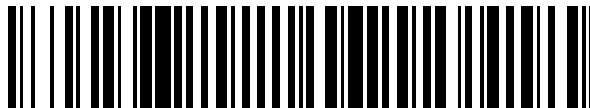


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 402 436**

51 Int. Cl.:

G01T 1/20 (2006.01)

G01T 1/202 (2006.01)

A61B 6/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **08.10.2008** **E 08842809 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **27.02.2013** **EP 2195685**

54 Título: **Dispositivo de formación de imágenes con un centelleador**

30 Prioridad:

10.10.2007 FR 0758202

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

03.05.2013

73 Titular/es:

**COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE ET
AUX ENERGIES ALTERNATIVES (100.0%)
BATIMENT "LE PONANT D" 25, RUE LEBLANC
75015 PARIS, FR**

72 Inventor/es:

**PARTOUCHE-SEBBAN, DAVID y
ABRAHAM, ISABELLE**

74 Agente/Representante:

DE ELZABURU MÁRQUEZ, Alberto

ES 2 402 436 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

Dispositivo de formación de imágenes con un centelleador.

La presente invención concierne a un dispositivo de formación de imágenes que comprende un centelleador.

5 Los dispositivos de formación de imágenes radiográficas (o formadores de imágenes radiográficas) generalmente se utilizan para radiografiar un objeto o realizar la imagen de una fuente radiativa. Consecuentemente, estos encuentran aplicación en las inspecciones no destructivas, la radiografía y la tomografía de objetos o de fuentes de radiación, la gammagrafía, la neutrografía y en cualquier técnica que utiliza la formación de imágenes de radiaciones ionizantes X, beta, gamma, protones, neutrones, etc. Estos dispositivos pueden atender numerosas necesidades que van desde el campo médico a la astronomía y al control de paquetes para la seguridad de los transportes.

10 Se utilizará en adelante el vocablo radiación (o rayo) para mencionar todas las radiaciones ionizantes que pueden dar lugar a una formación de imágenes: X, beta, gamma, protones, neutrones, etc. Igualmente, se utilizará el término formación de imágenes radiográficas cualquiera que sea el tipo de radiación en cuestión.

15 De una manera general, la radiografía de un objeto se efectúa interponiendo el objeto entre una fuente de radiación y un formador de imágenes radiográficas. En lo que respecta a la formación de imágenes de una fuente de radiación, ésta se obtiene colocando un colimador entre la fuente y el formador de imágenes radiográficas. El colimador puede reducirse a un simple agujero de pequeña dimensión y la imagen de la fuente se forma entonces en el formador de imágenes, pero este colimador puede ser más complejo (por ejemplo en el caso de aberturas codificadas de múltiples agujeros, ranuras, etc., o en el caso de formación de imágenes de penumbra) y puede ser necesario un procesamiento digital de las imágenes obtenidas para reconstruir la imagen de la fuente.

20 La adquisición de imágenes radiográficas de la fuente (o del objeto) bajo diferentes ángulos permite efectuar una reconstrucción en tres dimensiones de la fuente (o del objeto) mediante fusión digital de los datos proporcionados mediante las diferentes vistas (técnica denominada tomografía). Tal es el caso, por ejemplo, de la tomografía de emisión de fotón único (TEFU, o SPECT del inglés: "Single Photon Emission Computed Tomography").

25 La formación de imágenes radiográficas se ha desarrollado considerablemente desde el descubrimiento de los rayos X. Las películas radiográficas se acoplaron, en un principio, a unas pantallas reforzadoras cuya función era la de convertir la radiación en luz para facilitar su registro mediante la película. Progresivamente, las películas van siendo sustituidas por sensores electrónicos sensibles a la luz (tales como CCD, del inglés "Charge Coupled Device", fotodiodos, etc.) y las pantallas reforzadoras van siendo sustituidas por centelleadores. El acoplamiento óptico entre el centelleador y el sensor electrónico se lleva a cabo en general mediante lentes o fibras ópticas con una reducción de tamaño de imagen y/o una amplificación de luz eventuales.

30 Las patentes US 6.031.892 y US 6.285.739, por ejemplo, describen dispositivos que utilizan un cristal centelleador, un sensor CCD y una óptica de acoplamiento.

35 En los dispositivos de formación de imágenes radiográficas de este tipo, la calidad de las imágenes depende principalmente de la sensibilidad y de la resolución espacial del conjunto centelleador óptico de acoplamiento y sensor de imagen y del nivel del flujo de fotones que produce la señal. En efecto, la radiación ionizante deposita energía en el centelleador, el cual la libera en forma de luz detectada por el sensor de imagen electrónico. El nivel de ruido en la imagen (y, por tanto, la relación señal a ruido) es así función principalmente de la densidad del centelleador, de la sección eficaz del material de que se constituye (frente al tipo y a la energía de la radiación ionizante en cuestión), del número de fotones luminosos emitidos por el centelleador por unidad de dosis depositada en el material por la radiación (eficiencia luminosa), de la transparencia del centelleador a su propia radiación luminosa y del acoplamiento óptico entre el centelleador y el sensor y de las prestaciones del propio sensor.

40 Por su parte, la resolución espacial está directamente relacionada con el espesor del centelleador. En efecto, el ensanchamiento espacial de la señal en el centelleador traduce la dispersión de la deposición de la energía de los rayos incidentes en su seno (fenómenos de difusión de los electrones y de los fotones secundarios creados por la interacción de la radiación con el centelleador). Cuanto más espeso sea el centelleador, más aumentará la dispersión de la deposición de energía. El aumento del espesor del centelleador incrementa la sensibilidad y la relación señal a ruido de la imagen al propio tiempo que degrada la resolución espacial. Por lo tanto, es difícil realizar un dispositivo a la vez sensible y con buena resolución. La dificultad aumenta con las radiaciones muy penetrantes ya que hay que aumentar el espesor del centelleador para captar una proporción suficiente de rayos incidentes y alcanzar una buena Eficiencia Cuántica de Detección (DQE).

45 Los centelleadores pueden clasificarse en dos familias principales: los centelleadores orgánicos o plásticos (por ejemplo, las pantallas de fósforo) y los cristales centelleadores: Csl, NaI, germanato de bismuto (corrientemente denominado BGO), silicatos de lutecio (LSO, LYSO), etc.

55 Los cristales centelleadores cuentan con una ventaja sobre los centelleadores orgánicos, pues, en la mayoría de los casos, su densidad y su sección eficaz de interacción con la radiación son más elevadas. Con ellos, se ven reducidos significativamente los espesores que han de llevarse a la práctica, para alcanzar un rendimiento de

detección dado, y se ve mejorada la resolución espacial. Además, determinados cristales cuentan con propiedades muy útiles para la formación de imágenes radiográficas: emisión luminosa muy breve temporalmente que faculta registros rápidos y reiterados, muy elevada eficiencia luminosa que faculta pérdidas en el acoplamiento óptico. Se describen cristales eficientes, por ejemplo, en las solicitudes de patente FR 2874021 y EP 1754981.

5 Actualmente, la tecnología de fabricación de estos cristales muy eficientes (con densidad y eficiencia luminosa elevadas), tales como el BGO, el LSO y el LYSO, no permite producir placas de dimensiones suficientes para las aplicaciones corrientes (la necesidad típica es de 300 x 300 mm², e incluso de 400 x 400 mm²). El LYSO y el BGO, por ejemplo, pueden obtenerse actualmente en placas que presentan una eficiencia luminosa uniforme y sin ningún gran defecto hasta unas dimensiones de aproximadamente 60 x 60 mm² y 80 x 160 mm² respectivamente (y para espesores que llegan hasta 30, e incluso 40 mm).

10 Para realizar centelleadores de gran formato (superiores a 100 x 100 mm²), es posible utilizar cristales de Csl o de Nal que se obtienen en dimensiones típicas de 200 x 200 mm² y 400 x 400 mm² respectivamente. No obstante, en cristales de Csl y Nal de estas dimensiones, no deja de haber numerosos defectos y estos cristales son en mayor o menor medida higroscópicos. Además, las prestaciones del dispositivo de formación de imágenes son menos buenas con cristales en Csl o en Nal que con los cristales más densos (tales como BGO, LSO, LYSO) por los motivos anteriormente apuntados.

15 La patente US 7.057.187 y la solicitud de patente FR 2625332 describen sistemas de formación de imágenes radiográficas que utilizan un cristal centelleador (preferiblemente Csl) acoplado con un sensor CCD por medio de una óptica, para radiaciones X cuya energía es de 1 a 100 keV. Los espesores de cristal son respectivamente de 20 50 µm y de 1 mm. Se ha limitado el espesor del centelleador para conservar una buena resolución espacial sacrificando la sensibilidad. Esto conduce ya sea a una degradación de la calidad de la imagen radiográfica, ya sea al aumento del tiempo de exposición necesario para la obtención de una estadística de detección suficiente, o bien al aumento de la potencia de la fuente. Ello puede ser perjudicial en el caso, por ejemplo, de las aplicaciones médicas, en las cuales se debe reducir la dosis recibida por el paciente a la estrictamente necesaria. Ello también puede incidir negativamente en el control de paquetes, ya que el tiempo de inmovilización es determinante para que el sistema sea operativo.

20 La publicación "A high quantum efficiency prototype video based portal imaging System" de Samant *et al.*, in Journal of X-ray Science and Technology 14 (2006, pp. 161-175) da un ejemplo de centelleador de Csl de 12 mm de espesor y de 170 x 170 mm² de superficie acoplado a un CCD por medio de un objetivo fotográfico. Este dispositivo queda limitado por las dimensiones disponibles de centelleador. Por otro lado, es difícil fabricar un cristal centelleador de gran dimensión sin ninguna imperfección en la masa. En el ejemplo citado, el cristal presenta aproximadamente de 20 a 30 imperfecciones (burbujas de aire) distribuidas aleatoriamente en la masa del centelleador. Estos defectos difunden la luz generada por el centelleador e inducen unos picos de intensidad (indeseables) en la imagen final. Sin embargo, para la fabricación de centelleadores de pequeña dimensión y/o de escaso espesor, es posible seleccionar y tallar el cristal en porciones exentas de cualquier defecto.

35 Otra solución conocida para realizar centelleadores de gran formato es utilizar la técnica de la segmentación, que permite obtener una buena resolución espacial al propio tiempo que conserva una sensibilidad suficiente en los dispositivos de formación de imágenes radiográficas de alta energía. Esta técnica es de corriente aplicación en los centelleadores de tipo BGO, LSO, LYSO, BaF₂, etc.

40 De acuerdo con esta técnica, la cara del centelleador que recibe la radiación es dividida en elementos pequeños 50 (figura 9), separados ópticamente y que, por lo tanto, transmiten cada cual la luz (fotones, en general en el campo de lo visible) generada en su seno. Por lo tanto, cada elemento determina una guía de luz y los elementos se ensamblan mecánicamente para conformar el centelleador 52 (figura 8).

45 En la práctica, los elementos pequeños 50 se hallan separados por paredes opacas con el fin de impedir que la luz producida en cada uno de ellos llegue a los elementos adyacentes. La luz es guiada eventualmente hacia la cara de salida 54 del centelleador en virtud de un tratamiento de las caras laterales 56 de los elementos centelleadores (caras adyacentes a los demás elementos similares, véase figura 9). Este tratamiento se adapta generalmente para obtener una reflexión especular (pasando, adicionalmente, por el pulido de las caras laterales de los segmentos) en orden a optimizar la eficiencia luminosa. En efecto, la recuperación de imagen a menudo se halla en contacto con el centelleador y el acoplamiento óptico se efectúa a una gran apertura numérica (por ejemplo, en el caso del acoplamiento del centelleador a un bloque de fibras ópticas o a un amplificador de luminancia). Sin embargo, en el caso de un acoplamiento óptico a una menor apertura numérica (caso de un sistema que utiliza un CCD y un objetivo fotográfico), resulta más adaptado (y menos costoso) propiciar la difusión de las caras laterales de los segmentos para aumentar la eficiencia luminosa en la dirección del eje de los segmentos (véase, por ejemplo, la publicación de Quillin & Aedy, "A pixelated BGO scintillator array for high energy flash radiography", Nuclear Symposium Conference Record, IEEE 2004, Vol. 2, pp. 794-797).

55 La cara posterior 58 (opuesta a la recuperación de la luz), por su parte, con frecuencia es tratada en orden a reflejar la luz y aumentar el flujo luminoso enviado hacia el detector (puede tratarse de una deposición metálica o simplemente de una pintura blanca).

En ciertos casos, se añaden unas paredes laterales 60 entre los elementos 50 de centelleador (figura 10) para reducir la difusión de las partículas secundarias (electrones, fotones, por ejemplo). Estas paredes se constituyen generalmente de metal (aluminio, acero, tungsteno).

5 Las patentes y solicitudes de patente US 3.344.276, GB 2167279, GB 2034148, US 5.773.829, US 5.329.124, US 6.344.649, US 2005/0104000, US 7.238.945, US 2005/0115197 describen diferentes centelleadores segmentados contruidos con este principio.

10 El principal inconveniente de los formadores de imágenes radiográficas con centelleador segmentado radica en su coste, ya que requieren el corte y el ensamble minucioso de elementos muy numerosos, ya que el tamaño de píxel debe ser cercano a la resolución espacial perseguida. Por otro lado, es difícil obtener un ensamble perfectamente regular y cuya sensibilidad no varía demasiado de un segmento a otro. La corrección de estos defectos implica la puesta en práctica de posteriores procesamientos digitales de la imagen, más o menos elaborados, que inducen una pérdida suplementaria en la calidad de la imagen final (relación señal a ruido y resolución efectiva).

15 Finalmente, se han propuesto estructuras diferentes para optimizar el acoplamiento óptico entre el centelleador y el sensor, con la idea de limitar parte de la dispersión de la luz procedente del centelleador y guiarla hacia el detector. Las patentes US 6.881.960 y US 7.112.797 proponen soluciones de centelleador monobloque semisegmentado en una parte de su espesor. La patente US 5.753.918 describe elementos centelleadores curvos con tratamientos ópticos reflectantes o difusivos. La patente US 6.737.103 propone asociar una matriz de microlentes ópticas para guiar la luz producida en el centelleador. Estas soluciones aumentan el coste del centelleador y no solucionan el problema de los centelleadores cristalinos de gran formato. Además, la estructuración conduce, al igual que para los
20 centelleadores segmentados, a molestos defectos sobre las imágenes radiográficas.

La presente invención tiene por finalidad proponer un dispositivo de formación de imágenes radiográficas basado en un módulo centelleador de grandes dimensiones.

Para este fin en particular, se propone un dispositivo de formación de imágenes según se describe en la reivindicación 1.

25 Los fotones en cuestión en el presente documento son fotones luminosos cuyo espectro corresponde al rango de longitudes de onda de la luz reemitida por el material centelleador, en general en el campo del espectro visible.

30 El módulo centelleador está así conformado a partir de un ensamble de varias placas de cristales centelleantes que comprende al menos dos placas. La solución propuesta permite realizar un dispositivo de formación de imágenes radiográficas de formato superior al límite de dimensión de fabricación de los cristales centelleantes esencialmente exento de defectos. Esta permite adicionalmente proporcionar una alternativa menos costosa al sector de los detectores segmentados, eventualmente permitiendo al propio tiempo realizar sistemas de formación de imágenes radiográficas de alto poder de frenado y con buena resolución espacial.

35 Las placas tienen, por la propia definición de esta palabra, una dimensión (el espesor de las placas) relativamente pequeña, en cualquier caso inferior a las otras dos dimensiones generales de la placa; en la práctica, el espesor es generalmente inferior a la mitad de la más pequeña de las otras dos dimensiones (y, por tanto, inferior a la mitad de cada una de las otras dos dimensiones). El canto de cada placa corresponde, igualmente por definición, a las caras de esa placa orientadas según el espesor, es decir, según un eje perpendicular a las dos caras más grandes de la placa (caras ópticas).

40 Las placas son generalmente paralelepípedicas pero se pueden utilizar formas diferentes (por ejemplo bloques hexagonales). También cabe la posibilidad de realizar centelleadores curvos (cilíndricos, por ejemplo) mediante ensamble de placas que cuentan con una cierta curvatura.

45 La utilización de medios de ensamble (o de unión) absorbentes para los fotones de interés (es decir, para la luz reemitida por el material centelleador) evita cualquier consecuencia nefasta del ensamble (relacionada con la presencia de un plano de junta) sobre la imagen generada por el dispositivo. El coeficiente de absorción frente a los fotones luminosos emitidos por el centelleador es en la práctica de al menos el 50 % en el espesor de la unión, es decir, según una dirección esencialmente perpendicular al canto de las placas ensambladas.

Los medios de unión pueden incluso contar con un coeficiente de absorción de al menos el 90 % en el espesor de dicha unión, lo cual permite disminuir muy fuertemente la difusión de luz por los planos de junta.

50 Con carácter general, el porcentaje de absorción podrá ser adaptado en función de la aplicación de que se trate en orden a generar el nivel de señal que interesa en el lugar de la junta, por ejemplo escogiendo la composición de los medios de unión tal como se explica más adelante. Es posible, entre otras cosas, obtener un nivel de señal en la junta cercano a la señal media producida por el centelleador en su conjunto.

Se prevé generalmente en la práctica que el segundo material es idéntico al primer material, aunque en ciertas aplicaciones sea posible utilizar dos materiales distintos.

De acuerdo con una forma de realización concebible, el primer material es un cristal, cuyas propiedades de reemisión de luz son interesantes según ya se ha explicado. En tal caso, puede tratarse de un material de masa por unidad de volumen superior a 5 g/cm^3 . Tales cristales tienen en efecto un intenso poder de frenado y, por tanto, dan resultados interesantes en la aplicación estudiada en el presente documento.

5 Como variante, podría tratarse de materiales centelleadores orgánicos o plásticos.

En la forma de realización que se propone y se describe más adelante, los medios de unión comprenden un pegamento absorbente en una parte al menos del espectro visible. Este pegamento absorbente incluye por ejemplo un aditivo colorante, tal como un polvo de carbón coloidal.

10 Se propone asimismo un módulo centelleador que comprende un centelleador según acaba de ser reseñado y un elemento de estructuración (relativamente rígido) esencialmente paralelo a una de las dos caras mayores de la (primera) placa (preferentemente la cara de entrada) y ensamblado a esa cara de la (primera) placa y a una cara de la segunda placa al menos. Se obtiene así un módulo rígido en modo suficiente para aplicaciones prácticas.

15 Se propone también un módulo centelleador que comprende un centelleador según se ha reseñado anteriormente o un módulo centelleador según acaba de ser reseñado, así como un bastidor de estructuración que abraza al centelleador (o, en su caso, al módulo centelleador antes reseñado) en orden a posicionar y a rigidizar el centelleador. El bastidor desempeña así la función de interfaz mecánica.

20 La invención propone así un dispositivo de formación de imágenes que comprende un centelleador según se ha descrito antes, un sensor de imagen y unos medios ópticos de acoplamiento del centelleador al sensor. En este dispositivo, la (primera) placa y la segunda placa son aptas cada una de ellas para formar una imagen (que comprende una pluralidad de píxeles) destinada para el sensor.

25 Se prevé por ejemplo que las dimensiones de la primera placa y las de la segunda placa orientadas según el plano de extensión de la placa (es decir, paralelas a las dos caras más grandes de la placa o perpendiculares a la dirección del espesor de la placa) son superiores a diez veces la resolución espacial del dispositivo de formación de imágenes en el plano del centelleador, es decir, que cada placa o bloque forma para el sensor una imagen que comprende más de 10 píxeles en cada dimensión. En la práctica, cada placa corresponde incluso con frecuencia a más de 50 píxeles del sensor en cada dimensión.

Los medios ópticos pueden recoger así los fotones emitidos en una dirección esencialmente perpendicular al plano de extensión de la (primera) placa.

30 El acoplamiento óptico entre el centelleador y el sensor se puede realizar con una pequeña apertura numérica objeto, a saber, en general una apertura inferior a 20 grados de semiángulo. La apertura numérica objeto puede incluso ser inferior a 5 grados de semiángulo.

Se propone un procedimiento de fabricación de un centelleador, que comprende las siguientes etapas:

35 - conformación de una primera placa de un primer material apto para emitir fotones en función de una radiación incidente y de una segunda placa de un segundo material apto para emitir fotones en función de la radiación incidente;

- ensamble de la primera placa y de la segunda placa por el canto de la primera placa con interposición de unos medios de unión absorbentes.

Se puede prever asimismo que los medios de unión sean compresibles y que el procedimiento comprenda una etapa de aplicación de una presión según una dirección paralela al plano de extensión de la primera placa.

40 Según ya se ha comentado, se puede contemplar adicionalmente una etapa de ensamble de un elemento de estructuración esencialmente paralelo a una de las dos caras mayores de la placa con esa cara de la placa y con una cara del bloque.

Otras características y ventajas de la invención se irán poniendo de manifiesto a la luz de la descripción que sigue, hecha con referencia a los dibujos que se acompañan, en los que:

45 la figura 1 representa el esquema de principio de realización de un dispositivo de formación de imágenes radiográficas conforme a la invención;

la figura 2 representa un modo de realización concebible para el dispositivo de la figura 1, que utiliza un bastidor rígido;

50 la figura 3 representa un modo de realización concebible para el módulo centelleador de escaso espesor del dispositivo de la figura 1;

la figura 4 representa los elementos esenciales que intervienen en la parte óptica del dispositivo de la figura 1;

la figura 5 compara dos centelleadores de índices diferentes;

la figura 6 da el esquema general de un ejemplo de implementación práctica del dispositivo de la figura 1;

la figura 7 es una vista en despiece ordenado de los elementos concretamente empleados en el ejemplo de la figura 6; y

5 las figuras 8 a 10, ya descritas, presentan la técnica conocida de los centelleadores segmentados.

Se describe con referencia a la figura 1 un procedimiento de ensamble de los cristales entre sí a efectos de conformar un módulo centelleador 2. La forma de realización descrita en el presente documento prevé las siguientes etapas:

10 - Las placas elementales 4, 5 son talladas en el mismo macizo cristalino (o provienen de una misma serie de producción) con el fin de presentar la misma eficiencia luminosa y permitir la fabricación de un formador de imágenes de sensibilidad uniforme en toda su superficie. Las placas elementales también son pulidas ópticamente por todas las caras y son del mismo espesor para limitar las fuentes de difusión de luz en el módulo acabado. Se presta un particular esmero al pulido de las caras (cantos) de las placas destinadas a ser pegadas entre sí según se describe seguidamente: especialmente, en el pulido hay que procurar no romper/achaflanar las aristas de esas caras a riesgo de obtener, en el módulo ensamblado, unas intercaras cuyo espesor aparente es demasiado elevado.

15 - Se elige un pegamento adecuado en función del material centelleador: éste debe permitir una buena adhesión sobre el material seleccionado pero también debe ser suficientemente fluido para permitir el pegado bajo prensa de las placas elementales con el fin de reducir al mínimo el espesor de las juntas de pegamento (y, por tanto, de las intercaras entre las placas o bloques). Puede ser conveniente, por ejemplo, un pegamento LOCTITE® 326.

20 - En general, los pegamentos disponibles en el mercado no son absorbentes. El pegamento seleccionado se mezcla entonces con un aditivo colorante cuya misión es la de absorber los fotones luminosos producidos por el centelleador. Este aditivo puede ser, por ejemplo, un fino polvo de carbón coloidal (del mismo tipo que el utilizado para los tóneres de fotocopiadora o de impresora) en orden a hacer el pegamento suficientemente absorbente sin modificar por ello demasiado sus prestaciones de pegado. La adición de polvo de carbón a razón de un tanto por

25 ciento pequeño en volumen es suficiente en general para dar al pegamento las propiedades ópticas esperadas.

30 - El pegamento hecho absorbente se deposita sobre los cantos de las placas 4 que han de ensamblarse.
- El ensamble por pegado se efectúa bajo prensa (aplicando una ligera presión destinada simplemente a expulsar un máximo de pegamento y reducir al mínimo el espesor de la junta) y se limpia el pegamento sobrante antes de la polimerización. En el caso del ensamble de cristales en una longitud de 10 a 15 cm (y en un espesor de uno a algunos centímetros), es posible realizar por ejemplo juntas de pegamento 6 de 100 a 200 µm de espesor.

Cabe destacar que, si bien los cristales centelleadores conformantes del módulo antes descrito son de igual naturaleza (con las ventajas apuntadas), es posible como variante crear un módulo centelleador constituido a partir de cristales de diferentes naturalezas.

35 Se describe a continuación, con referencia a las figuras 1 a 3, un tratamiento concebible de la cara posterior 8 y de las caras laterales 10 del módulo a efectos de optimizar la resolución y la uniformidad luminosa (homogeneidad de la eficiencia luminosa) del módulo centelleador.

40 Por lo que se refiere a las caras laterales 10 del módulo 2, con el fin de conservar una buena uniformidad de imagen en los bordes (a través de la uniformidad de la eficiencia luminosa espacial), se propone hacerlas absorbentes, poco difusoras y opacas con el fin de limitar los efectos de borde. Este resultado se obtiene en virtud del pulido óptico de las caras laterales 10, sobre las cuales se aplica una pintura negra mate (o cualquier otro revestimiento absorbente y opaco).

45 En el caso de un producto industrial generalmente es necesario, según se representa en la figura 2, pegar el módulo dentro de un soporte/bastidor rígido 12 (de plástico o de metal) que eventualmente podrá servir de unión con el sistema de adquisición de imagen 16. En su caso, hay que modificar entonces las propiedades ópticas del pegamento (o del elastómero) utilizado, incorporándole polvo de carbón coloidal según el mismo procedimiento que el descrito para el pegado de los cristales entre sí. El espesor de la junta de pegamento 14 o del elastómero no necesariamente requiere ser delgado en esas caras laterales 10 e incluso puede ser útil utilizar una junta de pegamento 14 flexible y espesa para desacoplar los eventuales choques y vibraciones transmitidos al cristal. En concreto, si el módulo 2 está destinado para una utilización en un entorno que induce considerables choques o

50 vibraciones (aplicaciones aeronáuticas o espaciales, por ejemplo), se puede contemplar eventualmente no pulir las caras externas del ensamble (dejándolas cortadas en bruto) para propiciar la adherencia y la durabilidad del pegamento. Si bien la rugosidad del borde inducirá entonces difusión de luz y la junta de pegado 14 aparecerá más brillante que la masa del cristal, este defecto es aceptable en las aplicaciones en las que la imagen útil queda centrada en el detector y por los bordes de la imagen se encuentra poca información útil.

Una posibilidad de mejora de este procedimiento es la de pulir nuevamente después del pegado las caras de entrada y de salida del centelleador (perpendiculares al plano de junta) con el fin de reducir el espesor de pegamento cerca de la superficie. En efecto, éste tiende a aumentar debido a micro-chaflanes residuales o micro-esquirlas presentes sobre las aristas de las placas y de los bloques.

- 5 Finalmente, según se ilustra en la figura 1, la cara posterior 8 del módulo (situada en el lado opuesto al sensor electrónico de imagen) debe, por una parte, ser opaca para que el sensor no detecte las fuentes de luz ambiente observables a través del cristal y, por otra, ser absorbente para no degradar la resolución de sistema (por reflexión de luz en dirección a la óptica de detección). Una solución interesante es la colocación de una pantalla negra mate (por ejemplo una hoja de papel encartonado negro mate cuyos color negro y aspecto rugoso cumplen la función con eficiencia).

10 La aplicación de una pintura negra mate sobre la cara posterior 8 del centelleador es igualmente posible, pero menos interesante atendiendo a la eficiencia: el acabado de la capa de pintura (del lado sensor de imagen) en efecto sería perfectamente liso habida cuenta del pulido óptico del cristal (que es necesario para garantizar una buena uniformidad de la imagen producida) y por lo tanto el revestimiento conservaría un aspecto brillante, lo cual limitaría el poder absorbente esperado.

15 Para realizar un módulo centelleador de grandes dimensiones pero de escaso espesor (típicamente inferior a 3-4 mm), se propone por otro lado en el presente documento utilizar una estructuración 20 (por ejemplo en forma de placa) adaptada para conservar una buena rigidez del conjunto de las placas de material centelleador. Así por ejemplo, la cara posterior del centelleador debe pegarse sobre un elemento estructurante 20 según se ilustra en la figura 3, que no perturbe demasiado las prestaciones del sistema y cuyo material debe ser elegido en función de la radiación ionizante en cuestión. Por ejemplo, en el caso de la radiación X o gamma, habrán de evitarse los materiales metálicos porque estos introducen una atenuación de la radiación (que puede ser importante para las energías más bajas) y porque producen electrones, por efecto de la radiación, que interactúan con el centelleador y degradan parcialmente la resolución espacial del sistema. Estaría más adaptado un material poco denso y no luminescente por efecto de la radiación (tal como, por ejemplo, el Delrin®, que es un polioximetileno). Puesto que es necesario pegar los cristales ensamblados sobre la placa estructurante 20 (y que, por tanto, la utilización de la pantalla negra mate ya no es posible en este caso), es preferible hacerlo con un pegamento o un elastómero opaco y absorbente 22, según se ha descrito anteriormente para el pegado de las caras externas del ensamble sobre un bastidor metálico.

- 20 Se describe a continuación un ejemplo de integración de un centelleador de este tipo en un dispositivo de formación de imágenes que utiliza un sensor CCD.

25 Con carácter general, cuando se acopla el módulo centelleador 30 a un sensor de imagen a una pequeña apertura numérica, por ejemplo, por medio de un sensor CCD 15 y de un objetivo fotográfico 17, 34 (según se ilustra en la figura 1 y se muestra más detalladamente en la figura 4), la utilización de módulos espesos (de múltiples centímetros) permite aumentar la eficiencia cuántica de detección del sistema sin degradar por ello de manera irremediable la resolución del sistema (ésta se mantiene, en efecto, de 1 a varios milímetros). En el límite de resolución del sistema en un dispositivo de este tipo contribuyen varios parámetros y, especialmente, los dos factores dominantes son la dispersión de la deposición de energía en el centelleador y el tamaño del vóxel 32 (volumen elemental observado por un píxel CCD 36). Las dimensiones del vóxel 32 dependen del índice óptico n y del espesor del centelleador, de la apertura numérica objeto α del objetivo 34 (y de su resolución), así como del tamaño del píxel CCD 36, según se ilustra en la figura 4. La dimensión radial del vóxel 32 por las caras de entrada y de salida del cristal disminuye con el incremento del valor del índice óptico del cristal. La figura 5 ilustra el acoplamiento de una óptica dada con unos cristales de igual espesor pero de diferentes índices n_1 y n_2 , para una apertura numérica objeto α fijada.

30 Para minimizar el tamaño observado del vóxel por un píxel CCD 36 y producir así un formador de imágenes con buena resolución, este módulo centelleador debe ser acoplado a un sensor de imagen (CCD por ejemplo) con una recuperación óptica que recoge la luz emitida por el módulo a una pequeña apertura numérica objeto, típicamente del orden de 5 grados de semiángulo (señalado con α en las figuras 4 y 5) para módulos con espesores de múltiples centímetros.

35 Este tipo de acoplamiento se obtiene con facilidad por ejemplo con un objetivo fotográfico del mercado, cuyo diámetro de apertura es típicamente inferior a 8 cm, con la condición de ubicar el objetivo, y el sensor CCD, a una distancia suficiente del módulo centelleador (por ejemplo, para un objetivo cuyo diámetro de apertura es de 8 cm, hay que ubicar el objetivo a más de 45 cm para observar el módulo a una apertura numérica objeto de menos de 5 grados de semiángulo).

40 Sin embargo, esta configuración de acoplamiento reduce la cantidad de fotones luminosos que alcanzan el sensor CCD. Para una aplicación dada, por lo tanto, se puede contemplar limitar esa distancia entre el módulo centelleador y la óptica de acoplamiento al valor mínimo aceptable para la resolución que interesa y seleccionar un sensor CCD cuya sensibilidad permite compensar este escaso rendimiento de recogida de la luz. Si los niveles de radiación que han de detectarse son muy pequeños, puede incluso ser necesario seleccionar un sensor dotado de un amplificador

de luminancia o utilizar un sensor refrigerado o amplificado. Un amplificador de luminancia también puede ser necesario por su función de obturación rápida, pero su presencia contribuiría a disminuir sensiblemente la resolución del sistema. Los cristales densos (y, por tanto, con elevado poder de frenado) y de alta eficiencia luminosa anteriormente comentados también son totalmente indicados para la detección de los pequeños niveles de radiación.

Para optimizar la resolución del sistema global, el plano objeto del objetivo 34 (plano de focalización F) debe estar localizado en el interior del módulo centelleador. La posición óptima depende de numerosos parámetros: índice del cristal centelleante, apertura numérica objeto del objetivo (parámetro α en la figura 4), tamaño del píxel 36, magnificación y resolución del objetivo 34, dispersión de la deposición de energía en el centelleador (para la radiación ionizante en cuestión), etc. En la práctica, si se ha adaptado el espesor de cristal a la radiación en cuestión (es decir, bastante espeso para detener un porcentaje suficiente de partículas ionizantes pero no demasiado como para limitar la pérdida de resolución del dispositivo), una configuración óptima de primera categoría es la de dimensionar el sistema para que el objetivo focalice en pleno centro del volumen del módulo centelleante (véase figura 4).

La magnificación de la recuperación óptica (elegida a través de la focal del objetivo) debe permitir minimizar la repercusión del plano de junta determinado por el pegamento absorbente depositado entre las placas constitutivas del centelleador proyectándolo sobre un pequeño número de píxeles: por ejemplo, un objetivo fotográfico estándar del mercado permite des-magnificar la escena observada en varios factores enteros para proyectarla sobre un campo adaptado a las películas de 24 x 36 mm. Siendo el tamaño típico de un píxel CCD dirigido al público en general de aproximadamente 10 μm y del orden de 100 a 200 μm la dimensión de la junta de pegado, una des-magnificación en un factor de 5, por ejemplo, permite reducir la repercusión del plano de junta a una dimensión de 2 a 4 píxeles en un sensor CCD.

El sistema, tal y como está descrito, permite realizar un dispositivo de formación de imágenes radiográficas que utiliza un módulo centelleador de gran dimensión constituido a partir de un ensamble de varias placas de cristales centelleantes, limitando la influencia de las intercaras entre los cristales ensamblados sobre la imagen radiográfica final.

El procedimiento de fabricación antes descrito permite obtener un centelleador en el que se minimiza la cantidad de luz proveniente de la junta de pegado (y, por tanto, la señal en la junta de pegado). Si es necesario obtener imágenes radiográficas en las cuales las juntas de pegado no (o prácticamente no) son aparentes, generalmente es posible conseguirlo eligiendo la proporción adecuada de polvo de carbón coloidal y de pegamento en orden a generar el mismo nivel de señal en el lugar de la junta que la señal media producida por el cristal. Se puede notar en efecto que la proporción de la mezcla depende del sistema completo en su configuración óptica definitiva, especialmente del espesor del cristal, de su naturaleza y de la resolución del sistema óptico y del sensor. Para determinarla, se puede proceder por ejemplo a diferentes ensayos de pegado sobre pequeñas muestras de cristales (de espesor representativo del espesor final del ensamble) y caracterizarlos por medio de la fuente de radiación en las condiciones finales de utilización (es decir, con el objetivo y el sensor seleccionados). Para ahorrar tiempo en esta experimentación, se recomienda realizar ensayos de mezcla de polvo de carbón y de pegamento y observar su transparencia visualmente antes de proceder a los ensayos. Una mezcla de apariencia semitransparente es un buen indicador de partida.

Se destaca que, con carácter general, es preferible utilizar al menos un espejo de reenvío entre el módulo centelleador y el sistema óptico (objetivo y CCD) para ubicar el CCD fuera del flujo radiativo (pero también las ópticas del objetivo que podrían emitir luz por efecto Cerenkov para determinados tipo y energía de radiación). Por otro lado, la estructura mecánica que encapsula y posiciona el conjunto de los elementos de la cadena radiográfica debe ser estanca a la luz exterior y se deben pintar sus paredes interiores por medio de una pintura negra mate para atenuar toda reflexión parásita de luz en dirección al CCD.

Se describe así a continuación, con referencia a las figuras 6 y 7, una implementación práctica del objeto que acaba de ser descrito, constituida a partir de los siguientes elementos:

- Un centelleador de BGO de 165 x 165 mm² de 10 mm de espesor constituido a partir de 2 placas de 82,5 x 165 x 10 mm³ ensambladas según el procedimiento antes descrito.

- Una cámara CCD 40, de tipo LN/CCD-2048SB/2, fabricada por la compañía ROPER SCIENTIFIC y dotada de una matriz SiTe SI-424A de 49 mm de lado, compuesta por 2048 x 2048 píxeles de 24 μm de lado. Esta matriz adelgazada está iluminada por detrás (aumentando así su sensibilidad en el espectro visible en un factor de 2) y refrigerada mediante nitrógeno líquido.

- Un objetivo de recuperación de imagen 42, compuesto por siete lentes, el cual con referencia XCRL 182 ha sido realizado por la compañía LINOS en Estados Unidos (y distribuido en Francia por Schneeberger).

- Dos espejos de reenvío 44, 46, que permiten trasladar el CCD fuera del flujo ionizante.

- El orificio de entrada, en el cual se ubica el módulo centelleador 48, está protegido por una tapa 50 en

ES 2 402 436 T3

aleación de aluminio (AS7G) cuyo espesor es de 7 mm en todo el campo útil de la cámara.

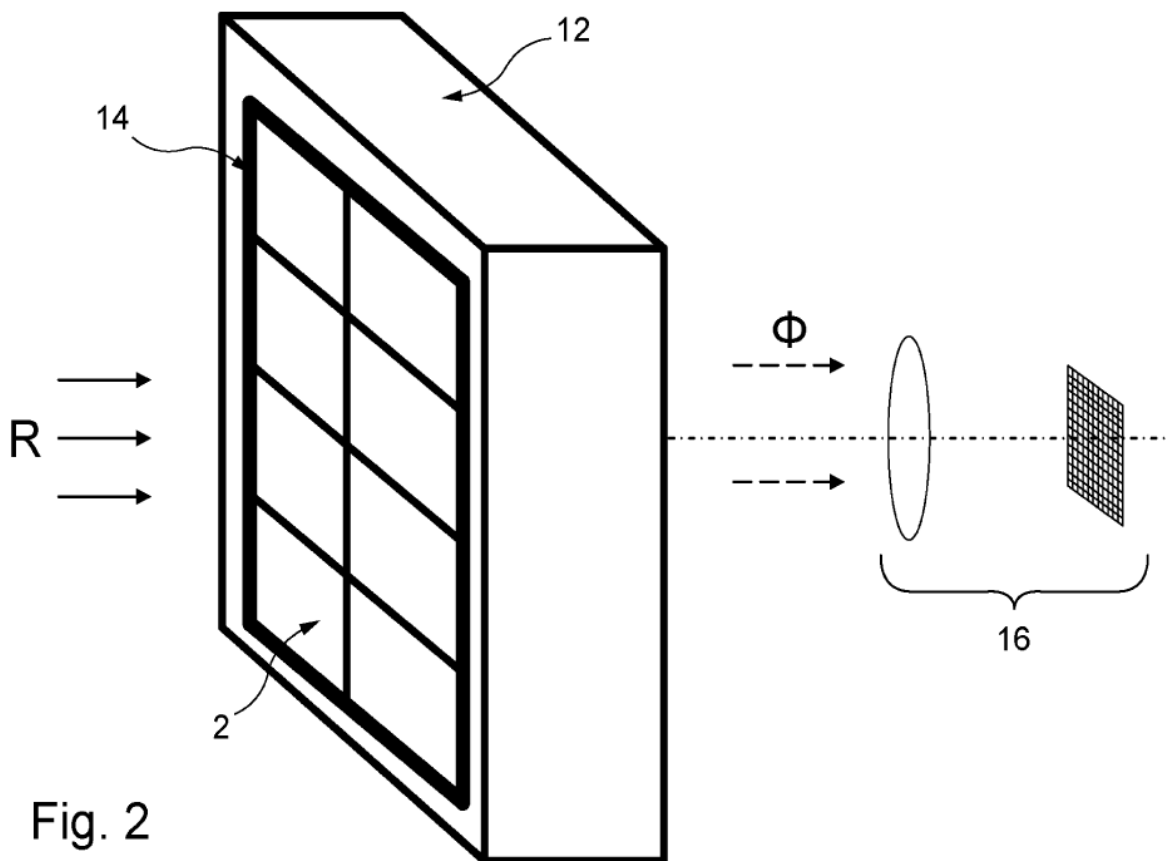
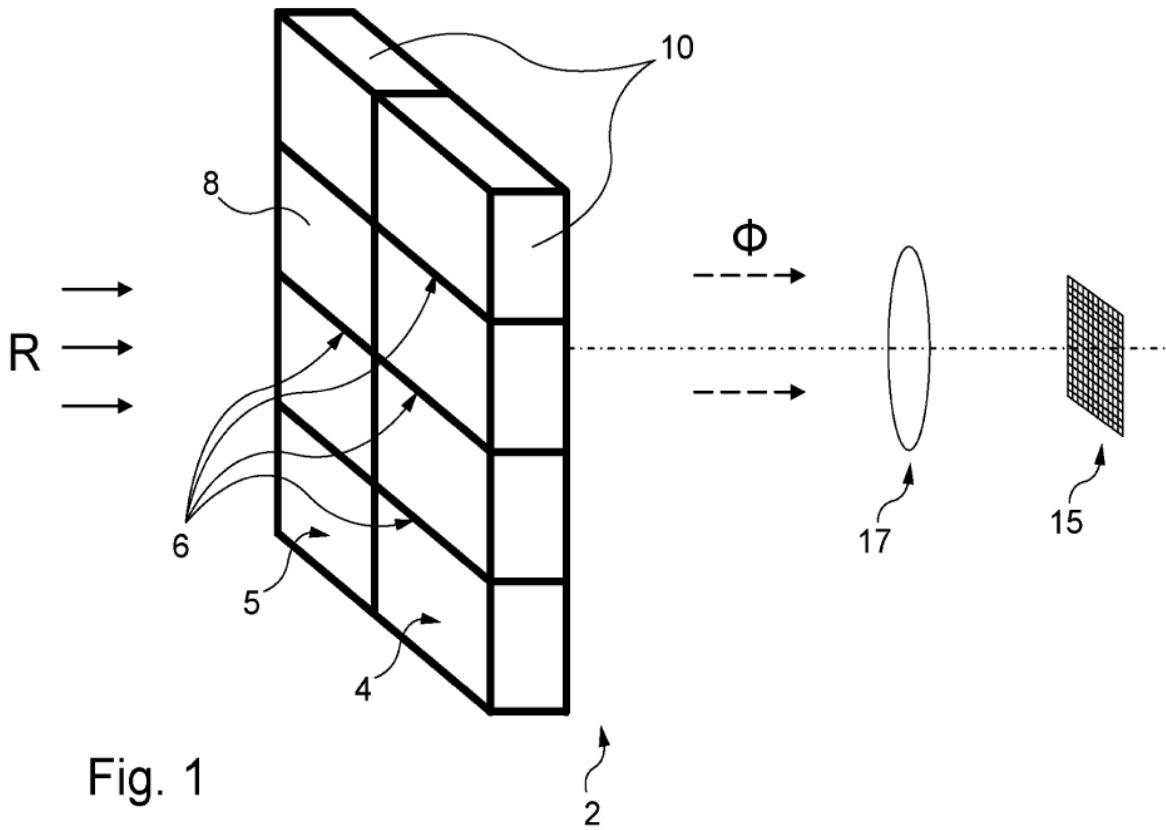
5 Las principales características de la cámara CCD son las siguientes: eficiencia cuántica superior al 65 % entre 400 y 600 nm, desviación respecto a la linealidad inferior al 1 % en toda la dinámica, temperatura nominal de funcionamiento: $-100\text{ }^{\circ}\text{C}$, corriente de oscuridad: 12 e-/pixel/hora a $-100\text{ }^{\circ}\text{C}$, ruido de lectura: 6,6 e- a 50 kHz, dinámica de 9280 a $S/B = 1$ y de 6500 a $S/B = 10$, frecuencia de lectura de la matriz CCD: 50 kHz, tiempo de lectura de la matriz (a 50 kHz): 84 segundos, factor de conversión de la electrónica: 1,24 e-/LSB.

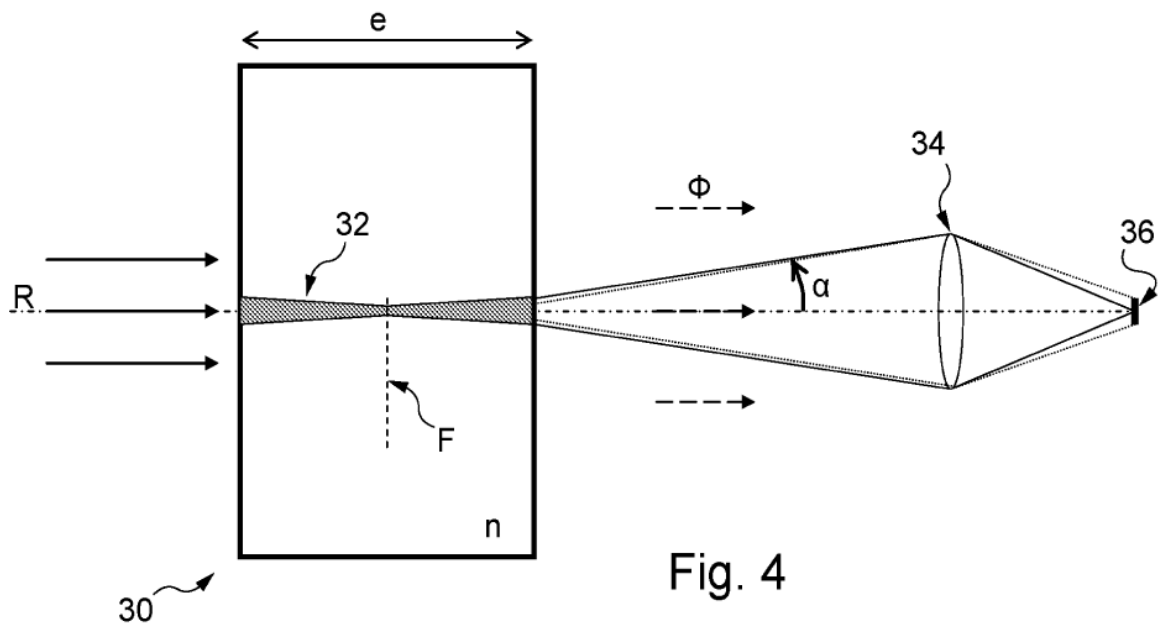
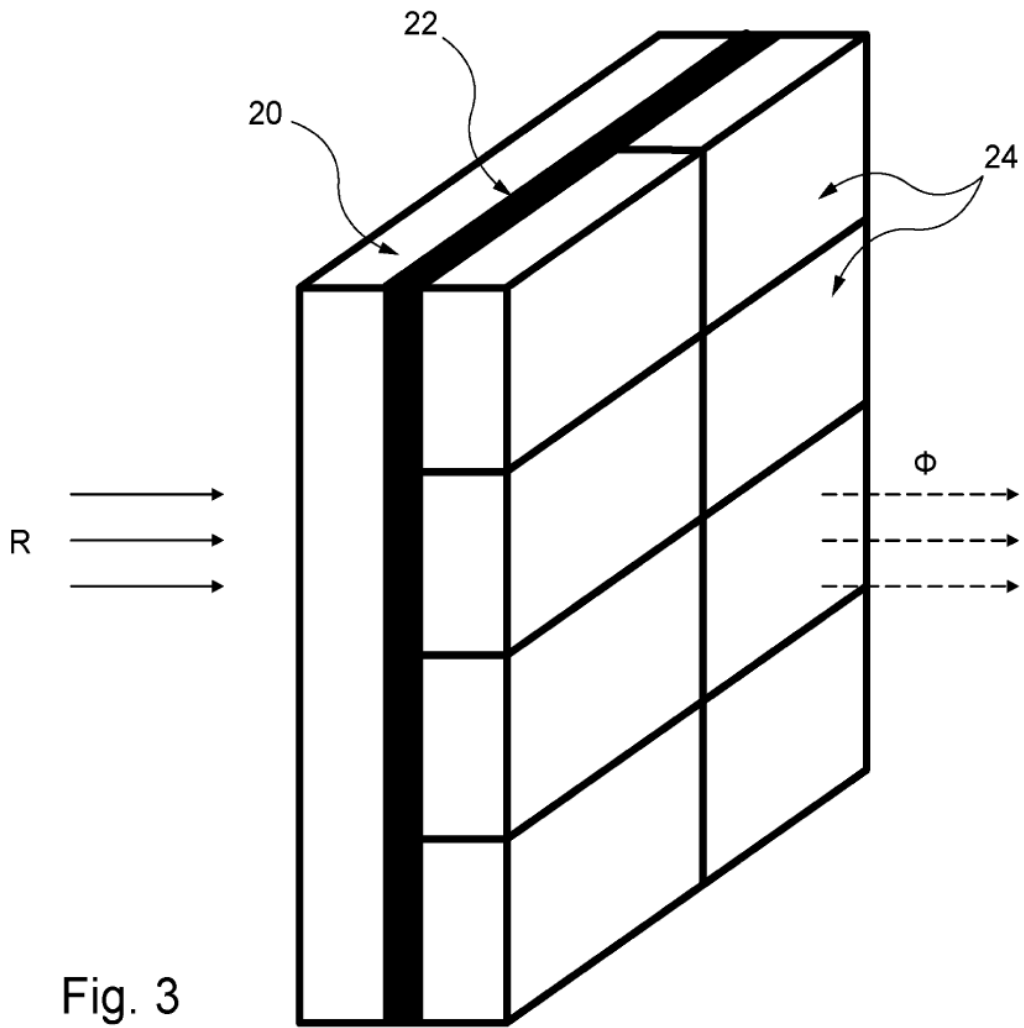
10 Las principales características del objetivo son las siguientes: gama prevista de utilización: de 420 nm a 600 nm de longitud de onda, diámetro del campo objeto: 270 mm, focal: 162 mm, tiraje objeto: 840 mm, tiraje imagen: 19 mm, magnificación: $-0,258$, número de apertura efectivo (del lado CCD): 1,79, contraste del 86 % para una mira de paso 4 $\mu\text{l}/\text{mm}$, distorsión inferior al 0,1 %, transmisión a 490 nm de longitud de onda: 86 %, longitud del objetivo: 392 mm, diámetro exterior del objetivo: 190 mm, tratamiento antirreflejante entre 420 y 560 nm de longitud de onda, diámetro útil de la lente de entrada (del lado centelleador): 122 mm.

Las formas de realización que anteceden son tan sólo ejemplos concebibles para la puesta en práctica de la invención, la cual no queda limitada a los mismos.

REIVINDICACIONES

1. Dispositivo de formación de imágenes que comprende un centelleador, un sensor de imagen y unos medios ópticos de acoplamiento del centelleador al sensor, comprendiendo el centelleador (2) una primera placa (4) de un primer material apto para emitir fotones (Φ) en función de la radiación incidente (R), caracterizado porque el centelleador comprende al menos una segunda placa (5) de un segundo material apto para emitir fotones (Φ) en función de la radiación incidente (R) y porque la primera placa (4) y la segunda placa (5) se hallan ensambladas por el canto de la primera placa mediante unos medios de unión (6) que absorben la totalidad o parte de los fotones (Φ) emitidos por la primera placa y la segunda placa (4, 5), recogiendo los medios ópticos los fotones emitidos en una dirección esencialmente perpendicular al plano de extensión de la primera placa, siendo la primera placa y la segunda placa aptas cada una de ellas para formar una imagen destinada para el sensor,
- 5
- 10 en el que las dimensiones de la primera placa y las dimensiones de la segunda placa perpendiculares al canto de la primera placa son superiores a diez veces la resolución espacial del dispositivo de formación de imágenes en el plano del centelleador.
2. Dispositivo de formación de imágenes según la reivindicación 1, en el que el espesor de la placa es inferior a la mitad de cada una de las otras dos dimensiones de la placa.
- 15 3. Dispositivo de formación de imágenes según la reivindicación 1 ó 2, en el que el segundo material es idéntico al primer material.
4. Dispositivo de formación de imágenes según una de las reivindicaciones 1 a 3, en el que el primer material es un cristal.
5. Dispositivo de formación de imágenes según la reivindicación 4, en el que el primer material es un material de masa por unidad de volumen superior a 5 g/cm^3 .
- 20 6. Dispositivo de formación de imágenes según una de las reivindicaciones 1 a 5, en el que los medios de unión cuentan con un coeficiente de absorción de al menos el 50 % en el espesor de dicha unión.
7. Dispositivo de formación de imágenes según la reivindicación 8, en el que los medios de unión cuentan con un coeficiente de absorción de al menos el 90 % en el espesor de dicha unión.
- 25 8. Dispositivo de formación de imágenes según una de las reivindicaciones 1 a 7, en el que los medios de unión comprenden un pegamento absorbente en una parte al menos del espectro visible.
9. Dispositivo de formación de imágenes según la reivindicación 8, en el que el pegamento absorbente incluye un aditivo colorante.
- 30 10. Dispositivo de formación de imágenes según la reivindicación 9, en el que el aditivo es un polvo de carbón coloidal.
11. Dispositivo de formación de imágenes según una de las reivindicaciones 1 a 10 que comprende un elemento de estructuración esencialmente paralelo a una de las dos caras mayores de la primera placa y ensamblado a esa cara de la primera placa y a una cara de la segunda placa.
12. Dispositivo de formación de imágenes según una de las reivindicaciones 1 a 11, que comprende un bastidor de estructuración que abraza al centelleador.
- 35 13. Dispositivo de formación de imágenes según una de las reivindicaciones 1 a 12, en el que el acoplamiento óptico entre el centelleador y el sensor se realiza con una pequeña apertura numérica objeto.
14. Dispositivo de formación de imágenes según la reivindicación 13, en el que la apertura numérica objeto es inferior a 5 grados de semiángulo.





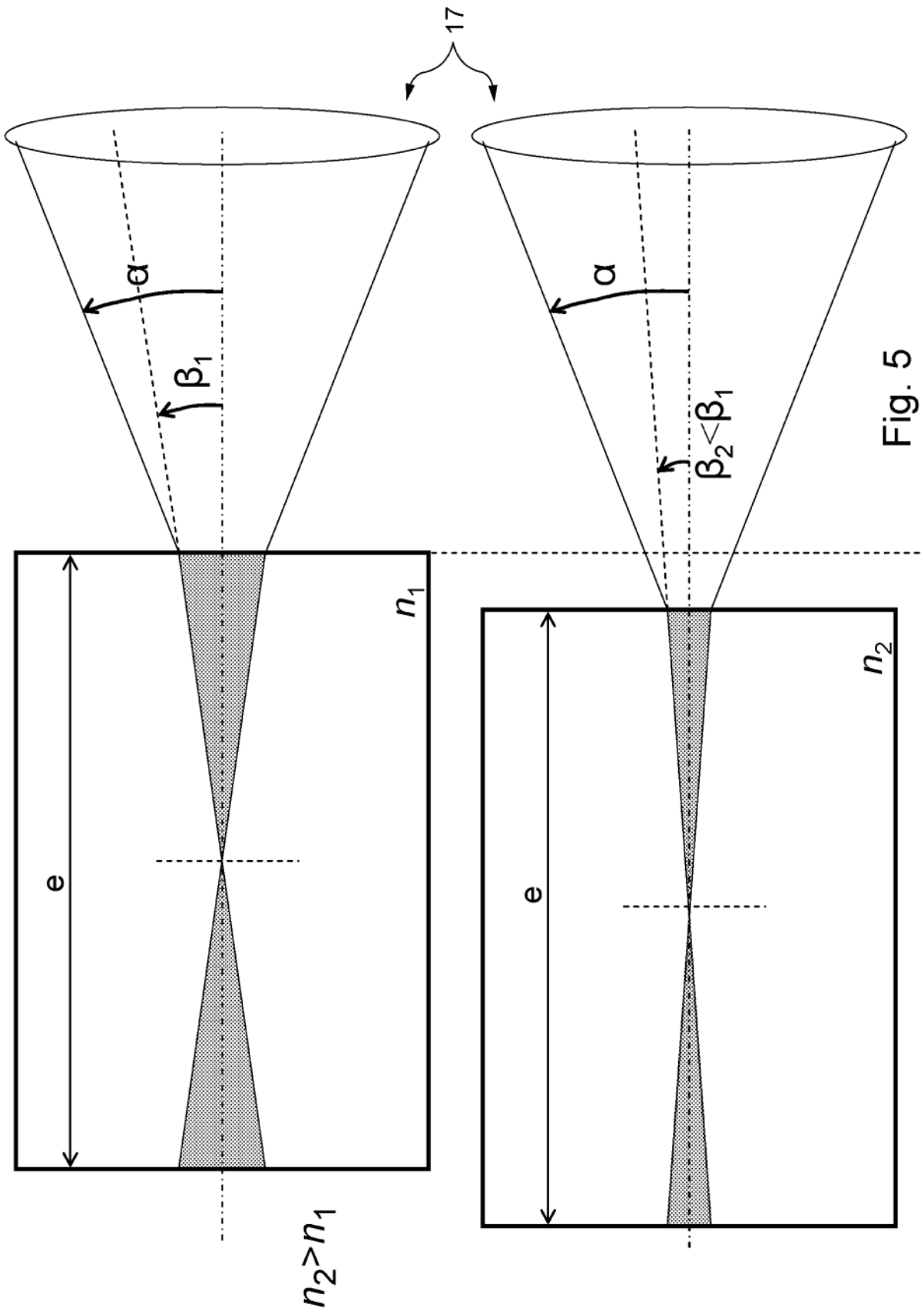


Fig. 5

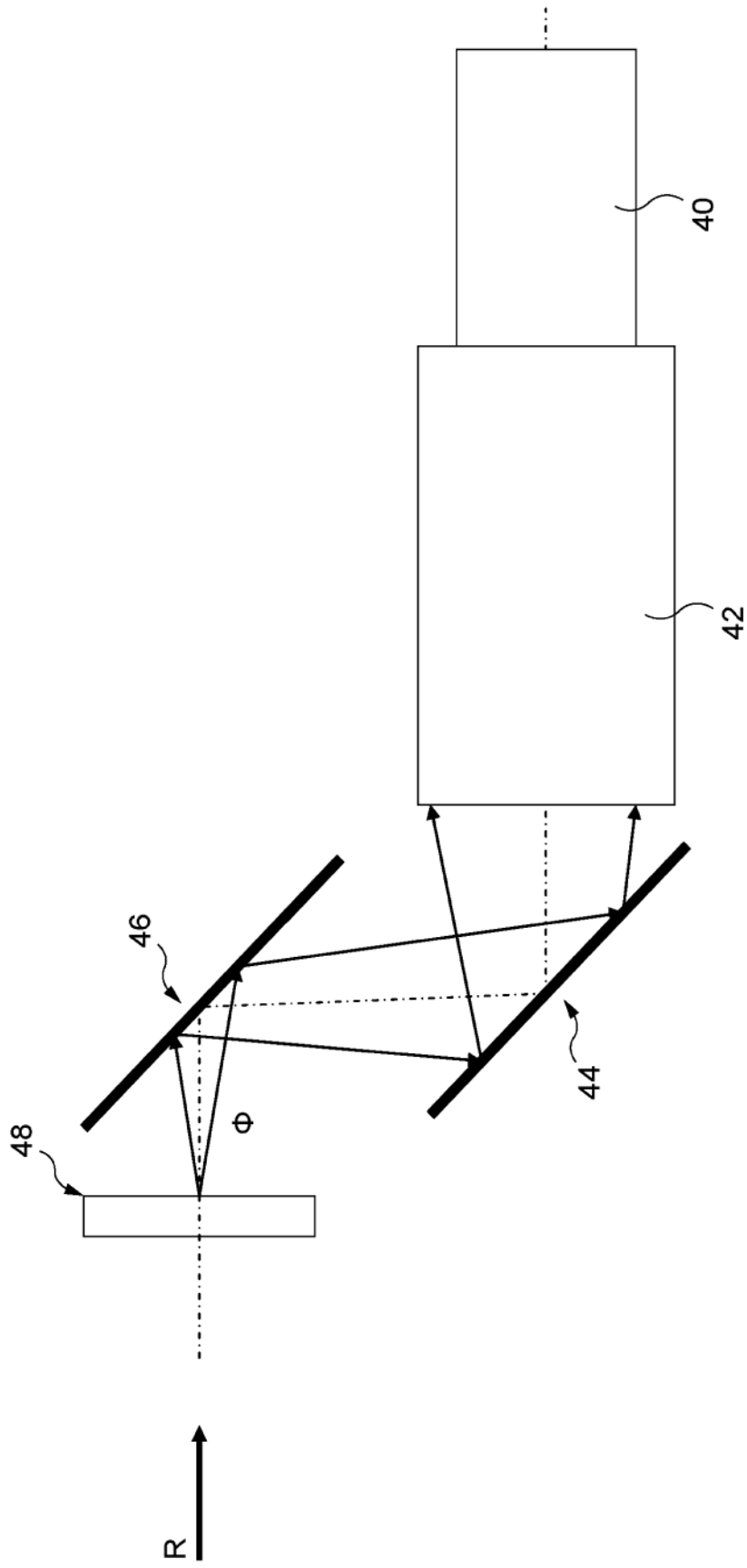


Fig. 6

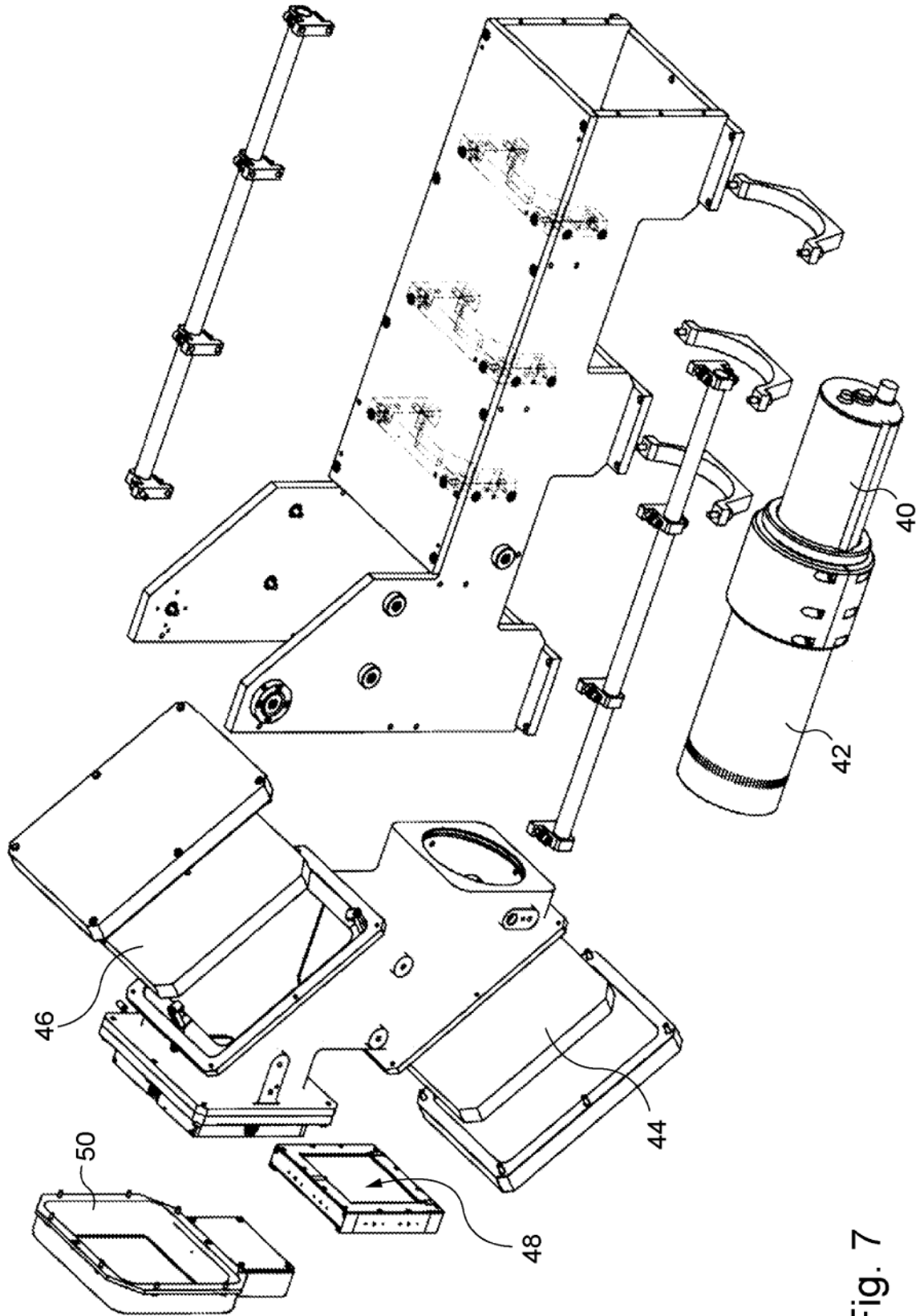


Fig. 7

