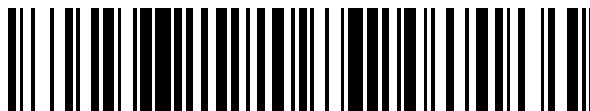


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 718 393**

21 Número de solicitud: 201731491

51 Int. Cl.:

**G01N 21/95** (2006.01)

**G01N 21/64** (2006.01)

**G01N 21/66** (2006.01)

12

SOLICITUD DE PATENTE

A1

22 Fecha de presentación:

**28.12.2017**

43 Fecha de publicación de la solicitud:

**01.07.2019**

71 Solicitantes:

**UNIVERSIDAD DE VALLADOLID (100.0%)**  
**Plaza de Santa Cruz , 5 Bajo**  
**47002 VALLADOLID ES**

72 Inventor/es:

**REDONDO HERNANDO, Daniel;**  
**MARTÍNEZ SACRISTÁN, Óscar;**  
**GONZÁLEZ REBOLLO, Miguel Ángel;**  
**MORETÓN FERNÁNDEZ, Ángel y**  
**RODRÍGUEZ CONDE, Sofía**

74 Agente/Representante:

**CARVAJAL Y URQUIJO, Isabel**

54 Título: **EQUIPO DE CARACTERIZACIÓN MEDIANTE LUMINISCENCIA DE MUESTRAS DE SILICIO CRISTALINO**

57 Resumen:

Equipo de caracterización mediante luminiscencia de muestras de silicio cristalino ( obleas y células solares), que comprende una bandeja porta-muestras (4) extraíble con un orificio (41) para soportar una muestra de silicio cristalino (40); medios de excitación eléctrica de la muestra (40) mediante contactos eléctricos con la superficie superior e inferior de la muestra (40), para realizar medidas de electroluminiscencia; medios de excitación óptica de la muestra (40), para realizar medidas de fotoluminiscencia; una cámara (11) para captar luminiscencia emitida por la muestra (40); un primer (5) y un segundo (6) sistema de sujeción para posicionar la cámara (11) por encima o debajo de la muestra (40), para realizar medidas de electroluminiscencia y de fotoluminiscencia en reflexión o de fotoluminiscencia en transmisión. La cámara (11) presenta movilidad en los ejes vertical y horizontal. El equipo permite caracterizar células solares y obleas de silicio, realizando medidas de electroluminiscencia en células solares y fotoluminiscencia en células solares y en obleas, en este último caso tanto en reflexión como en transmisión.

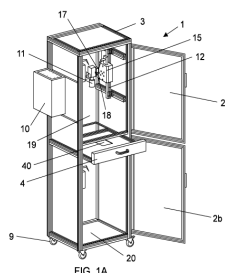


FIG. 1A

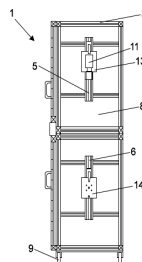


FIG. 1D

ES 2 718 393 A1

## **EQUIPO DE CARACTERIZACIÓN MEDIANTE LUMINISCENCIA DE MUESTRAS DE SILICIO CRISTALINO**

### **DESCRIPCIÓN**

5

#### **Campo de la invención**

La presente invención se refiere a un equipo cuyo objetivo es la obtención de imágenes de luminiscencia (tanto fotoluminiscencia como electroluminiscencia) de células solares y obleas de silicio, a partir del uso de una cámara con sensor de silicio o de InGaAs. El análisis de las imágenes de luminiscencia obtenidas permite realizar una caracterización de las muestras ensayadas en base a la cantidad de defectos que presentan las mismas.

#### **Antecedentes de la invención**

En la actualidad, aproximadamente el 90 % de las células solares utilizadas en la industria fotovoltaica son de silicio cristalino.

Debido a la cada vez más alta demanda de producción, a que algunos procesos de cristalización dan lugar a un material con un elevado número de defectos (granos, fronteras de grano, dislocaciones, impurezas, etc.), a los diferentes defectos que pueden aparecer en el procesado de oblea a célula, etc., se hace necesario controlar los procesos de producción para obtener obleas y células de la mejor calidad posible y que den lugar a máximos valores de eficiencia.

Para la caracterización de muestras de silicio, tanto obleas como células, una de las técnicas más rápidas y con mejores resultados es la obtención de imágenes mediante luminiscencia. Esta se basa en la capacidad que tienen ciertos materiales de emitir radiación electromagnética al ser excitados con una fuente de energía.

Para la obtención de estas imágenes se hace necesaria la utilización de un tipo de cámaras específicas que trabajen en un rango de longitudes de onda entre la que se encuentre la longitud de onda de la radiación emitida por la muestra. En el caso de las muestras de silicio, el elemento emisor de las muestras es el silicio y para la captación de imágenes se ha venido utilizando normalmente una cámara equipada con sensor de silicio. Sin embargo, las cámaras con sensor de InGaAs son más adecuadas, ya que son capaces de captar por

completo el espectro de emisión del silicio, lo que permite obtener imágenes en un menor tiempo y de gran calidad.

5 El estudio de células solares y obleas de silicio a través de sus imágenes de luminiscencia (tanto electroluminiscencia como fotoluminiscencia), es por tanto una técnica de caracterización de gran aplicación en la industria fotovoltaica actual. Esta técnica de inspección de células solares ya es conocida, como se muestra en la patente número ES2610479-T3, en la que se expone un procedimiento para medir y evaluar pérdidas de potencia en células solares, módulos solares e instalaciones solares mediante mediciones 10 fotográficas por termografía y luminiscencia. Así mismo el documento de patente DE19827202-A1 describe un procedimiento para reconocer y caracterizar defectos del cristal en material semiconductor monocristalino, especialmente obleas de silicio, que comprende una combinación de espectroscopia heterodina por fotoluminiscencia, espectroscopia heterodina fotoquímica (rendimiento de luminiscencia) y el procedimiento 15 SIRD (grado de despolarización). Mediante el uso de tecnologías específicas para la captación de imágenes, como son cámaras CCD de silicio o cámaras con sensor de InGaAs, se pueden llegar a obtener resultados muy precisos en los procesos de caracterización.

20 Las obleas y células solares poseen defectos, tanto intrínsecos del material, como extrínsecos, debidos por ejemplo al proceso de fabricación, que limitan la eficiencia final. Mediante imágenes de luminiscencia se puede adquirir información útil para su caracterización: distribución de defectos en la oblea/célula, imágenes cuantitativas del tiempo de vida de los portadores minoritarios de carga, mapeado de la longitud de difusión 25 de los portadores minoritarios, etc. Esta información permite, implementando el método en tiempo real en diferentes etapas de la fabricación, mejorar los procesos de producción de obleas y células solares, obteniendo así un producto final de mejor calidad. Resulta muy útil para las empresas y grupos de investigación disponer de un equipo completo con el que poder realizar estos ensayos. Esta técnica de caracterización se ha desarrollado de manera 30 considerable en los últimos años, debido a que es un método no destructivo, conlleva bajo coste y la instrumentación necesaria es simple.

Existen en el mercado algunos equipos que utilizan imágenes de luminiscencia para caracterizar células y obleas solares, como por ejemplo los prototipos de dos empresas 35 especializadas en el sector, Solarzentrum y Greateyes. Sin embargo, dichos equipos

presentan ciertas limitaciones. Ambos equipos permiten realizar ensayos de electroluminiscencia en células solares y fotoluminiscencia en obleas y células, pero únicamente en reflexión. Además, el propio diseño de los equipos existentes hace que sean totalmente fijos tanto en componentes como en movilidad.

5

### **Descripción de la invención**

La presente invención se refiere a un equipo de caracterización de muestras de silicio cristalino cuya función principal es la obtención de imágenes mediante una cámara con sensor de Si o de InGaAs a partir de la luminiscencia emitida por la muestra.

10

El equipo de la presente invención comprende una estructura principal soportada por ruedas y una bandeja porta-muestras extraíble con un orificio preparado para soportar una muestra de silicio cristalino (una oblea o una célula solar de silicio) en disposición horizontal. El equipo comprende medios de excitación eléctrica de la célula de silicio a través de contactos eléctricos con la superficie superior y con la superficie inferior de la célula, para la realización de medidas de electroluminiscencia. El equipo también dispone de medios de excitación óptica de la muestra de silicio cristalino (una oblea o una célula solar) para la realización de medidas de fotoluminiscencia. Los medios de excitación óptica se disponen preferentemente por encima de la muestra, excitando la cara superior de la muestra, aunque se pueden colocar también debajo de la misma enfocando la superficie inferior de la muestra.

15

20

25

El equipo comprende una cámara (preferentemente una cámara con sensor InGaAs) para la captación de la luminiscencia emitida por la muestra de silicio cristalino una vez excitada por los medios de excitación eléctrica o por los medios de excitación óptica. Un primer y un segundo sistema de sujeción están configurados para posicionar la cámara respectivamente por encima o por debajo de la muestra de silicio cristalino, con objeto de realizar medidas en reflexión (cuando la cámara y los medios de excitación óptica quedan al mismo lado de la muestra) o en transmisión (cuando la cámara y los medios de excitación óptica quedan en lados opuestos de la muestra), en el caso de las medidas de fotoluminiscencia.

30

En una realización preferida, los medios de excitación eléctrica comprenden un marco metálico alojado en el orificio de la bandeja porta-muestras y configurado para contactar eléctricamente con la superficie inferior de la célula de silicio; al menos un microposicionador con una punta metálica configurada para contactar eléctricamente con la superficie superior

35

de la célula de silicio; y una fuente de alimentación para polarizar la célula de silicio a través de los contactos eléctricos establecidos en su superficie superior e inferior.

5 En una realización, el primer y segundo sistema de sujeción presentan movilidad en dos ejes, un eje vertical y un eje horizontal. Ambos sistemas de sujeción pueden comprender dos perfiles horizontales unidos a la estructura principal, un perfil vertical horizontalmente desplazable entre dichos perfiles horizontales, un primer carro deslizante deslizable a lo largo de dicho perfil vertical, y medios de sujeción de la cámara al primer carro deslizante.

10 Los medios de excitación óptica comprenden preferiblemente un sistema de iluminación láser de diodo directo. En una realización, el equipo comprende un tercer sistema de sujeción configurado para posicionar un cabezal de iluminación láser con movilidad en un eje vertical y en un eje horizontal. El tercer sistema de sujeción comprende dos perfiles horizontales unidos a la estructura principal, un perfil vertical horizontalmente desplazable  
15 entre dichos perfiles horizontales, un tercer carro deslizante deslizable a lo largo de dicho perfil vertical, y medios de sujeción del cabezal de iluminación láser al tercer carro deslizante. Dichos medios de sujeción del cabezal de iluminación láser pueden comprender un soporte multidireccional que permite un movimiento rotacional del cabezal de iluminación láser.

20 El equipo puede comprender un homogeneizador cuadrado, ubicado entre el cabezal de iluminación láser y la muestra de silicio cristalino, para generar un haz de sección cuadrangular.

25 La bandeja porta-muestras está unida a la estructura principal mediante dos guías horizontales, a través de las cuales la bandeja desliza y se extrae, al menos parcialmente, de la estructura principal. El equipo comprende preferentemente una puerta superior y una puerta inferior respectivamente ubicadas por encima y por debajo de la bandeja porta-muestras, y que respectivamente permiten el acceso a la parte superior del equipo, por  
30 encima de la porta-muestras, y a la parte inferior del equipo, por debajo de la bandeja porta-muestras.

El equipo de la presente invención ofrece una gran versatilidad, ya que es posible analizar tanto obleas de silicio como células solares, pudiendo también cambiar fácilmente la cámara  
35 con la que se obtienen las imágenes según la necesidad (cámaras CCD de silicio, cámaras

con sensor InGaAs, etc.). Así mismo, en el caso de medidas de fotoluminiscencia el diseño permite realizar medidas en transmisión (la cámara se sitúa en la zona inferior del equipo, quedando la muestra situada entre el láser y la cámara) y medidas en reflexión (tanto la cámara como el láser se sitúan en la zona superior del equipo).

5

Para poder observar fenómenos de luminiscencia, es necesaria la excitación de las muestras ( obleas o células solares de silicio) mediante un sistema de iluminación (haz láser) para el caso de la fotoluminiscencia o una fuente de corriente conectada a la célula solar en el caso de la electroluminiscencia. Para este último caso, es necesario realizar dos  
10 contactos eléctricos con la célula para que quede conectada a la fuente de alimentación. El diseño del equipo de la presente invención contempla este detalle incluyendo en la bandeja porta-muestras un marco de contacto de cobre, así como un sistema de microposicionadores que, conectados a la fuente de alimentación, permiten materializar el contacto eléctrico. El microposicionador es un elemento al cual se le conecta uno de los  
15 terminales de la fuente de alimentación. El microposicionador se coloca encima de la bandeja porta muestras; de esta forma, la punta del microposicionador toca la superficie superior de la célula en uno de sus contactos metálicos, materializando así el contacto eléctrico superior.

20 Una de las mayores ventajas del equipo de la presente invención es su versatilidad, ya que permite un amplio abanico de medidas:

- Medidas de fotoluminiscencia en obleas de silicio, bien por reflexión o transmisión, y en células solares de silicio (por reflexión).

- Medidas de electroluminiscencia en células solares de silicio.

25

Esta versatilidad permite que el equipo puede ser utilizado tanto durante la fase de fabricación de la muestra, como con el producto final. Además, el equipo es totalmente ajustable a los criterios de medición, pudiendo modificar la posición tanto de la cámara como de la fuente de excitación óptica (en las medidas de fotoluminiscencia). El equipo es  
30 altamente modulable, por lo que es sencillo añadir elementos adicionales para optimizar o ampliar los procesos de medición. Así mismo, el equipo es un sistema compacto en cuanto a su estructura física y es fácil de trasladar. En cuanto a la manipulación del equipo por parte del operario, la disposición de los elementos y el diseño de los mismos se han concebido de manera que el operario manipule las muestras de manera ágil y a la vez

segura, estando equipado el sistema con dispositivos de seguridad para permitir que el espacio de trabajo sea cómodo y fiable.

**Breve descripción de los dibujos**

5 A continuación se pasa a describir de manera muy breve una serie de dibujos que ayudan a comprender mejor la invención y que se relacionan expresamente con una realización de dicha invención que se presenta como un ejemplo no limitativo de ésta.

10 Las Figuras 1A a 1F muestran diferentes vistas del equipo de caracterización mediante luminiscencia de obleas y células solares de silicio de acuerdo a una realización de la presente invención.

15 Las Figuras 2A y 2B representan los perfiles de aluminio empleados en la estructura principal del equipo.

Las Figuras 3A y 3B ilustran el sistema de panelado insertado en el interior de la ranura del perfil de la estructura.

20 La Figura 4 muestra la estructura principal y algunos de los elementos internos del equipo.

La Figura 5 representa el sistema de sujeción de la cámara en la parte superior del equipo.

La Figura 6 ilustra una sección del carro deslizante montado sobre el raíl.

25 La Figura 7 muestra el sistema de sujeción de la cámara en la parte inferior del equipo.

La Figura 8 representa el sistema de sujeción del equipo de iluminación láser.

30 La Figura 9 ilustra la bandeja porta-muestras y el marco metálico empleado para las medidas de electroluminiscencia.

La Figura 10 representa los contactos eléctricos superiores sobre la célula de silicio para la realización de las medidas de electroluminiscencia.

35 La Figura 11 ilustra un esquema de la iluminación láser empleada y los parámetros

principales de un homogeneizador cuadrado.

La Figura 12 representa parámetros de selección del homogeneizador.

## 5 Descripción detallada de la invención

La presente invención tiene por objeto un sistema que permite la caracterización de obleas y células solares de silicio cristalino mediante la utilización de imágenes de luminiscencia emitida por dichas muestras.

10 Para que las muestras emitan la citada luminiscencia es necesario que sean excitadas externamente. El equipo de la presente invención dispone de dos modos de excitación dependiendo de la muestra a ensayar. Por un lado, es posible realizar la excitación de células solares mediante una fuente de alimentación (electroluminiscencia), para lo cual es necesario realizar los contactos eléctricos en la muestra a ensayar. Para tal fin, la bandeja  
15 porta muestras dispone de un marco de cobre sobre el cual se apoya la parte posterior de la célula de silicio. En la cara superior el contacto se materializa a través de la utilización de microposicionadores, que ofrecen un contacto puntual de precisión con las zonas metalizadas de la célula. La utilización de electroluminiscencia para caracterización de células solares resulta un método muy adecuado debido a la simplicidad del mismo. Otro  
20 factor importante que hace muy interesante el uso de esta técnica es el tiempo. La adquisición de la imagen de electroluminiscencia depende fundamentalmente de la cámara que se use. En general, la duración de la medida se encuentra en el orden de milisegundos.

Así mismo, el equipo de la presente invención permite realizar una excitación óptica de las  
25 muestras (fotoluminiscencia), concretamente mediante un haz láser. Para ello se utiliza un sistema láser de diodo directo cuyo haz se dirige hacia el interior del equipo de caracterización. Para lograr que la excitación se produzca de manera homogénea se ha dispuesto antes de la salida del haz un difusor/homogeneizador que genera un haz de sección cuadrangular.

30 La distribución de intensidad de la luminiscencia emitida está claramente relacionada con el mapa de las longitudes de difusión de los portadores minoritarios, es decir, la intensidad de luminiscencia es proporcional a la densidad de portadores de carga en exceso. De este modo se puede visualizar una imagen en la que se distinguen inhomogeneidades causadas  
35 por dislocaciones o los bordes de grano e incluso deficiencias relativas al proceso de



fabricación o microrroturas en la célula. La utilización de la técnica de electroluminiscencia es muy útil en el proceso de caracterización de células solares ya fabricadas. En comparación con la electroluminiscencia, la utilización de fotoluminiscencia en la caracterización de células solares presenta algunas ventajas; por ejemplo, no es preciso  
5 hacer ningún tipo de contacto eléctrico sobre la muestra. Además, la fotoluminiscencia puede ser aplicada sobre obleas de silicio en cualquier etapa del procesado. Esto resulta de gran utilidad si se quiere monitorizar el proceso de fabricación de la célula.

Una vez que la muestra se encuentra en excitación, la cámara se posiciona de tal forma que  
10 sea capaz de captar la emisión de la oblea o célula, y de manera automática envía la señal a un ordenador para analizar la imagen de la luminiscencia emitida. El equipo se ha diseñado de tal forma que cualquier tipo de cámara pueda ser utilizada. En una realización, se ha utilizado una cámara con sensor InGaAs con una resolución de 640 x 512 pixels y con sensibilidad en un rango espectral de 950 nm a 1700 nm, por lo que es capaz de captar el  
15 pico de emisión del silicio en su rango de máxima eficiencia cuántica.

La estructura principal del equipo se realiza con perfiles de aluminio, los cuales presentan una muy buena relación entre resistencia y peso. Además, este tipo de perfilería es fácil de ensamblar, lo que permite añadir modificaciones al equipo sin necesidad de realizar grandes  
20 cambios en el mismo.

La estructura principal del equipo está dividida en dos zonas, una zona superior y una zona inferior. En la zona superior se encuentra tanto el sistema de sujeción del cabezal láser, como uno de los dos sistemas de sujeción de la cámara de los que dispone el equipo. El  
25 otro sistema de sujeción de la cámara se encuentra situado en la parte inferior del equipo.

La composición de los tres soportes o sistemas de sujeción (sistema de sujeción del cabezal láser, sistema de sujeción de la cámara para medidas de electroluminiscencia o medidas de fotoluminiscencia en reflexión y sistema de sujeción de la cámara para medidas de  
30 fotoluminiscencia en transmisión ) es similar: comprenden tres perfiles unidos entre sí y a su vez unido a la estructura del equipo mediante escuadras. Uno de estos perfiles, concretamente el que se coloca en posición vertical, sirve de carril para que deslice sobre él un patín o carro deslizante. Este sistema permite posicionar el soporte con exactitud en la zona de trabajo. Sobre el carro deslizante se ubica el soporte correspondiente, bien el de la  
35 cámara o el del láser. Además de este movimiento en el eje vertical, es posible desplazar el

perfil vertical horizontalmente respecto de la estructura sin más que aflojar las escuadras que lo unen a ella. Por lo tanto, todos los soportes tienen movimiento al menos en dos ejes. Adicionalmente, el cabezal láser va unido a un soporte direccional, a su vez ensamblado al patín, que permite aplicar un par rotacional al cabezal, posibilitando de esta manera dirigir el haz láser en cualquier dirección.

Entre la zona superior e inferior va colocada una bandeja, que se une a la estructura mediante un raíl extraíble. Esta bandeja sirve como base para las muestras a ensayar, y permite colocar las muestras de una manera ágil y cómoda, sin necesidad de manipular ningún otro componente del equipo. Presenta un reborde mecanizado según la medida de las muestras. Además, sobre la bandeja se colocan microposicionadores para realizar el contacto eléctrico con la célula solar en medidas de electroluminiscencia.

Todo el equipo está totalmente aislado lumínicamente para evitar interferir en las medidas, para lo cual se emplean paneles de PVC. En la zona frontal el equipo dispone de dos puertas para facilitar el acceso tanto a la zona superior como inferior.

El equipo dispone en su parte externa de una caja eléctrica prefabricada, dentro de la cual se encuentran los elementos eléctricos del sistema. El equipo presenta elementos que garantizan la seguridad del operario durante su manipulación, como son un pulsador de parada de emergencia, una baliza luminosa que indica cuando el láser está en funcionamiento, e interruptores de seguridad colocados en ambas puertas para evitar que se pueda tener un contacto directo con el haz láser.

El equipo también comprende en su interior una cámara de vídeo para visualizar en tiempo real lo que ocurre durante los procesos de medición e iluminación para mejorar la visibilidad del operario a la hora de manipular los componentes. En un lateral del equipo un estante sirve como superficie de apoyo para el sistema de control y refrigeración del láser, así como para la colocación de otros elementos auxiliares al equipo que puedan ser necesarios.

Todos los componentes anteriormente descritos se han distribuido de tal forma que el equipo presenta un diseño compacto y manejable, así como fácil de transportar, gracias a las ruedas instaladas en la base del equipo. Estas características hacen que sea un equipo para su uso tanto en laboratorios como en las propias plantas de fabricación de obleas y células solares de silicio.

Otra gran ventaja que ofrece el equipo es su elevada versatilidad, ya que permite ensayar tanto obleas como células solares de silicio. Además, permite hacer medidas de electroluminiscencia en células solares y de fotoluminiscencia en obleas (por reflexión o  
5 transmisión) y en células (por reflexión).

El funcionamiento del equipo es muy sencillo. En medidas de fotoluminiscencia por reflexión, la cámara y el haz láser se colocan en la zona superior y al excitar la muestra con el láser la imagen capturada por la cámara es recogida y enviada automáticamente al ordenador. Esta  
10 misma disposición de la cámara se usa para las medidas de electroluminiscencia en células solares, excitando la muestra con la fuente alimentación. En medidas de fotoluminiscencia por transmisión en obleas, el modo de funcionamiento es el mismo, con la única diferencia de que en este caso la cámara se coloca en la zona inferior del equipo, manteniendo el láser en la zona superior.

Aunque la técnica de caracterización de obleas y células de silicio ya se ha venido usando con anterioridad, el diseño de un equipo compacto y con tantas posibilidades de medición resulta novedoso. Así mismo, otros aspectos del equipo como pueden ser el diseño de  
15 colocación de las muestras y regulación de los soportes también son innovadores.

En la **Figura 1A** se muestra una vista en perspectiva del equipo 1 de caracterización mediante luminiscencia de obleas y células solares de silicio cristalino. En la **Figura 1B** se representa una vista frontal del equipo, y la **Figura 1C** representa también una vista frontal del equipo 1 en la que se ha realizado un corte parcial para mostrar alguno de sus  
20 componentes internos. La **Figura 1D** representa la vista en sección según el plano de corte A-A mostrado en la Figura 1C, que permite apreciar una vista lateral interna del equipo 1. La **Figura 1E** muestra por su parte una vista frontal con las puertas superior 2a e inferior 2b abiertas (las cuales permiten acceder al interior del equipo, y en concreto a la zona superior y a la zona inferior del equipo, respectivamente), de forma que se aprecian los componentes  
25 internos del equipo 1. La **Figura 1F** representa una vista en planta del equipo 1, donde se ha retirado la cubierta superior para poder mostrar los componentes internos.

La estructura principal 3 del equipo 1 está ensamblada con perfiles de aluminio. Como se aprecia en las figuras, el equipo comprende una bandeja porta-muestras 4 extraíble, una  
35 cámara 11 de captación de luminiscencia, preferentemente de tipo CCD -dispositivo de

carga acoplada- de Si o con sensor InGaAs, un primer sistema de sujeción 5 para posicionar la cámara 11 en medidas de electroluminiscencia o medidas de fotoluminiscencia en reflexión (ubicada en la zona superior del equipo), un segundo sistema de sujeción 6 para posicionar la cámara 11 en medidas de fotoluminiscencia en transmisión (ubicada en la zona inferior del equipo), un estante horizontal 7, paneles 8 de cerramiento del equipo, un conjunto de ruedas 9, una caja eléctrica 10 (un cuadro eléctrico o caja de componentes eléctricos), un tercer sistema de sujeción 12 para posicionar un cabezal de iluminación láser 18 que excitará la muestra de silicio cristalino 40 (una oblea o una célula solar de silicio), un primer carro deslizante 13 del primer sistema de sujeción 5 para desplazar la cámara 11 en posición de medidas de electroluminiscencia o medidas de fotoluminiscencia en reflexión, un segundo carro deslizante 14 del segundo sistema de sujeción 6 para desplazar la cámara 11 en posición de medidas de fotoluminiscencia en transmisión, un tercer carro deslizante 15 del tercer sistema de sujeción 12 del sistema de iluminación láser, y un soporte multidireccional 17 del cabezal de iluminación láser 18.

La Figura 1A muestra el equipo con sus dos puertas abiertas (puerta superior 2a y puerta inferior 2b), así como con la bandeja porta-muestras 4 en extracción parcial. El equipo queda dividido en dos zonas o habitáculos (parte superior 19 y parte inferior 20) por la bandeja porta-muestras 4, de forma que la parte superior 19 queda por encima de la bandeja porta-muestras 4, y la parte inferior 20 queda por debajo. Como se aprecia en dicha figura, en el exterior del equipo 1 se ubican elementos como la caja eléctrica 10 y el estante horizontal 7, mientras que su interior está subdividido en dos partes (superior 19 e inferior 20) a las que se accede a través de las dos puertas (2a, 2b), que se encuentran separadas entre sí por una bandeja extraíble.

A continuación se analizan en detalle cada uno de los componentes que forman el conjunto del equipo 1.

Para la realización de toda la estructura principal 3 que sirve de soporte a los componentes del equipo 1 se utilizan preferentemente perfiles 22 de aluminio anodizado, como los representados en la realización de las **Figuras 2A y 2B**, que representan respectivamente una vista en perspectiva de varios perfiles 22 de aluminio de la estructura principal 3 ensamblados y una vista en planta de uno de estos perfiles 22, que en una realización tienen por ejemplo una sección de 40 mm x 40 mm. Los perfiles 22 disponen de unas ranuras 23 por las que se introducen los paneles 8 del cerramiento del equipo. La elección

de este material se debe a la buena relación que presenta entre su peso y resistencia, lo que permite construir una estructura ligera y a la vez compacta y resistente. Además de sus buenas propiedades mecánicas, este tipo de perfiles son sencillos de ensamblar entre sí, como se muestra en la Figura 2A, y ofrecen gran versatilidad a la hora de acoplar cualquier tipo de elemento sobre ellos, lo cual hace posible crear un equipo modular en el cual se pueden realizar modificaciones de manera sencilla.

Con respecto a los cerramientos del equipo, las **Figuras 3A y 3B** muestran el sistema de panelado en el interior de la ranura 23 del perfil 22. El interior del equipo está completamente aislado del exterior mediante paneles 8 de PVC. Se colocan insertados en la propia ranura 23 del perfil de aluminio, con el objetivo de que el interior del equipo quede totalmente aislado lumínicamente. Los paneles 8 tienen una tonalidad negra para evitar que se produzcan reflejos, ya que podrían alterar el resultado de las imágenes recogidas.

Las dos puertas (2a, 2b) del equipo tienen un marco de perfil de aluminio y un panelado igual que el resto de los cerramientos. El equipo incluye una cerradura en ambas puertas para proteger los componentes alojados en el interior del equipo. También se han colocado dos cierres magnéticos en la zona de contacto con la estructura para evitar que las puertas (2a, 2b) se abran por sí solas.

En una realización, el equipo 1 está sustentado sobre cuatro ruedas 9 de 80 mm de diámetro fabricadas en goma inyectada y atornilladas a la base de la estructura. Su objetivo es permitir que el equipo pueda desplazarse de forma ágil y sin que suponga un gran esfuerzo. Cada una de estas ruedas 9 posee freno propio, que ayuda a posicionar el equipo de forma totalmente estática y segura.

En la zona exterior derecha del equipo se dispone un estante horizontal 7 que sirve como superficie de apoyo para el sistema de control y refrigeración del cabezal de iluminación láser 18, así como para la colocación de otros elementos auxiliares al equipo que puedan ser necesarios. Está fabricado con una placa de PVC sustentada sobre dos escuadras de aluminio fijadas a la estructura principal.

En la parte exterior izquierda del equipo se ubican dos perfiles de aluminio horizontales para atornillar sobre ellos la caja eléctrica 10. En ella se aloja todo lo relacionado con el cuadro eléctrico del equipo. De esta manera, esta caja actúa como sistema de protección eléctrica,

así como almacén de los elementos necesarios para el funcionamiento del mismo (toma de corriente, regleta de enchufes, botones de encendido/apagado, parada de emergencia, etc.).

5 En la **Figura 4** se muestran los elementos que componen la parte interior del equipo (los cerramientos aparecen ocultos para una mejor visualización del interior). En concreto, la Figura 4 muestra el primer sistema de sujeción 5 para la cámara 11 en medidas de electroluminiscencia o de fotoluminiscencia en reflexión, el segundo sistema de sujeción 6 para la cámara 11 en medidas de fotoluminiscencia en transmisión, el tercer sistema de sujeción 12 del sistema de iluminación láser y la bandeja porta-muestras 4.

10 El primer sistema de sujeción 5 de la cámara para medidas de electroluminiscencia o de fotoluminiscencia en reflexión está situado en la parte superior izquierda del equipo, y está formado por un conjunto de tres perfiles de aluminio que sirven de soporte para apoyar la cámara 11 en la estructura principal. En la **Figura 5** se puede observar este sistema de  
15 forma aislada.

El primer sistema de sujeción 5 consta de dos perfiles horizontales (25, 26) que se unen al esqueleto de la estructura principal 3. Estos perfiles no poseen ningún movimiento relativo respecto de la estructura 3. Unido a ellos perpendicularmente, existe un perfil vertical 27  
20 donde la unión en este caso se realiza mediante escuadras 28 atornilladas. Estas escuadras 28 permiten deslizar el perfil vertical 27 de manera sencilla, siendo necesario únicamente aflojar los tornillos para desplazarlo horizontalmente.

El perfil vertical 27 sirve de guía para la colocación de un primer carro deslizante 13, cuya  
25 sección longitudinal se muestra en la **Figura 6**, que desliza mediante rodamientos de bolas 30 sobre dicho perfil guía. Para controlar la posición del carro deslizante 13 y poder fijarlo a la altura requerida, se coloca un freno manual, el cual dispone de una empuñadura que al girarla sobre si misma fija de manera totalmente rígida el carro al perfil vertical 27.

30 Como se aprecia en la Figura 5, el carro dispone de orificios 29 en su superficie sobre los que es posible fijar cualquier tipo de pieza. Sobre estos taladros se atornilla una pieza separadora 16 especialmente diseñada para posicionar la cámara 11 en el centro del equipo.

Tal y como se muestra en la **Figura 7**, en la parte inferior 20 del equipo se dispone el segundo sistema de sujeción 6 de la cámara para medidas de fotoluminiscencia en transmisión, idéntico al anteriormente expuesto para medidas de electroluminiscencia o de fotoluminiscencia en reflexión de la Figura 5. Este segundo sistema de sujeción 6 es  
 5 utilizado cuando sea necesario realizar medidas de fotoluminiscencia en transmisión y comprende los mismos componentes que el de medidas de electroluminiscencia o de fotoluminiscencia en reflexión: dos perfiles horizontales (31, 32), un perfil vertical 33 y el sistema carro-freno (segundo carro deslizante 14). Para minimizar costes la pieza separadora 16 es la misma que la del soporte de reflexión.

10

El equipo se ha diseñado de tal forma que cualquier tipo de cámara 11 de captación de luminiscencia pueda ser utilizada. En una realización preferida se emplea una cámara de InGaAs. La cámara 11 está conectada mediante cable a un ordenador, el cual se encarga tanto de realizar la toma de imágenes como su procesamiento posterior.

15

En la **Figura 8** se muestra el tercer sistema de sujeción 12 para posicionar el cabezal de iluminación láser 18. Este sistema de sujeción del cabezal láser es idéntico al utilizado para colocar la cámara 11, estando formado por dos perfiles horizontales (36, 37) y un perfil vertical 38. La única diferencia es que en este caso se atornilla un soporte multidireccional  
 20 17 en la superficie del tercer carro deslizante 15. A este soporte va unida la fibra óptica 35 del láser, permitiendo dirigir el haz a la zona que se desee. De nuevo, y de forma análoga a los soportes anteriores para la cámara, también es posible el movimiento en dos ejes perpendiculares, eje horizontal (posicionamiento del perfil vertical 38) y eje vertical (posicionamiento del tercer carro deslizante 15) . Además, el soporte multidireccional 17  
 25 añade un par rotacional a la fibra óptica 35 del láser.

En la zona central del equipo 1 se encuentra la bandeja porta-muestras 4, representada de forma aislada en la **Figura 9**, sobre la que se coloca la muestra de silicio cristalino 40 (no representada en la figura) sobre la que se realizan las medidas. Su estructura está formada  
 30 por una lámina insertada en perfiles de aluminio, y con una cavidad u orificio 41 que sirve de apoyo para la muestra de silicio cristalino 40. Dicho orificio 41 tiene la forma exacta de la oblea o célula solar, y posee un rebaje sobre el que se coloca un marco metálico 42. El marco metálico 42 es una pieza cuadrada hueca de cobre, situada en el reborde interior de la bandeja porta-muestras 4, que sirve para realizar el contacto eléctrico posterior con la  
 35 célula solar para las medidas de electroluminiscencia.

Para medidas de electroluminiscencia se polariza la célula de silicio 40 mediante los dos contactos eléctricos, tal y como se representa en la **Figura 10**:

5 - Uno de los contactos se realiza mediante el marco metálico 42 apoyado en la bandeja porta-muestras 4. Sobre el marco metálico 42 se dispone la célula de silicio 40, de forma que el marco metálico 42 contacta con la metalización posterior de la célula 40, Figura 10. El marco metálico 42 está unido a uno de los polos de la fuente de alimentación mediante un cable o hilo conductor 47 soldado directamente al marco metálico 42.

10 - El segundo contacto se realiza al contactar una o varias puntas metálicas 49 sujetadas en sus correspondientes microposicionadores 46 con la metalización superior de la célula solar 40. Los microposicionadores 46 se conectan al otro polo de la fuente de alimentación mediante sus correspondientes cables 48.

15 Para facilitar la colocación y extracción de las muestras de silicio 40, la bandeja porta-muestras 4 está unida al cuerpo de la estructura con un sistema de guías lineales. Este sistema permite extraer la bandeja sin necesidad de abrir ninguna de las dos puertas (2a, 2b), evitando de esta manera que el operario quede expuesto al haz láser.

20 Para excitar las obleas o células solares en medidas de fotoluminiscencia, la estructura está equipada con un sistema de iluminación láser de diodo directo (en una realización, un láser de diodo de 700 nm-900 nm y 50 W-80 W de potencia). El sistema se refrigera por aire y cuenta con control de temperatura, corriente y anchura de pulso. El control del mismo se puede realizar mediante el panel frontal o por software.

25 El láser está equipado con una fibra óptica 35 de varios metros de longitud que permite tener el sistema de control del haz láser en el exterior, independiente de la cabeza de la fibra (cabezal de iluminación láser 18) que va en el interior de la estructura 3. La fibra óptica 35 ofrece mucha flexibilidad y poca pérdida de espacio, en gran parte debido a su pequeño diámetro (400 micras) y permite por ello gran flexibilidad para dirigir el haz láser en cualquier  
30 dirección. En la salida del haz láser 43 se coloca un difusor/homogeneizador 44 y una lente de focalización 45 que permiten que la luz incida de manera totalmente homogénea sobre la superficie de la oblea o célula. Debido a la forma cuadrada de las muestras de silicio cristalino 40, el homogeneizador 44 más adecuado es el que proyecta un haz de luz con esta forma (i.e. un homogeneizador cuadrado), según se muestra en la **Figura 11**, donde se



representan los parámetros de longitud de haz requerida  $D$ , distancia focal efectiva EFL y ángulo de difusión  $\theta_r$ . En la Figura 11 se representa la proyección del haz láser una vez que ha pasado por el homogeneizador-difusor (la proyección coincide con la forma de la muestra de silicio cristalino 40). Los parámetros de dimensionamiento y selección del homogeneizador 44 utilizado en el equipo se muestran en la tabla de la **Figura 12**, de acuerdo a una posible realización.

Para las medidas de electroluminiscencia en células solares es necesario polarizar la célula e inyectar de esta forma una corriente eléctrica, normalmente en un rango de 5 A – 12 A y 0,5 V – 1,0 V. Para ello se utiliza una fuente de alimentación típica.

Para un correcto funcionamiento del equipo y los componentes que lo forman, se ha realizado el cableado de forma que este interfiera lo mínimo posible en los procesos de medida. Además, se ha dotado al equipo con una serie de elementos que mejoran tanto el entorno de trabajo como la seguridad del propio operario:

- Interruptor de seguridad: Tanto en la puerta superior como en la inferior se ha colocado un actuador de este tipo. Estos actuadores van conectados al sistema de iluminación láser, de tal forma que cuando se abre alguna de las dos puertas el interruptor abre el circuito, evitando así que el haz láser pueda incidir directamente sobre el operario.
- Pulsador de parada de emergencia: En el lateral izquierdo de la caja eléctrica se ha colocado este pulsador, de manera que sea fácilmente accesible durante la manipulación del equipo. Este dispositivo permite desconectar todos los equipos de manera segura ante cualquier imprevisto que surja durante el proceso de medida.
- Baliza de señalización: Este elemento, situado sobre la caja eléctrica (no representado en las figuras), indica (emitiendo un destello) si el equipo se encuentra en proceso de medición o no. De este modo se pretende que cualquier persona conozca de manera rápida si el equipo está en funcionamiento, y evitar así interferencias en las medidas.
- Tubo fluorescente: Instalado en la parte interior del equipo para mejorar la visibilidad del operario a la hora de manipular los componentes. Se ha elegido este tipo de lámpara para evitar interferir térmicamente en las medidas.
- Cámara de vídeo: Una pequeña cámara se puede ubicar dentro del equipo para observar, en tiempo real, lo que ocurre en su interior durante el proceso de medición.

**REIVINDICACIONES**

1. Equipo de caracterización mediante luminiscencia de muestras de silicio cristalino,  
5 caracterizado por que comprende:  
una estructura principal (3);  
una bandeja porta-muestras (4) extraíble, que dispone de un orificio (41) preparado para soportar una muestra de silicio cristalino (40) en disposición horizontal, donde la muestra de silicio cristalino (40) es una célula solar o una oblea de silicio;
- 10 medios de excitación eléctrica de la muestra de silicio cristalino (40) a través de contactos eléctricos con la superficie superior y con la superficie inferior de la muestra de silicio cristalino (40), para la realización de medidas de electroluminiscencia en el caso de una célula solar;
- medios de excitación óptica de la muestra de silicio cristalino (40), para la realización  
15 de medidas de fotoluminiscencia en el caso de una oblea y una célula solar;
- una cámara (11) para la captación de la luminiscencia emitida por la muestra de silicio cristalino (40), una vez excitada por los medios de excitación eléctrica o por los medios de excitación óptica; y
- un primer (5) y un segundo (6) sistema de sujeción configurados para posicionar la  
20 cámara (11) respectivamente por encima o por debajo de la muestra de silicio cristalino (40), para la realización de medidas de electroluminiscencia o fotoluminiscencia en reflexión, en el caso de una célula solar, o de medidas de fotoluminiscencia en reflexión o en transmisión, en el caso de una oblea de silicio.
- 25 2. Equipo según la reivindicación 1, caracterizado por que los medios de excitación eléctrica comprenden:
- un marco metálico (42) alojado en el orificio (41) de la bandeja porta-muestras (4) y configurado para contactar eléctricamente con la superficie inferior de la muestra de silicio cristalino (40);
- 30 al menos un microposicionador (46) con una punta metálica (49) configurada para contactar eléctricamente con un contacto metálico superior de la muestra de silicio cristalino (40); y
- una fuente de alimentación para polarizar la muestra de silicio cristalino (40) a través de los contactos eléctricos establecidos en su superficie superior e inferior.

35

3. Equipo según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que el primer sistema de sujeción (5) presenta movilidad en un eje vertical y en un eje horizontal.
4. Equipo según la reivindicación 3, caracterizado por que el primer sistema de sujeción (5) comprende:
- 5                    dos perfiles horizontales (25, 26) unidos a la estructura principal (3);  
                     un perfil vertical (27) horizontalmente desplazable entre dichos perfiles horizontales (25, 26);  
                     un primer carro deslizante (13) deslizable a lo largo de dicho perfil vertical (27); y  
10                    medios de sujeción de la cámara (11) al primer carro deslizante (13).
5. Equipo según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que el segundo sistema de sujeción (6) presenta movilidad en un eje vertical y en un eje horizontal.
- 15 6. Equipo según la reivindicación 5, caracterizado por que el segundo sistema de sujeción (6) comprende:
- dos perfiles horizontales (31, 32) unidos a la estructura principal (3);  
                     un perfil vertical (33) horizontalmente desplazable entre dichos perfiles horizontales (31, 32);  
20                    un segundo carro deslizante (14) deslizable a lo largo de dicho perfil vertical (33); y  
                     medios de sujeción de la cámara (11) al segundo carro deslizante (14).
7. Equipo según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que los medios de excitación óptica comprenden un sistema de iluminación láser de diodo directo.
- 25
8. Equipo según la reivindicación 7, caracterizado por que comprende un tercer sistema de sujeción (12) configurado para posicionar un cabezal de iluminación láser (18) con movilidad en un eje vertical y en un eje horizontal.
- 30 9. Equipo según la reivindicación 8, caracterizado por que el tercer sistema de sujeción (12) comprende:
- dos perfiles horizontales (36, 37) unidos a la estructura principal (3);  
                     un perfil vertical (38) horizontalmente desplazable entre dichos perfiles horizontales (36, 37);  
35                    un tercer carro deslizante (15) deslizable a lo largo de dicho perfil vertical (38); y

medios de sujeción del cabezal de iluminación láser (18) al tercer carro deslizante (15).

5 10. Equipo según la reivindicación 9, caracterizado por que los medios de sujeción del cabezal de iluminación láser (18) comprenden un soporte multidireccional (17) que permite un movimiento rotacional del cabezal de iluminación láser (18).

10 11. Equipo según cualquiera de las reivindicaciones 7 a 10, caracterizado por que comprende un homogeneizador cuadrado (44), ubicado entre el cabezal de iluminación láser (18) y la muestra de silicio cristalino (40), configurado para generar un haz de sección cuadrangular.

12. Equipo según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que la cámara (11) es un cámara con sensor InGaAs.

15 13. Equipo según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que la bandeja porta-muestras (4) está unida a la estructura principal (3) mediante dos guías horizontales, y donde el equipo (1) comprende una puerta superior (2a) y una puerta inferior (2b) que respectivamente están ubicadas por encima y por debajo de la bandeja porta-muestras (4), y permiten el acceso a una parte superior (19) del equipo, por encima de la bandeja porta-muestras (4), y a una parte inferior (20) del equipo, por debajo de la bandeja porta-muestras (4).

20

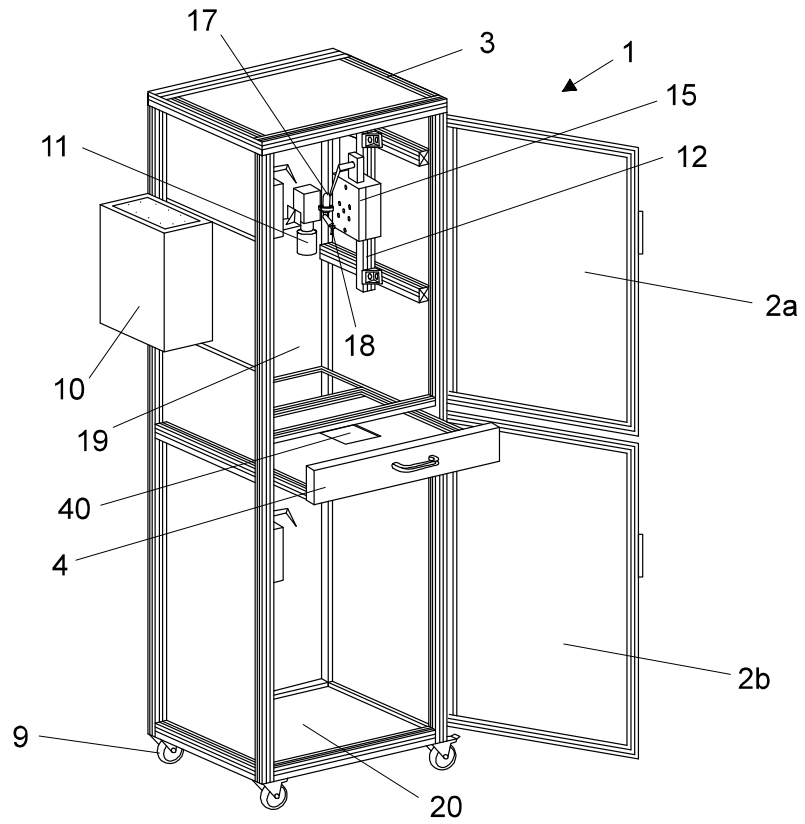


FIG. 1A

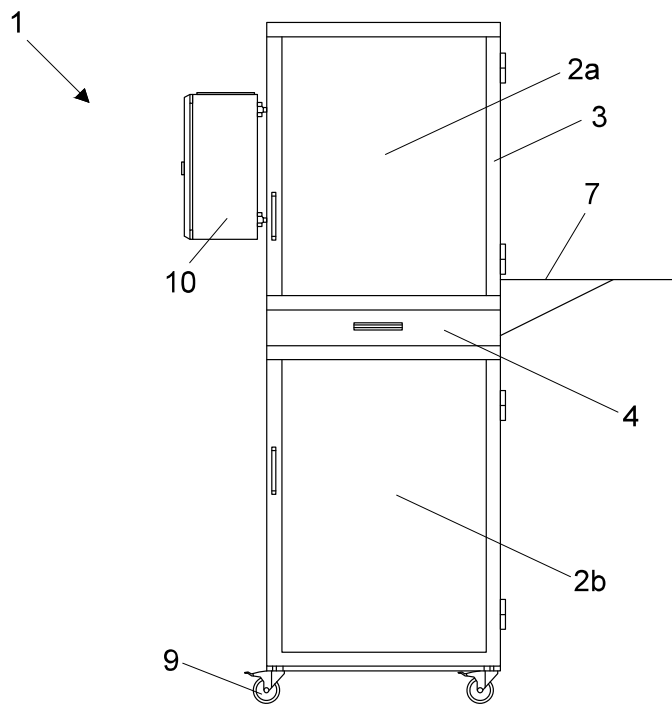


FIG. 1B

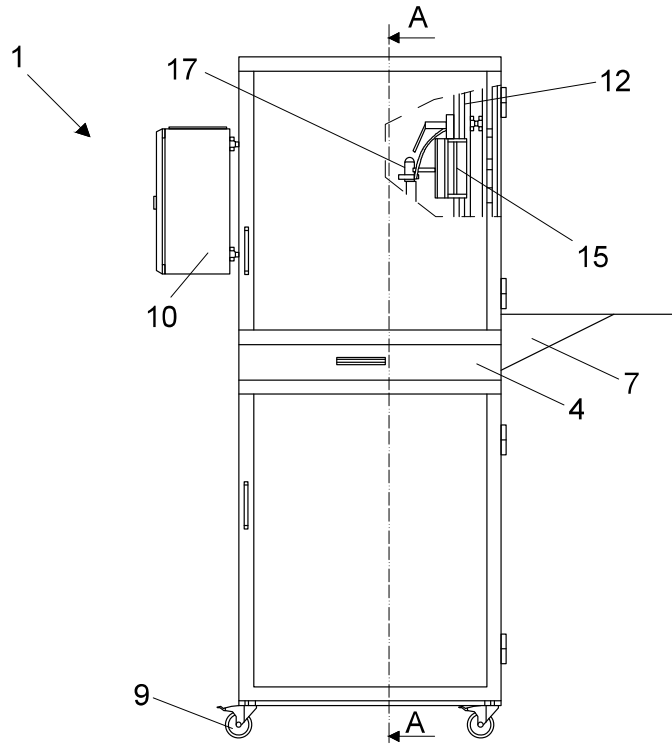


FIG. 1C

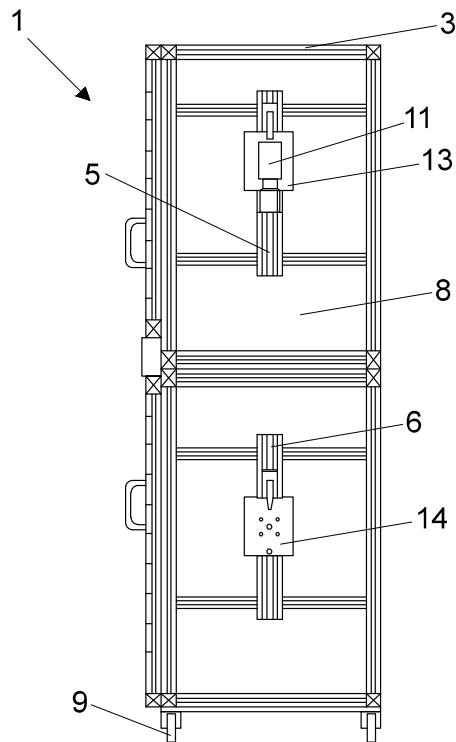


FIG. 1D

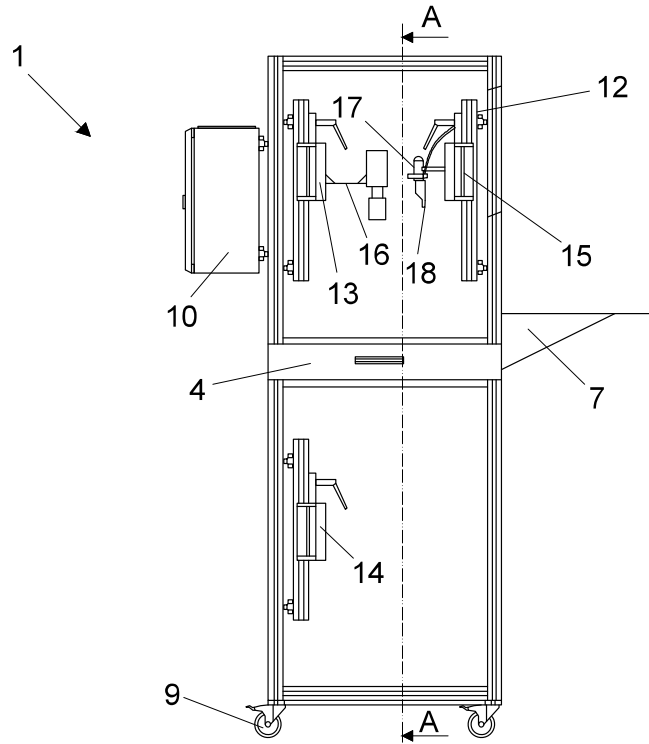


FIG. 1E

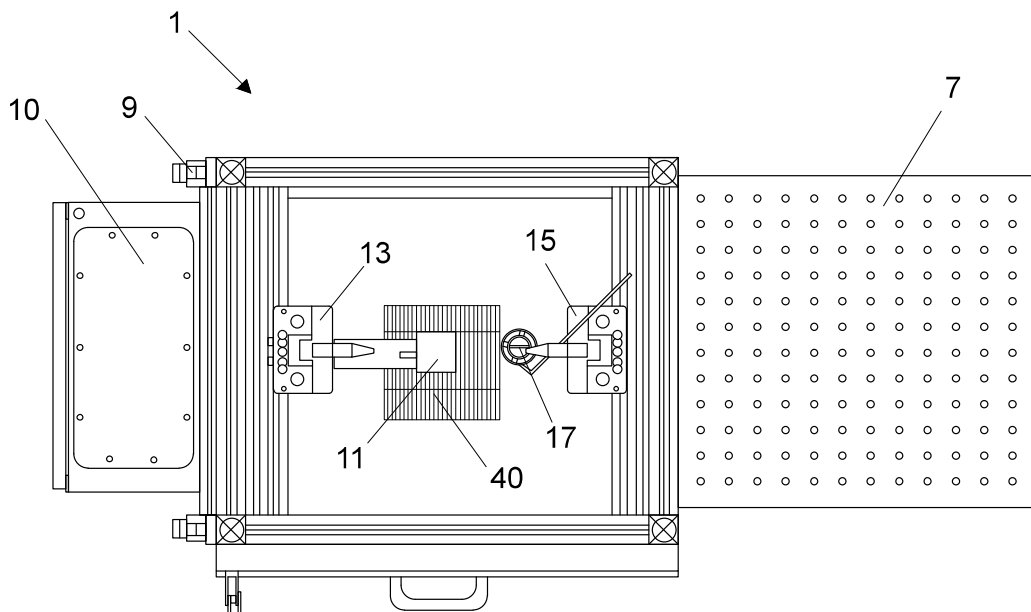


FIG. 1F

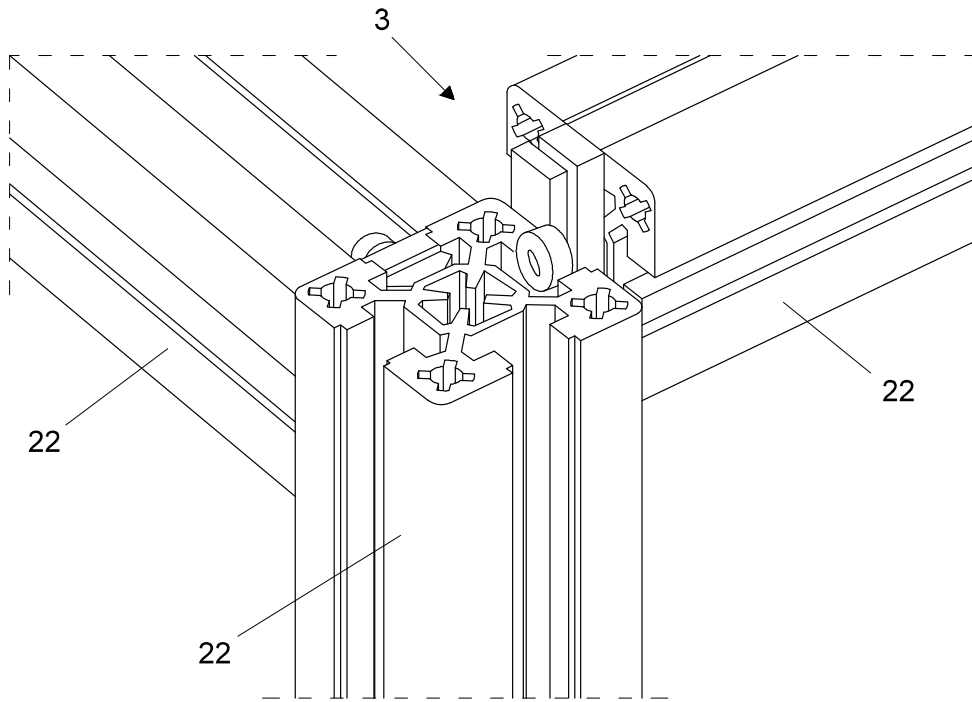


FIG. 2A

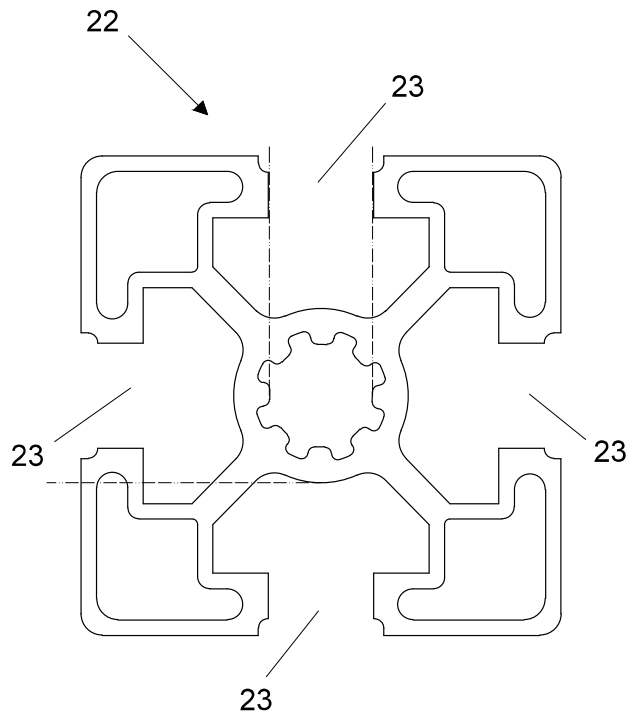


FIG. 2B



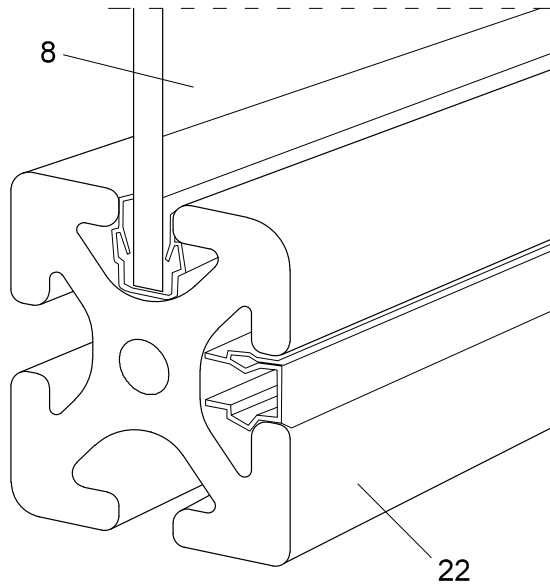


FIG. 3A

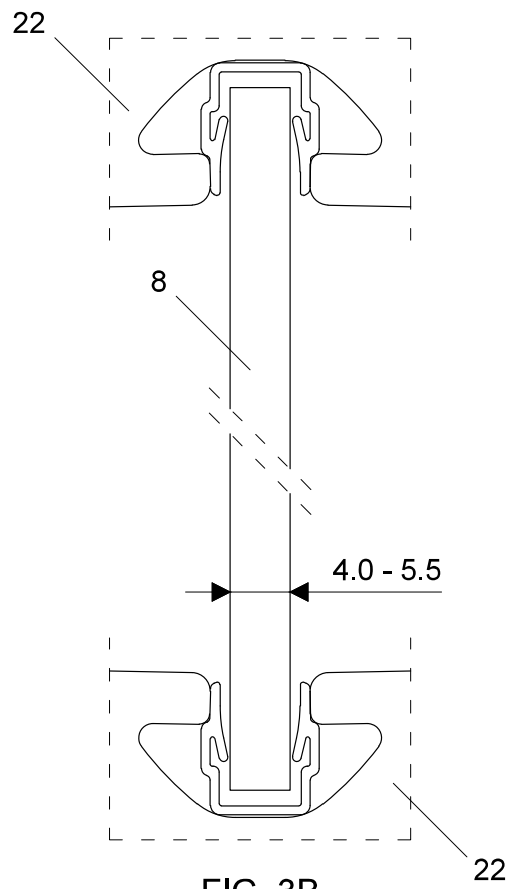


FIG. 3B

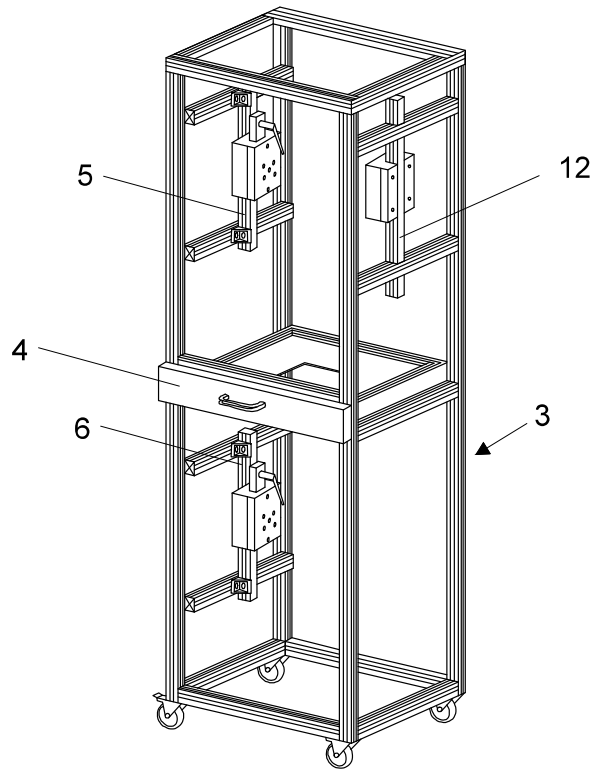


FIG. 4

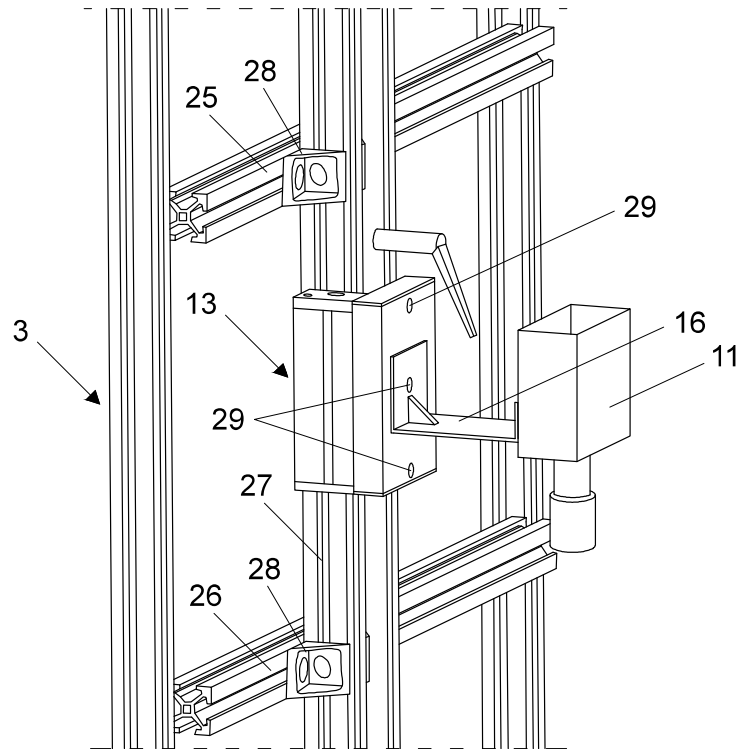


FIG. 5

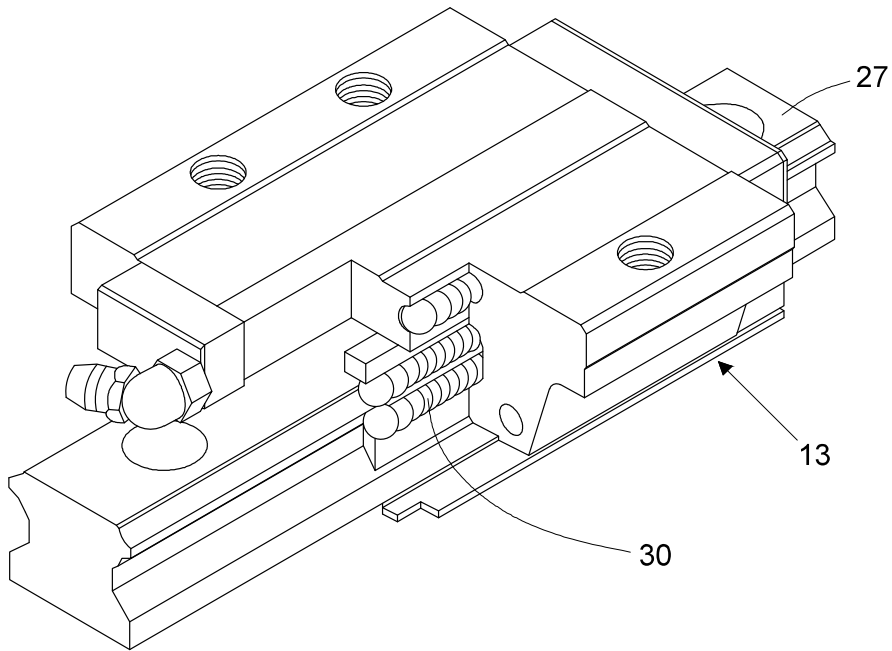


FIG. 6

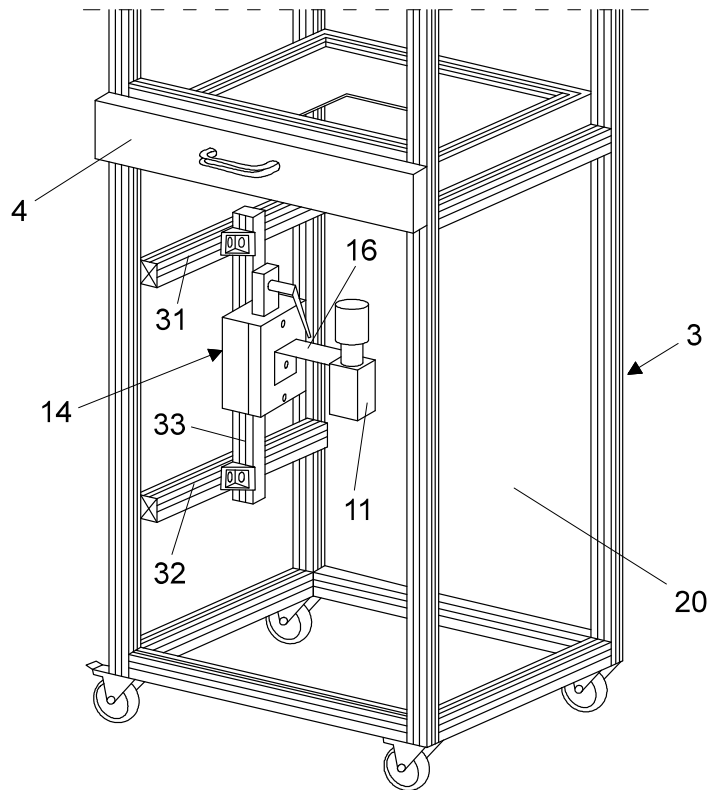


FIG. 7

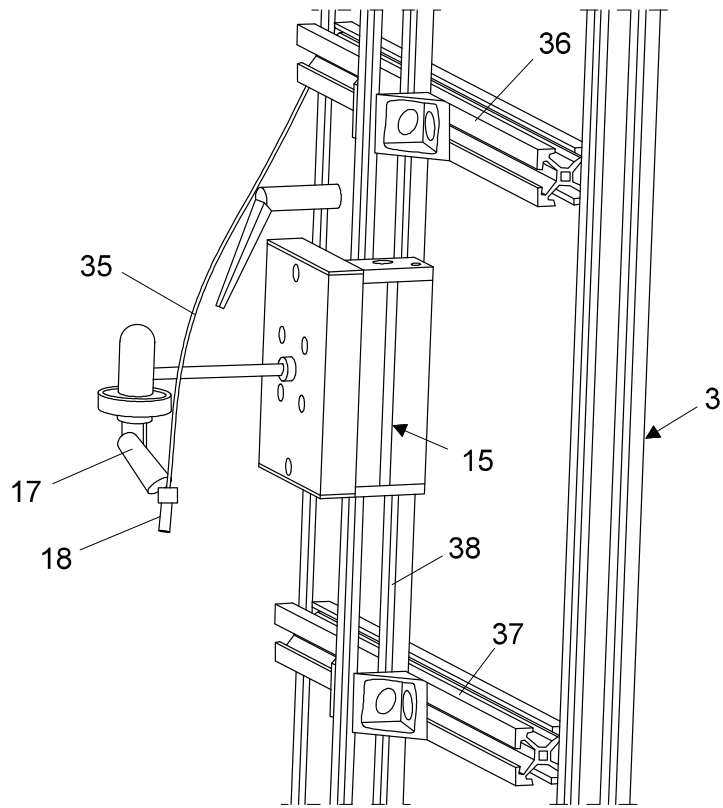


FIG. 8

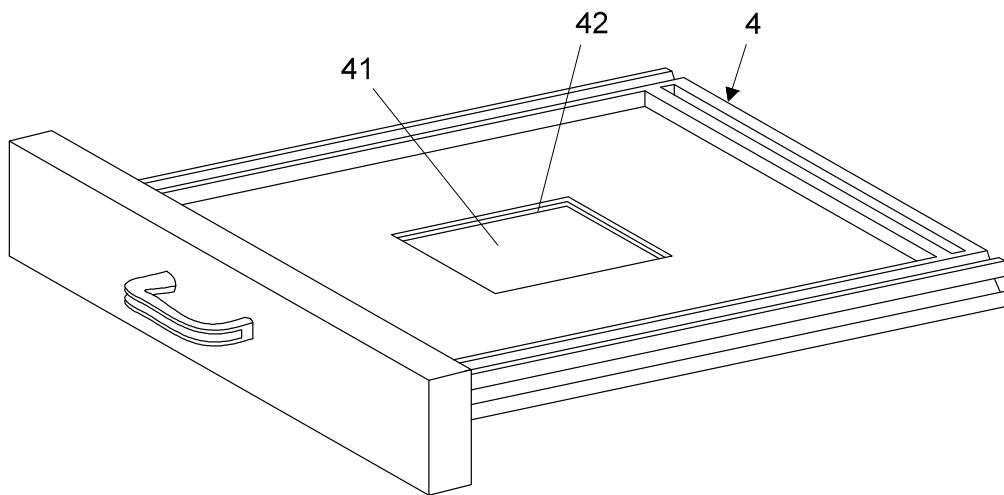


FIG. 9

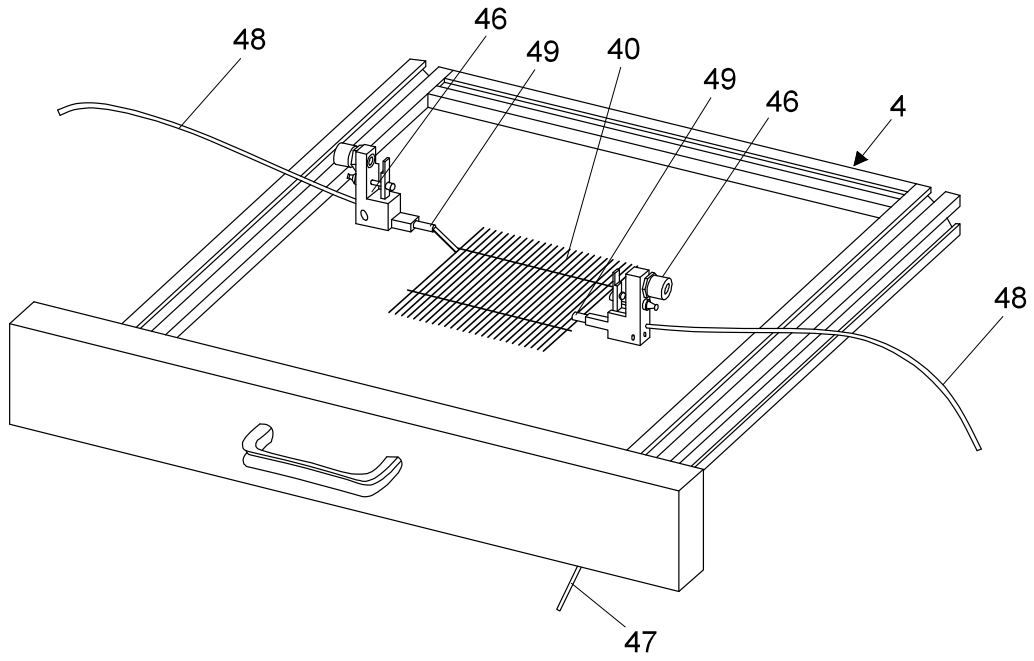


FIG. 10

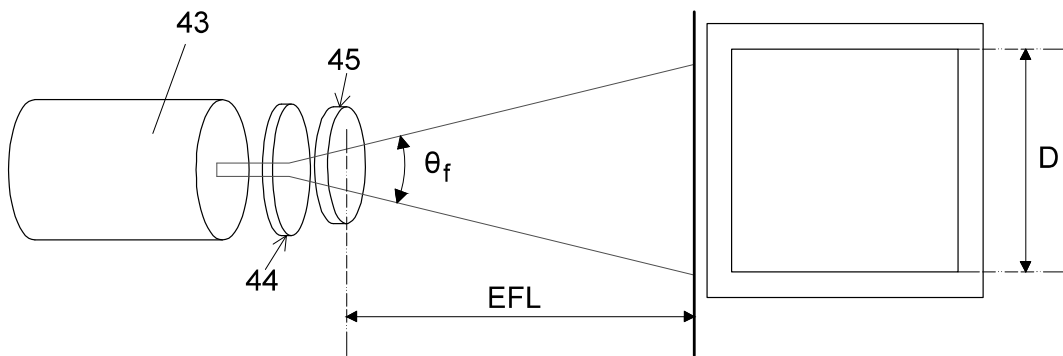


FIG. 11

PARÁMETROS DE ENTRADA	
LONGITUD DE ONDA [nm]	808
MÍNIMO DIÁMETRO DEL HAZ [mm]	>1
PARÁMETROS DEL ELEMENTO	
TIPO DE ELEMENTO	VENTANA
MATERIAL	SÍLICE FUNDIDA
DIÁMETRO (D) [mm]	10 X 10
APERTURA [mm]	9 X 9
ESPESOR (CT) [mm]	0,95
REVESTIMIENTO	ANTI-REFLEJANTE
PARÁMETROS DE SALIDA Y RENDIMIENTO	
FORMA DE SALIDA	CUADRADO
ÁNGULO DE DIFUSIÓN [deg]	10,24 X 10,24
EFICIENCIA DE TRANSMISIÓN	CERCANA AL 100%
EFICIENCIA CONJUNTA	78%

FIG. 12



- ②<sup>1</sup> N.º solicitud: 201731491  
 ②<sup>2</sup> Fecha de presentación de la solicitud: 28.12.2017  
 ③<sup>2</sup> Fecha de prioridad:

INFORME SOBRE EL ESTADO DE LA TECNICA

⑤<sup>1</sup> Int. Cl.: Ver Hoja Adicional

DOCUMENTOS RELEVANTES

Categoría	⑤ <sup>6</sup> Documentos citados	Reivindicaciones afectadas
Y	HINKEN, D. et al. Experimental setup for camera-based measurements of electrically and optically stimulated luminescence of silicon solar cells and wafers. REVIEW OF SCIENTIFIC INSTRUMENTS, 03/03/2011, Vol. 82, Páginas 33706-1 a 33706-9, <DOI: 10.1063/1.3541766>	1-13
Y	US 2015168303 A1 (TRUPKE et al.) 18/06/2015, resumen; párrafo [4]; párrafos [69 - 80]; figuras 1 - 4.	1-13
A	PELOSO, M. Advanced Luminescence-based characterisation of silicon wafer solar cells. Tesis. National University of Singapore, 07/05/2012 [en línea][recuperado el 18/09/2018]. Recuperado de Internet <URL: <a href="http://scholarbank.nus.edu.sg/handle/10635/35055">http://scholarbank.nus.edu.sg/handle/10635/35055</a> >. Páginas 64 a 81	3-6, 8-10, 13

Categoría de los documentos citados

X: de particular relevancia  
 Y: de particular relevancia combinado con otro/s de la misma categoría  
 A: refleja el estado de la técnica

O: referido a divulgación no escrita  
 P: publicado entre la fecha de prioridad y la de presentación de la solicitud  
 E: documento anterior, pero publicado después de la fecha de presentación de la solicitud

**El presente informe ha sido realizado**

para todas las reivindicaciones

para las reivindicaciones nº:

Fecha de realización del informe  
18.09.2018

Examinador  
A. Figuera González

Página  
1/2

## CLASIFICACIÓN OBJETO DE LA SOLICITUD

**G01N21/95** (2006.01)

**G01N21/64** (2006.01)

**G01N21/66** (2006.01)

Documentación mínima buscada (sistema de clasificación seguido de los símbolos de clasificación)

G01N

Bases de datos electrónicas consultadas durante la búsqueda (nombre de la base de datos y, si es posible, términos de búsqueda utilizados)

INVENES, EPODOC, WPI, TXTE, BIOSIS, COMPENDEX, EMBASE, INSPEC, MEDLINE, XPAIP, XPESP, XPI3E, XPIEE, Internet