(12) SOLICITUD INTERNACIONAL PUBLICADA EN VIRTUD DEL TRATADO DE COOPERACIÓN EN MATERIA DE PATENTES (PCT)

(19) Organización Mundial de la Propiedad Intelectual
Oficina internacional

(43) Fecha de publicación internacional
24 de septiembre de 2015
(24.09.2015)

WIPO | PCT

(10) Número de Publicación Internacional
WO 2015/140371 A1

(51) Clasificación Internacional de Patentes:
C09K 11/77 (2006.01) *G01T 1/20* (2006.01)

(21) Número de la solicitud internacional:
PCT/ES2015/070149

(22) Fecha de presentación internacional:
2 de marzo de 2015 (02.03.2015)

(25) Idioma de presentación: español

(26) Idioma de publicación: español

(30) Datos relativos a la prioridad:
P 201430394 20 de marzo de 2014 (20.03.2014) ES

(71) Solicitantes: **CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS (CSIC)** [ES/ES]; Avda. Maria Luisa, s/n -, Pabellón de Perú, E-41013 Sevilla (ES). **UNIVERSIDAD DE SEVILLA** [ES/ES]; Pabellón de Brasil, Paseo de las, Delicias, s/n, E-41013 Sevilla (ES).

(72) Inventores: **GIL ROSTRA, Jorge**; Instituto De Ciencia De Materiales De Sevilla (icms), Avda. Americo Vespucio, S/n. Isla De La Cartuja, E-41092 Sevilla (ES). **RODRÍGUEZ GONZÁLEZ-ELIPE, Agustín**; Instituto De Ciencia De Materiales De Sevilla (icms), Avda. Americo Vespucio, S/n. Isla De La Cartuja, E-41092 Sevilla (ES). **ESPINÓS MANZORRO, Juan Pedro**; Instituto De Ciencia De Materiales De Sevilla (icms), Avda. Americo Vespucio, S/n. Isla De La Cartuja, E-41092 Sevilla (ES). **YUBERO VALENCIA, Francisco**; Instituto De Ciencia De Materiales De Sevilla (icms), Avda. Americo Vespucio, S/n. Isla De La Cartuja, E-41092 Sevilla (ES). **BARRANCO QUERO, Ángel**; Instituto De Ciencia De Materiales De Sevilla (icms), Avda. Americo Vespucio, S/n. Isla De La Cartuja, E-41092 Sevilla (ES). **FERRER FERNÁNDEZ, Francisco Javier**; Universidad De Sevilla, Pabellón de Brasil, Paseo de las, Delicias, s/n, E-41013 Sevilla (ES). **COTRINO BAUTISTA, José**; Universidad De Sevilla, Pabellón de Brasil, Paseo de las, Delicias, s/n, E-41013 Sevilla (ES).

(74) Mandatario: **PONS ARIÑO, Angel**; Glorieta Rubén Darío, 4, E-28010 Madrid (ES).

(81) Estados designados *(a menos que se indique otra cosa, para toda clase de protección nacional admisible)*: AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) Estados designados *(a menos que se indique otra cosa, para toda clase de protección regional admisible)*: ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), euroasiática (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), europea (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Publicada:

— *con informe de búsqueda internacional (Art. 21(3))*

WO 2015/140371 A1

(54) **Title**: IONIZING PARTICLE DETECTOR

(54) **Título** : DETECTOR DE PARTÍCULAS IONIZANTES

(57) **Abstract**: The object of the present invention is an ionizing radiation sensor having energy levels of 0.1 keV to 100 MeV, which is sensitive to both the type of radiation and to the energy thereof. The detector comprises a stacked structure having multiple layers of material that have different luminescences.

(57) **Resumen**: El objeto de la presente invención es un sensor de radiación ionizante con energías comprendidas entre 0.1 keV y 100 MeV sensible tanto al tipo de radiación como a su energía. El detector comprende una estructura apilada de varias capas de material con distintos luminiscentes.

DETECTOR DE PARTÍCULAS IONIZANTES

DESCRIPCIÓN

SECTOR Y OBJETO DE LA INVENCION

La invención se enmarca dentro del campo de los detectores de partículas ionizantes con una gran variedad de aplicaciones en sectores como la óptica y fotónica, energía nuclear, aceleradores de partículas para salud e investigación científica y otros relacionados.

El objeto de la invención es un detector de partículas ionizantes que permite discernir entre distintos tipos de radiación ionizante e identificar su energía a partir de la intensidad y color de la luz emitida, siendo la característica común de todos los dispositivos objeto de la presente invención el apilamiento de capas activas luminiscentes centelleadoras, las cuales emitirán luz de color característico dependiendo de que se exciten de forma efectiva.

ESTADO DE LA TECNICA

Existen distintos tipos de detectores de partículas ionizantes, los cuales se pueden clasificar en función del tipo de aplicación donde se utilicen o en función de cuál sea el fundamento físico en el que se base la detección.

La señal de un detector proviene de procesos de interacción de la radiación con la parte activa del dispositivo que provoca ionización y/o excitación de los átomos o moléculas en la parte activa del dispositivo.

Existen dos grandes familias de detectores de radiación ionizante. Los detectores de radiación integradores y los que funcionan por conteo. Los primeros basan su funcionamiento en responder de forma acumulativa a la

radiación recibida. Ejemplos típicos son los dosímetros de radiación, o placas fotográficas.

Los segundos funcionan en base a la interacción de partículas ionizantes de forma individual con el dispositivo. La presente invención puede encuadrarse en éstos últimos.

Dentro del grupo de detectores de radiación que funcionan por conteo están aquellos en los que la interacción de la radiación con la fase activa del detector produce una señal de corriente eléctrica. En general, la intensidad de corriente inducida es proporcional a la energía depositada en el dispositivo sensible a la radiación. Es el caso de los detectores basados en el uso de semiconductores, donde la radiación ionizante produce pares electrón-hueco, o cámaras de gases, con la producción de pares electrón-ion, en su parte activa. De esta manera la detección de la radiación se realiza de forma directa, a través de la medida de la intensidad de la corriente inducida entre los electrodos a los que se dirijan los pares de carga opuesta creados.

Otro tipo de dispositivos detectores de radiación que funcionan por conteo son los dispositivos fotosensores en los que la detección de la radiación se realiza de forma indirecta, siendo en general necesaria la participación de un conversor de señal luminosa en señal eléctrica. En este caso la radiación ionizante induce luminiscencia (emisión de luz) en la fase activa del detector debido a la interacción de la radiación ionizante, en general partículas cargadas, con los centros activos del sensor. Esta luminiscencia causa una fotocorriente en un fotodiodo, cuya intensidad será proporcional a la luz emitida por el material emisor de luminiscencia. Así pues, basan su funcionamiento en la medida de la intensidad de una corriente eléctrica inducida por la luz emitida que se ha generado por la interacción de la radiación ionizante con el dispositivo detector.

En general, distintos tipos de radiación ionizante y su energía se discriminan a partir de la magnitud de la excitación (ya sea intensidad de luz o de corriente eléctrica) en el detector. Así, el diseño de este tipo de detectores no es universal, de manera que se adapta al tipo de radiación que detectar. Así, en ES2067049 se describe un método para detectar dosis de radiación utilizando material termoluminiscente, especialmente indicado para la dosimetría de partículas beta y de neutrones. En el caso de electrones de baja energía (energías menores de 15 kiloelectrovoltios) los sensores de energía pueden ser del tipo electrostático, de manera que la energía de la partícula se infiere a partir del frenado o la deflexión de su trayectoria en un determinado campo eléctrico.

Otro tipo de dispositivo relacionado con la presente invención son las pantallas centelleadoras. Éstas en general consisten en depósitos homogéneos de fósforos luminiscentes, los cuales responden ante la excitación por radiación (electrones, iones, rayos X o rayos gamma) que incida sobre ellas, mediante la emisión de luz variable en intensidad, dependiendo del flujo, tipo y energía de los iones. El documento US2013/0126850 muestra un dispositivo de estas características.

La presente invención plantea un dispositivo capaz de distinguir entre distintos tipos de partículas cargadas y su energía no solamente a partir de la intensidad de la luz generada en la parte activa (luminiscente) del detector (como es el caso de los fotodetectores convencionales), sino que también a partir del color de la luz emitida inducido en el dispositivo. De esta manera, mediante una inspección óptica simple del dispositivo sobre el que incida la radiación (inspección visual con el ojo humano, cámara fotográfica u otro sensor óptico de color) es posible discriminar el tipo de radiación y su energía. Este hecho supone una solución a la identificación de energía de partículas ionizantes que no existe actualmente en el mercado.

Al respecto de los materiales que actúen como centros activos luminiscentes se reivindican cationes de tierras raras como cerio, terbio, europio, iterbio, u otros,

distribuidos de forma aleatoria en matrices de óxidos transparentes amorfas. Como patentes relacionadas pueden mencionarse la solicitud WO2011099893 en la que se hace referencia a materiales monocristalinos centelleadores sensibles a rayos cósmicos, rayos gamma y rayos X; US2008/128624 en la que se hace referencia a materiales centelleadores basados en nanocomposites, US6689293 en la que se mencionan ortosilicatos cristalinos o la ES2186885 referida a halogenuros alcalinos dopados con cationes metálicos para su uso como sensores de rayos X.

En cuanto a la deposición de las capas, la solicitud de patente española P201230048 describe una metodología que consiste en deposición mediante pulverización catódica reactiva combinada con descomposición por plasma de precursores no-volátiles de tierra rara.

EXPLICACION DE LA INVENCION

En un primer aspecto constituye un objeto de la presente invención un detector de partículas que permite discernir entre distintos tipos de radiación ionizante e identificar su energía a partir de la intensidad y color de la luz emitida, que comprende:

- al menos una capa formada por una matriz transparente dopada con un material luminiscente que se selecciona preferentemente entre cerio, praseodimio, neodimio, samario, europio, gadolinio, terbio, disprosio, holmio, erbio, iterbio, lutecio, o tulio. Asimismo el material luminiscente podría incorporarse en la matriz transparente en forma de nanopartículas luminiscentes preferentemente de silicio, sulfuro de cinc o aluminato de estroncio.

- al menos una segunda capa formada por una matriz transparente dopada con un material luminiscente distinto de la capa anterior y que se selecciona preferentemente entre cerio, praseodimio, neodimio, samario, europio,

gadolinio, terbio, disprosio, holmio, erbio, iterbio, lutecio, o tulio. Asimismo el material luminiscente podría incorporarse en la matriz transparente en forma de nanopartículas luminiscentes preferentemente de silicio, sulfuro de cinc o aluminato de estroncio.

- un sustrato sobre el que se apilan las capas anteriores.

En un modo de realización preferente, el detector de partículas ionizantes incluye adicionalmente una capa externa protectora localizada sobre la primera de las capas formadas. Dicha capa externa protectora es de un material transparente (en el caso de que el dispositivo opere en modo reflexión) u opaco (si el dispositivo opera en modo transmisión) que se selecciona entre, pero no se restringe, a óxido de silicio, óxido de zinc dopado con aluminio, óxido de cinc dopado con galio y óxido de indio dopado con estaño, teniendo un espesor comprendido entre 10 nanometros y 1 mm.

En otra forma de realización de la invención, entre las capas de material transparente dopadas con material luminiscente se inserta una capa intermedia separadora formada por una matriz transparente seleccionada, pero no restringida a los siguientes materiales: SiO_2, Al_2O_3, ZrO_2, Y_2O_3, TiO_2, Nb_2O_5, Ta_2O_5, HfO_2 y ZnO.

El sustrato donde se deposita la parte activa del detector es una oblea de silicio pulido cristalino, una pieza de metal, o un vidrio. Alternativamente también puede ser otro material plano luminiscente.

En un modo de realización preferente de la invención, los materiales luminiscentes que se usan como dopantes se seleccionan entre europio, terbio y cerio.

Una primera configuración preferente del detector que opera en modo reflexión consiste en:

- una capa externa protectora de SiO_2 transparente con 10 nm de espesor.

- una matriz transparente dopada con europio de 30 nm de espesor
- una segunda matriz transparente dopada con Tb de 100 nm de espesor
- una oblea de silicio pulido cristalino como sustrato

Una segunda configuración preferente del detector que opera en modo reflexión consiste en

- una matriz transparente dopada con Tb como material luminiscente verde de 350 nm de espesor
- una capa intermedia formada por una matriz transparente de alto peso molecular de 100 nm de espesor seleccionada, pero no restringida, a ZrO_2 o Y_2O_3.
- una segunda matriz transparente dopada con europio como material luminiscente rojo de 300 nm de espesor
- una oblea de silicio pulido cristalino como sustrato

Una tercera configuración preferente del detector que opera en modo transmisión consiste en

- una capa externa protectora formada por una película de 100 nm de espesor de wolframio.
- una matriz transparente dopada con Tb como material luminiscente verde de 300 nm de espesor
- una capa intermedia formada por una matriz transparente de alto peso molecular seleccionada, pero no restringida, a ZrO_2 o Y_2O_3 de 1000 nm de espesor
- una segunda matriz transparente dopada con europio como material luminiscente rojo de 400 nm de espesor
- un sustrato transparente luminiscente con emisión en el azul

En otro aspecto, constituye también un objeto de la presente invención el uso de un detector según la primera configuración preferente para la detección de electrones en un rango de energía comprendido entre 1 y 5 keV en modo de reflexión.

Igualmente, constituye también un objeto de la presente invención el uso de un detector según la segunda configuración preferente para la detección de iones con energías comprendidas entre 0,01 y 10 MeV en modo de reflexión.

Por último, en otro aspecto, constituye también un objeto de la presente invención el uso de un detector según la tercera configuración preferente para la detección de iones con energías comprendidas entre 0,2 y 2 MeV en modo de transmisión.

BREVE DESCRIPCION DE LAS FIGURAS

Figura 1: Esquemas de dispositivo luminiscente con estructura multicapa reivindicado en este documento en configuraciones de trabajo por reflexión (A) y transmisión (B).

Figura 2: Diagrama cromático y estructura esquemática de disposición de las capas correspondiente al ejemplo 1.

Figura 3: Diagrama cromático en el que se muestra la variación en color de un dispositivo luminiscente al ser irradiado por partículas alfa (círculos) o protones (triángulos) de 0.5 a 1.5 MeV y estructura multicapa del dispositivo correspondiente al ejemplo 2.

Figura 4: Diagrama cromático en el que se muestra la variación en color de un dispositivo luminiscente que funciona en el modo de transmisión al ser irradiado por protones y partículas alfa con energías comprendidas entre 0.5 y 3 MeV (puntos huecos) y estructura multicapa del dispositivo correspondiente al ejemplo 3.

DESCRIPCION DETALLADA DE LA INVENCION

El objeto de la invención está relacionado con dispositivos ópticos capaces de discernir entre distintos tipos de radiación ionizante e identificar su energía a partir de la intensidad y color de la luz emitida por el dispositivo. El denominador común de la serie de dispositivos objeto de la presente invención consiste en el apilamiento de capas activas luminiscentes centelleadoras, las cuales emitirán luz de color característico dependiendo de que se exciten de forma efectiva es decir, si la radiación tras incidir en la superficie del dispositivo, alcanza esta capa. Asimismo, el dispositivo podrá contener capas separadoras de estas capas luminiscentes. El detector que se plantea responde con la emisión de luz de distinto color (longitud de onda) dependiendo del tipo de partícula ionizante incidente y su energía, permitiendo discriminar en un mismo dispositivo entre distintos tipos de partículas ionizantes y su energía.

El nuevo dispositivo que constituye el objeto de esta invención y que se muestra esquemáticamente en la Figura 1, se basa en combinar la emisión de luz de varias capas luminiscentes y separadoras que se disponen de forma apilada. La idea es condicionar el color de la emisión de la luz a la penetración alcanzada en el dispositivo por la partícula ionizante que incida sobre la superficie del detector. Para un determinado tipo de partículas, la penetración alcanzada en el dispositivo depende de su energía cinética, masa y carga. A medida que esta partícula se va frenando en el dispositivo, fundamentalmente por interacción eléctrica entre la partícula incidente y los electrones del medio, ésta va trasmitiendo su energía a lo largo del camino recorrido por la partícula a través de cada una de las capas presentes del dispositivo. Parte de esta energía trasmitida podrá eventualmente convertirse en luz emitida por la correspondiente capa luminiscente. De esta manera, una misma partícula ionizante (protón, partícula alfa, electrón) dependiendo de la energía cinética con la que incida sobre la superficie del dispositivo, inducirá la emisión de luz de distinto color dependiendo de la profundidad de penetración en el mismo. Por otro lado, distintos tipos de partículas (distinta masa, carga) con similar energía cinética sufrirán distintas

penetraciones en el dispositivo, con la consecuente emisión de luz con distribución espectral de intensidades y color característico del tipo de partícula (caracterizada por su carga y masa) y energía.

La Figura 1 muestra dos esquemas posibles de la estructura multicapa del dispositivo experimental objeto de la presente invención para detectar radiación ionizante (electrones, protones, deuterones, partículas alfa), siendo: S: sustrato;
P: capa protectora;
L1, …,Ln: capas luminiscentes;
E1,…, En: capas separadoras
Los espesores de las capas activas luminiscentes y separadoras así como su composición se eligen para optimizar el rendimiento del dispositivo a un flujo y tipo de radiación concreto a detectar, así como para seleccionar la gama de colores con la que va a responder el dispositivo a la radiación incidente.

Las capas separadoras situadas entre las capas luminiscentes tienen como finalidad separar y sintonizar la energía de interacción de las partículas incidentes con las distintas capas luminiscentes. Sus espesores pueden variar desde varios nm hasta varios mm, dependiendo de que se optimice su uso con un tipo de radiación concreta y su energía.

La presencia de la capa protectora superficial P tiene como finalidad proteger la primera capa luminiscente L1 del ambiente para mejorar su estabilidad. En el caso de que los dispositivos operen en modo reflexión debe ser transparente para facilitar la salida de la luz excitada. Su índice de refracción puede controlarse con el fin de maximizar la luz emitida de forma frontal (índice de refracción bajo) o de guiar la emisión luminosa por la superficie del dispositivo (índice de refracción alto).

La capa superficial de los dispositivos operados en el modo de transmisión y el sustrato de aquellos operados en el modo de reflexión se elegirá preferentemente como buenos conductores y reflectantes en el visible, con el fin de evacuar la

carga de la radiación ionizante incidente sobre el dispositivo y maximizar la emisión de luz del dispositivo.

Al respecto del modo de detección de la luz emitida en el dispositivo luminiscente, esta podrá ser simplemente visual con el ojo humano, a partir del uso de cámara fotográfica, fibra óptica o cualquier otro método sensible a distribución de intensidad del espectro electromagnético (colorímetro, monocromador óptico, etc).

Cabe resaltar también que dada la metodología de fabricación del sistema multicapa (tecnología de fabricación de capas finas PVD, la estructura óptica posee buena calidad óptica y con índice de refracción ajustado para un guiado óptima de la luz emitida, haciendo posible su integración en dispositivos fotónicos.

MODO DE REALIZACION DE LA INVENCION

En la siguiente serie de ejemplos se muestran las posibilidades de desarrollo de dispositivos detectores de radiación ionizante de distinta energía. Todos ellos se basan en una estructura multicapa de materiales luminiscentes preparados mediante técnicas de capa fina, de manera que los espesores particulares de distintas capas están optimizados para su aplicación a la detección de partículas y energías muy distintos entre sí.

Se ilustra el efecto que tiene en la emisión de color en función del tipo de partícula y su energía. Los efectos de color se presentan tanto con el espectro de luz visible emitido como por sus coordenadas colorimétricas en el diagrama cromático xy. Como se podrá apreciar, distintas energías de las partículas ionizantes dan lugar a la emisión de luz de distinto color.

La deposición de las capas delgadas mencionadas se lleva a cabo en todos los casos por el proceso de deposición en vía seca (deposición física o química en fase vapor). En particular en los ejemplos descritos se ha utilizado para la

deposición de las capas luminiscentes la metodología descrita en la solicitud de patente P201230048 que consiste en deposición mediante pulverización catódica reactiva combinado con descomposición por plasma de precursores no-volátiles de tierra rara.

Ejemplo 1. Dispositivo detector/visualizador de haz de electrones y su energía en el rango de 1-5 keV.

La parte activa del dispositivo queda esquematizada en la figura 2. Consiste en un sistema de tres capas apiladas sobre un sustrato. La capa más externa es de un material transparente, en este caso de composición SiO_2 con 10 nm de espesor. Las otras dos capas consisten en matrices transparentes dopadas con material luminiscente rojo, europio (Eu), en la capa intermedia (30 nm de espesor) y verde, terbio (Tb), en la capa en contacto con el sustrato (100 nm de espesor). El sustrato fue una oblea de silicio pulido cristalino.

Este dispositivo funciona en modo reflexión. Cuando un haz de electrones monocromático incide de forma frontal sobre la capa superficial P del dispositivo penetra hasta una cierta profundidad del mismo, perdiendo energía en su recorrido de penetración, de manera que la profundidad alcanzada por el haz de electrones depende de su energía incidente. La finalidad de la capa P es servir de protección al dispositivo, sin afectar de forma significativa al frenado de los electrones. Los espesores y rendimientos de luminiscencia de las capas luminiscentes verde y roja se ajustan para maximizar el efecto óptico de variación de color con la energía del haz de electrones. En este caso particular, la luz emitida al incidir electrones de 1 keV será roja (sólo se excita la luminiscencia de la capa R). A medida que la energía del haz de electrones incidentes aumenta, el color de la luz emitida va incorporando contribución de luz verde de la capa V de manera que cuando los electrones incidentes tengan 4 keV de energía cinética la luz emitida será fundamentalmente verde. La figura 2 muestra el diagrama cromático en el que se muestra la variación de color de la luz emitida en función de la energía del haz de electrones.

Ejemplo 2. Dispositivo detector de iones (protones, deuterones, partículas alfa) de alta energía (0.5-3.0 MeV) operado en modo de reflexión

La parte activa del dispositivo queda esquematizada en la figura 3. Consiste en un sistema de tres capas apiladas sobre un sustrato. La capa más externa (V) consiste en una matriz transparente dopada con material luminiscente verde, terbio (Tb). La capa intermedia (E) consiste en una matriz transparente de alto peso molecular. La capa en contacto con el sustrato (S) consiste en otra matriz transparente dopada con material luminiscente distinto de la capa más externa (R), en este caso luminiscente rojo, europio Eu. El sustrato es una oblea de silicio cristalino pulido.

El dispositivo funciona en modo reflexión. Cuando un haz de iones de alta energía monocromático (protones, deuterones, partículas alfa) incide con un ángulo de incidencia de 45º sobre la superficie V del dispositivo, penetra hasta una cierta profundidad del mismo, perdiendo energía en su recorrido de penetración, de manera que la profundidad alcanzada por el haz de iones depende de su energía incidente. Una parte de la energía perdida por el haz de iones incidentes se invierte en producir emisión de luz característica en cada una de las capas luminiscentes. Más concretamente, la emisión de luz en las capas V y R será proporcional a la energía perdida por el haz de iones en cada una de ellas. La finalidad de la capa E es condicionar que la energía de interacción del haz de iones sea significativamente distinta en las capas V y R, lo cual va a ayudar a discriminar en energía el haz de partículas ionizadas bajo estudio. Los espesores y rendimientos de luminiscencia de las capas luminiscentes verde y roja se ajustan para maximizar el efecto óptico de variación de color con la energía del haz de electrones.

La estructura mostrada en la figura 3 está optimizada para discernir partículas alfa con energías entre 0.5 y 3.0 MeV. La emisión inducida por partículas alfas de 0.5 MeV será de color verde, mientras que la emitida por partículas alfa de 3.0 MeV se manifestará mayormente de color verde (círculos en el diagrama cromático de la figura 3). Protones incidentes sobre este dispositivo en el mismo rango de

energías no se distinguirán apenas por el color inducido en el dispositivo (triángulos en el diagrama cromático de la figura 3).

Ejemplo 3. Dispositivo detector de iones (protones, deuterones, partículas alfa) de alta energía (0.2-2.0 MeV) operado en modo transmisión

La parte activa del dispositivo queda esquematizada en la figura 4. En este caso consiste en un sistema de cuatro capas apiladas sobre un sustrato transparente. La capa más externa (W) consiste en una película de 100 nm de espesor de wolframio. La siguiente capa consiste en una matriz transparente dopada con material luminiscente verde (V), terbio (Tb). La capa intermedia (E) consiste en una matriz transparente de alto peso molecular. La capa en contacto con el sustrato (R) consiste en otra matriz transparente dopada con material luminiscente distinto de la capa más externa, en este caso luminiscente rojo europio (Eu). Finalmente, toda la estructura multicapa está depositada sobre un sustrato trasparente luminiscente, con emisión en el azul (S).

El dispositivo de la figura 4 funciona en modo transmisión. Cuando un haz de iones de alta energía monocromático (protones, deuterones, partículas alfa) incide de forma frontal sobre la superficie W del dispositivo, penetra hasta una cierta profundidad del mismo, perdiendo energía en su recorrido de penetración, de manera que la profundidad alcanzada por el haz de iones depende de su energía incidente. Una parte de la energía perdida por el haz de iones incidentes se invierte en producir emisión de luz característica en cada una de las capas luminiscentes. Más concretamente, la emisión de luz en las capas V y R será proporcional a la energía perdida por el haz de iones en cada una de ellas. La finalidad de la capa E es condicionar que la energía de interacción del haz de iones sea significativamente distinta en las capas V y R, lo cual va a ayudar a discriminar en energía el haz de partículas ionizadas bajo estudio. Los espesores y rendimientos de luminiscencia de las capas luminiscentes verde y roja se ajustan para maximizar el efecto óptico de variación de color con la energía del haz de electrones. El sustrato consiste en una placa de sílice fundida de 1 mm de espesor, la cual es luminiscente en el azul. La finalidad de esta capa es añadir un

tercer color a la luz emitida por el frenado de los iones incidentes, en particular para aquéllos iones que penetran a profundidades significativamente mayores que los espesores de las capas finas luminiscentes utilizadas.

La estructura mostrada en la figura 4 está optimizada para discernir entre partículas alfa y protones con energías entre 0.2 y 2.0 MeV. La emisión inducida por partículas alfas de 0.2 MeV será de color verde, mientras que la emitida por partículas alfa de 2.0 MeV se manifestará mayormente de color azulado (círculos huecos en el diagrama cromático de la figura 4). Protones incidentes sobre este dispositivo con 0.2 MeV (círculos rellenos en el diagrama cromático de la figura 3) emitirán luz con un color equivalente al de aproximadamente 0.6 MeV de partículas alfa. De la misma forma protones de 0.5 MeV emiten el mismo color de luz que partículas alfa de 2 MeV. Para energías mayores de los protones la emisión será en tonos azules más puros de los que se pueden conseguir mediante irradiación con partículas alfa.

REIVINDICACIONES

1.- Detector de partículas ionizantes con energías comprendidas entre 0.1 keV y 100 MeV, que permite discernir entre los distintos tipos de radiación e identificar su energía a partir de la intensidad y color de la luz emitida, caracterizado porque comprende:

- al menos una capa formada por una matriz transparente dopada con un material luminiscente que se selecciona entre cerio, praseodimio, neodimio, samario, europio, gadolinio, terbio, disprosio, holmio, erbio, iterbio, lutecio y tulio o nanopartículas luminiscentes.
- al menos una segunda capa formada por una matriz transparente dopada con un material luminiscente distinto de la capa anterior y que se selecciona entre cerio, praseodimio, neodimio, samario, europio, gadolinio, terbio, disprosio, holmio, erbio, iterbio, lutecio y tulio o nanopartículas luminiscentes.
- un sustrato sobre el que se apilan las capas anteriores.

2.- Detector de partículas ionizantes según la reivindicación 1, caracterizado porque las nanopartículas luminiscentes incorporadas en las matrices transparentes son de silicio, sulfuro de cinc o aluminato de estroncio.

3.- Detector de partículas ionizantes según una cualquiera de las reivindicaciones 1 y 2, caracterizado porque incluye adicionalmente una capa externa protectora localizada sobre la primera de las capas formadas por una matriz transparente dopada con un material luminiscente.

4.- Detector de partículas ionizantes según la reivindicación 3, caracterizado porque la capa externa protectora es de un material transparente y conductor que se selecciona entre óxido de silicio, óxido de zinc dopado con aluminio, óxido de cinc dopado con galio y óxido de indio dopado con estaño con un espesor comprendido entre 10 nm y 1 mm.

5.- Detector de partículas ionizantes según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, caracterizado porque entre las capas de material transparente dopadas con material luminiscente se inserta una capa intermedia separadora formada por una matriz transparente seleccionada entre los siguientes materiales SiO_2, Al_2O_3, ZrO_2, Y_2O_3, TiO_2, Nb_2O_5, Ta_2O_5, HfO_2 y ZnO.

6.- Detector de partículas ionizantes según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, caracterizado porque el sustrato donde se deposita la parte activa del detector se selecciona entre una oblea de silicio pulido cristalino, una pieza metálica y un vidrio.

7.- Detector de partículas ionizantes según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, caracterizado porque el sustrato es un material plano luminiscente.

8.- Detector de partículas ionizantes según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, caracterizado porque los átomos luminiscentes que se usan como dopantes se seleccionan entre europio, terbio y cerio.

9.- Detector según la reivindicación 1, caracterizado porque consiste en:
- una capa externa protectora de SiO_2 transparente con 10 nm de espesor.
- una matriz transparente dopada con europio de 30 nm de espesor
- una segunda matriz transparente dopada con Tb de 100 nm de espesor
- una oblea de silicio pulido cristalino como sustrato

10.- Detector según la reivindicación 1, caracterizado porque consiste en:
- una matriz transparente dopada con Tb como material luminiscente verde de 350 nm de espesor
- una capa intermedia formada por una matriz transparente de Y_2O_3 de 100 nm de espesor
- una segunda matriz transparente dopada con europio como material luminiscente rojo de 300 nm de espesor

- una oblea de silicio pulido cristalino como sustrato

11.- Detector según la reivindicación 1, caracterizado porque consiste en:
- una capa externa protectora formada por una película de 100 nm de espesor de wolframio.
- una matriz transparente dopada con Tb como material luminiscente verde de 300 nm de espesor
- una capa intermedia formada por una matriz transparente de Y_2O_3 de 1000 nm de espesor
- una segunda matriz transparente dopada con europio como material luminiscente rojo de 400 nm de espesor
- un sustrato transparente luminiscente con emisión en el azul

12.- Uso de un detector tal como se define en la reivindicación 9 para la detección de electrones en un rango de energía comprendido entre 1 y 5 keV en modo de reflexión.

13.- Uso de un detector tal como se define en la reivindicación 10 para la detección de iones con energías comprendidas entre 0,01 y 10 MeV en modo de reflexión.

14.- Uso de un detector tal como se define en la reivindicación 11 para la detección de iones con energías comprendidas entre 0,2 y 2 MeV en modo de transmisión.

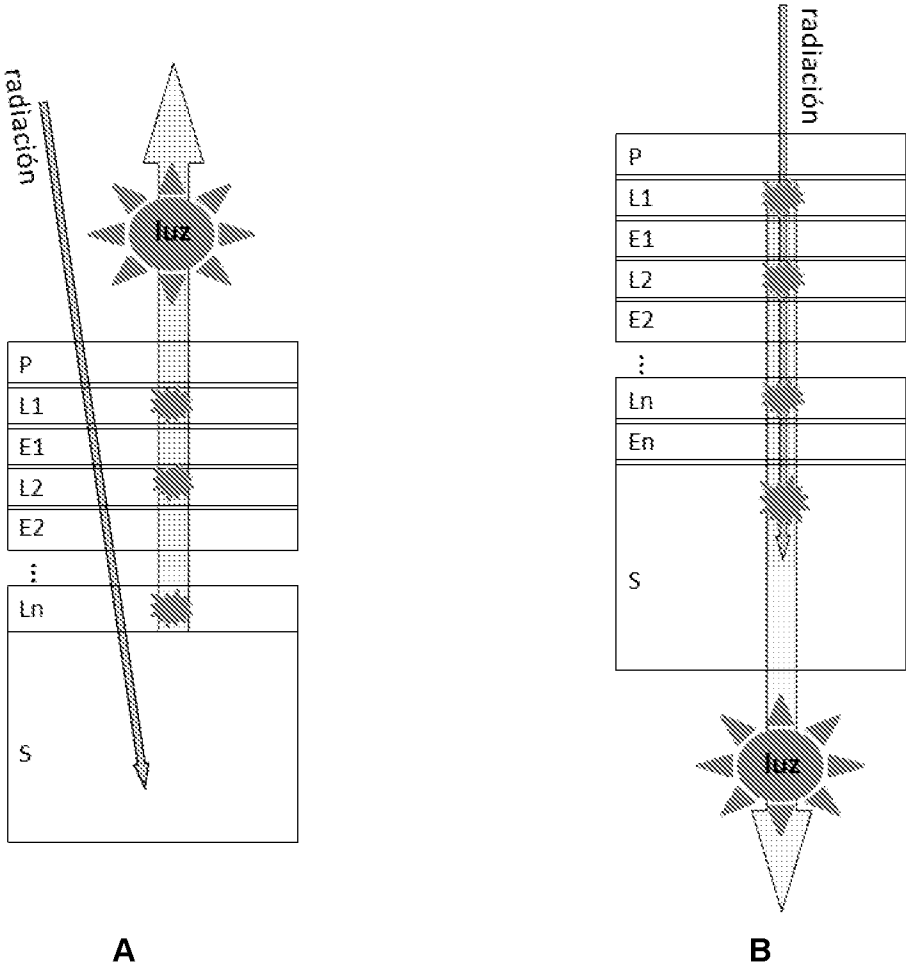
radiación
luz
P
L1
E1
L2
E2
Ln
S
A
radiación
P
L1
E1
L2
E2
Ln
En
S
luz
B

FIG.1

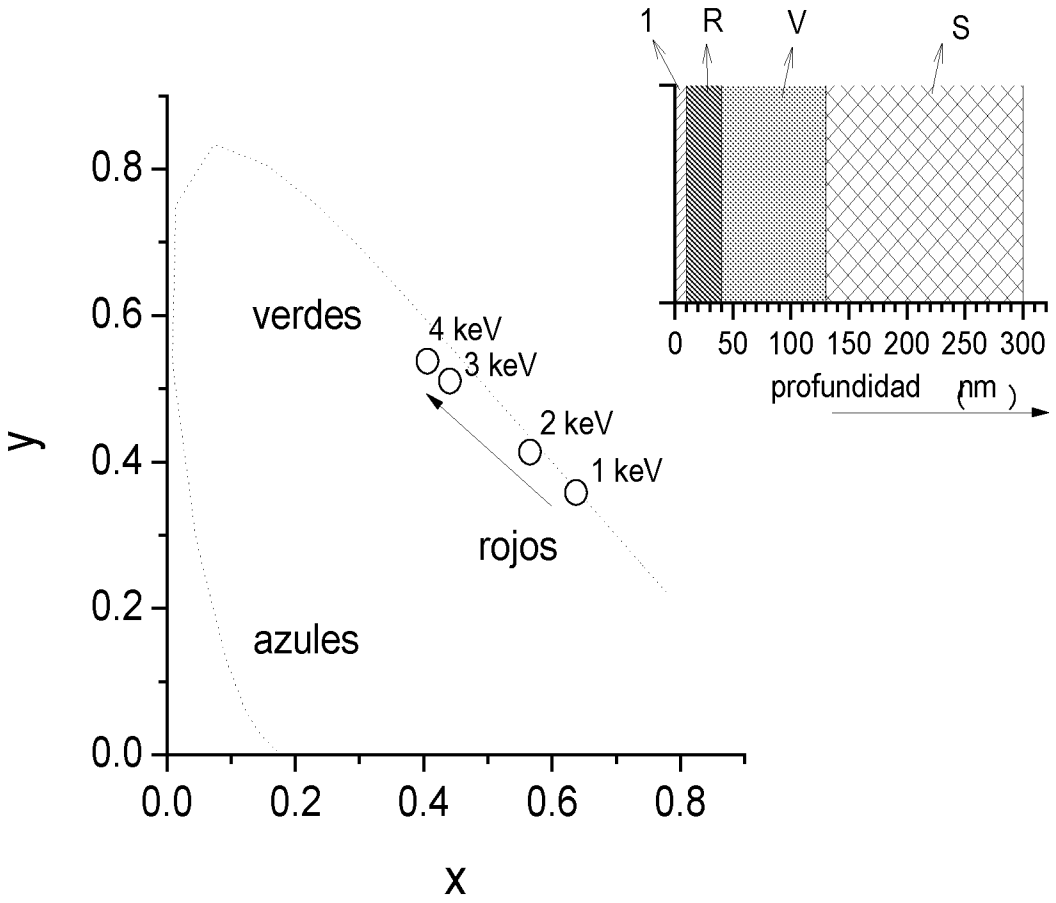
1
R
V
S
0
50
100
150
200
250
300
profundidad (nm)
0.8
0.6
0.4
0.2
0.0
y
verdes
4 keV
3 keV
2 keV
1 keV
rojos
azules
0.0
0.2
0.4
0.6
0.8
x

FIG.2

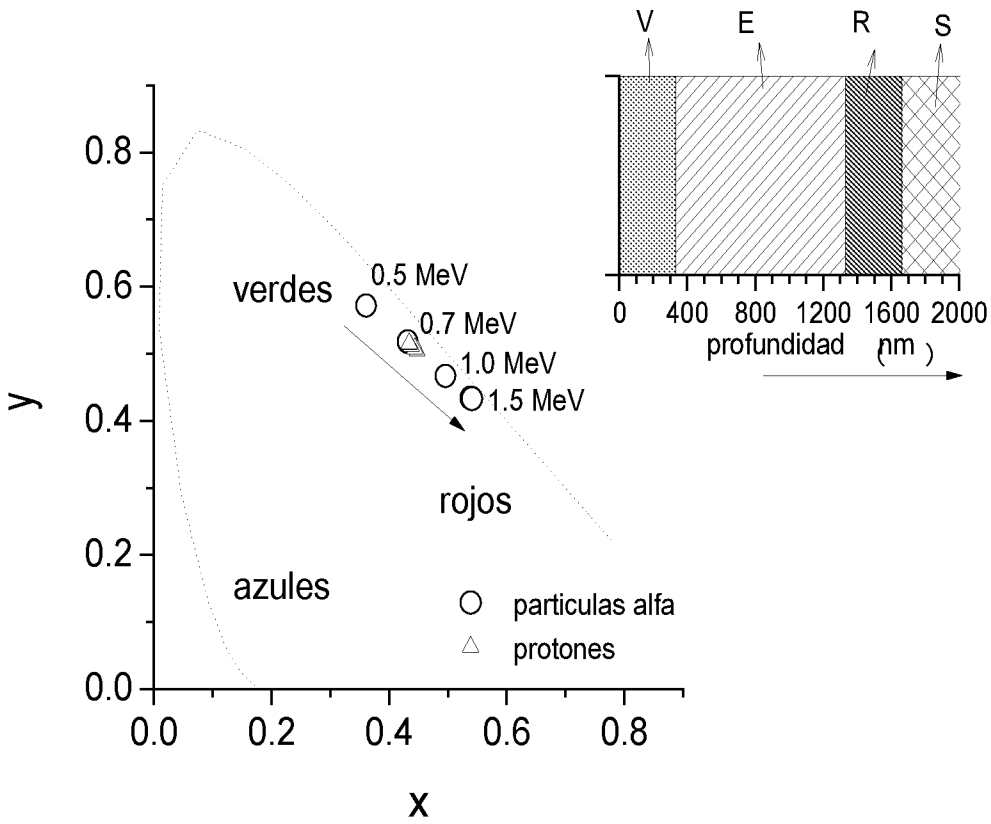
V
E
R
S
0
400
800
1200
1600
2000
profundidad (nm)
0.8
0.6
0.4
0.2
0.0
y
verdes
0.5 MeV
0.7 MeV
1.0 MeV
1.5 MeV
rojos
azules
particulas alfa
protones
0.0
0.2
0.4
0.6
0.8
x

FIG.3

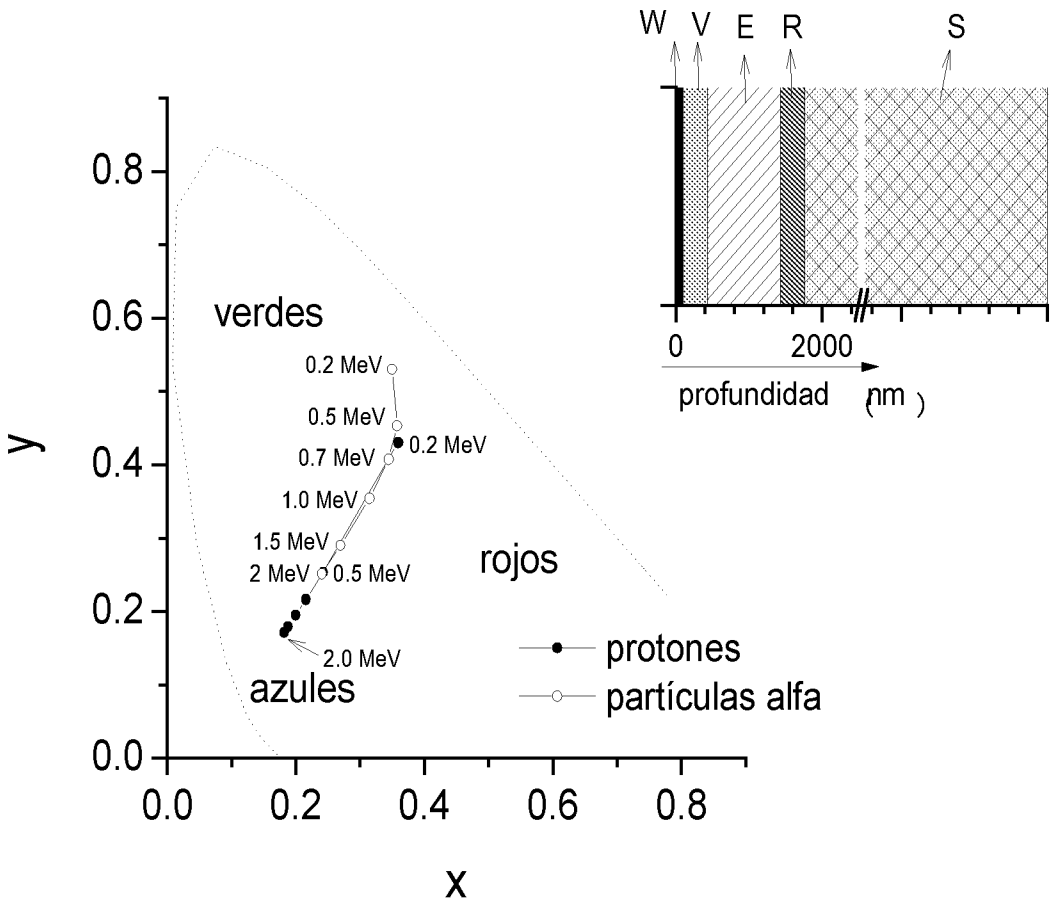
W
V
E
R
S
0
2000
profundidad (nm)
0.8
0.6
0.4
0.2
0.0
y
verdes
0.2 MeV
0.5 MeV
0.7 MeV
1.0 MeV
1.5 MeV
2 MeV
0.2 MeV
0.5 MeV
rojos
2.0 MeV
azules
protones
partículas alfa
0.0
0.2
0.4
0.6
0.8
x

FIG.4

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/ES2015/070149

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

C09K11/77 (2006.01)
G01T1/20 (2006.01)
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
C09K, G01T

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

EPODOC, INVENES, WPI, INSPEC, XPESP, NPL

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	ANXIAN, L. et al., Crystallization, structure and fluorescence emission of Nd3+ - and Yb3+- doped NCS transparent glass-ceramics. Ceramics International, 2014 (on-line: 24/04/2013), Vol.40, pps. 11-16, Doi: doi:10.1016/j.ceramint.2013.04.049. Paraghaps: "Introduction" y "Conclusions".	1-14
A	FUJIMOTO, Y., et al., Evaluation of characterization of rare-earth doped sesquioxide ceramic scintillators. Optical Materials, 2011, Vol.34, pps. 448-451, Doi: doi:10.1016/j.optmat.2011.03.049. Paraghaps: "Introduction" y "Experimental Procedures".	1-14

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance.
"E" earlier document but published on or after the international filing date
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
"O" document referring to an oral disclosure use, exhibition, or other means.
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed
"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other documents , such combination being obvious to a person skilled in the art
"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report
02/06/2015	**(08/06/2015)**
Name and mailing address of the ISA/ OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS Paseo de la Castellana, 75 - 28071 Madrid (España) Facsimile No.: 91 349 53 04	Authorized officer M. García Poza Telephone No. 91 3495568

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/ES2015/070149

C (continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of documents, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	BROOKE BARTA, M. et al. Effect of host glass matrix on structural and optical behavior of glass-ceramic nanocomposite scintilla. Optical Materials, 2013, Vol. 36, pps. 287-293. Doi: doi:10.1016/j.optmat.2013.09.010. Paraghaps: Resumen, “Introduction” y “Conclusions”.	1-14
A	JOHNSON, J. et al., Eu-activated fluorochlorozirconate glass-ceramic scintillators. Journal of Applied Physics, 2006, Vol. 100, pps. 34701-034701-5. Doi: doi:10.1063/1.2225765 Paraghaps: Resumen, “Introduction” y “Experiment”.	1-14
A	YANAGIDA, T., Study of rare-earth-doped scintillators. Optical Materials, 2013, Vol. 35, pps.1987-1992. Doi: doi:10.1016/j.optmat.2012.11.002. Whole document.	1-14

INFORME DE BÚSQUEDA INTERNACIONAL

Solicitud internacional nº
PCT/ES2015/070149

A. CLASIFICACIÓN DEL OBJETO DE LA SOLICITUD
C09K11/77 (2006.01)
G01T1/20 (2006.01)
De acuerdo con la Clasificación Internacional de Patentes (CIP) o según la clasificación nacional y CIP.

B. SECTORES COMPRENDIDOS POR LA BÚSQUEDA

Documentación mínima buscada (sistema de clasificación seguido de los símbolos de clasificación)
C09K, G01T

Otra documentación consultada, además de la documentación mínima, en la medida en que tales documentos formen parte de los sectores comprendidos por la búsqueda

Bases de datos electrónicas consultadas durante la búsqueda internacional (nombre de la base de datos y, si es posible, términos de búsqueda utilizados)
EPODOC, INVENES, WPI, INSPEC, XPESP, NPL

C. DOCUMENTOS CONSIDERADOS RELEVANTES

Categoría*	Documentos citados, con indicación, si procede, de las partes relevantes	Relevante para las reivindicaciones nº
A	ANXIAN, L. et al., Crystallization, structure and fluorescence emission of Nd3+ - and Yb3+-doped NCS transparent glass-ceramics. Ceramics International, 2014 (versión en línea: 24/04/2013), Vol.40, págs. 11-16, Doi: doi:10.1016/j.ceramint.2013.04.049. Párrafos: "Introduction" y "Conclusions".	1-14
A	FUJIMOTO, Y., et al., Evaluation of characterization of rare-earth doped sesquioxide ceramic scintillators. Optical Materials, 2011, Vol.34, págs. 448-451, Doi: doi:10.1016/j.optmat.2011.03.049. Párrafos: "Introduction" y "Experimental Procedures".	1-14

☒ En la continuación del recuadro C se relacionan otros documentos ☐ Los documentos de familias de patentes se indican en el anexo

* Categorías especiales de documentos citados:
"A" documento que define el estado general de la técnica no considerado como particularmente relevante.
"E" solicitud de patente o patente anterior pero publicada en la fecha de presentación internacional o en fecha posterior.
"L" documento que puede plantear dudas sobre una reivindicación de prioridad o que se cita para determinar la fecha de publicación de otra cita o por una razón especial (como la indicada).
"O" documento que se refiere a una divulgación oral, a una utilización, a una exposición o a cualquier otro medio.
"P" documento publicado antes de la fecha de presentación internacional pero con posterioridad a la fecha de prioridad reivindicada.
"T" documento ulterior publicado con posterioridad a la fecha de presentación internacional o de prioridad que no pertenece al estado de la técnica pertinente pero que se cita por permitir la comprensión del principio o teoría que constituye la base de la invención.
"X" documento particularmente relevante; la invención reivindicada no puede considerarse nueva o que implique una actividad inventiva por referencia al documento aisladamente considerado.
"Y" documento particularmente relevante; la invención reivindicada no puede considerarse que implique una actividad inventiva cuando el documento se asocia a otro u otros documentos de la misma naturaleza, cuya combinación resulta evidente para un experto en la materia.
"&" documento que forma parte de la misma familia de patentes.

Fecha en que se ha concluido efectivamente la búsqueda internacional.	Fecha de expedición del informe de búsqueda internacional.
02/06/2015	**08 de junio de 2015 (08/06/2015)**
Nombre y dirección postal de la Administración encargada de la búsqueda internacional OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS Paseo de la Castellana, 75 - 28071 Madrid (España) Nº de fax: 91 349 53 04	Funcionario autorizado M. García Poza Nº de teléfono 91 3495568

INFORME DE BÚSQUEDA INTERNACIONAL

Solicitud internacional nº
PCT/ES2015/070149

C (Continuación). DOCUMENTOS CONSIDERADOS RELEVANTES

Categoría *	Documentos citados, con indicación, si procede, de las partes relevantes	Relevante para las reivindicaciones nº
A	BROOKE BARTA, M. et al. Effect of host glass matrix on structural and optical behavior of glass-ceramic nanocomposite scintilla. Optical Materials, 2013, Vol. 36, págs. 287-293. Doi: doi:10.1016/j.optmat.2013.09.010. Párrafos: Resumen, “Introduction” y “Conclusions”.	1-14
A	JOHNSON, J. et al., Eu-activated fluorochlorozirconate glass-ceramic scintillators. Journal of Applied Physics, 2006, Vol. 100, págs. 34701-034701-5. Doi: doi:10.1063/1.2225765 Párrafos: Resumen, “Introduction” y “Experiment”.	1-14
A	YANAGIDA, T., Study of rare-earth-doped scintillators. Optical Materials, 2013, Vol. 35, págs.1987-1992. Doi: doi:10.1016/j.optmat.2012.11.002. Todo el documento.	1-14