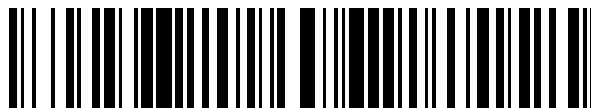


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 665 888**

21 Número de solicitud: 201631258

51 Int. Cl.:

G01T 1/20

(2006.01)

12

SOLICITUD DE PATENTE

A1

22 Fecha de presentación:

28.09.2016

43 Fecha de publicación de la solicitud:

30.04.2018

56 Se remite a la solicitud internacional:

PCT/ES2017/070623

71 Solicitantes:

**UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID (100.0%)
Av. Gregorio Peces Barba, 1
28919 Leganés (Madrid) ES**

72 Inventor/es:

**KONSTANTINO, Georgios;
VAQUERO LÓPEZ, Juan José;
CHIL PÉREZ, Rigoberto y
DESCO MENÉNDEZ, Manuel**

74 Agente/Representante:

PONS ARIÑO, Ángel

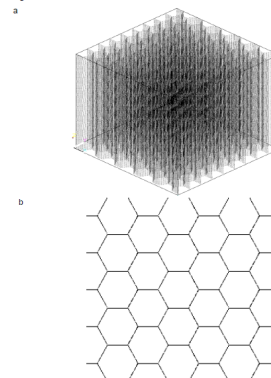
54 Título: **CELDA CENTELLEADORA**

57 Resumen:

El objeto de la presente invención se refiere a una celda centelleadora susceptible de ser utilizada en un aparato de tomografía por emisión de positrones (PET) que comprende un material centelleador monolítico con estructura cristalina y forma poliédrica que presenta una topología de áreas traslúcidas formadas por puntos de distribución aleatoria, grabadas en el material centelleador por técnicas láser, donde dicha topología está acoplada a un sistema de fotodetectores.

Por tanto, la presente invención se podría encuadrar en el sector de dispositivos biomédicos para diagnóstico, y en el sector de dispositivos para la detección de radiación.

Figura 1



CELDA CENTELLEADORA

DESCRIPCIÓN

5 OBJETO DE LA INVENCION

El objeto de la presente invención se refiere a una celda centelleadora susceptible de ser utilizada en un aparato de tomografía por emisión de positrones (PET) que comprende un material centelleador monolítico con estructura cristalina y forma poliédrica, que presenta una topología de áreas traslúcidas formadas por puntos de distribución aleatoria, grabadas en el material centelleador por técnicas láser, donde dicha topología está acoplada a un sistema de fotodetectores.

Por tanto, la presente invención se podría encuadrar en el sector de dispositivos biomédicos para diagnóstico y en el sector de dispositivos para la detección de radiación.

ANTECEDENTES DE LA INVENCION

Actualmente, se utilizan cristales centelleadores configurados como celdas centelleadoras en diferentes campos de la ciencia y de la tecnología, en los cuales la energía, la dirección o la tasa de llegada de rayos gamma o rayos X pueden aportar información útil acerca del fenómeno bajo estudio. Ejemplos de utilización son la cosmología y astrofísica, física de partículas, ciencias ambientales, fitología e imagen médica como por ejemplo en aparatos de tomografía por emisión de positrones (PET).

En cualquiera de estas aplicaciones, las celdas centelleadoras se utilizan para convertir los fotones de alta energía de los rayos gamma o rayos X a fotones de baja energía que pueden ser medidos fácilmente por un fotodetector. Dicha conversión se produce gracias al uso de materiales centelleadores.

Un fotón (radiación electromagnética) que atraviesa un material centelleador interacciona con él de modo que pierde energía mediante la producción de un número de fotones de menor energía, a través de interacciones fotoeléctricas o dispersión Compton o Rayleigh. Estos fotones, a menudo con energía correspondiente a la banda

visible del espectro electromagnético, viajan a través del material centelleador, que actúa como guía de luz, y son recogidos por un fotodetector ópticamente acoplado a una o varias caras de dicho material centelleador.

- 5 Cuando un fotón de alta energía interacciona con el material centelleador, se detecta la suma de los fotones de baja energía producidos y depositados en el fotodetector, Además, la cantidad y la forma de dicha deposición de energía aportan información sobre las características del fotón de alta energía y la naturaleza de la interacción con el material centelleador. Esta información, que es una señal eléctrica generada y amplificada
10 por el propio fotodetector, puede ser entonces procesada de varias formas, analógica o digitalmente, y, en este último caso, puede ser almacenada y posteriormente analizada.

Los materiales centelleadores comúnmente utilizados pueden ser de naturaleza orgánica o inorgánica y pueden estar en estado sólido, líquido o gaseoso. Un ejemplo de material
15 centelleador inorgánico usado comúnmente en celdas centelladoras es el ioduro de sodio (NaI), que emite fotones en las regiones del UV-VIS y que tiene muy buen rendimiento pero es higroscópico, lo que dificulta su uso en espacios abiertos dado que pierden gradualmente su transparencia en contacto con la humedad del aire atmosférico.

20 Otros ejemplos de estos materiales centelleadores inorgánicos son el oxiorto-silicato de lutecio dopado con cerio, itrio y lutecio (LYSO:Ce), el oxiorto-silicato de lutecio dopado con cerio (LSO:Ce), el oxiorto-silicato de gadolinio (GSO) y el óxido de bismuto germanio (BGO).

25 Un ejemplo es la aplicación de dichos materiales centelleadores inorgánicos en el campo de la tomografía de emisión de positrones o PET (por las siglas en inglés de Positron Emission Tomography), donde se inyecta un radiotrazador in vivo en el sujeto bajo estudio, que consiste en una molécula biológica tal como la glucosa combinada con un isótopo radioactivo que decae mediante el conocido decaimiento β^+ . Los positrones
30 emitidos rápidamente pierden su energía cinética y se aniquilan cuando interaccionan con un electrón del tejido periférico (evento β^+/e^-). El producto de esta aniquilación son dos fotones de alta energía de exactamente 511 keV (equivalente a la masa de un electrón o positrón) y con direcciones opuestas. Si una pareja de detectores de radiación gamma como los descritos anteriormente capturan ambos fotones de alta energía, con
35 resolución temporal suficiente para confirmar su origen común, se puede dibujar una

línea espacial de respuesta, dentro de la cual el evento β^+/e^- tuvo lugar. A través de la detección de una multitud de estos eventos, se puede reconstruir la distribución tridimensional del radiotrazador en el sujeto, permitiendo así obtener una imagen funcional 3D.

5

Sin embargo, para que el mencionado sistema proporcione información útil es necesario agrupar un determinado número de detectores, organizados en una configuración tridimensional, que maximice la posibilidad de capturar la concurrencia de los fotones de alta energía, dentro del denominado campo de visión y así conseguir posicionar en el

10

Se han desarrollado varios tipos de sistemas imagen entre los que se incluyen conjuntos con dos planos enfrentados o una combinación de anillos y sondas, como es la técnica del tomografía por emisión de positrones y que obtiene imágenes con información funcional y metabólica. Adicionalmente se han desarrollado sistemas destinados a facilitar el co-registro con otras modalidades de imagen, como por ejemplo la combinación del PET con la tomografía computarizada (en inglés computed tomography CT) o con la imagen por resonancia magnética (en inglés Magnetic Resonance Imaging MRI), que aportan la información anatómica complementaria.

15

20

La importancia de la naturaleza del material centelleador en este ámbito es ampliamente conocida. Los fotones de alta energía de 511 keV son suficientemente energéticos para atravesar prácticamente sin interacción cualquier tejido biológico. En este contexto, los materiales centelleadores inorgánicos, como son algunos cristales, y los materiales cerámicos son más densos que los materiales centelleadores orgánicos o plásticos comúnmente utilizados. Además, los materiales centelleadores inorgánicos poseen un alto número atómico, lo que conlleva una mejor probabilidad de frenado de los fotones de alta energía. Otro elemento importante de dichos materiales centelleadores inorgánicos es su alto rendimiento, que dicta la cantidad de fotones de baja energía obtenidos por cada centelleador y afecta directamente a la sensibilidad de la celda centelleadora. A pesar de esto, las características temporales que describen el retraso estocástico temporal de la liberación de fotones de baja energía en el centelleo resultante de la absorción del fotón gamma por los mencionados materiales centelleadores inorgánicos limitan el tiempo muerto de la celda centelleadora, así como la tasa máxima de fotones

25

30

de alta energía que puede detectar. Por tanto, sería necesario mejorar la respuesta temporal de las celdas centelleadoras existentes.

DESCRIPCIÓN DE LA INVENCION

5

Actualmente, una medida para mejorar la respuesta temporal de las celdas centelleadoras existentes que utilizan materiales centelleadores inorgánicos es el guiado de los fotones a través del material mediante superficies reflectoras o refractantes acopladas a las paredes del cristal o mediante una abrasión mecánica o química que
10 deje como resultados una superficie que facilite el guiado de los fotones dentro del cristal y penalice la posibilidad de que estos escapen del mismo.

15

La presente invención pretende mejorar las prestaciones de celdas centelleadoras basadas en el uso de materiales centelleadores inorgánicos, en particular, la respuesta temporal de las mismas sin sacrificar la resolución espacial del conjunto. Para ello dicha celda comprende un material centelleador monolítico de estructura cristalina y con forma poliédrica, que presenta una topología de áreas traslúcidas formadas por puntos distribuidos de forma aleatoria, que está grabada en el material centelleador por técnicas láser, y que está vinculada con un sistema de fotodetectores.

20

En un primer aspecto, la presente invención se refiere a una celda centelleadora que comprende:

- un material centelleador monolítico de estructura cristalina y con forma poliédrica
25 que comprende al menos una cara de entrada y al menos una cara de salida,

donde su cara de entrada recibe al menos un fotón de energía F_1 correspondiente a la región de rayos X y rayos gamma del espectro electromagnético, de entre 1 keV y 1,2 MeV, y donde la cara de salida emite fotones de menor energía F_2 (en comparación con la energía del
30 fotón F_1 incidente), de entre 100 nm y 990 nm,

- al menos un fotodetector ópticamente vinculado con la cara de salida del material centelleador que detecta la posición, la energía y el tiempo de llegada de los fotones F_2 y que convierte F_2 en una señal eléctrica, y
- una unidad de control vinculada con el fotodetector que recibe y que procesa la

5

señal eléctrica procedente del fotodetector,

caracterizado por que

dicho material centelleador presenta una topología de áreas traslúcidas formadas por puntos distribuidos de forma aleatoria en su interior que genera guías de luz entre la cara de entrada y la cara de salida, y

10

y dicho fotodetector está vinculado a lo largo de la cara de salida del material centelleador.

15

En la presente invención se entiende por “material centelleador” aquel material con estructura cristalina, de naturaleza orgánica o inorgánica, que presenta propiedades luminiscentes, es decir, aquel material capaz de absorber parte de la energía de un fotón incidente y reemitirla en forma de un fotones de energía menor en comparación con la del fotón incidente. El material centelleador es un monolito, es decir, un sólido con forma poliédrica que comprende al menos una cara de entrada y al menos una cara de salida. Dicho monolito contiene una topología de áreas traslúcidas formadas por puntos distribuidos de forma aleatoria de tamaño y forma arbitraria en su interior, que genera guías de luz entre la cara de entrada y la cara de salida. Estas áreas traslúcidas formadas por puntos distribuidos de forma aleatoria o superficies aleatorizadas de guiado de luz, son uniformes a nivel macroscópico; reflejan y guían eficientemente los fotones F_2 hacia la cara de salida, es decir, las propiedades ópticas son estadísticamente coherentes a nivel macroscópico.

20

25

30

La topología de las superficies traslúcidas define el teselado de la cara de entrada y de la cara de salida; dicho teselado pueden ser iguales o diferentes.

Nótese que la vinculación entra la cara de entrada y la cara de salida no está limitada al enfrentamiento entre dichas caras. Es más, en la presente invención se entiende por

“forma arbitraria” de las áreas traslúcidas por puntos distribuidos de forma aleatoria como aquellas formas o aquellos diseños que resulten guías de luz, sin limitación a una segmentación en paralelepípedos rectangulares, es decir sin limitaciones a planos ortogonales entre sí.

5

La topología de áreas traslúcidas formadas por puntos distribuidos de forma aleatoria de tamaño y forma arbitrarias en el interior del material centelleador se genera mediante grabado, usando por ejemplo técnicas de grabado láser según lo descrito en US5206496. Por tanto, en una realización preferida de la presente invención, la topología de áreas traslúcidas formadas por puntos distribuidos de forma aleatoria del material centelleador se graba en el material mediante técnicas láser.

10

Que el tamaño de las áreas traslúcidas formadas por puntos distribuidos de forma aleatoria (o superficies aleatorizadas de guiado de luz) sea arbitrario le confiere a la celda centelladora la ventaja de poder modular sus propiedades en lo que se refiere a la eficiencia de detección, la resolución de energía, la resolución temporal, la resolución espacial, y la ventaja de definir las líneas de respuesta cuando dichas celdas se integran en un sistema de imagen completo como por ejemplo puede ser un PET.

15

El fotodetector se acopla directa o indirectamente con las guías de luz de la cara de salida del material centelleador.

20

En una realización preferida, el fotodetector se selecciona de entre tubos fotomultiplicadores, foto-diodos de avalancha, diodos de avalancha de fotón sencillo o fotomultiplicadores de silicio.

25

En otra realización preferida, el fotodetector está acoplado ópticamente a una guía de luz, que está también acoplada ópticamente al centellador para combinar la distribución espacial de la luz.

30

Otra realización preferida de la invención se refiere a la celda centelladora caracterizada por que el material centelleador se selecciona de entre cristales centelleadores óptimos para la al detección de fotones de entre 1 keV y 10 MeV. Preferiblemente el material centelleador se selecciona de entre orto-silicato de gadolinio y cerio (GSO:Ce), orto-

silicato de lutecio y cerio (LSO:Ce), orto-silicato de lutecio-itrinio y cerio (LYSO:Ce), $Gd_3(Al,Ga)_5O_{12}:Ce$, GAGG:Ce, ioduro de sodio dopado, ioduro de cesio, germanato de bismuto (BGO), fluoruro de bario (BaF_2), fluoruro de calcio dopado con europio ($CaF_2(Eu)$), sulfuro de zinc dopado con plata ($ZnS(Ag)$), wolframato de calcio ($CaWO_4$),
5 wolframato de cadmio ($CdWO_4$), YAG(Ce) ($Y_3Al_5O_{12}(Ce)$), cloruro de lantano dopado con cerio ($LaCl_3(Ce)$) y bromuro de lantano dopados con cerio ($LaBr_3(Ce)$).

La topología de áreas traslúcidas formadas por puntos distribuidos de forma aleatoria en el material centelleador ha de estar relacionada con algún parámetro de calidad derivado
10 de la medida de las prestaciones del detector en el que se integran dichas celdas centelleadoras, es decir, la topología ha de estar relacionada con las características técnicas del fotodetector tales como la forma o la geometría de la parte detectora del dispositivo, así como su resolución espacial y temporal, entre otros. Por lo que el teselado grabado por láser en el material centelleador se podría seleccionar conforme a
15 múltiple geometrías.

Preferiblemente, en la presente invención, el teselado se selecciona de entre un teselado hexagonal truncado, un teselado trihexagonal, un teselado cuadrado truncado, un teselado trihexagonal, un teselado hexagonal truncado y un tesado formado por
20 secciones curvilíneas.

En otra realización preferida de la presente invención, la topología de áreas traslúcidas en el material centelleador podría obedecer a teselados derivados de cálculos de mapas de prestaciones del conjunto de detectores u otro criterio geodésico o euclídeo que
25 permita hacer una segmentación virtual del cristal centelleador monolítico.

Por último, en otra realización preferida de la presente invención las áreas traslúcidas en el material centelleador son preferiblemente teselados seleccionados de entre un teselado de Voronoi, un teselado de Dirichlet y un teselado en triangulaciones de
30 Delunay.

Cabe señalar que cuando se usan los teselados mencionados anteriormente se utiliza preferiblemente un sistema de fotodetectores en lugar de un único fotodetector. El experto en la materia sabrá escoger la forma o geometría del fotodetector, su resolución

espacial y temporal en función del teselado de las áreas translúcidas grabado por láser en el material centelleador o viceversa.

DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

5

Para complementar la descripción que se está realizando y con objeto de ayudar a una mejor comprensión de las características de la invención, de acuerdo con un ejemplo preferente de realización práctica de la misma, se acompaña como parte integrante de dicha descripción, un juego de dibujos en donde con carácter ilustrativo y no limitativo, se ha representado lo siguiente:

10

Figura 1.- Muestra una vista esquemática de un centelleador que comprende un arreglo de superficies translúcidas que define una matriz de guías de luz de forma hexagonal (a) y su sección con la superficie de lectura (b).

15

Figura 2.- Muestra una vista esquemática de un centelleador que comprende un teselado cuadrado truncado dispuesto entre las superficies (a) y su sección con la superficie de lectura (b).

20

Figura 3.- Muestra una vista esquemática de la superficie de lectura del teselado hexagonal truncado sin (a) y con offset (b), y una sección con la superficie de lectura de un teselado según un mapa de Voronoi (c).

25

Figura 4.- Muestra una vista esquemática que muestra el esquema de profundidad de interacción, donde la parte superior e inferior del centelleador son grabadas con píxeles similares pero con un offset de la mitad de píxel en las direcciones X e Y, la imagen conceptual (a), y la proyección de la parte superior a la inferior (b).

30

Figura 5.- Muestra una vista esquemática de un esquema de profundidad de interacción, donde las partes superior e inferior de los píxeles son grabadas con paredes translúcidas de diferentes opacidades.

Figura 6.- Resultados de lectura de un patrón hexagonal, histograma bidimensional (diagrama de llenado de campo) de la localización transversal (a) y distribución de

energía (b) de los eventos de centelleo generados por una fuente de ^{22}Na , y en los que se observa, de izquierda a derecha, la zona de dispersión, el pico más alto de la radiación de 511 keV, y un último pico de 1,2 MeV.

5 REALIZACIÓN PREFERENTE DE LA INVENCION

Se propone el grabado de un tesado de celdas centelleadoras sobre un bloque monolítico de cristal LYSO mediante el uso de un láser pulsado que para este caso particular es de Nd:YAG (532 nm), y tiene una frecuencia de repetición que puede
10 variar entre 1 kHz y 10 kHz, con pulsos de duración entre 1 ns y 10 ns y una energía depositada 0,01 y 1mJ por pulso en función del tipo de material centelleador monolítico utilizado. Adicionalmente, el sistema láser, o el sistema de sujeción del bloque monolítico que se va a grabar, o ambos sistemas comprenden mecanismos
15 posicionadores para realizar desplazamientos relativos en el espacio entre el láser y el bloque monolítico que permitan rastrear todo el espacio dentro del bloque monolítico y de sus superficies, donde se tendrá que enfocar dicho pulso del haz láser y así crear la discontinuidad de las propiedades ópticas del material centelleador con estructura cristalina.

20 Figura 1.- Muestra una vista esquemática de un centelleador que comprende un arreglo de superficies traslúcidas que define una matriz de guías de luz de forma hexagonal (a) y su sección con la superficie de lectura (b).

Figura 2.- Muestra una vista esquemática de un centelleador que comprende un teselado cuadrado truncado dispuesto entre las superficies (a) y su sección con la superficie de
25 lectura (b).

Figura 3.- Muestra una vista esquemática de la superficie de lectura del teselado hexagonal truncado sin (a) y con offset (b), y una sección con la superficie de lectura de
30 un teselado según un mapa de Voronoi (c).

Figura 4.- Muestra una vista esquemática que muestra el esquema de profundidad de interacción, donde la parte superior e inferior del centelleador son grabadas con píxeles similares pero con un offset de la mitad de píxel en las direcciones X e Y tal y como se

sugiere en la patente US 20110121184 A1, la imagen conceptual (a), y la proyección de la parte superior a la inferior (b).

Figura 5.- Muestra una vista esquemática de un esquema de profundidad de interacción, donde las partes superior e inferior de los píxeles son grabadas con paredes translúcidas de diferentes opacidades.

Figura 6- Resultados de lectura de un patrón hexagonal, histograma bidimensional (diagrama de llenado de campo) de la localización transversal (a) y distribución de energía (b) de los eventos de centelleo generados por una fuente de ^{22}Na , y en los que se observa, de izquierda a derecha, la zona de dispersión, el pico más alto de la radiación de 511 keV, y un último pico de 1,2 MeV.

Para ilustrar la invención se selecciona a modo de ejemplo el diseño de rejilla hexagonal con la distribución estocástica de posición y tamaño de puntos translúcidos. La lectura de los eventos se realiza con un sistema de tubos fotomultiplicadores. El área de la superficie de cada píxel es de 1,4 milímetros cuadrados, siendo los lados de los hexágonos de menos de 0,7 milímetros. Los polígonos situados en los bordes del cristal son pentágonos y trapecios irregulares que puede resolver hasta un tamaño mínimo de 0,9 milímetros cuadrados. Este patrón presenta las siguientes ventajas. Primeramente mejora el sistema las propiedades temporales del pulso y reduce el ruido de las señales generadas por los fotodetectores digitales. Por otro lado, en el caso de usarse en la aplicación de SPECT, valdría para optimizar la tecnología actual que utiliza colimadores de rayos gamma para formar la imagen en un plano bidimensional. Un problema muy común es emparejar los píxeles con las aberturas del colimador en función de la geometría. Este problema queda solucionado con el diseño de patrón hexagonal: puesto que permite emparejar los agujeros de los colimadores hexagonales con las guías de luz hexagonales.

A continuación se demuestra el funcionamiento de la celda centelleadora de la presente invención midiendo sus prestaciones en términos de resolución espacial y de resolución de energía.

La Figura 6 (a) muestra la imagen obtenida con un centelleador que comprende hace uso

del patrón hexagonal. Para calcular la resolución espacial se mide la distancia entre los centros de dos puntos brillantes y se divide dicha distancia con su ancho medio. Para esta imagen, la mejor resolución espacial llega al 35 %, próximamente 0,5 milímetros.

5 En la Figura 6 (b) se muestra el espectro de energía de una fuente radioactiva de ^{22}Na . El ancho del pico de 511 keV es uniforme en todo el cristal su resolución, media como el FWHM (*Full Width Half Maximum*) es 14 %. Para realizar estas medidas, un fotodetector sensible a posición se acopla a la cara de lectura del centellador con
10 silicona óptica, que tiene un índice de refracción equivalente al vidrio del tubo, de forma que se consigue un acoplamiento óptico óptimo entre la superficie del centellador y fotodetector. La señal eléctrica producida por el fotodetector se divide en cuatro señales que codifican la posición transversal del evento de centelleo y su energía total. Para realizar estas medidas se ha utilizado una fuente puntual de ^{22}Na cuyo espectro se conoce en la bibliografía científica, y midiendo el resultado se puede
15 confirmar que tanto la adquisición como la representación de los eventos son correctas y fieles a la distribución esperada; en el centro de la gráfica se muestra claramente el pico de 511 keV. La imagen de llenado de campo se genera a partir de localización espacial que codifica el circuito electrónico conectado al fotodetector. La calidad del resultado imagen, que es un histograma bidimensional, se mide por la separación
20 entre los picos del dicho histograma. Los picos corresponden a los centros de cristales definidos mediante el uso de la técnica presentada en esta invención. De esta manera queda demostrada la calidad del guiado de luz por los patrones de puntos translucidos, a la vez que la resolución del espectro de energía no se ve afectada.

25

REIVINDICACIONES

1. Celda centelleadora que comprende:

- un material centelleador monolítico con estructura cristalina y con forma poliédrica
5 que comprende al menos una cara de entrada y al menos una cara de salida,
donde la cara de entrada recibe un fotón de energía F_1 correspondiente a
la región de rayos X y rayos gamma del espectro electromagnético, de
entre 1 keV y 1,2 MeV,
y donde la cara de salida emite fotones de menor energía F_2 , de entre 100
10 nm y 990 nm,
- al menos un fotodetector ópticamente acoplado con la cara de salida del material
centelleador que detecta la posición, la energía y el tiempo de llegada de F_2 y que
convierte F_2 en una señal eléctrica, y
- una unidad de control vinculada con el fotodetector que recibe y que procesa la
15 señal eléctrica procedente del fotodetector,

caracterizado por que

- dicho material centelleador presenta una topología de áreas traslúcidas formadas
por puntos distribuidos de forma aleatoria en su interior que genera guías de luz
entre la cara de entrada y la cara de salida y
- 20 • dicho fotodetector se acopla con el material centelleador a lo largo de la cara de
salida de dicho material centelleador.

2. Celda centelleadora según la reivindicación 1, caracterizada por que la topología de
áreas traslúcidas formadas por puntos distribuidos de forma aleatoria del material
centelleador se graba en el material mediante técnicas láser.

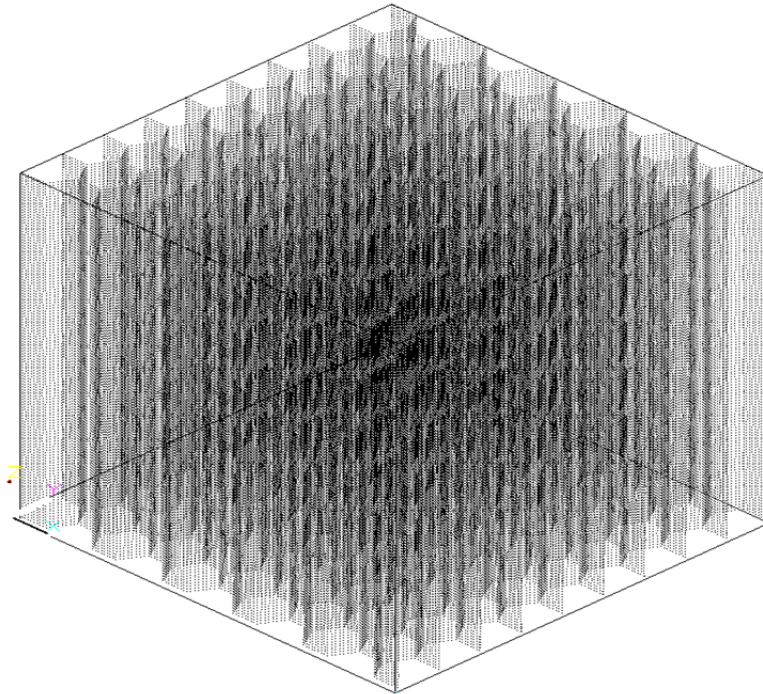
3. Celda centelleadora según cualquiera de las reivindicaciones 1 ó 2, caracterizada por
que el fotodetector se selecciona de entre tubos foto-multiplicadores, foto-diodos de
avalancha, diodos de avalancha de fotón sencillo o foto-multiplicadores de silicio.

4. Celda centelleadora según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, caracterizada por
que el fotodetector está acoplado ópticamente a una guía de luz, que está también
acoplada ópticamente a la cara de salida del material centelleador y combina la
distribución espacial de la luz.

5. Celda centelleadora según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, caracterizado por que el material centelleador se selecciona de entre orto-silicato de gadolinio y cerio (GSO:Ce), orto-silicato de lutecio y cerio (LSO:Ce), orto-silicato de lutecio-itrio y cerio (LYSO:Ce), $Gd_3(Al,Ga)_5O_{12}:Ce$, GAGG:Ce, ioduro de sodio dopado, ioduro de cesio, germanato de bismuto (BGO), fluoruro de bario BaF_2 , fluoruro de calcio dopado con europio $CaF_2(Eu)$, sulfuro de zinc dopado con plata $ZnS(Ag)$, wolframato de calcio $CaWO_4$, wolframato de cadmio $CdWO_4$, $(Y_3Al_5O_{12}(Ce))$, cloruro de lantano dopado con cerio ($LaCl_3(Ce)$) y bromuro de lantano dopados con cerio ($LaBr_3(Ce)$).
6. Celda centelleadora según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, caracterizado por que la topología de áreas traslúcidas formadas por puntos distribuidos de forma aleatoria en el material centelleador conforman un teselado.
7. Celda centelleadora según la reivindicación 6, caracterizado por que la topología de áreas traslúcidas formadas por puntos distribuidos de forma aleatoria en el material centelleador se selecciona de entre un teselado hexagonal truncado, un teselado trihexagonal, un teselado cuadrado truncado, un teselado trihexagonal, un teselado hexagonal truncado y un teselado formado por secciones curvilíneas.
8. Celda centelleadora según la reivindicación 6, caracterizado por que la topología de áreas traslúcidas formadas por puntos distribuidos de forma aleatoria en el material centelleador se define en función de un factor de optimización del detector mediante un criterio geodésico o euclídeo que permita hacer una segmentación virtual del cristal centelleador monolítico.
9. Celda centelleadora según la reivindicación 6, caracterizado por que la topología de áreas traslúcidas formadas por puntos distribuidos de forma aleatoria en el material centelleador se selecciona de entre un teselado de Voronoi, un teselado de Dirichlet y un teselado en triangulaciones de Delunay.

Figura 1

a



b

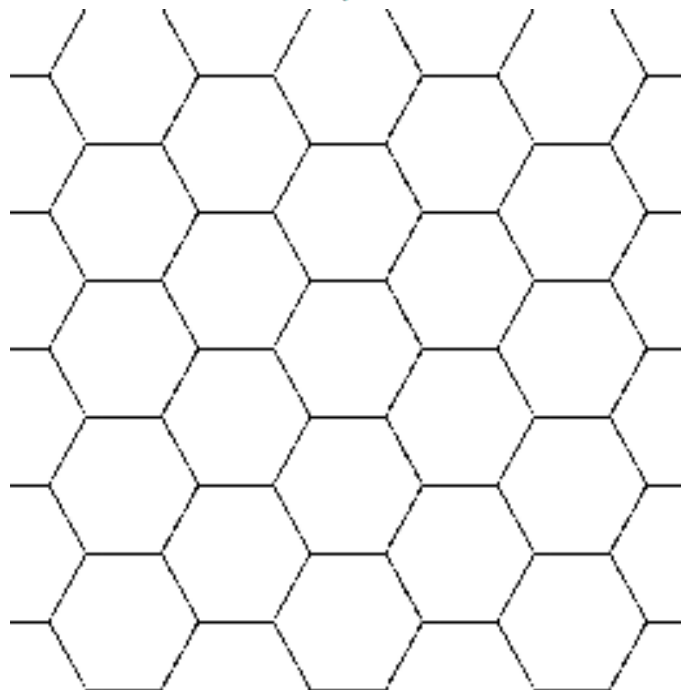
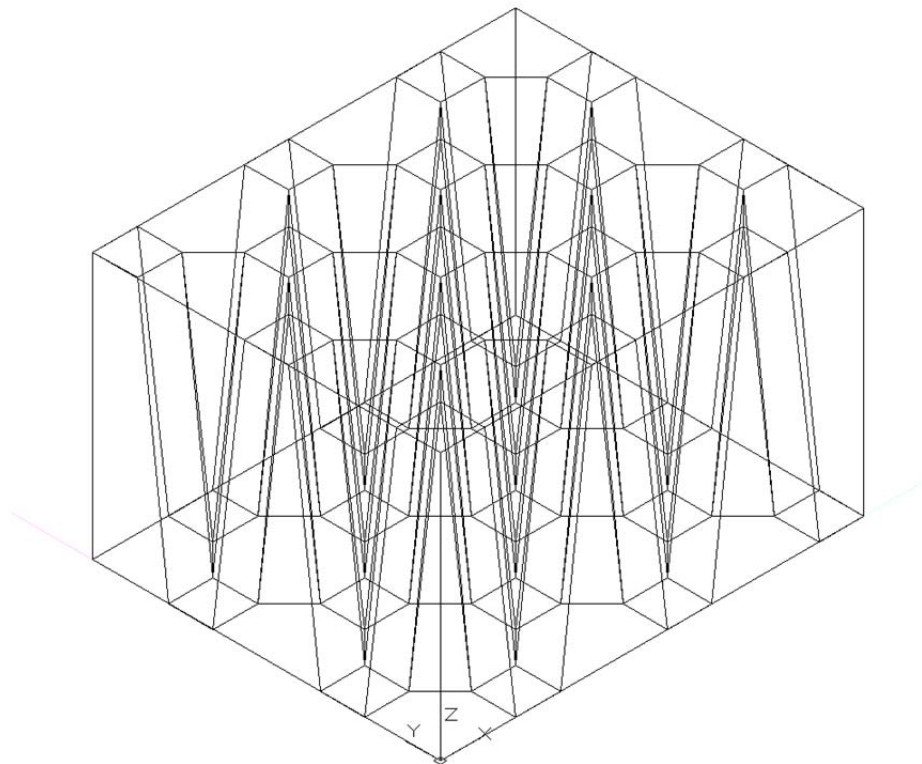


Figura 2

a



b

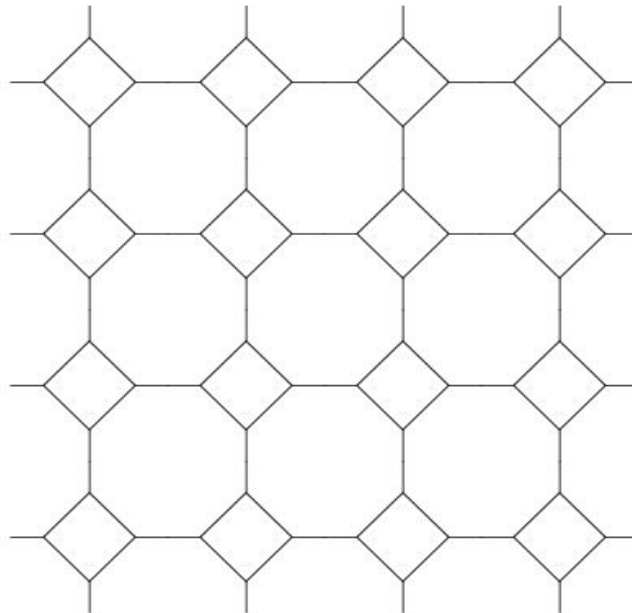
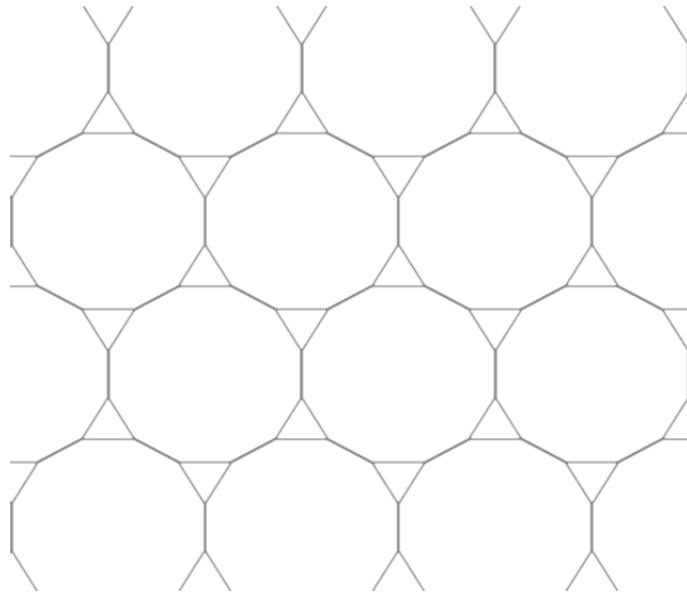
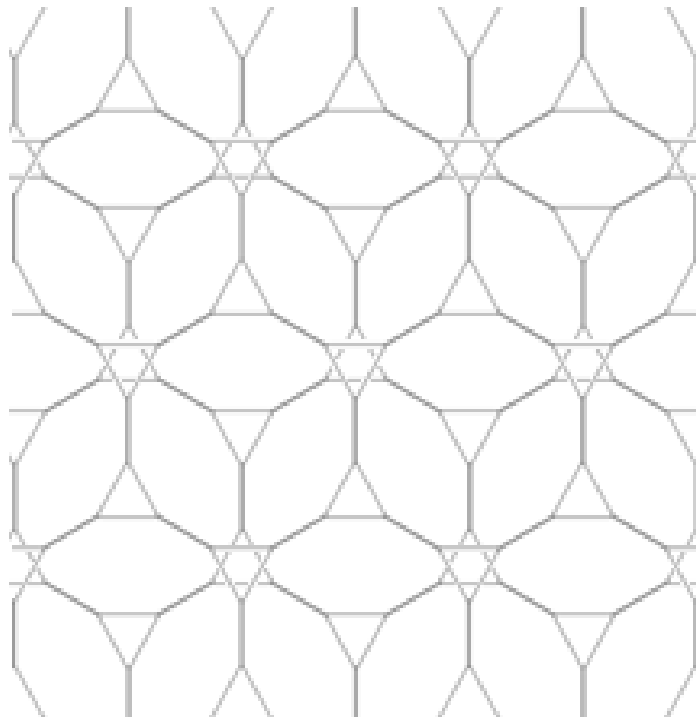


Figura 3

a



b



c

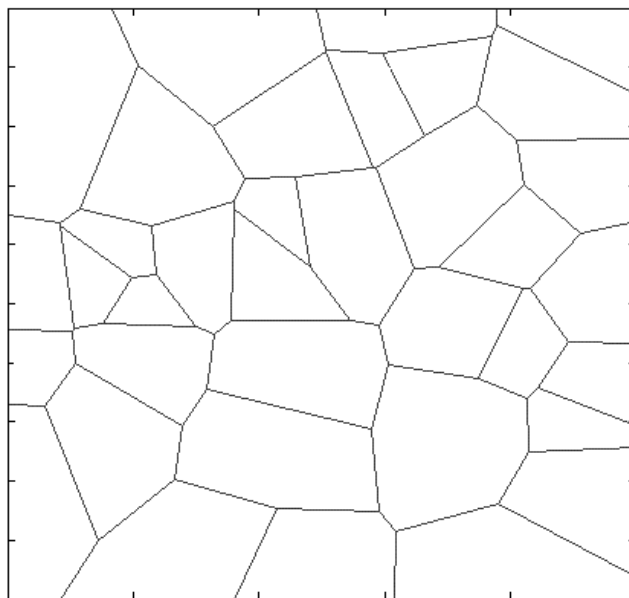
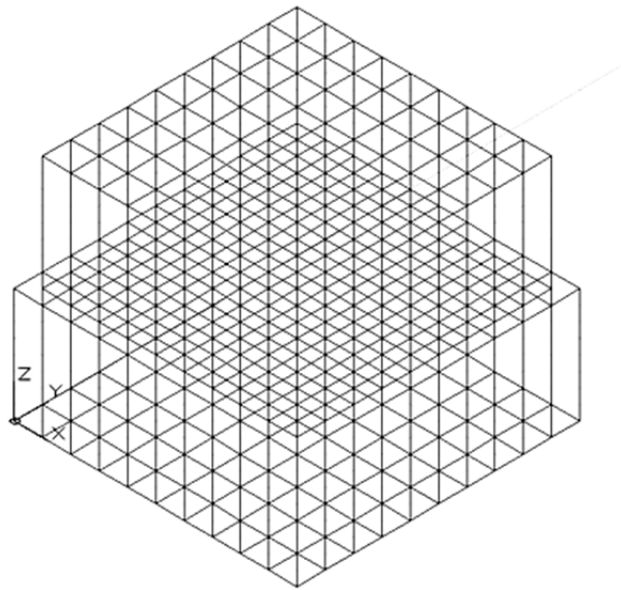


Figura 4

a



b

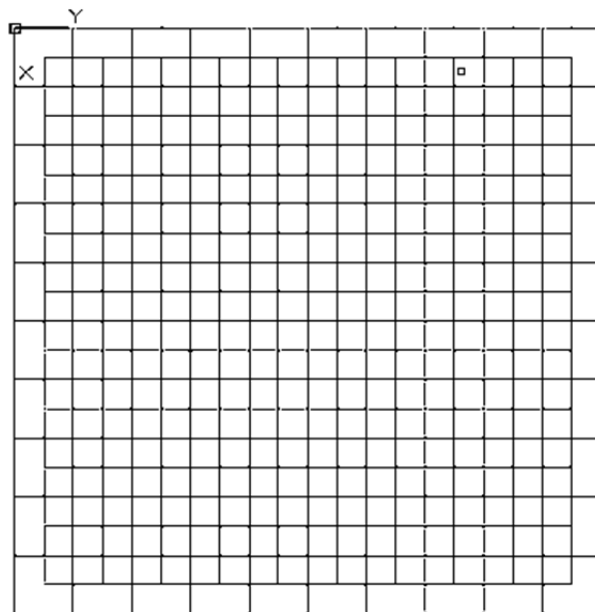
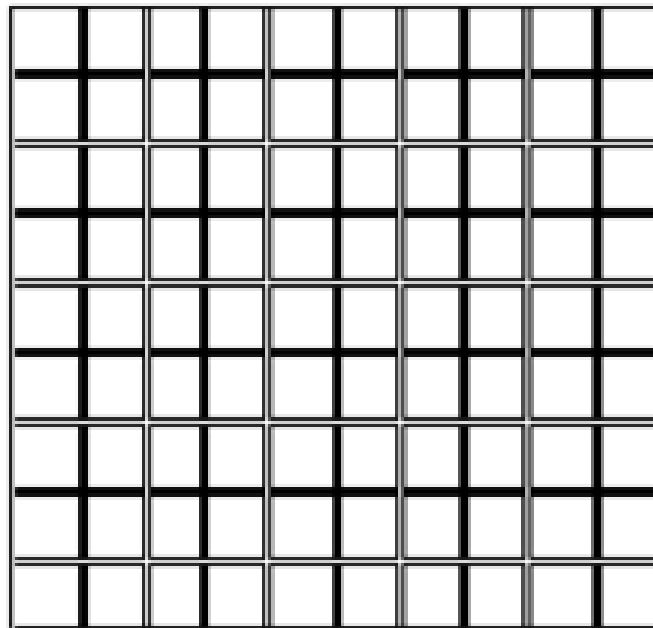


Figura 5

a



b

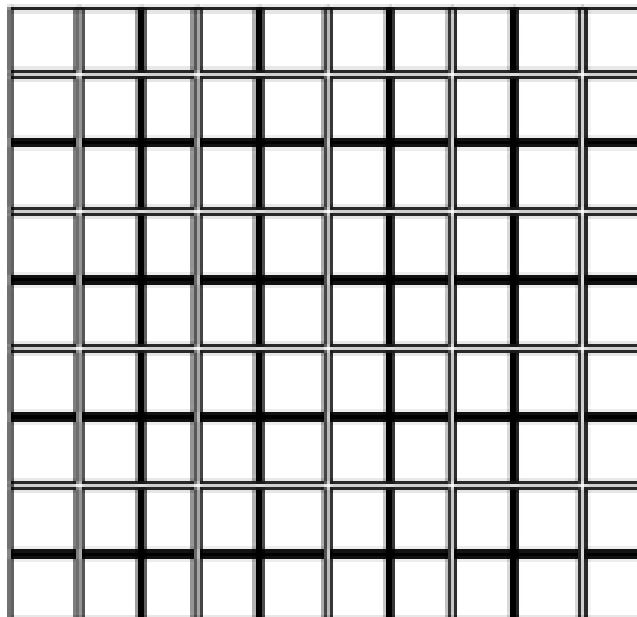


Figura 6

a

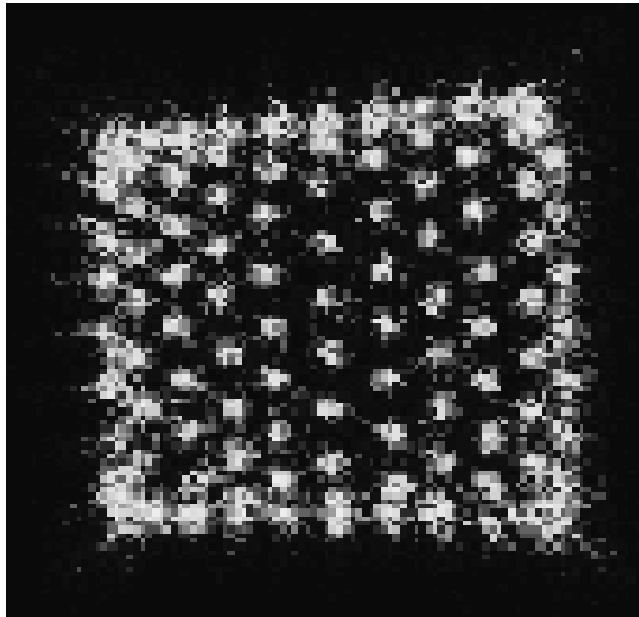


Figura 6 cont.

b