

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 957 221**

21 Número de solicitud: 202230471

51 Int. Cl.:

G02B 27/09 (2006.01)

G02B 26/08 (2006.01)

12

SOLICITUD DE PATENTE

A1

22 Fecha de presentación:

01.06.2022

43 Fecha de publicación de la solicitud:

15.01.2024

71 Solicitantes:

UNIVERSIDAD DE MURCIA (100.0%)

Avda. Teniente Flomesta s/n

30003 Murcia (Murcia) ES

72 Inventor/es:

FERNÁNDEZ MARTÍNEZ, Enrique Josua y

BUENO GARCÍA, Juan Manuel

74 Agente/Representante:

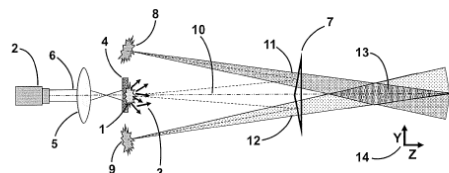
ELZABURU, S.L.P

54 Título: **Sistema óptico para la generación de luz altamente incoherente**

57 Resumen:

Sistema óptico para la generación de luz altamente incoherente, que comprende una fuente de luz caótica primaria (1), y, adicionalmente, un elemento con N prismas, siendo el valor de N al menos dos, situado enfrente de la fuente de luz caótica primaria (1), de tal modo que dicho elemento con N prismas produce N fuentes secundarias virtuales de la fuente de luz caótica primaria (1), generando una zona de iluminación en la intersección de las trayectorias de luz provenientes de las N fuentes secundarias virtuales donde el agrupamiento de fotones es máximo e igual a $2N^2$. Se consigue de este modo proporcionar una iluminación altamente incoherente con un grado de agrupamiento de fotones elevado a partir de una fuente de luz caótica primaria (1).

FIG. 1



DESCRIPCIÓN

Sistema óptico para la generación de luz altamente incoherente

Campo de la invención

La presente invención pertenece al grupo de sistemas ópticos para la generación de fuentes
 5 de luz con propiedades especiales de coherencia, proporcionando el sistema objeto de la invención una zona de iluminación altamente incoherente o hipercaótica. La invención se refiere a un sistema óptico que es capaz de producir una iluminación con unas características aumentadas en cuanto al grado de agrupamiento de fotones con respecto a las fuentes de luz existentes. El sistema actúa sobre la luz proveniente de una fuente inicial
 10 para obtener una iluminación en una zona del espacio determinada con un grado de agrupamiento de fotones por encima de la fuente de luz de origen.

El sistema puede aplicarse en dispositivos ópticos como microscopios, o en general cualquier sistema de formación de imágenes, que requieran de una iluminación incoherente para excitar la muestra u objeto de interés. La invención puede aplicarse con gran beneficio
 15 sobre la técnica actual en sistema de microscopia no lineal, multifotónica, e imagen no convencional, por ejemplo, en imagen con objeto fantasma. Este tipo de iluminación también es potencialmente de interés en los campos de las telecomunicaciones ópticas, y los sistemas de encriptación de información mediante luz debido al agrupamiento de fotones que produce. El sistema proporciona sus ventajas frente a las modalidades de iluminación
 20 existentes tanto en régimen clásico como cuántico.

La presente invención pertenece preferentemente al campo de los sistemas de iluminación para microscopia con iluminación incoherente, imagen no lineal, microscopía multifotónica, imagen cuántica, e imagen no convencional.

Antecedentes de la invención

25 El efecto Hanbury Brown-Twiss se manifiesta en la existencia de correlaciones no triviales entre las intensidades instantáneas de la luz proveniente de una fuente incoherente obtenidas en dos puntos del espacio y distintos instantes de tiempo, R. Hanbury Brown and R. Q. Twiss, "Correlation between photons in two coherent beams of light," Nature 177, 27–29 (1956). El efecto fue de gran importancia para el desarrollo posterior de la óptica y la
 30 coherencia cuántica, Roy J. Glauber "The Quantum Theory of Optical Coherence," Phys. Rev. 130, 2529–2539 (1963). En el modelo cuántico de la luz, basado en fotones, la interpretación de las correlaciones existentes en el efecto Hanbury Brown-Twiss se lleva a cabo en términos del nivel de agrupamiento de fotones. La función de segundo grado de

coherencia de la luz $G^{(2)}$ establece una caracterización matemática del efecto Hanbury Brown-Twiss. Dicha función toma la forma:

$$G^{(2)}(r_1, r_2, t_1, t_2) = \frac{\langle I_1(r_1, t_1) \cdot I_2(r_2, t_2) \rangle}{\langle I_1(r_1, t_1) \rangle \cdot \langle I_2(r_2, t_2) \rangle} \quad (1)$$

En la fórmula anterior I_1 e I_2 representan las intensidades instantáneas obtenidas en los puntos del espacio r_1 y r_2 , en los instantes de tiempo t_1 y t_2 respectivamente. Los corchetes de la expresión significan un promedio estadístico obtenido cuando se tienen en cuenta todas las posibles realizaciones o estados de la luz en el sistema. Esta función caracteriza la coherencia de la luz desde el punto de vista temporal y espacial. El valor máximo de esta función corresponde al nivel de agrupamiento de los fotones emitidos por la fuente. Así, para el caso de una fuente de luz incoherente usual, por ejemplo, una fuente térmica que emite luz en respuesta al calentamiento del material, la función de segundo grado de coherencia alcanza como valor máximo 2. La interpretación cuántica de este valor es que los fotones viajan agrupados en paquetes de dos unidades. Para una fuente láser continua el máximo de la función es 1, indicando que los fotones viajan de modo aleatorio sin agruparse en paquetes. Existen métodos para medir la correlación entre fotones, como los expuestos en el documento de patente GB2477961A.

Se ha demostrado experimentalmente que es posible generar niveles de agrupamiento de fotones por encima de 2, valor correspondiente a fuentes térmicas, también conocidas como incoherentes. Algunos ejemplos de generación de agrupamientos por encima de 2 pueden encontrarse en los trabajos de Zhou, Y., Li, F. L., Bai, B., Chen, H., Liu, J., Xu, Z., & Zheng, H. (2017). "Superbunching pseudothermal light." *Physical Review A*, 95(5), 053809; Liu, J., Zhuang, R., Zhang, X., Wei, C., Zheng, H., Zhou, Y., ... & Xu, Z. (2021). "Simple and efficient way to generate superbunching pseudothermal light." *Optics Communications*, 498, 127264; Zhou, Y., Zhang, X., Wang, Z., Zhang, F., Chen, H., Zheng, H., ... & Xu, Z. (2019). "Superbunching pseudothermal light with intensity modulated laser light and rotating groundglass." *Optics Communications*, 437, 330-336. A este fenómeno en virtud del cual se agrupan fotones en paquetes de más de 2 unidades se lo conoce como superagrupamiento, o "*superbunching*" en la literatura especializada. A las fuentes o montajes experimentales que así emiten se las puede denominar supertérmicas, hipercaóticas o hiperincoherentes, haciendo referencia a su superior agrupamiento o incoherencia con respecto a una fuente térmica usual.

Debido a sus especiales características, tanto en términos de incoherencia como de agrupamiento de fotones, las fuentes supertérmicas pueden ser de gran importancia práctica para diferentes técnicas de imagen con iluminación incoherente, incluyendo las técnicas no convencionales e imagen cuántica. Entre estas puede mencionarse la denominada imagen con objeto fantasma, conocida en la literatura especializada como “ghost imaging”, en la que la imagen se va reconstruyendo a partir de las correlaciones instantáneas de intensidad obtenidas en dos puntos del espacio separados en dos brazos independientes de un interferómetro que emplea luz incoherente. Puede consultarse sobre este particular el trabajo de Erkmen, B. I., & Shapiro, J. H. (2010). “Ghost imaging: from quantum to classical to computational.” *Advances in Optics and Photonics*, 2(4), 405-450. Es fundamental para la técnica que la iluminación sea incoherente, como se pone de manifiesto en el documento de patente US20100140458A1. Una de las limitaciones de esta prometedora técnica es el reducido contraste de las imágenes obtenidas, que llega al 50% con una fuente térmica usual. Puede demostrarse que incrementar el agrupamiento de fotones, y por tanto la incoherencia, de la fuente de luz aumenta el contraste de manera proporcional. Por ello, contar con fuentes supertérmicas es fundamental para la futura implementación práctica de esta técnica en problemas reales, por ejemplo, en microscopios, alcanzándose eventualmente contrastes próximos al 100%.

Otras técnicas que se beneficiarían significativamente de la existencia de fuentes supertérmicas son la imagen no lineal multifotónica, por ejemplo la fluorescencia por absorción de dos fotones, y la imagen por generación de segundo armónico y superiores. Algunos documentos de patente relacionados con estas modalidades, habitualmente implementadas en el ámbito de la microscopía, son US7872748B2; FR3067524B1; US10394008B2.

En definitiva, es de gran interés práctico contar con dispositivos experimentales capaces de producir altos niveles de agrupamiento de fotones.

Sumario de la invención

El objeto de la invención es, por tanto, proporcionar un sistema óptico que produzca una iluminación altamente incoherente con un grado de agrupamiento de fotones elevado a partir de una fuente de luz caótica primaria.

La invención proporciona un sistema óptico para la generación de luz altamente incoherente, que comprende una fuente de luz caótica primaria, y, adicionalmente, un elemento con N prismas, siendo el valor de N al menos dos, situado enfrente de la fuente de luz caótica primaria, de tal modo que dicho elemento con N prismas produce N fuentes secundarias

virtuales de la fuente de luz caótica primaria, generando una zona de iluminación en la intersección de las trayectorias de luz provenientes de las N fuentes secundarias virtuales donde el agrupamiento de fotones es máximo e igual a $2N^2$.

5 Para ello, el sistema óptico utiliza una combinación de prismas que producen imágenes secundarias de la fuente primaria, una por cada prisma. Se crea así una zona de iluminación en la intersección de las trayectorias de la luz provenientes de las fuentes secundarias que exhibe un alto agrupamiento de fotones, y por tanto es altamente incoherente.

El sistema óptico de la invención, por tanto, es capaz de multiplicar significativamente el agrupamiento de fotones de una fuente de luz.

10 Esta iluminación puede emplearse con gran beneficio en modalidades no convencionales de imagen, como microscopía no lineal, multifotónica, imagen con objeto fantasma por correlación óptica, así como en sistemas de telecomunicaciones que requieran luz con alto agrupamiento de fotones para encriptar las señales.

Breve descripción de los dibujos

15 A continuación, se ilustrará de manera no limitativa el objeto de la presente invención, haciendo referencia a los dibujos que se acompañan, en los cuales:

La Figura 1 muestra de forma esquemática y en un plano YZ las partes fundamentales que conforman la parte óptica del montaje. A partir de una fuente pseudotérmica de luz inicial, el biprisma genera imágenes virtuales de esta a ambos lados de la fuente inicial. Estas nuevas
20 fuentes de luz secundarias generan una zona de iluminación común donde las propiedades de coherencia de la luz, y de agrupamiento de fotones, han sido aumentadas con respecto a las de la fuente inicial. Esta zona de intersección de los rayos provenientes de las dos fuentes secundarias virtuales es el área de iluminación útil donde debe colocarse la muestra u objeto.

25 La Figura 2 muestra de forma esquemática las posibles trayectorias indistinguibles de fotones desde las fuentes secundarias, contenidos en sendos volúmenes coherentes, hasta dos puntos D_1 y D_2 situados en la zona de iluminación común, y a su vez dentro de su volumen de coherencia correspondiente. La combinación de trayectorias indistinguibles que generan eventos de detección simultáneos de fotones origina las propiedades especiales de
30 coherencia del sistema.

La Figura 3 muestra como ejemplo algunas pirámides formadas por distinto número de prismas que pueden ser empleadas en la invención como reemplazo del biprisma.

Descripción detallada de la invención

La presente invención consiste en un sistema óptico formado por una fuente de luz, denominada fuente de luz caótica primaria 1. Esta fuente de luz 1 es del tipo pseudotérmica, generada preferentemente a partir de la refracción difusa o aleatoria de la luz proveniente de un láser 2. El láser 2 puede ser del tipo continuo, incluyendo láser del estado sólido, de diodo o de gas; o bien del tipo conocido como pulsado, que presenta típicamente una generación de fotones superior al primero. El tipo de laser 2 es irrelevante para el propósito de la invención y solo tiene consecuencia en la irradiancia finalmente conseguida, esto es, en el número de fotones emitidos por unidad de superficie y tiempo. Para obtener una propagación aleatoria o caótica más eficiente de los fotones 3 emitidos por la fuente primaria 1 se emplea un elemento difusor 4 al que se dota de movimiento, por ejemplo, rotándolo alrededor de un eje. El objeto de dicho elemento difusor 4 es generar trayectorias aleatorias en la luz que emerge de él. El tipo de difusor y la velocidad de rotación afecta a la anchura de la función de segundo grado de coherencia, pero no a su máximo que indica el nivel de agrupamiento de fotones. El elemento difusor 4 puede operar en transmisión, o bien en reflexión sin pérdida de prestaciones para el objeto de la invención. En este último caso la luz puede enviarse al sistema mediante una combinación adecuada de aberturas y espejos. Para favorecer el carácter estocástico de las trayectorias de los fotones 3 se coloca una lente convergente 5, o sistema formado por varias lentes con efecto final convergente, entre el láser 2 y el elemento difusor 4. Esto permite focalizar en un plano el haz de luz 6 típicamente colimado que emerge del láser 2. La distancia entre la lente 5 y el difusor 4 puede variarse para modificar el tamaño efectivo de la fuente primaria 1. Esta presentará un tamaño mínimo cuando se coloque en el foco imagen de la lente o sistema convergente 5, y creciente conforme aumente o disminuya su distancia a partir del foco. El tamaño de la fuente primaria 1 afecta a la anchura de la función de segundo grado de coherencia y al volumen de coherencia, pero no al máximo de la función, por lo que el agrupamiento de fotones finalmente conseguido se mantiene independiente.

Sin pérdida de efecto para el objeto de la invención, la fuente de luz primaria 1 puede ser también del tipo térmica. En las fuentes térmicas la luz se emite como consecuencia de la excitación térmica del material, el cual tiende al equilibrio energético mediante la generación de fotones con características dependientes del tipo de material. La limitación de este tipo de fuentes yace en el limitado número de fotones emitidos, significativamente inferior que en el caso de una fuente pseudotérmica que emplea un láser como origen de los fotones. En aplicaciones donde se requiera una gran cantidad de energía luminosa o irradiancia se prefiere por tanto el uso de una fuente primaria 1 del tipo pseudotérmica.

Por medio de un prisma de tres caras de material óptico transparente, también conocido como biprisma 7, se generan dos imágenes o fuentes secundarias 8, 9 de la fuente de luz primaria 1. En una realización preferente de la invención el biprisma 7 opera en condiciones paraxiales, formando su vértice más alejado de la base un ángulo próximo a 180 grados. Un

5 prisma en aproximación paraxial tiene la propiedad de producir unos ángulos de refracción directamente proporcionales a los ángulos de incidencia de los rayos entrantes, a través de un factor que depende únicamente de los índices de refracción de los medios que rodean al prisma, y del propio prisma. Bajo estas condiciones, que se denominan habitualmente paraxiales o gaussianas, las imágenes que produce el biprisma 7 son replicas exactas de la

10 fuente primaria 1, salvo un desplazamiento en el espacio que es proporcional al ángulo del vértice más alejado de la base del biprisma 7. El régimen de imagen paraxial se consigue también alejando suficientemente la fuente primaria 1, de modo que los ángulos de incidencia de los rayos 5, 6 que provienen de la fuente primaria sobre la dirección normal a la superficie del biprisma 7 sean próximos a cero. Se considera de manera habitual en

15 óptica que un ángulo es próximo a cero, y por tanto se opera en condiciones paraxiales, cuando el valor del ángulo en radianes puede aproximarse al valor de su seno o tangente sin pérdida fundamental de precisión en los cálculos de las trayectorias. Sin pérdida de generalidad y manteniendo el efecto de la invención, puede colocarse un sistema óptico entre la fuente primaria 1 y el biprisma 7 con el fin de favorecer el régimen paraxial en la

20 formación de imágenes. Para ello el sistema puede reducir los ángulos bien mediante el uso de pupilas, bien formando imagen lejana de la fuente primaria 1. El biprisma 7 puede ser reemplazado por un elemento en reflexión con idéntico efecto para los propósitos de la invención. En ese caso, los prismas se componen de láminas planas espejadas formando un cierto ángulo.

25 En una realización preferente de la invención, la fuente primaria 1 se coloca sobre el eje de simetría 10 del biprisma 7, el cual pasa por su vértice y atraviesa perpendicularmente su base. El descentramiento de la fuente primaria 1 con respecto al eje de simetría 10 del biprisma 7 produce que las imágenes 8, 9 no se generen simétricamente con respecto a dicho eje 10, lo que puede suponer una desventaja en algunas aplicaciones. Las imágenes

30 8, 9 producidas por el biprisma 7, se comportan como fuentes de luz secundarias en la Fig. 1. Estas fuentes secundarias 8, 9 no son independientes desde el punto de vista de la coherencia óptica, puesto que provienen de una misma fuente primaria 1.

La luz que atraviesa el biprisma 7 emerge de la base de este como si proviniese de las imágenes o fuentes secundarias 8, 9 a efectos de las trayectorias de la luz. De cada una de

35 las fuentes secundarias 8, 9 se puede considerar que emergen sendos conos de luz 11, 12

que atraviesan el biprisma 7, y forman una zona 13 detrás de este donde existe intersección de las trayectorias de la luz. En esta zona de intersección 13 es donde se produce el efecto de agrupamiento de fotones, y por tanto donde la iluminación es óptima a la hora de aplicar la invención sobre un objeto o muestra.

- 5 La Fig. 1 representa un plano delimitado por los ejes Y y Z 14, tal y como se indica en el esquema.

El fundamento del funcionamiento del sistema desde el punto de vista físico, particularmente del agrupamiento de fotones, puede entenderse en el marco de la interpretación de las integrales de trayectoria de Feynman aplicadas a los posibles caminos que puede seguir los
 10 fotones para crear eventos de detección, o de aniquilación, simultánea en el espacio y tiempo. Detalles de esta interpretación pueden encontrarse en los trabajos de Hong, P., Liu, J., & Zhang, G. (2012). "Two-photon superbunching of thermal light via multiple two-photon path interference." *Physical Review A*, 86(1), 013807; J. Liu and G. Zhang, "Unified
 15 interpretation for second-order subwavelength interference based on Feynman's path-integral theory," *Phys. Rev. A* 82(1), 013822 (2010). La función de segundo grado de coherencia $G^{(2)}$, cuyo máximo corresponde al nivel de agrupamiento de fotones, es directamente proporcional a la suma de las probabilidades de que lleguen dos fotones de manera simultánea a dos puntos del espacio a la vez. La función está normalizada por el
 20 producto de las probabilidades de que llegue efectivamente un fotón a cada punto del espacio de manera independiente, no a la vez. Para simplificar la explicación en todo momento se considera que el tiempo en el que los dos fotones llegan a su destino es idéntico. En la función de segundo grado de coherencia $G^{(2)}$ solo contribuyen aquellas trayectorias de dos fotones que crean un evento de detección simultánea y además son indistinguibles, en el sentido de que no es posible determinar el camino que siguió cada
 25 fotón. Con el fin de ilustrar gráficamente la explicación se muestra la Fig. 2. En esta figura se presentan distintas trayectorias que pueden seguir los fotones emitidos 3 por la fuente primaria 1 (véase la Fig. 1), desde dos puntos cualesquiera dentro de su volumen de coherencia 15 denotados genéricamente como A y B. Por efecto del biprisma 7 se crean sendos volúmenes de coherencia virtuales 16, 17 de ese volumen de coherencia primario
 30 15. Los puntos A y B tienen como imágenes A_1 y B_1 , en el volumen de coherencia superior 16, y A_2 y B_2 en el volumen de coherencia inferior 17. Cuando se consideran dos puntos denotados en la Fig. 2 como D_1 y D_2 en la zona de intersección 13 de la luz emitida por las fuentes secundarias 8, 9, pueden establecerse gráficamente las diferentes trayectorias indistinguibles que pueden realizar los fotones para generar un evento de detección
 35 simultáneo en dichos puntos. Tanto D_1 como D_2 deben estar dentro de su correspondiente

volumen de coherencia 18. Las trayectorias de los fotones se han denotado en a Fig. 2 con el punto de partida A_i o B_i , seguido del punto de llegada D_j con $i, j \in [1,2]$. Con esta notación se tienen las siguientes combinaciones de trayectorias indistinguibles que producen eventos de detección de dos fotones simultáneos: $[A_1D_1, B_1D_1]$, $[A_1D_1, B_2D_1]$, $[A_1D_1, A_2D_1]$, $[B_1D_2, A_1D_2]$, $[B_1D_2, A_2D_2]$, $[B_1D_2, B_2D_2]$, $[B_1D_1, A_2D_1]$, y $[A_1D_2, B_2D_2]$. De este modo se muestra la existencia de 8 trayectorias indistinguibles que causan un evento de detección simultánea, correspondiéndose con el máximo de la función de segundo grado de coherencia $G^{(2)}$. Esto supone que en la zona de intersección o solapamiento 13 de las fuentes secundarias 8, 9, y dentro de un volumen de coherencia 18, el nivel de agrupamiento de fotones alcanza el valor 8, siendo este el efecto global y la ventaja del sistema óptico presentado.

En el sistema expuesto en la Fig 1 el biprisma 7 puede ser reemplazado por otros elementos que contienen superficies prismáticas o prismas, y que aumentan el agrupamiento de fotones finalmente producido por el dispositivo. En la Fig. 3 se muestran varias alternativas al biprisma 7, como una pirámide 19 de 4 lados, una pirámide 20 de 8 lados, una pirámide 21 de 12, y finalmente una pirámide 22 de lado infinitesimal, con forma de cono, y también conocida en el ámbito de la óptica como axicón 22. Todos ellos pueden ser reemplazados por laminas espejadas de modo que operen en reflexión sin menoscabo de efecto para el objeto de la invención. Cada prisma o cara de las pirámides produce una imagen virtual de la fuente primaria 1. Así, una figura piramidal de 10 lados produciría 10 imágenes virtuales de la fuente primaria 1. En consecuencia, el número de trayectorias indistinguibles que los fotones pueden realizar para producir un evento de fotodetección simultánea en dos puntos contenidos en la zona de intersección 13 de las fuentes secundarias aumenta. La formula general que proporciona el agrupamiento de fotones generado en el sistema, coincidente con el máximo de la función $G^{(2)}$, en función del número de prismas N contenidos en la pirámide es: $\text{Max}(G^{(2)}) = 2N^2$. De este modo, para pirámides de 4, 8 y 16 prismas se obtendrían agrupamientos de fotones de 32, 128, y 512 respectivamente.

Aunque se han descrito y representado unas realizaciones del invento, es evidente que pueden introducirse en ellas modificaciones comprendidas dentro del alcance del mismo, no debiendo considerarse limitado éste a dichas realizaciones, sino únicamente al contenido de las reivindicaciones adjuntas.

Las siguientes referencias numéricas se vinculan a los distintos elementos descritos y representados en el presente documento:

1. Fuente de luz caótica primaria.
2. Láser.

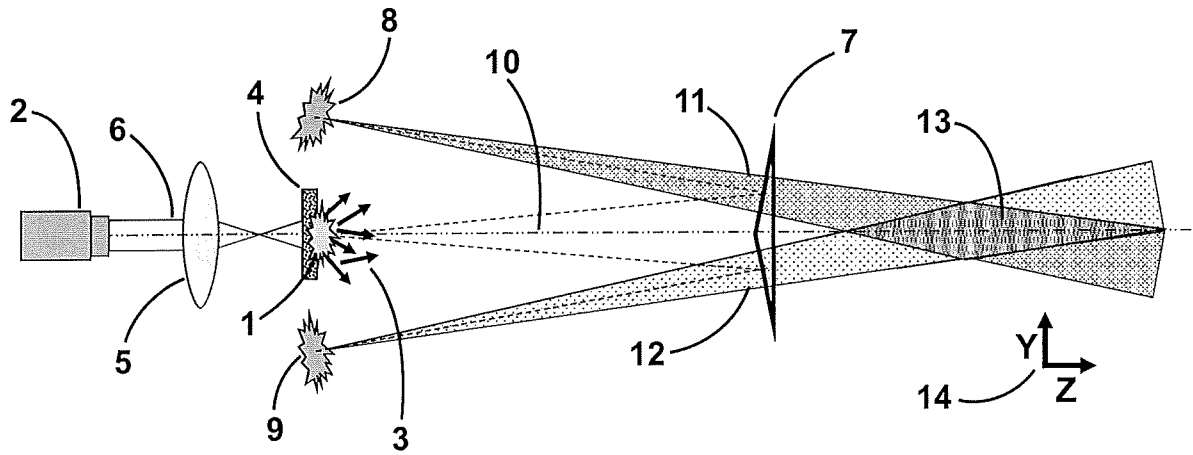
3. Trayectorias de los fotones tras la refracción difusa emergiendo de la fuente de luz caótica primaria.
4. Elemento difusor.
5. Lente convergente para enfocar el haz proveniente del láser.
- 5 6. Haz aproximadamente colimado emitido por el láser.
7. Biprisma.
8. Fuente secundaria superior, imagen virtual de la fuente primaria a través de un prisma.
9. Fuente secundaria inferior, imagen virtual de la fuente primaria a través de un prisma.
- 10 10. Eje de simetría del sistema.
11. Cono de luz virtual emitido por la fuente secundaria superior.
12. Cono de luz virtual emitido por la fuente secundaria inferior.
13. Zona de intersección de la luz emitida por las fuentes de luz secundarias donde el agrupamiento de fotones es máximo.
- 15 14. Ejes cartesianos que indican la disposición espacial del esquema.
15. Volumen de coherencia en la fuente de luz primaria.
16. Volumen de coherencia en la fuente de luz secundaria superior.
17. Volumen de coherencia en la fuente de luz secundaria inferior.
- 20 18. Volumen de coherencia en la zona de iluminación correspondiente a la zona de intersección de la luz emitida por las fuentes secundarias donde el agrupamiento de fotones es máximo.
19. Pirámide cuadrada de material óptico transparente formada por cuatro prismas.
20. Pirámide octogonal de material óptico transparente formada por ocho prismas.
- 25 21. Pirámide dodecagonal de material óptico transparente formada por doce prismas.
22. Pirámide cónica de material óptico transparente, también conocida como axicón.

REIVINDICACIONES

1. Sistema óptico para la generación de luz altamente incoherente, que comprende una fuente de luz caótica primaria (1), caracterizado por que comprende adicionalmente un elemento con N prismas, siendo el valor de N al menos dos, situado enfrente de la fuente de luz caótica primaria (1), de tal modo que dicho elemento con N prismas produce N fuentes secundarias virtuales de la fuente de luz caótica primaria (1), generando una zona de iluminación en la intersección de las trayectorias de luz provenientes de las N fuentes secundarias virtuales donde el agrupamiento de fotones es máximo e igual a $2N^2$.
2. Sistema óptico para la generación de luz altamente incoherente, según la reivindicación 1, en el que $N=2$, siendo el elemento con N prismas un biprisma situado enfrente de la fuente de luz caótica primaria (1), de tal modo que dicho biprisma produce dos fuentes secundarias virtuales (8, 9) de la fuente de luz caótica primaria (1), generando una zona de iluminación (13) en la intersección de las trayectorias de luz provenientes de las fuentes secundarias virtuales (8, 9) donde el agrupamiento de fotones es máximo e igual a 8.
3. Sistema óptico para la generación de luz altamente incoherente, según la reivindicación 1, siendo el elemento con N prismas una pirámide formada por N prismas, estando el vértice de la pirámide situado enfrente de la fuente de luz caótica primaria (1), de tal modo que dicha pirámide produce N fuentes secundarias virtuales de la fuente de luz caótica primaria (1), generando una zona de iluminación en la intersección de las trayectorias de luz provenientes de las N fuentes secundarias virtuales donde el agrupamiento de fotones es máximo e igual a $2N^2$.
4. Sistema óptico para la generación de luz altamente incoherente, según la reivindicación 1, siendo el elemento con N prismas una pirámide cónica, estando el vértice de la pirámide situado enfrente de la fuente de luz caótica primaria (1), de tal modo que dicha pirámide produce una fuente secundaria virtual con forma de anillo de la fuente de luz caótica primaria (1), generando una zona de iluminación en la intersección de las trayectorias de luz provenientes de dicho anillo donde el agrupamiento de fotones es máximo y solo limitado por el número de fotones emitidos por la fuente de luz caótica primaria (1).
5. Sistema óptico para la generación de luz altamente incoherente, según la reivindicación 3, en el que $N=4$, siendo el elemento con N prismas una pirámide cuadrada formada por 4 prismas.

6. Sistema óptico para la generación de luz altamente incoherente, según la reivindicación 3, en el que $N=8$, siendo el elemento con N prismas una pirámide octogonal formada por 8 prismas.
- 5 7. Sistema óptico para la generación de luz altamente incoherente, según la reivindicación 3, en el que $N=12$, siendo el elemento con N prismas una pirámide dodecagonal formada por 12 prismas.
8. Sistema óptico para la generación de luz altamente incoherente, según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la fuente de luz caótica primaria (1) comprende adicionalmente un elemento difusor (4) dotado de movimiento.
- 10 9. Sistema óptico para la generación de luz altamente incoherente, según la reivindicación 8, en el que el elemento difusor (4) está dotado de un movimiento rotatorio alrededor de un eje.
10. Sistema óptico para la generación de luz altamente incoherente, según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la fuente de luz caótica primaria (1) se genera a
15 partir de la refracción difusa de un haz de luz proveniente de un láser (2).
11. Sistema óptico para la generación de luz altamente incoherente, según la reivindicación 10 cuando depende de la 8 o la 9, que comprende al menos una lente convergente (5) entre el láser (2) y el elemento difusor (4).
12. Sistema óptico para la generación de luz altamente incoherente, según cualquiera de
20 las reivindicaciones 1 a 8, en el que la formación de imágenes de la fuente de luz caótica primaria (1) se hace por reflexión, mediante combinación de aberturas y espejos.

FIG. 1



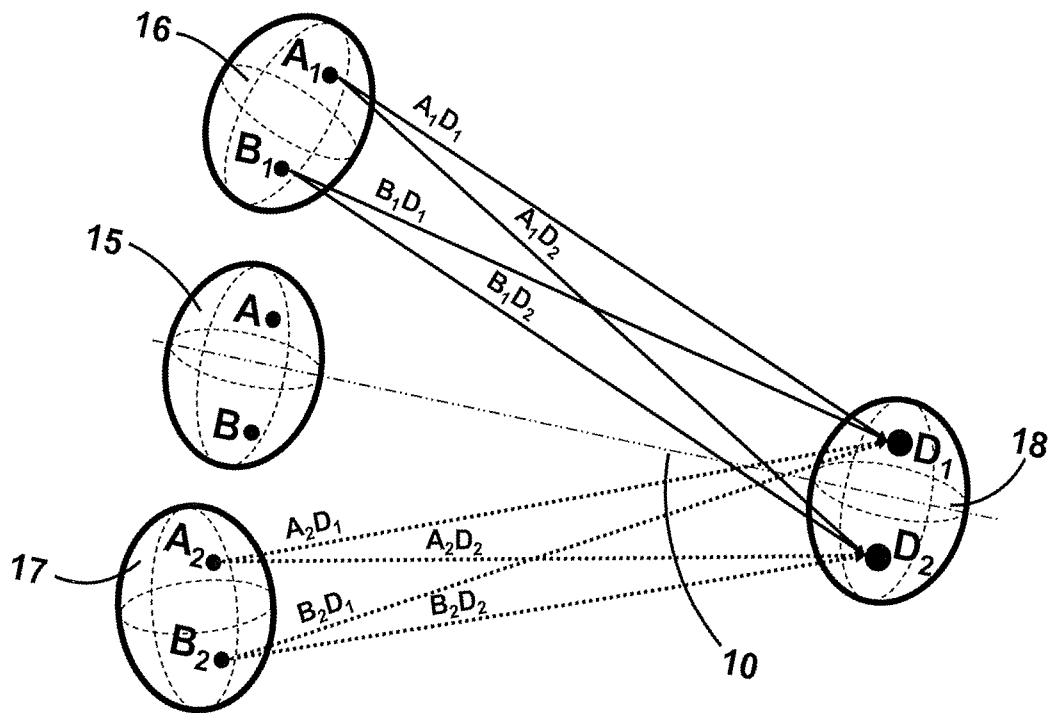
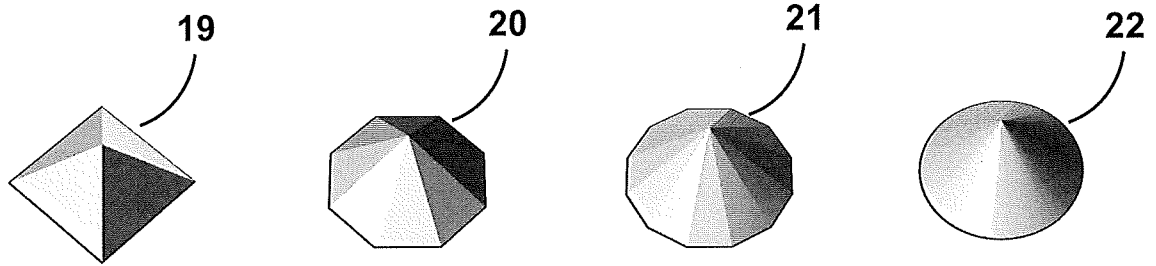


FIG. 3





- ②① N.º solicitud: 202230471
②② Fecha de presentación de la solicitud: 01.06.2022
③② Fecha de prioridad:

INFORME SOBRE EL ESTADO DE LA TÉCNICA

⑤① Int. cl.: **G02B27/09** (2006.01)
G02B26/08 (2006.01)

DOCUMENTOS RELEVANTES

Categoría	⑤⑥ Documentos citados	Reivindicaciones afectadas
X	ZHANG, LU et al.: "Super-bunched focusing with chirped random-phase gratings". Photonics Research Vol. 8, Issue 4, pp. 503-510 (2020), 23/03/2020 [en línea][recuperado el 24/01/2023]. Recuperado de Internet <URL: https://opg.optica.org/prj/fulltext.cfm?uri=prj-8-4-503&id=429404 >, <DOI: 10.1364/PRJ.380590>. resumen; apartados 1,3; figuras 1-4.	1-12
A	CN 106940474 A (UNIV. XIAN JIAOTONG) 11/07/2017, resumen; figuras 1-5.	1-12
A	LIU, JIANBIN et al.: "Simple and efficient way to generate superbunching pseudothermal light." Optics Communications Volume 498, 1 November 2021, 127264, 01/11/2021 [en línea] [recuperado el 24/01/2023]. Recuperado de Internet <URL: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0030401821005137 >. Todo el documento.	1-12

Categoría de los documentos citados

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

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

El presente informe ha sido realizado

☒ para todas las reivindicaciones

☐ para las reivindicaciones nº:

Fecha de realización del informe
26.01.2023

Examinador
F. J. Dominguez Gomez

Página
1/2

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

G02B

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

EPODOC, WPI, NPL, IEEE, INSPEC