(19) OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

(11) Número de publicación: **2 711 652**

(51) Int. CI.:

C09D 5/22 (2006.01)
C09K 11/77 (2006.01)
B42D 25/29 (2014.01)
B42D 25/00 (2014.01)

(12) TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA T3

(86) Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **08.04.2013 PCT/US2013/035601**

(87) Fecha y número de publicación internacional: **05.06.2014 WO14084896**

(96) Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **08.04.2013 E 13859382 (7)**

(97) Fecha y número de publicación de la concesión europea: **14.11.2018 EP 2925833**

(54) Título: **Boratos luminiscentes, materiales luminiscentes y artículos que incorporan dichos boratos**

(30) Prioridad:

30.11.2012 US 201261732022 P
14.03.2013 US 201313803052

(45) Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
06.05.2019

(73) Titular/es:

HONEYWELL INTERNATIONAL INC. (100.0%)
115 Tabor Road
Morris Plains, NJ 07950, US

(72) Inventor/es:

KANE, JAMES;
LAU, CARSTEN y
RAPOPORT, WILLIAM, ROSS

(74) Agente/Representante:

LEHMANN NOVO, María Isabel

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

Boratos luminiscentes, materiales luminiscentes y artículos que incorporan dichos boratos

Reivindicaciones de prioridad

La presente solicitud reivindica el beneficio de la solicitud provisional de Estados Unidos Nº 61/732.022, presentada el 30 de noviembre de 2012.

Campo técnico

El campo técnico se refiere en general a compuestos emisores de radiación y, más específicamente, se refiere a boratos luminiscentes, materiales luminiscentes y artículos que incorporan dichos boratos.

Antecedentes

Un compuesto de fósforo luminiscente es un compuesto que es capaz de emitir cantidades detectables de radiación en los espectros infrarrojo, visible y/o ultravioleta tras la excitación del compuesto por medio de una fuente de energía externa. Un compuesto de fósforo luminiscente típico incluye al menos un material huésped (por ejemplo, una red cristalina), un ion emisor (por ejemplo, de un metal de tierras raras) y, en algunos casos, un ion "sensibilizante" (por ejemplo, de un metal de transición o de un metal de tierras raras diferente que pueda absorber y transferir la energía al ion de metal de tierras raras emisor). La producción de radiación por un compuesto de fósforo se realiza mediante la absorción de la radiación incidente por el o los iones emisores o por uno cualquiera de entre el material huésped y el o los iones sensibilizantes, o por ambos, seguida de la transferencia de energía desde el material huésped/ion o iones sensibilizantes al o a los iones emisores, y la irradiación de la energía transferida por el o los iones emisores.

Los componentes seleccionados de un compuesto de fósforo pueden ser responsables de que el compuesto tenga propiedades de emisión particulares, incluida una emisión espectral que se encuentre en una longitud de onda más elevada que una longitud de onda de excitación. No obstante, no todos los iones producirán emisiones en todos los materiales huésped. Existen muchos ejemplos en los que radiación que tiene el potencial de emisión se extingue, o la transferencia de energía desde los iones absorbentes o el material huésped a los iones emisores es tan reducida que los efectos de la radiación apenas pueden observarse. En otros materiales huésped, los efectos de la radiación pueden ser muy grandes y con una eficiencia cuántica cercana a la unidad.

Para un compuesto de fósforo específico que produce emisiones observables, se pueden usar la o las posiciones espectrales del contenido de energía espectral (o salida de luminiscencia) más elevado en sus emisiones (es decir, su "firma espectral") para identificar exclusivamente el compuesto de fósforo de entre otros compuestos. Principalmente, la firma espectral se debe al o a los iones de las tierras raras. Sin embargo, puede haber presencia de perturbaciones espectrales debidas a la influencia del material huésped en los diversos iones emisores, normalmente a través de la intensidad y el desdoblamiento del campo cristalino. Esto también es válido para el comportamiento temporal de las emisiones.

Las propiedades espectrales únicas de algunos compuestos de fósforo los hacen muy adecuados para su uso en la autenticación o identificación de artículos de valor o importancia particular (por ejemplo, billetes de banco, pasaportes, muestras biológicas, etc.). En consecuencia, se han incorporado compuestos de fósforo luminiscentes con firmas espectrales conocidas en diversos tipos de artículos para mejorar la capacidad de detectar falsificaciones o copias falsificadas de dichos artículos, o para identificar y rastrear los artículos. Por ejemplo, se han incorporado compuestos de fósforo luminiscentes en diversos tipos de artículos en forma de aditivos, recubrimientos y características impresas o aplicadas de otra forma que pueden analizarse en el proceso de autenticación o seguimiento de un artículo.

Un artículo que incluye un compuesto de fósforo luminiscente se puede autenticar utilizando un equipo de autenticación especialmente diseñado mediante técnicas de autenticación conocidas. Aunque estas técnicas de autenticación son muy eficaces para detectar y frustrar actividades de falsificación e imitación relativamente poco sofisticadas, presentan inconvenientes. Por ejemplo, individuos con los recursos y equipos apropiados son capaces de emplear técnicas de espectrometría para determinar los componentes de algunos compuestos de fósforo. Después, los compuestos de fósforo pueden reproducirse y utilizarse con artículos no auténticos, comprometiendo así los beneficios de autenticación que de otro modo podría proporcionar un compuesto de fósforo particular. Además, muchos compuestos de fósforo tienen densidades relativamente altas, tales como superiores o iguales a aproximadamente 5 gramos por centímetro cúbico. Como consecuencia, los compuestos de fósforo son difíciles de dispersar en muchos medios líquidos, incluidas tintas, y puede producirse sedimentación a concentraciones no uniformes de los compuestos de fósforo tras la aplicación de las tintas.

En consecuencia, aunque se ha desarrollado una serie de compuestos de fósforo para facilitar la autenticación del artículo de la forma descrita anteriormente, es deseable desarrollar compuestos adicionales, que puedan dificultar

aún más las actividades de falsificación e imitación, y/o que puedan resultar beneficiosos para la identificación y el seguimiento de artículos de particular interés. Además, es deseable desarrollar compuestos de fósforo que tengan una densidad inferior a 5 gramos por centímetro cúbico y, por lo tanto, se puedan dispersar eficazmente en medios líquidos tales como tinta. Además, otras características y rasgos deseables de la presente invención se harán evidentes a partir de la descripción detallada subsiguiente de la invención y las reivindicaciones adjuntas, consideradas conjuntamente con los dibujos adjuntos y estos antecedentes de la invención.

Breve resumen

El objeto de la presente invención se define en las reivindicaciones 1-9 adjuntas. Las formas de realización descritas en el presente documento que no están cubiertas por las reivindicaciones sirven únicamente para ilustrar el contexto técnico de la presente invención.

En el presente documento se proporcionan boratos luminiscentes, materiales luminiscentes que incluyen partículas de un borato luminiscente y artículos que incluyen una característica de seguridad que incluye partículas de un borato luminiscente. En una forma de realización, un borato luminiscente incluye un borato huésped que tiene una red cristalina que comprende B_9O_{16}. Dentro del borato huésped hay presencia de neodimio y de iterbio, y están presentes opcionalmente junto con el neodimio y el iterbio uno o más elementos sustituibles dentro del borato huésped. Los, uno o más, elementos sustituibles son diferentes de neodimio e iterbio y se seleccionan del grupo que consiste en lantano, cerio, gadolinio, terbio y mezclas de los mismos.

El borato luminiscente tiene la fórmula $MeXB_9O_{16}$, en la que Me se selecciona del grupo que consiste en estroncio, bario y una mezcla de los mismos y X es una mezcla de neodimio e iterbio.

En otra forma de realización, un material luminiscente incluye un medio y partículas de un borato luminiscente dispersadas dentro del medio. El borato luminiscente incluye un borato huésped que tiene una red cristalina que comprende B_9O_{16}. Dentro del borato huésped hay presencia de neodimio y/o de iterbio, y están presentes opcionalmente junto con el neodimio y el iterbio uno o más elementos sustituibles dentro del borato huésped. Los, uno o más, elementos sustituibles son diferentes de neodimio e iterbio.

En otra forma de realización, un artículo incluye una característica de seguridad. La característica de seguridad incluye un medio y partículas de borato luminiscente dispersadas en el medio. El borato luminiscente incluye un borato huésped que tiene una red cristalina que comprende B_9O_{16}. Dentro del borato huésped hay presencia de neodimio y/o de iterbio, y están presentes opcionalmente junto con el neodimio y el iterbio uno o más elementos sustituibles dentro del borato huésped. Los, uno o más, elementos sustituibles son diferentes de neodimio e iterbio.

Breve descripción de los dibujos

A continuación se describirán formas de realización de las diversas formas de realización junto con las figuras siguientes, en las que números similares denotan elementos similares, y en las que:

La figura 1 representa componentes potenciales de un borato luminiscente, según varias formas de realización de ejemplo;

La figura 2A es un gráfico que representa la absorción relativa a lo largo de un espectro de longitud de onda para un borato luminiscente que tiene la fórmula $Ba(NdYb)B_9O_{16}$, con una relación de neodimio con respecto a iterbio de 80 a 20;

La figura 2B es un gráfico que representa los espectros de emisión para boratos luminiscentes que tienen la fórmula $Ba(NdYb)B_9O_{16}$ con diferentes relaciones de neodimio con respecto a iterbio;

La figura 3 es un diagrama de flujo de un procedimiento para producir un borato luminiscente, un medio que incluye el borato y un artículo que incluye el medio que contiene borato, según una forma de realización de ejemplo; y

La figura 4 es una vista lateral en sección transversal de un artículo que incluye un sustrato y una característica de autenticación, según una forma de realización de ejemplo.

Descripción detallada

La siguiente descripción detallada de varias formas de realización de la invención es de naturaleza meramente ejemplar y no pretende limitar el objeto de la invención o la aplicación y los usos del objeto de la invención. Además, no existe ninguna intención de vincularse a ninguna teoría presentada en el contexto anterior o la descripción detallada siguiente.

Las formas de realización que se analizan en detalle a continuación incluyen boratos luminiscentes, materiales luminiscentes, procedimientos para producir dichos materiales luminiscentes y artículos que incluyen boratos luminiscentes. Las formas de realización de boratos luminiscentes que se describen a continuación aumentan la diversidad de materiales disponibles que pueden usarse para autenticación o identificación. Las firmas espectrales y las constantes de tiempo de decaimiento que caracterizan las emisiones de los boratos luminiscentes que se analizan en el presente documento se pueden utilizar como cantidades medibles para fines de autenticación. Además, los boratos luminiscentes tienen un alto contenido de boro, tal como se describe con más detalle a continuación, lo que da como resultado que los boratos luminiscentes tengan una densidad inferior a 5 gramos por centímetro cúbico. Como tales, los boratos luminiscentes tienden a dispersarse eficazmente en medios líquidos tales como tinta para formar dispersiones estables; a este respecto, resisten la sedimentación y proporcionan concentraciones uniformes del borato luminiscente tras la aplicación de los medios líquidos a un sustrato. Además, debido al contenido de boro de los boratos luminiscentes, los boratos luminiscentes tienen un índice de refracción relativamente alto y un color de cuerpo reducido. El índice de refracción relativamente alto, tal como un índice de refracción de aproximadamente 1,60 a aproximadamente 1,65, permite que el índice de refracción coincida con el de determinados medios poliméricos que tienen un índice de refracción similar, lo que dificulta la detección de la presencia de boratos luminiscentes en los medios poliméricos. Además, el reducido color de cuerpo de los boratos luminiscentes, incluso cuando el neodimio está presente en altas cantidades, tales como el 100% de sustitución en los boratos luminiscentes, dificulta la detección visual de la presencia de boratos luminiscentes en un medio particular a simple vista basándose en una variación de color. Dichas características de los boratos luminiscentes que se describen en el presente documento inhiben la capacidad de falsificadores potenciales para detectar y replicar características de seguridad que incluyen los boratos luminiscentes.

La figura 1 representa componentes potenciales de un borato luminiscente 100, según diversas formas de realización ejemplares. El borato luminiscente 100 incluye un borato huésped 110 que tiene una red cristalina que comprende B_9O_{16}, que sirve como material de red cristalina huésped. En algunas formas de realización, el borato luminiscente 100 también incluye neodimio 120 (Nd) y/o iterbio 130 (Yb) presentes dentro del borato huésped 110, que pueden introducirse en la red huésped sustituyendo a uno o más elementos sustituibles que son diferentes del neodimio y el iterbio, tales como el lantano (La) u otro elemento de tierras raras, incluido el itrio, tal como se describe con más detalle a continuación. El borato luminiscente 100 opcionalmente incluye además los, uno o más, elementos sustituibles presentes dentro del borato huésped 110.

El borato huésped 110 que tiene la red cristalina que comprende B_9O_{16} incluye más particularmente un material en el que se incorporan el neodimio 120 y/o el iterbio 130 mediante sustitución de los, uno o más, elementos sustituibles del borato huésped 110 por el neodimio 120 y/o el iterbio 130. Más particularmente, el borato huésped 110 es una red cristalina que comprende B_9O_{16} en la que el neodimio 120 y/o el iterbio 130 pueden introducirse por sustitución en varias posiciones dentro de la red. En una forma de realización, el borato huésped 110 es un borato que tiene la fórmula $MeReB_9O_{16}$, en la que Me se selecciona del grupo que consiste en estroncio, bario o una mezcla de los mismos, y Re representa los, uno o más, elementos sustituibles. El $MeReB_9O_{16}$ es un cristal monoclínico. Es preciso señalar que la fórmula anterior representa una fórmula promedio para el borato huésped 110, presentando el borato huésped 110 potencialmente diferentes átomos para Me y Re en diferentes ubicaciones dentro de la red cristalina del borato huésped 110. Debido al tamaño y la configuración del borato huésped 110 que tiene la fórmula $MeReB_9O_{16}$, en una forma de realización, Me es bario en toda la red cristalina. La expresión "elemento sustituible", tal como se usa en el presente documento, se refiere a un elemento del borato huésped 110 que ocupa determinados sitios dentro de la estructura cristalina, en los que otro elemento (por ejemplo, neodimio 120 y/o iterbio 130) puede introducirse por sustitución en esos sitios durante la formación del borato luminiscente 100. Los ejemplos de elementos sustituibles incluyen elementos de tierras raras, incluido el itrio, que son diferentes del neodimio 120 y el iterbio. Los ejemplos de elementos de tierras raros adecuados incluyen, pero sin limitación, lantano, cerio, europio, gadolinio, terbio y mezclas de los mismos. De nuevo, debido al tamaño y la configuración del borato huésped 110 que tiene la fórmula $MeReB_9O_{16}$, en una forma de realización, Re es lantano. Un ejemplo específico de un borato huésped 110 adecuado es borato de bario y lantano ($BaLaB_9O_{16}$). La descripción, a continuación, utiliza principalmente borato de bario y lantano como ejemplo de un borato huésped 110 que es adecuado para su uso con las diversas formas de realización. Se entenderá que también pueden usarse boratos huésped distintos del borato de bario y lantano, tales como los ejemplos alternativos enumerados anteriormente y cualquier borato de este tipo que tenga una valencia +2 en el sitio de Me y una valencia +3 en el sitio de Re, y se considera que dichas formas de realización alternativas se encuentran dentro del ámbito del objeto de la invención.

Tal como se ha expuesto anteriormente, los, uno o más, elementos sustituibles presentes en el borato huésped 110 están sustituidos por neodimio 120 y/o iterbio 130 en el borato luminiscente 100 resultante. Por ejemplo, cuando el borato huésped 110 tiene la fórmula $MeReB_9O_{16}$, varias formas de realización del borato luminiscente 100 incluyen uno cualquiera de neodimio 120 e iterbio 130, o ambos, introducidos por sustitución en los sitios Re. En particular, en una forma de realización, el borato luminiscente 100 tiene la fórmula $MeXB_9O_{16}$ en la que Me, B y O son los mismos que se han indicado anteriormente, y X es neodimio 120 y/o iterbio 130 y opcionalmente Re, estando el neodimio, el iterbio y Re presentes en X en cualquier fracción hasta el 100%. Como con el borato huésped 110 tal como se ha descrito anteriormente, es preciso señalar que la fórmula anterior para el borato luminiscente 100 representa una fórmula promedio para el borato luminiscente 100, presentando el borato luminiscente 100 potencialmente diferentes átomos para Me y X en diferentes ubicaciones dentro del borato luminiscente 100.

El neodimio 120 y el iterbio 130 actúan en el borato luminiscente 100 como iones emisores. Como iones emisores, el neodimio 120 y el iterbio 130 producen una radiación detectable después de recibir la energía de excitación apropiada. El neodimio 120 y el iterbio 130 pueden recibir energía para la subsiguiente irradiación a través de múltiples mecanismos. Por ejemplo, el neodimio 120 es capaz de absorber directamente la radiación de excitación, y el neodimio 120 puede, posteriormente, irradiar al menos parte de la energía absorbida (normalmente a una longitud de onda diferente y más larga que la radiación de excitación). Como tal, en una forma de realización, el borato luminiscente 100 incluye el 100 por cien de sustitución por el neodimio 120, medido hasta los límites de detección de la mayor parte de los equipos de diagnóstico disponibles comercialmente, tales como equipos de espectroscopía de rayos X de energía dispersiva. Las formas de realización del borato luminiscente 100 que incluyen el borato huésped 110 y el neodimio 120 (pero sin iterbio 130) se denominan en el presente documento "cristales de Nd:borato".

El iterbio 130 también se puede excitar directamente, aunque las bandas de absorción de iterbio están muy cerca de las bandas de emisión (por ejemplo, las bandas de absorción comienzan a aproximadamente 910 nm). Como tal, en otra forma de realización, el borato luminiscente 100 incluye el 100 por cien de sustitución por el iterbio 130, medido hasta los límites de detección de la mayor parte de los equipos de diagnóstico disponibles comercialmente, tales como los equipos de espectroscopía de rayos X de energía dispersiva. Las formas de realización del borato luminiscente 100 que incluyen el borato huésped 110 y el iterbio 130 (pero no el neodimio 120) se denominan en el presente documento "Yb:boratos". En otra forma de realización, tal como se ha mencionado anteriormente, el borato luminiscente 100 incluye la sustitución tanto por el neodimio 120 como por el iterbio 130. Las formas de realización del borato luminiscente 100 que incluyen el borato huésped 110, el neodimio 120 y el iterbio 130 se denominan en el presente documento "cristales de Nd:Yb:borato".

Tal como se usa en el presente documento, "energía de excitación apropiada" se refiere a la energía de excitación que tiene un intervalo de longitudes de onda que corresponde a una banda de absorción de un ion absorbente de borato luminiscente 100. Cuando la energía de excitación apropiada se dirige hacia un borato luminiscente 100 de cualquiera de las formas de realización enumeradas anteriormente, la energía de excitación se absorbe por iones absorbentes presentes dentro del borato luminiscente 100, y los iones emisores (es decir, neodimio 120 y/o iterbio 130) presentes dentro del borato luminiscente 100 pueden producir emisiones detectables. Por ejemplo, en formas de realización que incluyen neodimio 120 (por ejemplo, cristales de Nd:borato o cristales de Nd:Yb:borato), el neodimio 120 puede actuar como un ion absorbente, que puede absorber directamente la energía de excitación apropiada (por ejemplo, energía de excitación en una banda de absorción de neodimio 120). En formas de realización que también incluyen iterbio 130 (por ejemplo, Nd:Yb:boratos), se ha encontrado que el neodimio 120 transfiere energía de forma eficaz al iterbio 130, y el iterbio 130 puede producir emisiones detectables en una o más bandas de emisión de iterbio. En consecuencia, el neodimio 120 actúa como un ion absorbente, y el iterbio 130 actúa como un ion emisor. El neodimio 120 también puede actuar como un ión emisor que produce emisiones detectables en una o más bandas de emisión de neodimio. Tal como se usa en el presente documento, una "banda de emisión" se define en el presente documento como un intervalo continuo de longitudes de onda del espectro electromagnético dentro del cual se producen emisiones concentradas, no despreciables (por ejemplo, detectables) desde uno o más iones emisores del material luminiscente. Para cualquier ion emisor particular, una "banda de emisión" está limitada por una menor longitud de onda por debajo de la cual las emisiones son despreciables para ese ion, y una longitud de onda superior por encima de la cual las emisiones son despreciables por ese ion.

Una forma de realización ejemplar del borato luminiscente 100 incluye un borato huésped 110 en el que los, uno o más, elementos sustituibles (por ejemplo, Re cuando el borato huésped 110 tiene la fórmula $MeReB_9O_{16}$) están sustituido por neodimio 120 en un primer porcentaje de sustitución de al menos el 20 por ciento, y/o los, uno o más, elementos sustituibles están sustituidos por iterbio 130 en un segundo porcentaje de sustitución. La cantidad de neodimio 120 y/o iterbio 130 que se ha introducido por sustitución en el borato huésped 110 se describe en el presente documento en términos de porcentaje atómico. El segundo porcentaje de sustitución puede ser igual o diferente al primer porcentaje de sustitución. Por ejemplo, en una forma de realización, los, uno o más, elementos sustituibles están sustituidos por neodimio 120 en un porcentaje de sustitución en un intervalo del 50 al 95 por ciento, y los, uno o más, elementos sustituibles están sustituidos por iterbio 130 en un porcentaje de sustitución en un intervalo del 50 al 5 por ciento. En otra forma de realización ejemplar, el primer porcentaje de sustitución se encuentra en un intervalo del 85 al 95 por ciento, y el segundo porcentaje de sustitución se encuentra en un intervalo del 15 al 5 por ciento.

El borato huésped 110 se puede denominar borato estequiométrico, lo que significa que uno o más iones emisores (por ejemplo, neodimio 120 y/o iterbio 130) pueden haberse introducido por sustitución al 100 por ciento en la red cristalina en lugar de los, uno o más, elementos sustituibles (por ejemplo, Re en la formula $MeReB_9O_{16}$, siendo Re un elemento de tierras raras tal como el lantano), y el borato luminiscente 100 resultante aún posee propiedades luminiscentes útiles. Según una forma de realización, el número de átomos de los, uno o más, elementos sustituibles en el borato huésped 110 que pueden reemplazarse por neodimio 120 y/o iterbio 130 es igual al 100 por cien. En otras palabras, el porcentaje de sustitución total combinado del neodimio 120 y el iterbio 130 de los, uno o más, elementos sustituibles, Re, puede ser de hasta el 100 por cien, aunque también puede ser inferior al 100 por cien. Por "sustituido al 100 por cien", se entiende que la sustitución completa por neodimio 120 y/o iterbio de los, uno o más, elementos sustituibles, medida hasta los límites de detección de la mayor parte de los equipos de diagnóstico

disponibles en el mercado, tales como los equipos de espectroscopia de rayos X de dispersión de energía, se obtiene con la presencia de cantidades mínimas de los, uno o más, elementos sustituibles posiblemente presentes inferiores a los límites de detección del equipo. En otras formas de realización, aún puede haber presencia de al menos algunos de los, uno o más, elementos sustituibles en el borato luminiscente 100 junto con el neodimio 120 y/o el iterbio 130, y los, uno o más, elementos sustituibles pueden estar presentes en cantidades que pueden detectarse con la mayor parte de los equipos de diagnóstico disponibles en el mercado, tales como los equipos de espectroscopia de rayos X de dispersión de energía. Cada átomo de los, uno o más, elementos sustituibles presentes en el borato huésped 110 que permite su reemplazo por átomos de neodimio 120 o iterbio 130 tiene un tamaño similar, una carga similar y una preferencia de coordinación similar a la del ion por el que será reemplazado. Durante la formación del borato luminiscente 100, los átomos presentes en cada posición dentro del borato huésped 110 se contabilizarán como el 100 por cien en átomos. Aunque en muchos iones emisores se produce una extinción por concentración muy por debajo de un nivel de sustitución del 100 por cien, se ha encontrado que, en determinadas formas de realización, el neodimio 120 puede haberse introducido por sustitución en el borato huésped 110 en porcentajes de sustitución de hasta el 100 por cien sin una amplia extinción por concentración. Se cree que los altos niveles de sustitución de neodimio 120 son posibles porque el neodimio 120 y/o el iterbio 130 se encuentran en el borato huésped 110 lo suficientemente separados, de forma que la cuestión de la interacción se reduce significativamente.

En diversas formas de realización del borato luminiscente 100, tal como se muestra en la figura 2B, el iterbio 130 produce emisiones relativamente fuertes centradas en aproximadamente 985 nanómetros (nm) y aproximadamente 1050 nm, siendo normalmente las emisiones en la banda de 985 nm de mayor intensidad. Además, en algunas formas de forma de realización, el neodimio 120 produce emisiones relativamente fuertes centradas en aproximadamente 880 nm y 1065 nm, siendo normalmente las emisiones en la banda de 1065 nm de mayor intensidad. En los espectros de emisión mostrados en la figura 2B, la banda de 875-910 puede atribuirse a la emisión de neodimio, la banda de 960-1040 nm puede atribuirse a la emisión de iterbio, el pico relativamente pequeño a 1060 nm puede atribuirse a Yb y el pico relativamente más grande a 1065 nm puede atribuirse al neodimio. En los espectros de emisión de la figura 2B, una reducción de la cantidad relativa de neodimio y un aumento proporcional de la cantidad relativa de iterbio da como resultado una menor emisión de neodimio, dado que la transferencia de energía entre el neodimio y el iterbio es más completa.

La figura 2A es un gráfico 200 que representa la absorción relativa (en unidades arbitrarias, UA) de neodimio en función de la longitud de onda de excitación (en nm), según una forma de realización ejemplar. Más específicamente, tal como se muestra en la figura 2A, la absorción relativa se muestra en una forma de realización que incluye borato de bario y lantano, estando el lantano sustituido por neodimio al 80 por ciento, y el lantano sustituido por iterbio al 20 por ciento (estando el lantano, por lo tanto, completamente sustituido).

Las formas de realización del borato luminiscente 100, tal como se ha descrito anteriormente, tienen propiedades materiales que las hacen particularmente adecuadas para varias aplicaciones especiales. En particular, debido al alto contenido de boro en el borato huésped 110 de 9 átomos de boro, el borato luminiscente 100 tiene una densidad inferior o igual a 4 gramos por centímetro cúbico (g/cc), tal como de 2,3 a 4 g/cc. En una forma de realización en la que el borato luminiscente 100 tiene la fórmula $MeXB_9O_{16}$, el borato luminiscente 100 tiene una densidad de aproximadamente 2,45 g/cc, que hace que el borato luminiscente 100 sea más fácilmente dispersable en medios líquidos tales como tinta. Además, se ha observado que las formas de realización de borato luminiscente 100 tienen un color de cuerpo muy débil (nótese que en la figura 2A solo hay un pico principal en el espectro de longitud de onda visible y que es muy estrecho; la mayor parte de la absorción se encuentra en el espectro de longitud de onda infrarroja (> 700 nm), lo que hace que el borato luminiscente 100 sea especialmente adecuado para su uso en aplicaciones de autenticación secreta. Por ejemplo, las formas de realización del borato luminiscente 100 pueden incorporarse en una tinta transparente o en otro medio, e imprimirse en un artículo 400 de forma que la tinta o el medio que contiene borato no sea fácilmente detectable a simple vista. En una forma de realización específica, la tinta o el aditivo de tinta incluye tinte coloreado y puede contener tinte negro, que se vuelve transparente al infrarrojo a longitudes de onda superiores a 660 nm. En particular, debido a que el color de cuerpo es débil y las longitudes de onda de absorción/emisión del borato luminiscente son superiores a 660 nm, el borato luminiscente 100 puede incluirse en la tinta o el aditivo de tinta que incluye el tinte negro sin que el tinte negro interfiera en la detección del borato luminiscente. Además, el tinte negro oculta visiblemente la presencia del borato luminiscente 100 en la tinta o en el aditivo de tinta.

La figura 3 es un diagrama de flujo de un procedimiento para producir un borato luminiscente (por ejemplo, el borato luminiscente 100, figura 1), un medio que incluye el borato luminiscente para formar un material luminiscente y un artículo (por ejemplo, el artículo 400, figura 4) que incluye el material luminiscente, según una forma de realización ejemplar. El procedimiento comienza, en el bloque 302, preparando un borato luminiscente preliminar (por ejemplo, el borato luminiscente 100, figura 1) que tiene la fórmula $MeXB_9O_{16}$. En general, el borato luminiscente se puede crear utilizando cualquiera de una serie de procesos convencionales que son conocidos por los expertos en la técnica. Por ejemplo, la formación de boratos luminiscentes preliminares de las diversas formas de realización se puede realizar utilizando química en estado sólido, tal como se describe a continuación. Más específicamente, según una forma de realización, el borato luminiscente preliminar se prepara haciendo crecer un cristal de borato utilizando componentes que incluyen todos los elementos del borato, normalmente en forma de óxidos.

Por ejemplo, puede prepararse un borato luminiscente que tenga la fórmula $MeXB_9O_{16}$ utilizando química en estado sólido. Más particularmente, con el fin de incorporar boro en el borato luminiscente preliminar, uno de los componentes utilizados para hacer crecer el borato luminiscente preliminar es ácido bórico (H_3BO_3). Tal como se expuso anteriormente, el elemento Me puede ser en el borato huésped estroncio y/o bario en varias formas de realización. En consecuencia, otro de los componentes utilizados para hacer crecer el borato luminiscente preliminar es carbonato de estroncio ($SrCO_3$) y/o carbonato de bario ($BaCO_3$) (denominados en adelante "carbonatos de Me"), respectivamente, dependiendo de qué elemento Me se utilice en el borato luminiscente. Además, el elemento X puede ser en el borato luminiscente neodimio, iterbio o uno o más elementos sustituibles diferentes de neodimio e iterbio, tales como el lantano. En consecuencia, otro de los componentes utilizados para hacer crecer el borato luminiscente preliminar es óxido de neodimio (Nd_2O_3), óxido de iterbio (Yb_2O_3), o un óxido de uno o más elementos sustituibles, tales como óxido de lantano (La_2O_3) (denominados en adelante "óxidos de Re"), respectivamente, dependiendo de qué elemento X se utilice en el borato luminiscente.

Según una forma de realización, el neodimio y el iterbio, en el óxido de neodimio y el óxido de iterbio, tienen valencias +3. Con el fin de introducir por sustitución neodimio y/o iterbio en el borato luminiscente preliminar, algunos o todos los óxidos Re que incluyen los, uno o más, elementos sustituibles se reemplazan por cantidades deseadas de óxido de neodimio, o una combinación de óxido de neodimio y óxido de iterbio, definiéndose las cantidades de reemplazo en términos de número de átomos (es decir, indicando el porcentaje de átomos de los, uno o más, elementos sustituibles que se reemplazan por átomos de neodimio y/o iterbio). Por ejemplo, si se deseara una sustitución del 60 por ciento de neodimio y una sustitución del 10 por ciento de iterbio en los sitios X del borato luminiscente preliminar, el 60 por ciento de los óxidos de Re que incluyen los, uno o más, elementos sustituibles se reemplazaría por óxido de neodimio y el 10 por ciento de los óxidos de Re que incluyen los, uno o más, elementos sustituibles se reemplazaría por óxido de iterbio.

Una vez combinado en las cantidades apropiadas (por ejemplo, en botes de cuarzo y/o crisoles de alúmina), el borato luminiscente se activa, en el bloque 304, cociendo los componentes combinados (por ejemplo, generalmente solo una vez) a las temperaturas prescritas (por ejemplo, temperaturas en un intervalo de aproximadamente 500-1200 ºC, o un intervalo diferente) durante los periodos de tiempo prescritos (por ejemplo, periodos de tiempo en un intervalo de aproximadamente 30-60 minutos, o un intervalo diferente) realizándose las rampas de temperatura a las temperaturas más altas dentro del intervalo mencionado anteriormente a lo largo de los periodos de tiempo más largos dentro del intervalo mencionado anteriormente. Opcionalmente, los componentes combinados se cuecen primero a temperaturas más bajas dentro del intervalo mencionado anteriormente, a continuación se pulverizan y después se vuelven a cocer a una temperatura más alta dentro del intervalo mencionado anteriormente. El cristal en polvo resultante forma así el borato luminiscente preliminar.

Aunque se puede utilizar química en estado sólido para crear el borato luminiscente preliminar, tal como se expuso anteriormente, en otros casos se pueden utilizar técnicas de química en solución. Si se utiliza química en solución, los diversos materiales se disuelven, subsiguientemente se precipitan y subsiguientemente se cuecen. Dependiendo del proceso particular utilizado para crear el borato luminiscente, se pueden incluir otros materiales en la formación del borato luminiscente preliminar. Por ejemplo, pueden incluirse dentro del borato luminiscente preliminar varios agentes de flujo y otros precursores.

En el bloque 306, el borato luminiscente preliminar se puede moler y/o filtrar posteriormente para producir partículas cristalinas de los tamaños deseados. Por ejemplo, se ha encontrado que la eficacia de las diversas formas de realización de boratos luminiscentes descritas en el presente documento puede permanecer relativamente alta incluso cuando el polvo de borato luminiscente incluye partículas con tamaños de partícula promedio inferiores a 200 µm, tal como por ejemplo de 0,2 a 6 µm o alternativamente, de 0,2 a 0,8 µm. Las partículas del borato luminiscente dentro de los intervalos anteriores también pueden dispersarse fácilmente en medios líquidos para formar dispersiones estables a temperaturas ambiente de aproximadamente 21 ºC. Tal como se usa en el presente documento, el término "tamaño de partícula promedio" se define como un diámetro medio de partícula (por ejemplo, un diámetro medio de partícula en el punto del 50 por ciento (D50) en volumen másico, medido mediante un dispositivo de medición de difracción de luz láser, tal como un dispositivo producido por Microtrac Inc. de Montgomeryville, PA).

En el bloque 308, las partículas de borato luminiscentes se incorporan a un medio para formar un material luminiscente. Por ejemplo, pero no a modo de limitación, el medio puede corresponder a un sustrato de un artículo, o el medio puede corresponder a un material que se puede aplicar (por ejemplo, imprimir, aplicar como recubrimiento, aplicar por pulverización o adherir o unir de otro forma) a la superficie de un sustrato de artículo, o una característica que está integrada dentro de un sustrato (por ejemplo, una característica integrada, un hilo de seguridad, etc.). En el caso anterior, las partículas de borato luminiscentes se pueden incorporar a un material de sustrato, por ejemplo, combinando las partículas de borato luminiscentes con un material de base (por ejemplo, papel, pasta de papel, polímero, plástico, resina de base plástica, vidrio, metal, un material textil, fibra, cerámica, madera, una suspensión, mezclas de los mismos, etc.) para el sustrato, y/o impregnando el sustrato con una dispersión coloidal de las partículas de borato luminiscentes. La impregnación se puede realizar, por ejemplo, mediante un proceso de impresión, goteo, recubrimiento o pulverización.

En formas de realización en las que las partículas de borato luminiscentes se incorporan a un medio que se puede aplicar a una superficie de un sustrato, las partículas de borato luminiscentes se mezclan con el medio (por ejemplo, una tinta, un aditivo de tinta u otro vehículo) para dispersar las partículas de borato luminiscentes en el medio y para formar el material luminiscente, operación seguida de la aplicación del material luminiscente a la superficie del sustrato. En formas de realización en las que las partículas de borato luminiscentes se incorporan en una característica que está integrada dentro de un sustrato, la incorporación de las partículas de borato luminiscente en la característica se puede realizar de una forma similar a la incorporación del borato luminiscente en el sustrato, tal como se ha expuesto anteriormente. Más particularmente, las partículas de borato luminiscentes se pueden mezclar con un material de base a partir del cual se forma la característica integrada. En otras formas de realización más, las partículas de borato luminiscentes pueden incorporarse o combinarse con otros medios (por ejemplo, colas, diversos líquidos, geles, etc.).

En el bloque 310, se produce un artículo que incluye el borato luminiscente. Por ejemplo, esto se puede realizar incorporando el material luminiscente que incluye las partículas de borato luminiscentes en el medio en, o sobre, un artículo (por ejemplo, el artículo 400, figura 4). En formas de realización en las que el material luminiscente es el material base para el sustrato (por ejemplo, sustrato 402, figura 4), esta etapa se puede omitir. En cambio, en formas de realización en las que el material luminiscente es para aplicarlo a una superficie del sustrato, el material luminiscente puede imprimirse sobre una o más superficies del sustrato en ubicaciones predeterminadas. En cambio, cuando el material luminiscente corresponde a una característica integrada, la característica integrada se integra con el material de sustrato cuando el material de sustrato está en una forma maleable (por ejemplo, cuando el material se encuentra en forma de suspensión, material fundido o una forma sin curar). En cualquiera de las formas descritas anteriormente, se puede incorporar una forma de realización de un borato luminiscente en un artículo.

La figura 4 representa una vista en sección transversal de un artículo 400 que incluye un borato luminiscente, según una forma de realización de ejemplo. Por ejemplo, una forma de realización de un artículo 400 puede incluir características de seguridad 410, 420 aplicadas en la superficie y/o integradas, respectivamente, que incluyen partículas de borato luminiscentes (no ilustradas) dispersadas en un medio, y/o el artículo 400 puede incluir partículas de borato 430 que están dispersadas de forma uniforme o no uniforme dentro de uno o más componentes del artículo 400 (por ejemplo, dentro del sustrato 402 y/o una o más capas u otros componentes del artículo 400). Las diversas dimensiones relativas de las características de seguridad 410, 420 y partículas 430 pueden no estar a escala en la figura 4. Aunque el artículo 400 se ilustra de forma que incluya características de seguridad 410, 420 y partículas 430 aplicadas en la superficie y/o integradas, otro artículo puede incluir una o una combinación de características de seguridad integradas, características de seguridad aplicadas en la superficie y partículas de borato luminiscentes dispersadas. Finalmente, aunque en la figura 4 solo se muestra una característica de seguridad aplicada en la superficie 410 y una característica de seguridad integrada 420, un artículo 400 puede incluir más de una de las características de seguridad 410, 420.

En diversas formas de realización, el artículo 400 puede ser cualquier tipo de artículo seleccionado de un grupo que incluye, pero sin limitación, una tarjeta de identificación, una licencia de conducir, un pasaporte, documentos de identidad, un billete, un cheque, un documento, un escrito, un certificado de acciones, un componente de embalaje, una tarjeta de crédito, una tarjeta bancaria, una etiqueta, un sello, una ficha (por ejemplo, para su uso en juegos de azar y/o con una máquina de juegos o expendedora), un sello postal, un líquido, un ser humano, un animal y una muestra biológica. El sustrato 402 puede ser cualquiera de los diversos tipos de sustratos e incluye uno o más materiales seleccionados de un grupo que incluye, pero sin limitación, papel, un polímero, vidrio, un metal, un material textil y una fibra.

El sustrato 402, que puede ser rígido o flexible, puede formarse a partir de una o más capas o componentes, en diversas formas de realización. La diversidad de configuraciones del sustrato 402 son demasiado numerosas para mencionarlas, ya que los boratos luminiscentes de las diversas formas de realización se pueden usar junto con una amplia variedad de diferentes tipos de artículos. Por lo tanto, aunque se ilustra un sustrato 402 unitario sencillo en la figura 4, debe entenderse que el sustrato 402 puede tener cualquiera de una diversidad de configuraciones diferentes. Por ejemplo, un sustrato 402 puede ser un sustrato "compuesto" que incluye una pluralidad de capas o secciones de los mismos o diferentes materiales. Por ejemplo, pero no a modo de limitación, un sustrato puede incluir una o más capas o secciones de papel y una o más capas o secciones de plástico que están laminadas o unidas de otro modo para formar el sustrato compuesto (por ejemplo, un sustrato compuesto de capa de papel/capa de plástico/capa de papel o capa de plástico/capa de papel/capa de plástico). Además, aunque en el presente documento se abordan artículos inanimados sólidos, debe entenderse que un "artículo" también puede incluir un ser humano, un animal, un espécimen biológico, una muestra líquida y virtualmente cualquier otro objeto o material en el que se pueda incluir un material luminiscente de una forma de realización.

La característica de seguridad aplicada a la superficie 410 puede ser, por ejemplo, pero no a modo de limitación, una característica de seguridad impresa o una característica de seguridad que incluye uno o más materiales rígidos o flexibles en los que, o sobre los que, se incluye un borato luminiscente de una forma de realización. Por ejemplo, pero no a modo de limitación, la característica de seguridad aplicada en la superficie 410 puede comprender una

tinta, un pigmento, un recubrimiento o una pintura que incluye partículas de un borato luminiscente de una forma de realización dispersadas en el mismo. Alternativamente, la característica de seguridad aplicada en la superficie 410 puede comprender uno o más materiales rígidos o flexibles en los que, o sobre los que, se incluyen las partículas de un borato luminiscente de una forma de realización, adhiriéndose o uniéndose de otra forma el material rígido o flexible a una superficie del sustrato del artículo 402. Según diversas formas de realización, la característica de seguridad aplicada en la superficie 410 puede tener un grosor 412 de aproximadamente un µm o superior, y la característica de seguridad aplicada en la superficie 410 puede tener una anchura y una longitud que sean inferiores o iguales a la anchura y longitud del sustrato 402.

La característica de seguridad integrada 420 comprende uno o más materiales rígidos o flexibles en los que, o sobre los que, se incluye un borato luminiscente de una forma de realización. Por ejemplo, pero no a modo de limitación, la característica de seguridad integrada 420 puede configurarse en forma de un sustrato discreto, rígido o flexible, un hilo de seguridad u otro tipo de estructura. Según diversas formas de realización, la característica de seguridad integrada 420 puede tener un espesor 422 en un intervalo de aproximadamente uno µm hasta el espesor 404 del sustrato 402, y la característica de seguridad integrada 420 puede tener una anchura y una longitud que sean inferiores o iguales a la anchura y la longitud del sustrato 402.

Tal como se ha mencionado anteriormente, las partículas de borato luminiscente 430 pueden dispersarse de forma uniforme o no uniforme dentro del sustrato 402, tal como se muestra en la figura 4, o dentro de uno o más otros componentes del artículo 400 (por ejemplo, dentro de una o más capas u otros componentes del artículo), en otras formas de realización. Las partículas de borato luminiscente 430 pueden dispersarse dentro del sustrato 402 u otro componente, por ejemplo, pero no a modo de limitación, mezclando partículas 430 con un material de base para el sustrato 402 u otro componente, y/o impregnando el sustrato 402 u otro componente con una dispersión coloidal de las partículas 430, tal como se ha expuesto anteriormente.

Las propiedades de absorción y emisión de formas de realización de boratos luminiscentes que se abordan en el presente documento (por ejemplo, borato luminiscente 100, figura 1) son consecuentes con su uso junto con las características de seguridad y de autenticación. Por ejemplo, utilizando un equipo de autenticación relativamente convencional, las formas de realización de boratos luminiscentes se pueden excitar fácilmente. En formas de realización que incluyen neodimio (por ejemplo, cristales de Nd:Yb:borato), los boratos luminiscentes se pueden excitar con energías de excitación en la banda de absorción de neodimio. Tal como se discutió anteriormente, en formas de realización que incluyen tanto neodimio como iterbio (por ejemplo, cristales de Nd:Yb:borato), el neodimio puede transferir fácilmente energía absorbida al iterbio (por ejemplo, la energía absorbida directamente como energía de excitación en la banda de absorción del neodimio). En dichas formas de realización, el neodimio puede producir emisiones detectables en las bandas de emisión de neodimio, y el iterbio puede producir emisiones detectables en las bandas de emisión de iterbio.

Según una forma de realización, el equipo de detección puede configurarse para detectar una de las emisiones de neodimio e iterbio, o ambas, y para determinar si esas intensidades de emisión se encuentran dentro de un espacio de parámetros de detección. Además, se ha encontrado que la relación de los picos entre las emisiones de neodimio e iterbio es una función importante de los porcentajes de sustitución de neodimio e iterbio. En consecuencia, las formas de realización del equipo de autenticación pueden medir las intensidades de las emisiones en una banda de emisión de neodimio (por ejemplo, una banda de emisión centrada en aproximadamente 880 nm) y una banda de emisión de iterbio (por ejemplo, una banda de emisión centrada en aproximadamente 985 nm), calcular la relación entre esas intensidades, y determinar si la relación corresponde a un material de autenticación con el borato luminiscente apropiado, y los porcentajes conocidos de sustitución de neodimio e iterbio. Los expertos en la técnica pueden identificar y utilizar fácilmente sistemas y equipos de autenticación para autenticar artículos que incluyen características de seguridad con boratos luminiscentes. Si bien los sistemas y equipos de autenticación que son útiles para autenticar artículos que incluyen características de seguridad con los boratos luminiscentes no están limitados, en una forma de realización en la que se utilizan cristales de Nd:Yb:borato, se pueden emplear detectores de silicio para detectar con eficacia las longitudes de onda de la banda de emisión de iterbio. Sin embargo, debe apreciarse que se pueden utilizar otros tipos de detectores que son capaces de detectar emisiones dentro de una banda de interés, en otras formas de realización (por ejemplo, sulfuro de plomo, seleniuro de plomo, germanio, antimoniuro de indio, arseniuro de indio, arseniuro de galio e indio, siliciuro de platino, antimoniuro de indio, etc.).

Cuando el análisis indica que los valores correspondientes a los parámetros de autenticación se encuentran dentro de un espacio de parámetros de detección con un grado aceptable de precisión, el artículo 400 puede identificarse como auténtico. A la inversa, cuando el análisis indica que los valores correspondientes a los parámetros de autenticación no se encuentran dentro del espacio de parámetros de detección con un grado de precisión aceptable, el artículo 400 puede identificarse como no auténtico.

REIVINDICACIONES

1. Un borato luminiscente que comprende:

un borato huésped que tiene una red cristalina que comprende B_9O_{16};

neodimio e iterbio presentes dentro del borato huésped;

en el que el borato luminiscente tiene la fórmula $MeXB_9O_{16}$, en la que

Me se selecciona del grupo que consiste en estroncio, bario o una mezcla de los mismos; y

X es una mezcla de neodimio e iterbio; y

opcionalmente, uno o más elementos sustituibles presentes dentro del borato huésped, siendo los, uno o más, elementos sustituibles diferentes de neodimio e iterbio, y en el que los elementos opcionalmente sustituibles se seleccionan del grupo que consiste en lantano, cerio, gadolinio, terbio y mezclas de los mismos.

2. El borato luminiscente de la reivindicación 1, que tiene una densidad inferior o igual a 4 gramos por centímetro cúbico.

3. El borato luminiscente de la reivindicación 1, en el que los, uno o más, elementos sustituibles están sustituidos por neodimio en un primer porcentaje de sustitución de al menos el 20 por ciento, y en el que los, uno o más, elementos sustituibles están sustituido por iterbio en un segundo porcentaje de sustitución.

4. El borato luminiscente de la reivindicación 1, en el que el borato luminiscente está en forma de partículas con un tamaño de partícula promedio inferior a 200 µm.

5. Un material luminiscente que comprende:

un medio y

partículas de un borato luminiscente dispersadas en el medio, comprendiendo el borato luminiscente:

un borato huésped que tiene una red cristalina que comprende B_9O_{16};

neodimio y/o iterbio presentes dentro del borato huésped; y

opcionalmente, uno o más elementos sustituibles presentes dentro del borato huésped, siendo los, uno o más, elementos sustituibles diferentes de neodimio e iterbio.

6. El material luminiscente de la reivindicación 5, en el que el medio se elige del grupo de una tinta, un aditivo de tinta, una cola, un líquido, un gel, un polímero, una suspensión, un plástico, una resina a base de plástico, un vidrio, una cerámica, un metal, un material textil, madera, fibra, pulpa de papel, papel y mezclas de los mismos.

7. El material luminiscente de la reivindicación 6, en el que el medio es una tinta o un aditivo de tinta.

8. El material luminiscente de la reivindicación 7, en el que la tinta o el aditivo de tinta comprende tinte coloreado.

9. Un artículo que comprende:

una característica de seguridad que incluye

un medio y

partículas de un borato luminiscente dispersadas en el medio, comprendiendo el borato luminiscente:

un borato huésped que tiene una red cristalina que comprende B_9O_{16};

neodimio y/o iterbio presentes dentro del borato huésped; y

opcionalmente, uno o más elementos sustituibles presentes dentro del borato huésped, siendo los, uno o más, elementos sustituibles diferentes de neodimio e iterbio.

FIG. 1

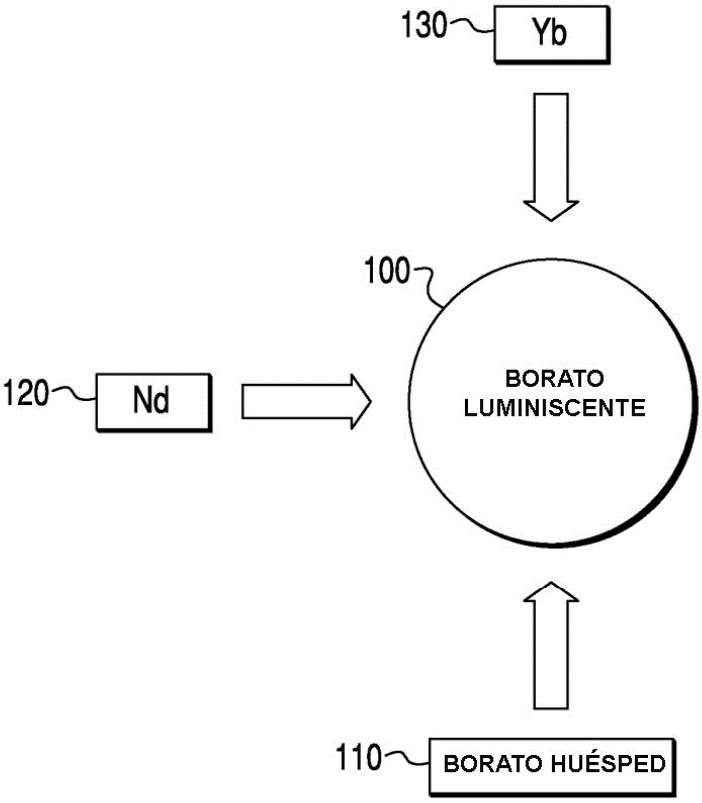


FIG. 2A

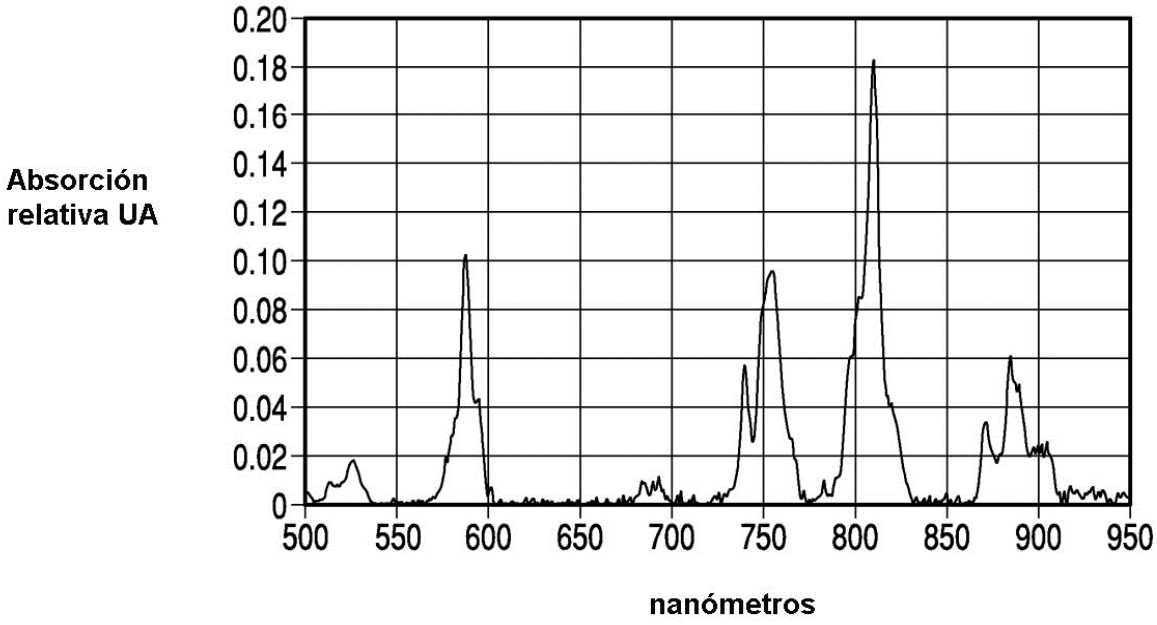

Absorción relativa UA
0.20
0.18
0.16
0.14
0.12
0.10
0.08
0.06
0.04
0.02
0
500
550
600
650
700
750
800
850
900
950
nanómetros

FIG. 2B

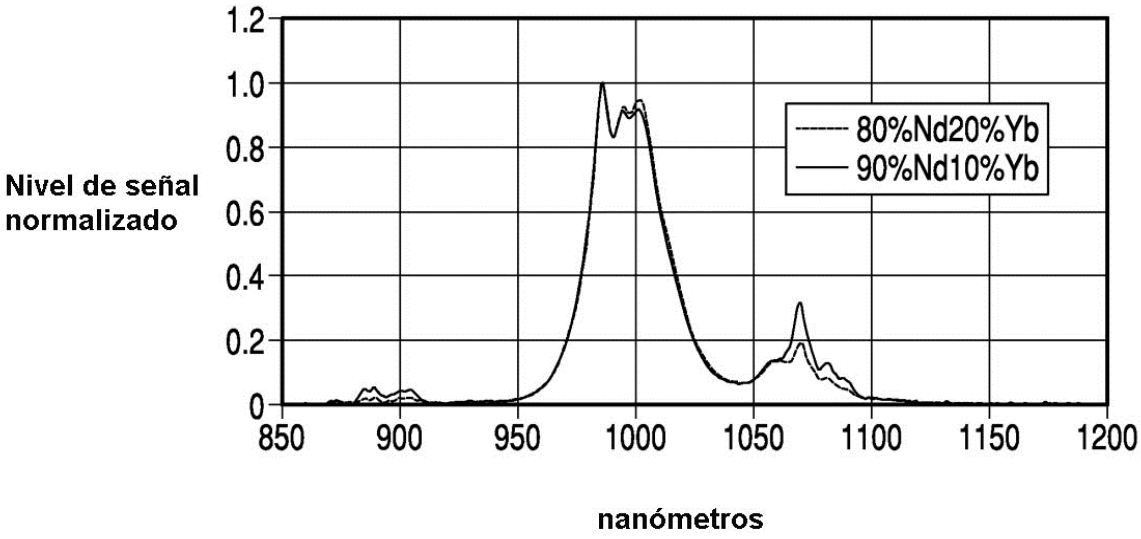

Nivel de señal normalizado
1.2
1.0
0.8
0.6
0.4
0.2
0
850
900
950
1000
1050
1100
1150
1200
80%Nd20%Yb
90%Nd10%Yb
nanómetros

FIG. 3

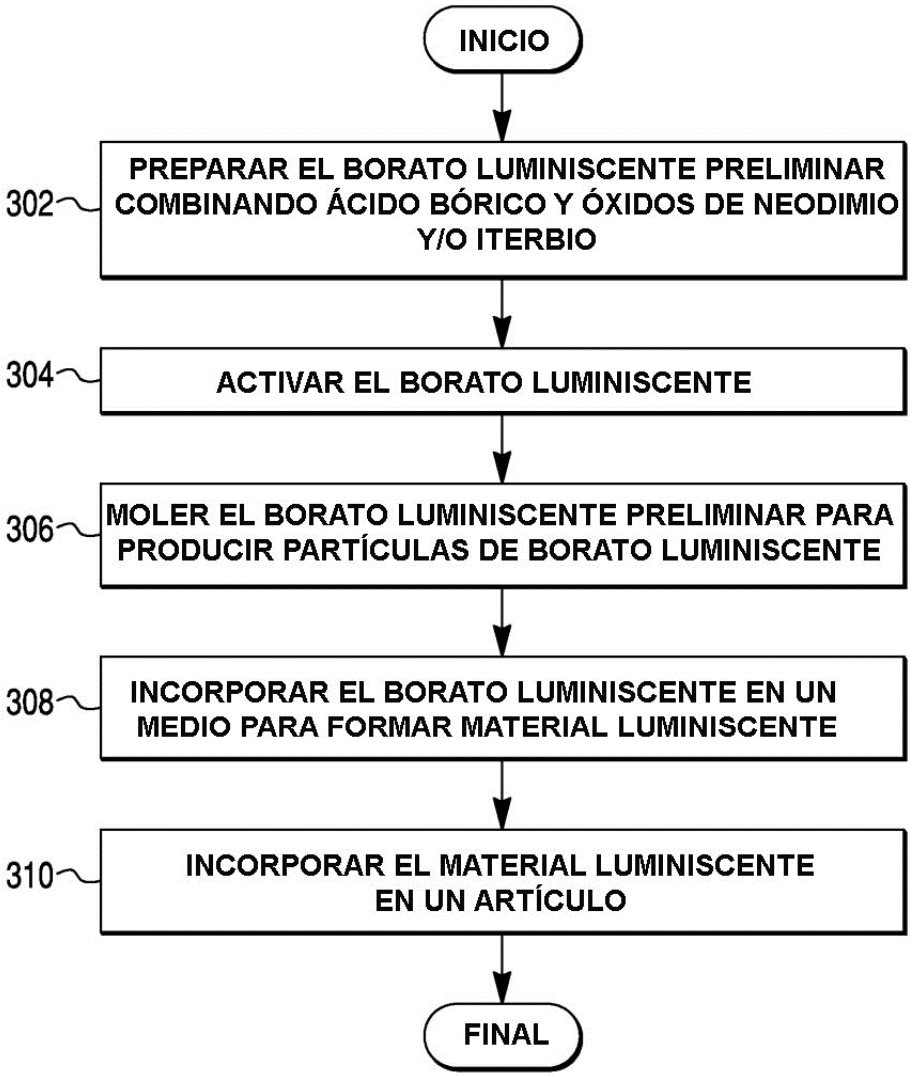
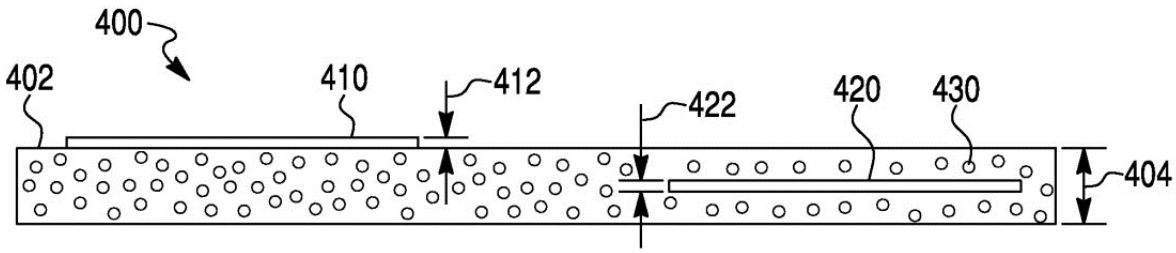

INICIO
302
PREPARAR EL BORATO LUMINISCENTE PRELIMINAR COMBINANDO ÁCIDO BÓRICO Y ÓXIDOS DE NEODIMIO Y/O ITERBIO
304
ACTIVAR EL BORATO LUMINISCENTE
306
MOLER EL BORATO LUMINISCENTE PRELIMINAR PARA PRODUCIR PARTÍCULAS DE BORATO LUMINISCENTE
308
INCORPORAR EL BORATO LUMINISCENTE EN UN MEDIO PARA FORMAR MATERIAL LUMINISCENTE
310
INCORPORAR EL MATERIAL LUMINISCENTE EN UN ARTÍCULO
FINAL

FIG. 4


400
402
410
412
422
420
430
404