los bloques 412-418 implican filtrar la luz dirigida a la célula solar por cada uno de la multiplicidad de filtros y almacenar -medidas y resultados de pruebas para análisis para medir el rendimiento y/o detectar cualquier defecto en la célula solar. Filtrar la luz puede incluir colocar cada uno de un primer conjunto de filtros en la trayectoria óptica entre el iluminador y la célula solar. Cada filtro del primer conjunto de filtros puede adaptarse para pasar un porcentaje predeterminado de intensidad de luz o energía luminosa para probar la célula solar bajo diferentes niveles de intensidad de luz o energía. Filtrar la luz puede incluir también colocar cada uno de un segundo conjunto de filtros en la trayectoria óptica. Cada filtro del segundo conjunto de filtros puede adaptarse para probar la célula solar bajo diferentes espectros de luz para probar diferentes capas de una célula solar multicapa. Filtrar la luz puede incluir
30 también colocar un filtro de bloqueo de luz en la trayectoria óptica para realizar una prueba de electroluminiscencia de la célula solar para detectar la emisión de luz de la célula solar.

35 En el bloque 420 con el filtro de bloqueo de luz en la trayectoria óptica, se puede aplicar una corriente eléctrica de un amperaje predeterminado a la célula solar. En el bloque 422, se puede capturar una imagen o imágenes de la célula solar de al menos una cámara u otro dispositivo de imágenes. En el bloque 424, la imagen o imágenes visuales de la célula solar pueden almacenarse. El protector de la luz puede cerrarse y la célula solar probada puede eliminarse. La rueda de filtro se puede mover a la primera posición en preparación para probar la siguiente célula solar que se insertará en el aparato de prueba.

40 En el bloque 426, las mediciones y los resultados de las pruebas pueden analizarse para determinar si la célula solar tiene algún defecto o es aceptable. Las mediciones pueden compararse con las mediciones iniciales para determinar si la célula es defectuosa. Las imágenes almacenadas de la prueba de electroluminiscencia se pueden comparar con imágenes de células solares buenas conocidas para determinar si la célula es defectuosa. Los ejemplos de los parámetros que pueden determinarse a partir de las mediciones y los datos de prueba para evaluar el rendimiento de la célula solar bajo prueba pueden incluir la corriente de cortocircuito (Jsc), la tensión de circuito abierto (Voc), el unto de potencia, el factor de relleno (FF), la eficacia cuántica y la eficacia general. La corriente de cortocircuito (Jsc) es la
45 corriente de una célula solar cuando las partes superior e inferior (cables negativo y positivo) están conectadas con un cortocircuito. La corriente de cortocircuito es la intersección horizontal 502 de la curva I-V en la Figura 5.

La tensión de circuito abierto (Voc) es la tensión entre la parte superior e inferior de una célula solar. La tensión de circuito abierto es la intersección vertical 504 de la curva I-V en la Figura 5.

50 El punto de potencia es el punto en la curva I-V de una célula solar (Jpp, VPP) que genera la cantidad máxima de potencia para el dispositivo. El punto de potencia encierra la mayor cantidad de área en el primer cuadrante en el que se dibujan líneas verticales y horizontales desde el punto de potencia. Esto representa la potencia, ya que el área es equivalente a la corriente por la tensión de la célula. El punto de potencia se muestra y la Figura 5 con el número de referencia 506.

55 El factor de relleno (FF) es un porcentaje dado por la ecuación 1 que describe qué tan cerca se asemeja la curva I-V de la célula solar a un rectángulo perfecto, que representa la célula solar ideal.

Ecuación 1:

$$\text{Factor de Relleno} = \frac{V_{pp} * J_{pp}}{V_{oc} * j_{sc}}$$

La eficacia cuántica es la cantidad de EHP que se crean y recogen dividida entre la cantidad de fotones incidentes. Este es un porcentaje puesto que cada fotón puede producir como máximo un EHP.

- 5 La eficacia general es el porcentaje de radiación electromagnética incidente que se convierte en energía eléctrica. A menudo, la eficacia general de una célula solar determinada depende de muchos factores, incluida la temperatura y la cantidad de radiación incidente.

10 La Figura 6 es un ejemplo de una tabla 600 de diferentes posiciones de un mecanismo de múltiples filtros para probar una célula solar de acuerdo con una realización de la presente divulgación. Cada filtro o ubicación del filtro puede corresponder a una prueba diferente que se puede realizar en la célula solar cuando el filtro respectivo se coloca en la trayectoria óptica entre el iluminador y la célula solar. Por ejemplo, el filtro 1 o la ubicación del filtro 1 pueden corresponder a un primer porcentaje predeterminado de potencia o, en este ejemplo, a un filtro del 100 por ciento o filtro que transmite plena potencia a la célula solar.

15 El filtro 2 o la ubicación del filtro 2 pueden corresponder a un segundo porcentaje predeterminado de potencia o, en este ejemplo, a un filtro del 50 por ciento o filtro adaptado para transmitir el 50 por ciento de la potencia o intensidad de la luz a la célula solar. El filtro 3 o la ubicación del filtro 3 pueden corresponder a otro porcentaje predeterminado de potencia o un filtro que transmite el 10 por ciento de la potencia a la célula solar.

20 El filtro 4 o la ubicación del filtro 4 pueden corresponder a una prueba de hambre superior en la que el filtro incluye características para probar la célula solar mediante el filtrado de un espectro de luz correspondiente al espectro de luz con el que la capa superior de material semiconductor de la célula solar es reactiva o en otras palabras, filtra el espectro de luz que contiene fotones que serían absorbidos por la capa superior de la célula solar.

El filtro 5 o la ubicación del filtro 5 pueden corresponder a una prueba de hambre media en la que el filtro incluye características de filtrado de luz para probar la célula solar mediante el filtrado de un espectro de luz correspondiente al espectro de luz con el que la capa intermedia de la célula solar es reactiva.

25 El filtro 6 o la ubicación del filtro 6 pueden corresponder a una prueba de hambre inferior en la que el filtro incluye características para probar la célula solar al filtrar el espectro de luz con el que la capa inferior de la célula solar es reactiva.

30 El filtro 7 o la ubicación del filtro 7 pueden corresponder a una prueba de curva oscura I-V en la que el filtro incluye características para probar la célula solar al filtrar toda la luz del iluminador para medir una curva característica de corriente oscura frente a tensión.

El filtro 8 o la ubicación del filtro 8 pueden corresponder a una prueba de electroluminiscencia en la que el filtro incluye características de filtrado de luz para realizar una prueba de electroluminiscencia en la célula solar similar a la descrita previamente.

35 La terminología utilizada en el presente documento tiene la finalidad de describir realizaciones particulares solamente y no pretende limitar la divulgación. Tal y como se usa en el presente documento, las formas en singular "un", "uno/a" y "el/la" están destinados a incluir también las formas plurales, a menos que el contexto indique claramente lo contrario. Se entenderá además que los términos "comprende" y/o "comprendiendo", cuando se usan en esta memoria descriptiva, especifican la presencia de características declaradas, números enteros, etapas, operaciones, elementos y/o componentes, pero no excluye la presencia o adición de una o varias características adicionales, números enteros, etapas, operaciones, elementos, componentes y/o grupos de los mismos.

40

REIVINDICACIONES

1. Un aparato de prueba de células solares (200) que comprende:

un iluminador (202) para dirigir la energía luminosa sobre una célula solar (204) bajo prueba; y
 un dispositivo (214) para colocar selectivamente diferentes filtros de una multiplicidad de filtros (216) en una
 trayectoria óptica (218) entre el iluminador y la célula solar bajo prueba para al menos uno de medir el rendimiento
 y detectar cualquier defecto en la célula solar, comprendiendo la multiplicidad de filtros que comprende un primer
 conjunto de filtros (216a), estando cada filtro del primer conjunto de filtros adaptado para pasar un porcentaje
 predeterminado de intensidad de la energía luminosa del iluminador a la célula solar bajo prueba, y un segundo
 conjunto de filtros (216b) para probar la célula solar bajo diferentes espectros de luz,
 en el que el dispositivo (214) para situar selectivamente los diferentes filtros (216) comprende:

una rueda de filtro giratoria (222) con la multiplicidad de filtros (216) montados en la rueda de filtro giratoria
 (222); y
 un motor (224) para girar la rueda de filtro giratoria (222), incluyendo el motor (224) un codificador (226) para
 determinar una ubicación o posición precisa de la rueda de filtro giratoria (222) y cada uno de la multiplicidad
 de filtros (216),
 en el que multiplicidad de filtros (216) comprende además un filtro de bloqueo de luz (316) para realizar una
 prueba de electroluminiscencia de la célula solar para detectar la emisión de luz de la célula solar (204) en
 respuesta a una corriente eléctrica de un amperaje predeterminado que se aplica a la célula solar.

2. El aparato de prueba de células solares (200) de la reivindicación 1, que comprende, además:

una fuente de corriente (256) para aplicar la corriente eléctrica a la célula solar (204) cuando el filtro de bloqueo de
 luz (316) está dispuesto entre el iluminador (202) y la célula solar;
 una cámara (240) para capturar una imagen de la célula solar en respuesta a la corriente eléctrica que se aplica a
 la célula solar para detectar la emisión de luz desde la célula solar; y
 un divisor de haz (234) para dividir la imagen de la célula solar en haces de diferentes longitudes de onda de
 energía luminosa correspondientes a diferentes capas de la célula solar, en el que la célula solar es una célula
 solar de múltiples uniones.

3. El aparato de prueba de células solares (200) de la reivindicación 1, en el que el primer conjunto de filtros (216a)
 comprende:

un filtro del 100 por ciento (302) para pasar toda la intensidad de la luz del iluminador (202) a la célula solar (204);
 un filtro del 66 por ciento (304) para pasar el 66 por ciento de la intensidad de la luz del iluminador a la célula solar;
 un filtro del 33 por ciento (306) para pasar el 33 por ciento de la intensidad de la luz del iluminador a la célula solar;
 y
 un filtro del 10 por ciento (308) para pasar el 10 por ciento de la intensidad de la luz del iluminador a la célula solar.

4. El aparato de prueba de células solares (200) de la reivindicación 1, en el que el segundo conjunto de filtros (216b)
 comprende:

un filtro de rojo (312) para pasar un espectro de luz sin rojo del iluminador (202) a la célula solar (204);
 un filtro de azul (310) para pasar un espectro de luz sin azul del iluminador a la célula solar; y
 un filtro de infrarrojo (314) para pasar un espectro de luz sin infrarrojo del iluminador a la célula solar.

5. El aparato de prueba de células solares (200) de la reivindicación 1, que comprende, además:

un divisor de haz (234) para recibir la energía luminosa del iluminador (202) filtrada por uno de los múltiples filtros
 (216) actualmente en posición entre el iluminador y la célula solar (204);
 una esfera de integración (244), en el que el divisor de haz dirige una porción de la energía luminosa del iluminador
 hacia la esfera de integración y dirige otra porción de la energía luminosa hacia la célula solar; y
 un analizador de espectro (250) acoplado a la esfera de integración para analizar la porción de la energía luminosa
 recibida.

6. El aparato de prueba solar (200) de la reivindicación 1, que comprende, además:

un detector de luz (254) para medir un nivel de intensidad de la luz del iluminador (202); y
 un dispositivo para medir una curva de corriente frente a tensión (curva I-V) de la célula solar (204) debajo de cada
 filtro (216).

7. El aparato de prueba de células solares (200) de la reivindicación 1, en el que el dispositivo (214) para colocar

selectivamente diferentes filtros de la multiplicidad de filtros (216) comprende un mecanismo (220) para colocar cada uno de la multiplicidad de filtros entre el iluminador (202) y la célula solar (204) para medir las características de rendimiento de la célula solar para cada uno de los múltiples filtros.

5 8. El aparato de prueba de células solares (200) de la reivindicación 1, que comprende además un protector de luz (212) para controlar la transmisión de luz del iluminador (202) a la célula solar (204).

9. El aparato de prueba de células solares (200) de la reivindicación 1, que comprende además un divisor de haz (234) para dirigir una porción predeterminada de la luz desde un filtro seleccionado de la multiplicidad de filtros (216) a la célula solar (204) para al menos uno de medir el rendimiento y detectar cualquier defecto en la célula solar, y para
10 dirigir otra porción predeterminada de la energía luminosa a un aparato para medir las características de la luz del filtro seleccionado de la multiplicidad de filtros colocados en la trayectoria óptica (218) entre el iluminador (202) y la célula solar.

10. El aparato de prueba de células solares (200) de la reivindicación 9, en el que la célula solar (100, 204) comprende una capa superior (102) de material semiconductor reactivo para un primer espectro de luz, una capa intermedia (104) de material semiconductor reactivo para un segundo espectro de luz, y una capa inferior (106) de material semiconductor reactivo para un tercer espectro de luz, y en el que el dispositivo (214) para posicionar selectivamente
15 diferentes filtros de la multiplicidad de filtros (216) comprende:

una primera posición de filtro correspondiente a un primer filtro para pasar el 100 por ciento de la energía luminosa para probar la célula solar a plena potencia;

20 una segunda posición de filtro que incluye un segundo filtro para probar la célula solar bajo un porcentaje predeterminado de potencia correspondiente a un porcentaje predeterminado de energía luminosa que pasa el segundo filtro;

una tercera posición de filtro que incluye un tercer filtro para probar la célula solar filtrando un espectro de luz correspondiente al primer espectro de luz con el que la capa superior de material semiconductor de la célula solar es reactiva;

25 una cuarta posición de filtro que incluye un cuarto filtro para probar la célula solar filtrando un espectro de luz correspondiente al segundo espectro de luz con el que la capa intermedia de material semiconductor de la célula solar es reactiva;

30 una quinta posición de filtro que incluye un quinto filtro para probar la célula solar filtrando un espectro de luz correspondiente al tercer espectro de luz con el que la capa inferior de material semiconductor de la célula solar es reactiva;

una sexta posición de filtro que incluye un sexto filtro para probar la célula solar filtrando la luz del iluminador para medir una curva característica de corriente-tensión de la célula solar bajo una condición oscura o sin que la célula solar reciba luz; y una séptima posición de filtro que incluye un séptimo filtro para bloquear la luz para realizar una prueba de electroluminiscencia en la célula solar.

35 11. Un método (400) para probar una célula solar (204), comprendiendo el método:

filtrar (408) la luz dirigida a la célula solar por cada uno de una multiplicidad de filtros (216) para al menos medir el rendimiento y detectar cualquier defecto en la célula solar, comprendiendo la multiplicidad de filtros que comprende un primer conjunto de filtros (216a), estando cada filtro del primer conjunto de filtros adaptado para pasar un porcentaje predeterminado de intensidad de la energía luminosa del iluminador a la célula solar bajo prueba, y un
40 segundo conjunto de filtros (216b) para probar la célula solar bajo diferentes espectros de luz; y dividir (410) la luz para dirigir una porción predeterminada de la luz filtrada sobre la célula solar y dirigir otra porción predeterminada de la luz a un aparato para medir las características de la luz de cada una de la multiplicidad de filtros,

en el que el filtrado (408) de la luz comprende:

45 posicionar (418) cada uno del primer conjunto de filtros (216a) en una trayectoria óptica (218) entre un iluminador (202) y la célula solar (204), estando cada filtro del primer conjunto de filtros adaptado para pasar un porcentaje predeterminado de intensidad de energía luminosa para probar la célula solar bajo diferentes niveles de intensidad de luz;

50 posicionar (418) cada uno del segundo conjunto de filtros (216b) en la trayectoria óptica entre el iluminador y la célula solar;

en el que el posicionamiento de los diferentes filtros (216) comprende:

55 girar una rueda giratoria (222) alrededor de un cubo, cada uno de la multiplicidad de filtros se coloca circunferencialmente alrededor del cubo de la rueda para colocar cada uno de los filtros entre el iluminador (202) y la célula solar (204), posicionar cada uno de la multiplicidad de filtros secuencialmente entre el iluminador y la célula solar girando la rueda giratoria (222) mediante un motor (224) que incluye un codificador (226) y un eje de accionamiento (230), el eje de accionamiento del motor está acoplado al cubo de la rueda para girar la rueda, y

posicionar (420) un filtro de bloqueo de luz (316) en la trayectoria óptica (218) para realizar una prueba de electroluminiscencia de la célula solar para detectar la emisión de luz de la célula solar en respuesta a una corriente eléctrica de un amperaje predeterminado que se aplica a la energía solar célula.

5 12. El método (400) de la reivindicación 10, en el que la célula solar (100, 204) comprende una capa superior (102) de material semiconductor reactivo para un primer espectro de luz, una capa intermedia (104) de material semiconductor reactivo a un segundo espectro de luz, y una capa inferior (106) de material semiconductor reactivo a un tercer espectro de luz, y en el que el filtrado (408) de la luz comprende:

posicionar (418) un primer filtro adaptado para pasar el 100 por ciento de la energía luminosa para probar la célula solar a plena potencia;

10 posicionar (418) un segundo filtro que incluye características de filtrado de luz para probar la célula solar bajo un porcentaje predeterminado de potencia correspondiente a un porcentaje predeterminado de energía luminosa que ha pasado por el segundo filtro;

15 posicionar (418) un tercer filtro que incluye características de filtrado de luz para probar la célula solar filtrando un espectro de luz correspondiente al primer espectro de luz con el que la capa superior de material semiconductor de la célula solar es reactiva;

posicionar (418) un cuarto filtro que incluye características de filtrado de luz para probar la célula solar mediante el filtrado de un espectro de luz correspondiente al segundo espectro de luz con el que la capa intermedia de material semiconductor de la célula solar es reactiva;

20 posicionar (418) una quinta posición de filtro que incluye características de filtrado de luz para probar la célula solar filtrando un espectro de luz correspondiente al tercer espectro de luz con el que la capa inferior de material semiconductor de la célula solar es reactiva;

25 posicionar (418) un sexto filtro que incluye características de filtrado de luz para probar la célula solar filtrando la luz del iluminador para medir una curva característica de corriente-tensión oscura; y posicionar (420) una séptima posición de filtro que incluye características de filtrado de luz para realizar una prueba de electroluminiscencia en la célula solar.

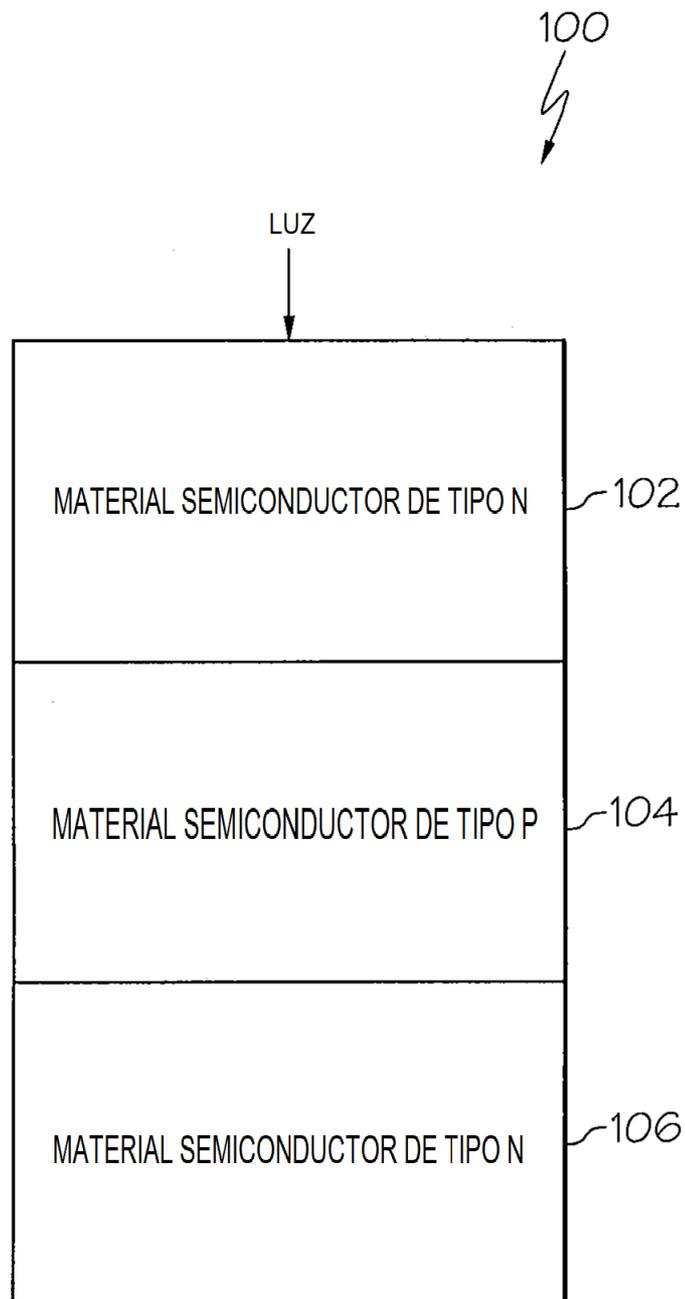


FIG. 1
(TÉCNICA ANTERIOR)

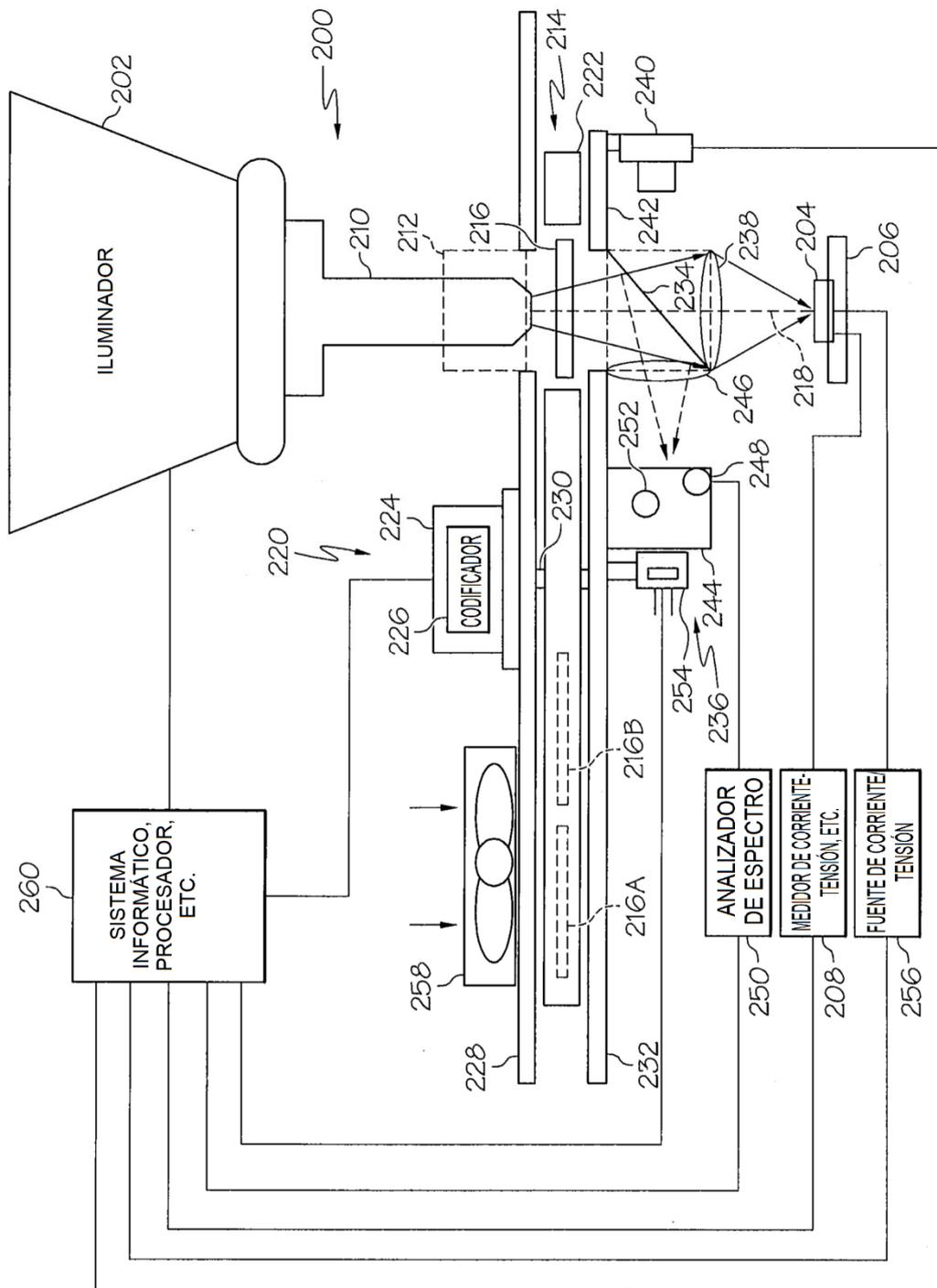


FIG. 2

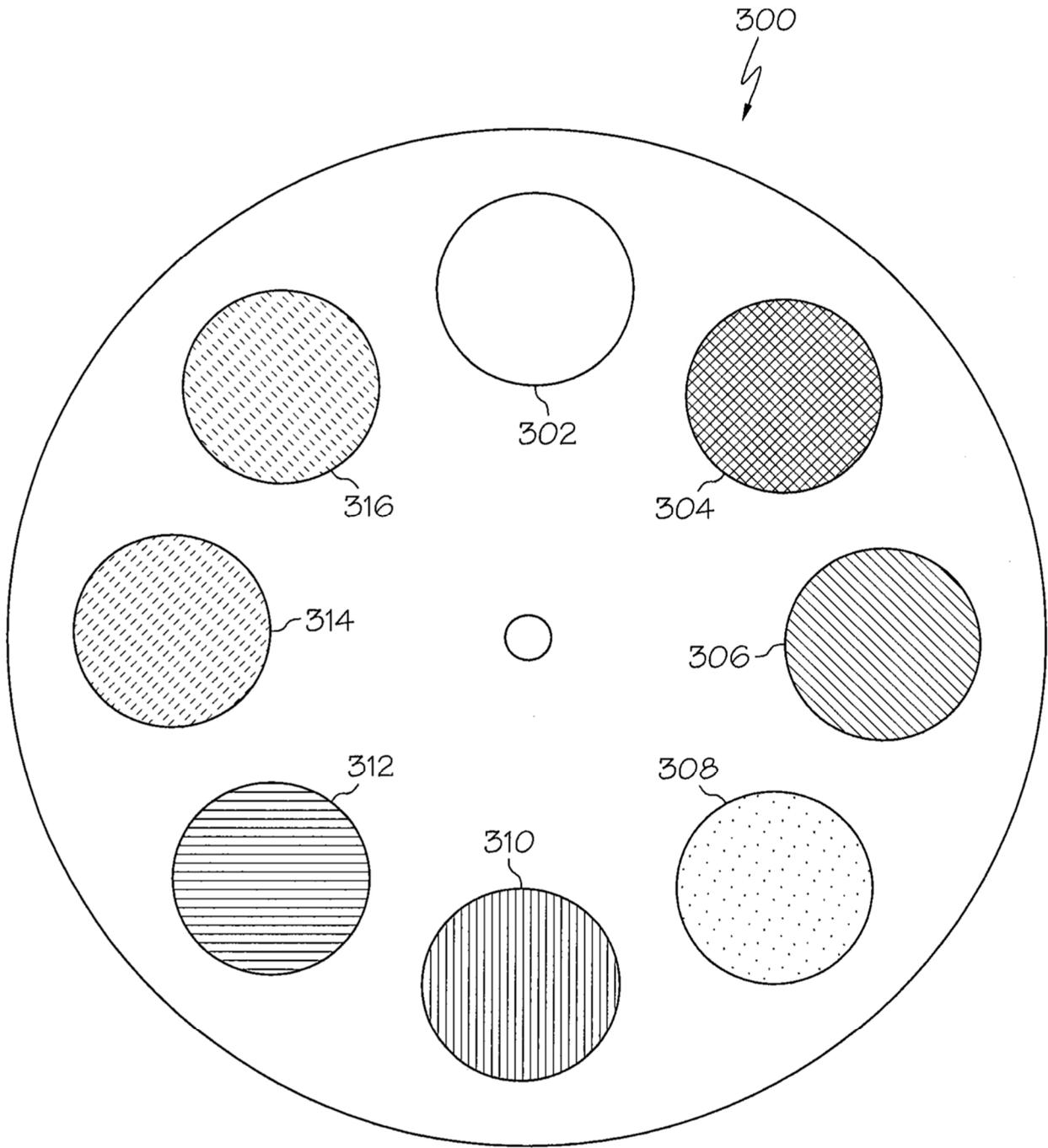


FIG. 3

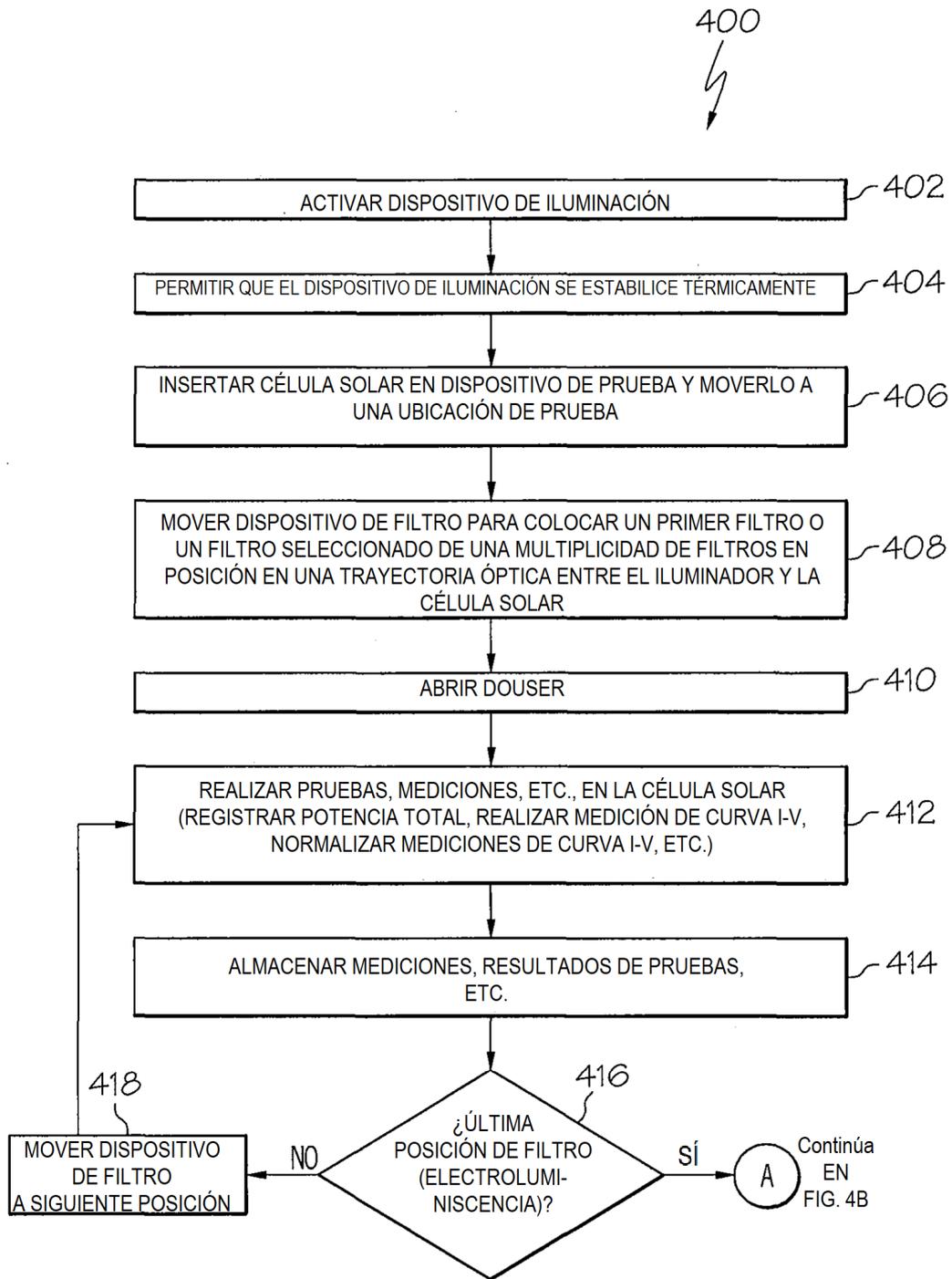


FIG. 4A

A

continuado
DE
FIG. 4A

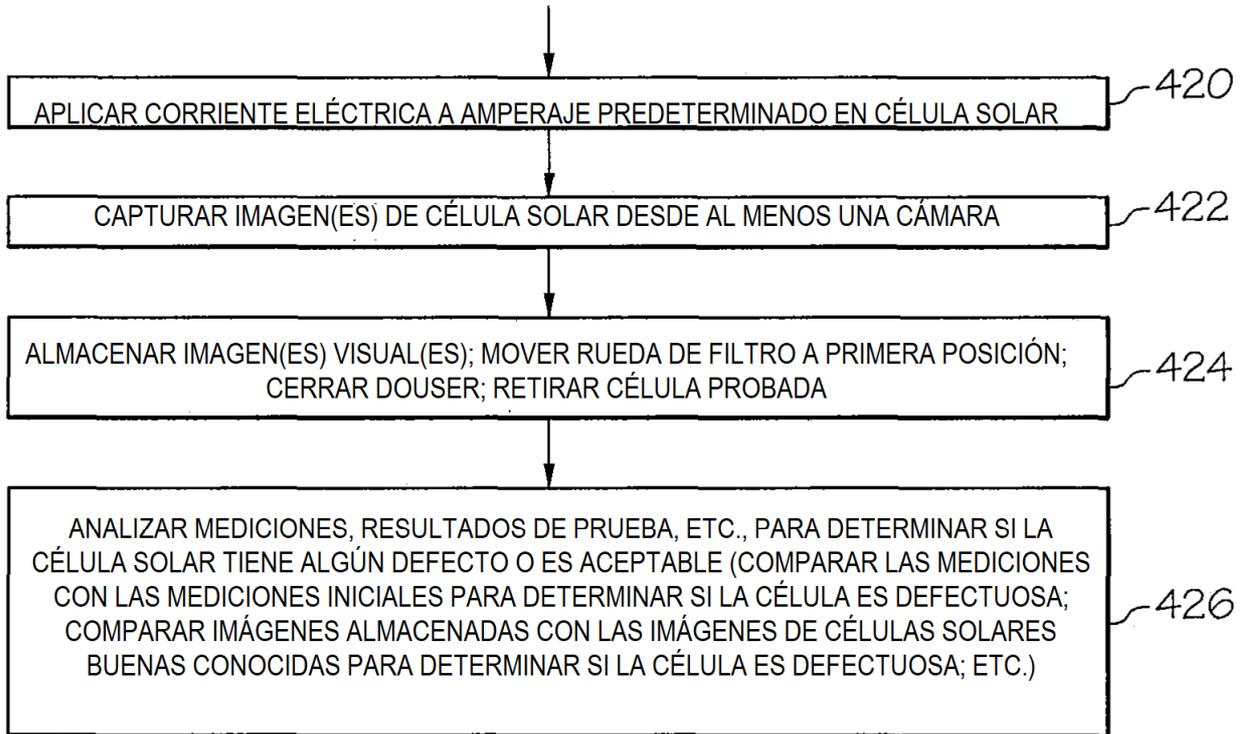


FIG. 4B

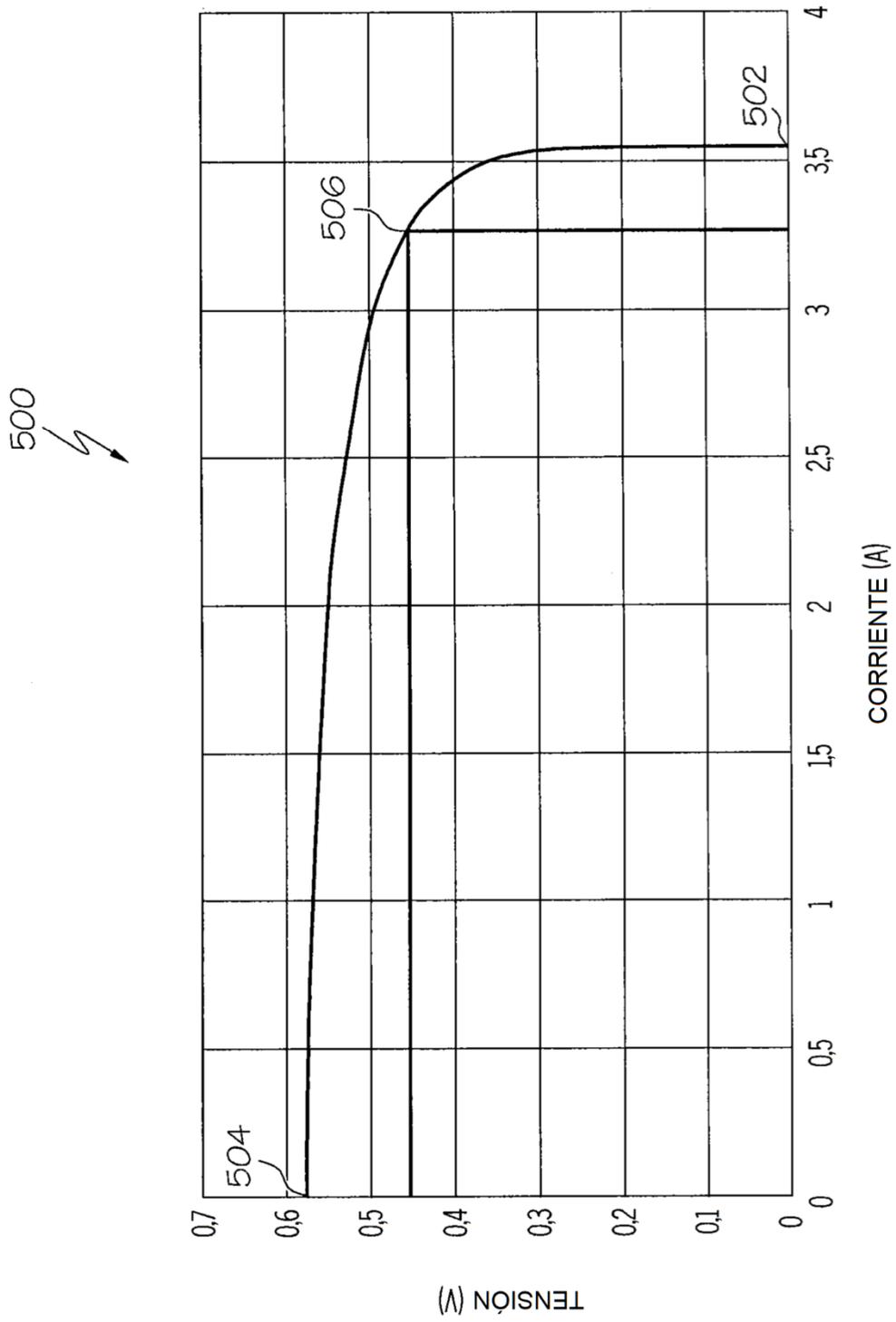


FIG. 5



FILTRO/UBICACIÓN	PRUEBA REALIZADA*
UNO	PLENA POTENCIA
DOS	POTENCIA DEL 50%
TRES	POTENCIA DEL 10%
CUATRO	SIN PARTE SUPERIOR
CINCO	SIN PARTE INTERMEDIA
SEIS	SIN PARTE INFERIOR
SIETE	CURVA I-V OSCURA
OCHO	ELECTROLUMINISCENCIA

FIG. 6