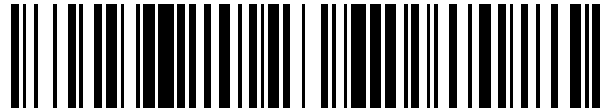


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 645 739**

21 Número de solicitud: 201730100

51 Int. Cl.:

G02F 1/29 (2006.01)

12

SOLICITUD DE PATENTE

A1

22 Fecha de presentación:

30.01.2017

43 Fecha de publicación de la solicitud:

07.12.2017

71 Solicitantes:

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

72 Inventor/es:

GARCÍA CÁMARA, Braulio;
SÁNCHEZ PENA, José Manuel;
NÚÑEZ MARTÍN, Rubén y
VELASCO PÉREZ, Eduardo David

54 Título: **Dispositivo de invisibilidad sintonizable basado en óptica paraxial**

57 Resumen:

Dispositivo de invisibilidad basado en óptica paraxial que comprende al menos cuatro lentes (L1, L2, L3, L4) alineadas de acuerdo con un eje óptico de referencia (EOR), donde las lentes (L1, L2, L3, L4) están configuradas para provocar la concentración de los rayos de luz recibidos durante su recorrido entre la lente (L1) de entrada y la lente (L4) de salida, de manera que entre dicha lente (L1) de entrada y dicha lente (L4) de salida se genera una región de invisibilidad (RI) por la que no pasan los rayos de luz que tiene una forma axialmente simétrica según el eje óptico de referencia (EOR), donde al menos una de las lentes (L1, L2, L3, L4) es una lente (L3) de distancia focal sintonizable que permite controlar la posición de un plano de invisibilidad (PI) situado detrás de dicha lente (L3) de distancia focal sintonizable.

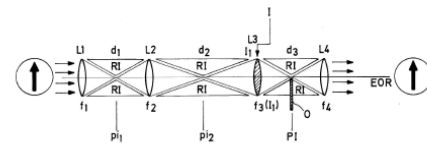


FIG. 2a

DESCRIPCIÓN

Dispositivo de invisibilidad sintonizable basado en óptica paraxial

5 **OBJETO DE LA INVENCION**

La presente invención pertenece en general al campo de la óptica, y más particularmente a los dispositivos de invisibilidad que se están desarrollando en entornos fundamentalmente académicos y en centros de investigación para diversas aplicaciones, como por ejemplo
10 militares, publicitarias, biomédicas, industria del ocio, etc.

El objeto de la presente invención es un novedoso dispositivo capaz de generar una región de invisibilidad con la particularidad de que puede modificarse la posición de, al menos, un plano de invisibilidad gracias al uso de, al menos, una lente de distancia focal sintonizable.
15

ANTECEDENTES DE LA INVENCION

El importante desarrollo de la ingeniería de materiales en los últimos años, junto con el avance de las técnicas de fabricación ha permitido la generación de nuevos materiales nanoestructurados o metamateriales. La principal característica de estos materiales es que
20 permiten conseguir propiedades, en particular propiedades ópticas, que no están en la naturaleza. La versatilidad que ofrecen estos materiales ha permitido que los investigadores hayan ideado todo tipo de dispositivos para manipular la luz, como describen H. Cheng, T.C. Chan and P. Shen en "*Transformation optics and metamaterials*", Nature Mater. 9, 387-396
25 (2010). Entre estos dispositivos, se han divulgado algunos capaces de producir la invisibilidad de los objetos, como describen J.B. Pendry, D. Schuring and D.R. Smith en "*Controlling electromagnetic fields*", Science 312, 1780-1782 (2006). Existen también diversos documentos de patente que describen sistemas de invisibilidad basados en este tipo de materiales. A modo de ejemplo, se pueden mencionar los documentos US9095043
30 B2 titulado "*Electromagnetic cloak using metal lens*" o 9166302 B2 titulado "*Wideband electromagnetic cloaking systems*".

Sin embargo, estos sistemas presentan como desventajas principales su gran complejidad y el alto coste que implica su diseño y fabricación. Además, es necesario diseñar y generar un
35 sistema específico para cada objeto que se desee hacer invisible, o para una zona muy limitada. Esto se deduce, por ejemplo, de los documentos de J. Valentine et al. "*An optical cloak made of dielectric*", Nature Mater. 8, 568-571 (2009); L.H. Gabrielli et al. "*Silicon*

nanostructure cloak operating at optical frequencies" Nature Photon. 3, 461-463 (2009); o X. Ni et al. "An ultrathin invisibility skin cloak for visible light", Science, 349, 1310-1314 (2015).

En contraposición a estos complejos sistemas, en el año 2014 los profesores Choi y Howell de la Universidad de Rochester (USA) desarrollaron y demostraron un dispositivo de invisibilidad basado en óptica paraxial capaz de generar una región de invisibilidad con varios planos de invisibilidad. En el documento titulado "*Paraxial ray optics cloaking*," Opt. Express 22, 29465-29478 (2014) describen un sistema que está formado por cuatro lentes comerciales alineadas y convenientemente ajustadas siguiendo las leyes de la óptica geométrica clásica. Nótese que, para que el sistema funcione correctamente, es necesario que las distancias entre las lentes y las distancias focales de dichas lentes cumplan unas determinadas condiciones. Estas condiciones reciben en este documento el nombre de "*condiciones de invisibilidad*", y se describen con mayor detalle más adelante en este documento. Este sistema se describe de manera más detallada en la solicitud de patente estadounidense US 2016/0025956, donde se describen configuraciones específicas formadas por 3 o 4 lentes.

El sistema de Choi y Howell presenta ventajas significativas con relación a los dispositivos anteriores. Se trata de un sistema extremadamente sencillo, lo que permite su implementación casi por cualquier persona siguiendo unas instrucciones bastante sencillas. Además, los materiales necesarios para su fabricación son de muy bajo coste. Sin embargo, este sistema tiene el inconveniente de que es estático. Es decir, una vez montado un sistema de este tipo, la región de invisibilidad permanece fija e inalterable, así como la posición de los diferentes planos de invisibilidad asociados. Esto supone una gran limitación en cuanto a las posibles aplicaciones comerciales del dispositivo.

DESCRIPCIÓN DE LA INVENCION

Los inventores de la presente solicitud se han dado cuenta de que el dispositivo propuesto por Choi y Howell presenta diversas limitaciones que complican, si no impiden completamente, su utilización en la práctica más allá de un entorno académico.

En primer lugar, al tratarse de un dispositivo estático formado por lentes convencionales, una vez realizado el montaje la región de invisibilidad permanece fija e inalterable. Por tanto, si el usuario desea modificar la posición de un plano de invisibilidad, por ejemplo para hacer visible un determinado objeto situado inicialmente dentro de la región de invisibilidad, o viceversa, para hacer invisible un objeto situado inicialmente fuera de la región de

invisibilidad, será necesario sustituir físicamente una o varias de las lentes que constituyen el montaje. Esto implica inconvenientes como el tiempo y el trabajo necesarios, y en la práctica constituye una importante limitación con relación a su potencial aplicación comercial.

5

En segundo lugar, en ocasiones existen parámetros ambientales que pueden afectar a la distancia focal de las lentes, como por ejemplo la temperatura de trabajo. Esto significa que, aún después de haber realizado un diseño y montaje cuidadoso del dispositivo de invisibilidad, una modificación de la temperatura ambiental puede provocar cambios en dicha
10 región de invisibilidad. Debido a ello, se pueden producir alteraciones en la posición de los planos de invisibilidad, y como consecuencia objetos que inicialmente eran invisibles pueden volverse visibles, o bien objetos que inicialmente eran visibles pueden volverse invisibles. Estos cambios indeseados en la región de invisibilidad también constituyen un importante inconveniente para la aplicación comercial de este dispositivo.

15

Los inventores de la presente solicitud han desarrollado una solución para este problema que se basa en un dispositivo similar al descrito por Choi y Howell donde al menos una de las lentes estáticas convencionales se sustituye por una lente sintonizable de distancia focal variable. La modificación de la distancia focal de dicha lente sintonizable permite al usuario
20 provocar que se cumpla o deje de cumplir la condición de invisibilidad que permite que el sistema funcione de tal modo que los planos de invisibilidad se encuentren en determinadas posiciones. Como consecuencia de la salida del sistema de la condición de invisibilidad, al menos un plano de invisibilidad situado inmediatamente detrás de la lente sintonizable cambia de posición o se desvanece. El resultado es que un objeto situado en la posición de
25 dicho plano de invisibilidad puede hacerse visible o invisible a voluntad simplemente actuando sobre la lente sintonizable.

Adicionalmente, los inventores de la solicitud han desarrollado un sistema de realimentación diseñado para mantener de manera automática la condición de invisibilidad del sistema
30 independientemente de posibles cambios en las distancias focales de las lentes que conforman el dispositivo, por ejemplo a causa de variaciones en las condiciones ambientales. Es decir, el sistema "*persigue*" la condición de estabilidad frente a perturbaciones capaces de modificar el punto óptimo de trabajo, de manera que se asegura que un determinado plano de invisibilidad situado tras la lente sintonizable permanece
35 inmóvil en su posición original.

Se describen a continuación algunos términos que se utilizarán a lo largo de la siguiente descripción.

5 Óptica paraxial: La óptica paraxial hace referencia a sistemas ópticos en los que las trayectorias de los rayos de luz que atraviesan el dispositivo forman ángulos pequeños con relación al eje óptico de referencia. Esto permite utilizar determinadas aproximaciones ($\sin \theta \approx \theta$, $\tan \theta \approx \theta$, $\cos \theta \approx 1$) que simplifican el análisis matemático del sistema.

10 Haz de luz: Cualquiera de los términos “*haz de luz*”, “*haz de rayos de luz*”, “*rayos de luz*”, etc. hace referencia al conjunto de rayos de luz que atraviesan el dispositivo. De acuerdo con las condiciones conocidas de la óptica paraxial, estos rayos de luz forman un ángulo con el eje óptico de referencia menor que un determinado ángulo umbral. Este conjunto de rayos de luz atraviesa por tanto longitudinalmente todo el
15 dispositivo desde la lente de entrada hasta la lente de salida. Este término puede hacer referencia a dicho conjunto de rayos de luz en cualquier punto a lo largo del eje óptico de referencia del dispositivo dependiendo del contexto en que se utilice.

20 Lente convencional o estática: Se trata de una lente que no permite una modificación controlada de su índice de refracción y/o de su geometría, y por tanto de su distancia focal. Una lente estática está normalmente hecha de materiales tales como vidrio, cuarzo o plástico pulido. Nótese que, si bien estas lentes no están pensadas para modificar la distancia focal, ésta puede variar de manera incontrolada como consecuencia de las condiciones ambientales.

25 Lente sintonizable: Se trata de una lente cuya geometría o distancia focal pueden modificarse a voluntad gracias a la variación de algún parámetro físico, como por ejemplo la corriente eléctrica, la tensión, la temperatura, la presión, u otras. Su distancia focal también se ve afectada por las condiciones ambientales.

30 Lente: Este término genérico hace referencia de manera general tanto a las lentes convencionales como a las lentes sintonizables. Además, el término lente no sólo hace referencia a lentes individuales propiamente dichas, sino también a conjuntos de lentes diseñados para llevar a cabo la función de una única lente, o bien para
35 corregir determinados efectos ópticos indeseados asociados al uso de una lente individual.

Región de invisibilidad: Se trata de una región del espacio, situada dentro de un volumen esencialmente cilíndrico o cónico ubicado entre la lente de entrada y la lente de salida del dispositivo de la presente invención, por la que no pasan rayos de luz. La región de invisibilidad se genera como consecuencia de la concentración de los rayos de luz en dirección al eje óptico de referencia, de manera que en la porción exterior de dicho volumen esencialmente cilíndrico o cónico aparece una región por la que no pasan dichos rayos. La región de invisibilidad presenta simetría axial y su tamaño es mayor cuando más concentrados estén los rayos.

5

Plano de invisibilidad: Dentro de la región de invisibilidad, se trata de un plano perpendicular al eje óptico de referencia y situado en un punto correspondiente a un máximo local de concentración de los rayos de luz (también llamado foco), de modo que el tamaño de la región de invisibilidad en ese plano presenta un máximo local. Cuando los rayos de luz se concentran esencialmente en un único punto del eje óptico de referencia, se obtiene un plano de invisibilidad prácticamente completo excepto por el punto de corte del plano con dicho eje óptico de referencia. Nótese que, en ocasiones, cuando se menciona el plano de invisibilidad no se hace referencia estrictamente al plano en sentido geométrico sino a un volumen de pequeño espesor alrededor del plano de invisibilidad geométrico, que puede alojar un determinado objeto que se desea hacer invisible.

10

15

20

Antes/después: Estos términos se interpretarán tomando como referencia la dirección de la trayectoria recorrida por los rayos de luz. Es decir, cuando se hace referencia a un primer elemento situado “antes” de un segundo elemento, o bien a un segundo elemento situado “después” de un primer elemento, se entiende que dichos elementos están situados en posiciones tales que los rayos de luz entrantes en el dispositivo pasan primero por el primer elemento y después por el segundo elemento. En otras palabras, el primer elemento está más cerca de la entrada del dispositivo de la invención que el segundo elemento. Además de los términos “antes/después” pueden utilizarse otros similares, tales como “anterior/posterior”, “delante/detrás”, “tras”, etc.

25

30

Posición: Este término hace referencia a la ubicación de un determinado elemento a lo largo del eje óptico de referencia.

35

Condición de invisibilidad: Este término se refiere de manera genérica a las relaciones entre las distancias focales de las lentes y las distancias entre las lentes

que permiten un correcto funcionamiento del sistema con una posición determinada de los planos de invisibilidad. Por ejemplo, de acuerdo con Choi y Howell la condición de invisibilidad para un sistema formado por cuatro lentes puede resumirse en (véase la Fig. 1):

- 5 a) $d_1 = d_3$; $f_1 = f_4$; $f_2 = f_3$ (el sistema es simétrico)
 b) $d_1 = f_1 + f_2$
 c) $d_2 = 2 \cdot f_2 (f_1 + f_2) / (f_1 - f_2)$

10 Las características técnicas del preámbulo de la reivindicación independiente de la presente invención corresponden esencialmente al sistema de Choi y Howell descrito en el artículo científico y la solicitud de patente que se han mencionado con anterioridad en este documento. Sin embargo, el dispositivo de la invención no está necesariamente restringido al uso de cuatro lentes, ya que puede utilizarse un número mayor de lentes de un modo equivalente.

15 Un primer aspecto de la presente invención está dirigido a un dispositivo que comprende fundamentalmente los siguientes elementos:

- 20 a) Una lente de entrada que recibe unos rayos de luz.
 b) Al menos una primera lente intermedia.
 c) Al menos una segunda lente intermedia.
 25 d) Una lente de salida por la que salen los rayos de luz.

Estas lentes están alineadas según un eje óptico de referencia, de acuerdo con el tipo de configuración típica de los sistemas basados en óptica paraxial.

30 La distancia entre las lentes y sus distancias focales están seleccionados de manera que cada rayo de luz recibido por la lente de entrada, según una dirección de entrada, sale por la lente de salida según una dirección de salida esencialmente paralela a dicha dirección de entrada, siempre que el ángulo de dicha dirección de entrada con relación al eje óptico de referencia sea inferior a un ángulo umbral. Esta condición permite que, cuando un
 35 observador mira a través del dispositivo según una dirección esencialmente paralela al eje óptico de referencia o que forma un ángulo pequeño con relación a éste, un objeto situado a la entrada del dispositivo se ve del mismo modo a la salida del dispositivo. El ángulo umbral

mencionado es el habitual para poder usar la aproximación paraxial, y puede tomar valores de aproximadamente 5° - 10° .

Además, las lentes están configuradas para provocar la concentración de los rayos de luz recibidos durante su recorrido entre la lente de entrada y la lente de salida, de manera que entre dicha lente de entrada y dicha lente de salida se genera una región de invisibilidad por la que no pasan los rayos de luz que tiene una forma axialmente simétrica según el eje óptico de referencia. Los rayos de luz pueden llegar a converger esencialmente en uno o más puntos del eje óptico de referencia situados entre la lente de entrada y la lente de salida, de manera que la región de invisibilidad puede contener planos de invisibilidad prácticamente completos excepto por el propio punto de corte del plano con el eje óptico de referencia.

Hasta ahora, se ha descrito un dispositivo de invisibilidad estático del tipo descrito por Choi y Howell. Nótese que aunque se hace referencia explícita a un dispositivo formado por cuatro lentes, sería posible diseñar dispositivos similares con cualquier número mayor de lentes, por lo que el sistema es escalable con tal de que cumpla unas determinadas relaciones de la óptica geométrica clásica que dan lugar a la condición de invisibilidad. Si bien hasta ahora se ha descrito la condición de invisibilidad para un sistema de cuatro lentes, sería posible generalizarla para un número superior de lentes. En ese caso, el dispositivo incluiría más de dos lentes intermedias.

Pues bien, independientemente del número de lentes, la característica diferenciadora principal de la presente invención con relación a dicho dispositivo de la técnica anterior es que, al menos, una de las lentes del dispositivo de la presente invención es una lente de distancia focal sintonizable que permite controlar la posición de un plano de invisibilidad situado detrás de dicha lente de distancia focal sintonizable.

En efecto, la modificación de la distancia focal de la lente sintonizable provoca una modificación de la trayectoria de los rayos de luz que la atraviesan. Si en una configuración inicial donde se cumple la condición de invisibilidad existe un plano de invisibilidad situado en una determinada posición posterior a la lente sintonizable, cuando se modifica la distancia focal de la lente sintonizable se provoca la salida del sistema de la condición de invisibilidad. Es decir, se modifican las trayectorias de los rayos de luz a lo largo del dispositivo de tal modo que cambian las posiciones de concentración de los rayos de luz en la porción del dispositivo posterior a dicha lente sintonizable. Como consecuencia, cambia la posición del plano de invisibilidad situado detrás de la lente sintonizable, o bien este se

desvanece, por lo que un objeto situado en dicho plano que inicialmente era invisible pasa a ser visible. Nótese que un mismo dispositivo puede incluir más de una lente sintonizable, lo que permitiría controlar la posición de más de un plano de invisibilidad.

- 5 La lente sintonizable puede ser en principio de cualquier tipo siempre que permita la modificación a voluntad de su distancia focal por parte de un usuario. Existen en la técnica diversos tipos de lentes sintonizables en función del parámetro físico utilizado para la modificación de su índice de refracción o geometría. Por ejemplo, de acuerdo con realizaciones preferidas de la invención, la lente sintonizable puede elegirse de entre las
- 10 siguientes: lente de distancia focal sintonizable eléctricamente, lente de distancia focal sintonizable mecánicamente, y lente de distancia focal sintonizable térmicamente.

De acuerdo con una realización especialmente preferida de la invención, la lente sintonizable empleada es una lente cuya distancia focal cambia en función de la corriente

15 eléctrica aplicada a la misma. Un ejemplo de lente de este tipo está formada fundamentalmente por un recipiente en el que se almacena un fluido óptico y que además está dotado de un actuador electromagnético. Para modificar la distancia focal se actúa sobre la corriente eléctrica que atraviesa el actuador electromagnético, el cual a su vez ejerce una presión variable sobre el recipiente que almacena el fluido óptico. Como

20 consecuencia, se modifica la trayectoria de los rayos de luz que atraviesan la lente y por tanto también su distancia focal. En otra realización preferida de la invención la lente sintonizable puede estar basada en un cristal líquido, que tiene propiedades electroópticas de modo que su índice de refracción varía bajo la aplicación de un campo eléctrico.

25 Además, el hecho de que el dispositivo de la invención incluya al menos una lente sintonizable presenta la ventaja adicional de que es posible implementar un bucle de control para mantener inmóvil la posición de, al menos, un plano de invisibilidad independientemente de que variaciones en las condiciones ambientales provoquen cambios en la distancia focal de las lentes integrantes del dispositivo. Esto permite asegurar que un

30 objeto que se desea mantener invisible, o visible, siga siéndolo aunque cambie de manera inesperada la distancia focal de las lentes integrantes a causa de las condiciones ambientales.

Según una realización preferida de la invención, se describe un sistema de realimentación configurado para mantener inmóvil un plano de invisibilidad. Se considera que la lente de

35 distancia focal sintonizable está situada en una primera posición del eje óptico de referencia y el plano de invisibilidad está situado en una segunda posición del eje óptico de referencia,

donde la segunda posición es posterior a la primera posición. Pues bien, el sistema de realimentación comprende:

5 a) Unos medios configurados para obtener unas propiedades representativas de los rayos de luz en una tercera posición del eje óptico de referencia, donde la tercera posición está situada entre las lentes inmediatamente anterior e inmediatamente posterior a la segunda posición.

10 b) Unos medios configurados para controlar la distancia focal de la lente sintonizable para que dichas propiedades de los rayos de luz se mantengan invariables en dicha tercera posición, de manera que dicho plano de invisibilidad se mantiene también invariable en dicha segunda posición.

Es decir, se parte de una determinada configuración del dispositivo en que una lente 15 sintonizable está situada en una primera posición y un determinado plano de invisibilidad se encuentra en una posición deseada que se denomina segunda posición. En esa situación, en la que se cumple la condición de invisibilidad, se obtienen unas determinadas propiedades representativas del haz de rayos de luz que atraviesa el dispositivo en una 20 tercera posición situada entre la lente inmediatamente anterior al plano de invisibilidad y la lente inmediatamente posterior al plano de invisibilidad. Nótese que es necesario que esto sea así porque, en caso contrario, no podría asegurarse que el mantenimiento de las propiedades del haz de rayos de luz en la tercera posición implicase el mantenimiento también de la posición del plano de invisibilidad, ya que entre la segunda posición y la 25 tercera posición podría haber una lente cuyas propiedades hayan variado como consecuencia de las condiciones ambientales. Esto quedará más claro más adelante en este documento a partir de la descripción de ejemplos particulares referidos a las figuras.

En cualquier caso, si se cumplen las condiciones anteriores puede suponerse que siempre que las propiedades del haz de rayos de luz en dicha tercera posición se mantengan 30 constantes, se cumplirá la condición de invisibilidad y por tanto el plano de invisibilidad se mantendrá inmóvil en la segunda posición. En consecuencia, se monitorizan las propiedades relevantes del haz de luz, por ejemplo el tamaño, la forma, el desalineamiento con respecto del eje óptico de referencia, la intensidad, u otros, de modo que puede detectarse cualquier cambio en los mismos. Si se detecta un cambio en alguna de dichas 35 propiedades, significa que una alteración de las condiciones ambientales ha provocado la modificación en la distancia focal de alguna de las lentes del dispositivo, y que ello a su vez ha provocado el cambio en el haz de luz en la tercera posición. Por tanto, el sistema de

realimentación actúa sobre la lente sintonizable para modificar su distancia focal de manera que las propiedades del haz de rayos de luz en la tercera posición retornen a su valor original, de manera que el sistema vuelve al punto óptico de trabajo inicialmente establecido en el que se cumplen la condición de invisibilidad.

5

El sistema de realimentación descrito puede implementarse de diferentes modos, aunque preferentemente comprende al menos los siguientes elementos:

10

a) Un divisor de haz situado en la tercera posición del eje óptico de referencia, que desvía fuera de dicho eje óptico de referencia una porción de los rayos de luz.

15

b) Un fotodetector situado fuera del eje óptico de referencia, que está configurado para recibir la porción desviada de los rayos de luz y para determinar las propiedades de dicha porción desviada de los rayos de luz.

20

c) Un medio de procesamiento conectado al fotodetector, que está configurado para recibir de dicho fotodetector las propiedades de dicha porción desviada de los rayos de luz. El medio de procesamiento puede implementarse a través de un microcontrolador, un microprocesador, una FPGA, un DSP, un ASIC, o en general mediante cualquier dispositivo adecuado para llevar a cabo las funciones descritas en este documento.

25

d) Un medio de accionamiento conectado al medio de procesamiento y a la lente sintonizable, que está configurado para recibir de dicho medio de procesamiento órdenes para modificar la distancia focal de dicha lente sintonizable de manera que las propiedades de la porción desviada de los rayos de luz se mantengan invariables. El medio de accionamiento puede ser un elemento independiente del medio de procesamiento, o bien puede estar integrado en el propio medio de procesamiento a modo de tarjeta de salida o similar.

30

35

El funcionamiento de este sistema de realimentación sería fundamentalmente el siguiente. Se parte de un estado inicial del dispositivo que se desea mantener y en el cual se cumple la condición de invisibilidad. En esta situación inicial, existe un plano de invisibilidad situado en una segunda posición posterior a la primera posición en la que se encuentra la lente sintonizable. El divisor de haz, situado en una tercera posición adyacente a la posición del plano de invisibilidad que se va a controlar, desvía de la dirección del eje óptico de referencia una porción de los rayos de luz que atraviesan el dispositivo. Esa porción

desviada de los rayos de luz incide en un fotodetector. Una señal representativa de las propiedades de la porción desviada de los rayos de luz recibida por el fotodetector es enviada al medio de procesamiento. Por tanto, el medio de procesamiento conoce cuáles son las propiedades de la porción desviada de los rayos de luz que corresponden al cumplimiento de la condición de invisibilidad.

Una vez establecido el estado inicial que se desea mantener, el medio de procesamiento recibe de manera continua la señal del fotodetector y monitoriza las propiedades de la porción desviada de los rayos de luz. En caso de que detecte algún cambio, ello significará que se ha producido alguna modificación en alguna de las lentes que componen el dispositivo y que se ha salido de la condición de invisibilidad. Si ello ocurre, el medio de procesamiento actúa sobre la lente sintonizable para modificar su distancia focal hasta conseguir que las propiedades de la porción desviada de los rayos de luz vuelvan a su estado original. Como consecuencia, se consigue que el dispositivo retorne a la condición de invisibilidad en la que el plano de invisibilidad que se está controlando se encuentra en la posición inicial.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LAS FIGURAS

La Fig. 1 muestra un ejemplo de dispositivo de acuerdo con Choi y Howell que está formado por cuatro lentes estáticas.

Las Figs. 2a y 2b muestran un ejemplo de dispositivo de acuerdo con la presente invención que tiene una lente sintonizable respectivamente en una situación en la que se cumple la condición de invisibilidad y una situación en la que no se cumple la condición de invisibilidad.

Las Figs. 3a-3c muestran en varias situaciones un ejemplo de dispositivo de acuerdo con la presente invención que tiene un sistema de realimentación para mantener el plano de invisibilidad en una posición determinada.

Las Figs. 4a-4c muestran esquemáticamente el aspecto que tiene la porción desviada de los rayos de luz incidente sobre el fotodetector.

REALIZACIÓN PREFERENTE DE LA INVENCION

Se describen a continuación dos dispositivos según la presente invención, uno sin sistema de realimentación y el otro con sistema de realimentación, haciendo referencia a las figuras

adjuntas. Nótese que se trata únicamente de ejemplos, y que por tanto no deben ser considerados limitantes, estando la invención limitada únicamente por las reivindicaciones adjuntas.

5 Concretamente, aunque los ejemplos se refieren a dispositivos de invisibilidad formados por cuatro lentes, el número de lentes del dispositivo de la invención no se limita a cuatro y pueden ser más siempre que sus distancias focales y las distancias entre ellas cumplan la condición de invisibilidad pertinente en cada caso. Del mismo modo, no es necesario que la lente sintonizable sea la que se encuentra específicamente en tercer lugar del dispositivo,
 10 sino que puede sustituir a cualquiera de las lentes que lo conforman. Similarmente, aunque los ejemplos muestran una única lente sintonizable, el dispositivo de la invención puede utilizar más de una lente sintonizable, permitiendo así controlar la visibilidad/invisibilidad de más de un objeto situado respectivamente en más de un plano de invisibilidad. Además, aunque los siguientes ejemplos muestran lentes que tienen el mismo diámetro, debe
 15 interpretarse que es posible implementar el dispositivo de la invención utilizando lentes de diferentes diámetros e introduciendo elementos adicionales de corrección para hacer que sean compatibles con el resto. El modo en que esto se lleva a cabo es conocido y habitual en este campo, dado que no siempre existen comercialmente disponibles con el mismo diámetro las lentes necesarias para llevar a cabo cada montaje. Por último, cada lente del
 20 dispositivo de la invención puede sustituirse por conjuntos de dos o más lentes acopladas capaces de ejercer la misma función que aquella.

La Fig. 2a muestra un primer ejemplo de dispositivo, según la presente invención, formado específicamente por cuatro lentes (L1, L2, L3, L4), donde la primera lente (L1) o lente de
 25 entrada, la segunda lente (L2), y la cuarta lente (L4) o lente de salida son estáticas, y la tercera lente (L3) es sintonizable. En este ejemplo concreto, se supone que la lente sintonizable (L3) es del tipo que permite la variación de su distancia focal en función de la intensidad de la corriente eléctrica (I) aplicada a la misma. Se ha colocado un objeto en forma de flecha a la entrada del dispositivo, es decir, a la izquierda de la lente de entrada
 30 (L1).

La situación mostrada en la Fig. 2a corresponde al cumplimiento de las condiciones de invisibilidad, lo que implica que se debe cumplir que:

- 35
- a) $d_1 = d_3; f_1 = f_4; f_2 = f_3(I_1)$
 - b) $d_1 = f_1 + f_2$
 - c) $d_2 = 2 \cdot f_2 (f_1 + f_2) / (f_1 - f_2)$

Para ello, los valores concretos que adoptan los parámetros del dispositivo mostrado en la Fig. 2a son:

$$\begin{aligned} d_1 &= d_3 = 275 \text{ mm}; \\ d_2 &= 330 \text{ mm}; \\ f_1 &= f_4 = 200 \text{ mm}; \\ f_2 &= 75 \text{ mm} \end{aligned}$$

Dados estos valores, y teniendo en cuenta las ecuaciones a)-c), la distancia focal $f_3(I_1)$ de la lente sintonizable (L3) debe adoptar un valor de 75 mm, igual a la distancia focal de la segunda lente (L2). Para ello, se aplica a la lente sintonizable (L3) una determinada corriente (I_1) necesaria para que $f_3(I_1) = 75$ mm. Es fácil comprobar que de este modo el dispositivo mostrado en la Fig. 2a cumple las condiciones de invisibilidad.

Con esta configuración, el haz de luz entra desde la entrada del dispositivo en la primera lente (L1) esencialmente en paralelo al eje óptico de referencia (EOR), se focaliza en el espacio entre la primera lente (L1) y la segunda lente (L2) y llega a dicha segunda lente (L2), vuelve a concentrarse en menor medida que antes en el espacio entre la segunda lente (L2) y la tercera lente (L3) y llega a dicha tercera lente (L3), y vuelve a focalizarse en el espacio entre la tercera lente (L3) y la cuarta lente (L4) y llega a dicha cuarta lente (L4), tras la cual el haz de luz vuelve a tomar una dirección paralela al eje óptico de referencia (EOR). Por lo tanto, un observador situado a la salida del dispositivo, a la derecha de la lente de salida (L4), ve el objeto en forma de flecha esencialmente del mismo modo que si no hubiese distancia entre la lente de entrada (L1) y la lente de salida (L4).

Se puede apreciar que se forma una región de invisibilidad (RI) en las zonas entre lentes en las que los rayos de luz se acercan al eje óptico de referencia (EOR). Esta región de invisibilidad (RI) presenta simetría cilíndrica alrededor del eje óptico de referencia (EOR) y tiene la forma resultante de restar el volumen esencialmente cónico ocupado por los rayos de luz a lo largo de su desplazamiento, del volumen esencialmente cilíndrico entre la lente de entrada (L1) y la lente de salida (L4). La región de invisibilidad (RI) descrita presenta tres planos de invisibilidad denominados (π_1 , π_2 , PI), uno entre cada par de lentes, aunque veremos que en la Fig. 2 únicamente se controla el plano de invisibilidad (PI) situado entre la tercera lente (L3) y la lente de salida (L4). La formación de esta región de invisibilidad (RI) y de los planos de invisibilidad (π_1 , π_2 , PI) no afecta a la imagen de la flecha que ve un observador a la salida del dispositivo.

Pues bien, en el citado plano de invisibilidad (PI) se ha dispuesto un obstáculo (O) esencialmente plano, en este ejemplo una hoja de papel cuadriculado, con su borde justo adyacente al eje óptico de referencia (EOR). Es decir, la hoja de papel (O) tapa esencialmente la mitad del camino que seguirían los rayos de luz al atravesar el dispositivo si fuesen toda su trayectoria paralelos al eje óptico de referencia (EOR). Sin embargo, gracias a que todos los rayos de luz se focalizan en el propio eje óptico de referencia (EOR) a la altura del plano de invisibilidad (PI), la hoja de papel (O) resulta invisible para un observador situado a la derecha del dispositivo. El observador ve la imagen de la flecha completa.

10

La Fig. 2b muestra una configuración del mismo dispositivo de la Fig. 2a donde se ha actuado sobre la corriente (I) que controla la distancia focal de la lente (L3) sintonizable, y que pasa de (I_1) a (I_2). Como consecuencia, esta distancia focal ha aumentado y se dejan de cumplir las condiciones de invisibilidad. El plano de invisibilidad (PI) ha variado de posición y posiblemente su tamaño ha disminuido (no se representan las trayectorias reales de los rayos de luz en la figura), es decir, los rayos de luz ya no se focalizan en un único punto sino que ocupan una mayor superficie de dicho plano de invisibilidad (PI). En cualquier caso, parte de los rayos de luz que atraviesan el dispositivo inciden sobre la hoja de papel (O), que por tanto bloquea parte de la imagen que ve un observador situado a la salida del dispositivo. El observador ve una imagen similar a la mostrada, donde la hoja de papel tapa parcialmente la imagen de la flecha.

20

En definitiva, es fácil apreciar cómo el dispositivo de la invención permite hacer que un obstáculo (O) adecuadamente situado en el dispositivo de la invención sea visible o invisible a voluntad. El tiempo necesario para modificar la distancia focal de la lente (L3) sintonizable es muy pequeño, del orden de milisegundos, por lo que se consigue un efecto visual en el cual el obstáculo (O) aparece o desaparece de repente.

25

La Fig. 3a muestra un segundo ejemplo de dispositivo similar al de la Fig. 2a excepto por que además incluye un sistema de realimentación diseñado para mantener las condiciones de invisibilidad aunque se produzcan cambios en la distancia focal de las lentes (L1, L2, L3, L4) que lo componen. Se omite aquí una descripción completa de aquellos elementos del dispositivo que son equivalentes a los descritos con relación a la Fig. 2a, describiéndose con detalle solo los elementos que conforman el sistema de realimentación.

30

La lente sintonizable (L3) está situada en una posición que aquí se denomina primera posición (P1) mientras que la posición del plano de invisibilidad (PI), en el estado en que se

cumplen las condiciones de invisibilidad, se denomina segunda posición (P2). La segunda posición (P2) es posterior a la primera posición (P1). En una tercera posición (P3) situada entre la primera posición (P1) y la segunda posición (P2) se dispone un divisor de haz (DH) configurado para desviar una porción de los rayos de luz que atraviesan el dispositivo. La porción desviada de los rayos de luz es dirigida por el divisor de haz (DH) hacia la superficie sensible de un fotodetector (FD). El fotodetector (FD) está a su vez conectado a un medio de procesamiento (MP), y el medio de procesamiento (MP) está conectado a un medio de accionamiento (MA). El medio de accionamiento (MA) está conectado a la lente sintonizable (L3), de tal modo que inyecta la corriente necesaria en función de las órdenes recibidas del medio de procesamiento (MP).

En la situación mostrada en la Fig. 3a, el medio de accionamiento (MA) está inyectando una determinada corriente (I_1) en la lente sintonizable (L3) que hace que la distancia focal de dicha lente sintonizable (L3) sea de 75 mm. Bajo esas condiciones, el estado del dispositivo es igual que el mostrado en la Fig. 2a, las condiciones de invisibilidad se cumplen, y el plano de invisibilidad (PI) se encuentra en la segunda posición (P2). La hoja de papel (O), que está situada en la segunda posición (P2), permanece invisible, y un observador situado a la salida del dispositivo ve la imagen de la flecha completa.

En esta situación, la porción de los rayos de luz desviada por el divisor de haz (DH) incide en el fotodetector (FD) según unas propiedades determinadas. Por ejemplo, la porción desviada incidente en el fotodetector (FD) puede ser una circunferencia o elipse centrada en un determinado punto, con un diámetro determinado y una intensidad determinada, como se muestra esquemáticamente en la Fig. 4a. Estos datos son transmitidos desde el fotodetector (FD) al medio de procesamiento (MP), el cual los almacena como las propiedades de referencia correspondientes al cumplimiento de la condición de invisibilidad. En el ajuste inicial del dispositivo, estas propiedades de la porción desviada de los rayos de luz corresponden a la corriente (I_1), la cual a su vez corresponde a una distancia focal de la lente sintonizable (L3) de 75 mm.

Ahora bien, puede suceder que por motivos incontrolables se produzca un cambio en las condiciones ambientales, por ejemplo la temperatura, que afecte a los valores de la distancia focal de alguna de las lentes (L1, L2, L3, L4). Las lentes estáticas (L1, L2, L4) varían poco frente a este tipo de cambios, pero no ocurre así con la lente sintonizable (L3), cuyo valor puede cambiar y alejarse así del valor de 75 mm correspondiente al cumplimiento de las condiciones de invisibilidad a pesar de que se mantenga la intensidad de excitación en el valor inicial de (I_1).

Esta situación se muestra en la Fig. 3b. Un aumento de la temperatura ha modificado sensiblemente el valor de la distancia focal de la lente sintonizable (L3), que ha aumentado, y como consecuencia la posición del plano de invisibilidad (PI) ya no es coincidente con la segunda posición (P2). Por tanto, debido a un mecanismo similar al descrito con relación a la Fig. 2b la hoja de papel (O), que está en la segunda posición (P2), se ha hecho visible para un observador situado a la salida del dispositivo. Por otra parte, resulta evidente apreciar que si la posición del foco - es decir, la posición del plano de invisibilidad (PI) - se desplaza, necesariamente debe sufrir cambios también el haz de rayos de luz a su paso por la tercera posición (P3). Esto es detectado por el fotodetector (FD) a través de la porción desviada de los rayos de luz.

Por ejemplo, podemos suponer que la elipse situada en un determinado punto, con un tamaño determinado y una intensidad determinada mostrada en la Fig. 4a corresponde a la porción desviada de los rayos de luz en el estado inicial al incidir en la superficie sensible del fotodetector (FD). Después del cambio en la distancia focal de la lente sintonizable (L3), esta elipse puede haber cambiado de tamaño, aumentando (Fig. 4b, la línea de puntos representa una circunferencia igual a la de la Fig. 4a) o disminuyendo (Fig. 4c, la línea de puntos representa una circunferencia igual a la de la Fig. 4a). En función de ello, el medio de procesamiento (MP) ordena al medio de accionamiento (MA) un cambio en la corriente aplicada a la lente sintonizable (L3) hasta llegar a un valor I'_1 en el que la elipse vuelve a la situación de la Fig. 4a. Puesto que la elipse vuelve a adoptar la forma inicial, el haz de rayos de luz en la tercera posición (P3) del dispositivo también es idéntico a como era en la posición inicial, y eso significa que el plano de invisibilidad (PI) ha retornado a su posición inicial, como se muestra en la Fig. 3c. Es decir, con el cambio en las condiciones ambientales, es necesario aplicar una corriente I'_1 a la lente sintonizable (L3) para que su distancia focal sea de 75 mm.

REIVINDICACIONES

1. Dispositivo de invisibilidad sintonizable basado en óptica paraxial, que comprende:
- 5 - una lente de entrada (L1) que recibe unos rayos de luz;
 - al menos una primera lente intermedia (L2);
 - al menos una segunda lente intermedia (L3); y
 - una lente de salida (L4) por la que salen los rayos de luz,
 - donde dichas lentes (L1, L2, L3, L4) están alineadas de acuerdo con un eje óptico
- 10 de referencia (EOR),
 - donde cada rayo de luz recibido por la lente (L1) de entrada según una dirección de
 entrada sale por la lente (L4) de salida según una dirección de salida esencialmente paralela
 a dicha dirección de entrada, formando la dirección de entrada un ángulo con relación al eje
 óptico de referencia (EOR) inferior a un ángulo umbral; y
- 15 - donde las lentes (L1, L2, L3, L4) están configuradas para provocar la concentración
 de los rayos de luz recibidos durante su recorrido entre la lente (L1) de entrada y la lente
 (L4) de salida, de manera que entre dicha lente (L1) de entrada y dicha lente (L4) de salida
 se genera una región de invisibilidad (RI) por la que no pasan los rayos de luz que tiene una
 forma axialmente simétrica según el eje óptico de referencia (EOR),
- 20 caracterizado por que
 - al menos una de las lentes (L1, L2, L3, L4) es una lente (L3) de distancia focal
 sintonizable que permite controlar la posición de un plano de invisibilidad (PI) situado detrás
 de dicha lente (L3) de distancia focal sintonizable.
- 25 2. Dispositivo (1) de invisibilidad sintonizable basado en óptica paraxial de acuerdo con la
 reivindicación 1, donde la lente (L3) sintonizable se elige de entre las siguientes: lente de
 distancia focal sintonizable eléctricamente, lente de distancia focal sintonizable
 mecánicamente, y lente de distancia focal sintonizable térmicamente.
- 30 3. Dispositivo (1) de invisibilidad sintonizable basado en óptica paraxial de acuerdo con la
 reivindicación 2, donde la lente (L3) sintonizable es una lente cuya distancia focal cambia en
 función de la corriente eléctrica aplicada a la misma.
- 35 4. Dispositivo (1) de invisibilidad sintonizable basado en óptica paraxial de acuerdo con la
 reivindicación 2, donde la lente (L3) sintonizable está basada en un cristal líquido cuyo
 índice de refracción varía bajo la aplicación de un campo eléctrico.

5. Dispositivo (1) de invisibilidad sintonizable basado en óptica paraxial de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que además comprende un sistema de realimentación configurado para mantener inmóvil el plano de invisibilidad (PI), donde la lente (L3) de distancia focal sintonizable está situada en una primera posición (P1) del eje óptico de referencia (EOR) y dicho plano de invisibilidad (PI) está situado en una segunda posición (P2) del eje óptico de referencia (EOR), siendo la segunda posición (P2) posterior a la primera posición (P1), donde dicho sistema de realimentación comprende:

5 - medios (DH, FD) configurados para obtener unas propiedades representativas de los rayos de luz en una tercera posición (P3) del eje óptico de referencia (EOR), donde la tercera posición (P3) está situada entre las lentes inmediatamente anterior (L3) e inmediatamente posterior (L4) a la segunda posición (P2); y

10 - medios (MP, MA) configurados para controlar la distancia focal de la lente (L3) sintonizable para que dichas propiedades de los rayos de luz se mantengan invariables en dicha tercera posición (P3), de manera que dicho plano de invisibilidad (RI) se mantiene también invariable en dicha segunda posición (P3).

6. Dispositivo (1) de invisibilidad sintonizable basado en óptica paraxial de acuerdo con la reivindicación 5, que comprende:

20 - un divisor (DH) de haz situado en la tercera posición (P3) del eje óptico de referencia (EOR), que desvía fuera de dicho eje óptico de referencia (EOR) una porción de los rayos de luz;

- un fotodetector (FD) situado fuera del eje óptico de referencia (EOR), que está configurado para recibir la porción desviada de los rayos de luz y para determinar las propiedades de dicha porción desviada de los rayos de luz;

25 - un medio de procesamiento (MP) conectado al fotodetector (FD), que está configurado para recibir de dicho fotodetector (FD) las propiedades de dicha porción desviada de los rayos de luz; y

30 - un medio de accionamiento (MA) conectado al medio de procesamiento (MP) y a la lente (L3) de distancia focal sintonizable, que está configurado para recibir de dicho medio de procesamiento (MP) órdenes para modificar la distancia focal de dicha lente (L3) sintonizable de manera que las propiedades de la porción desviada de los rayos de luz se mantengan invariables.

7. Dispositivo (1) de invisibilidad sintonizable basado en óptica paraxial de acuerdo con la reivindicación 6, donde dichas propiedades de los rayos de luz se eligen de entre: el tamaño, la forma, el desalineamiento con respecto del eje óptico de referencia (EOR) y la intensidad.

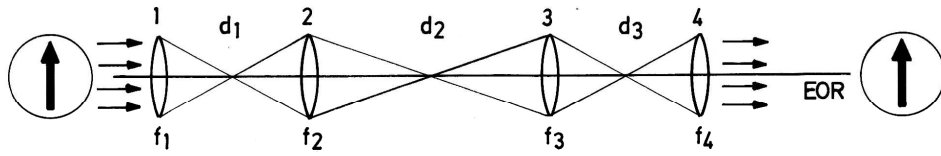


FIG. 1
TECNICA ANTERIOR

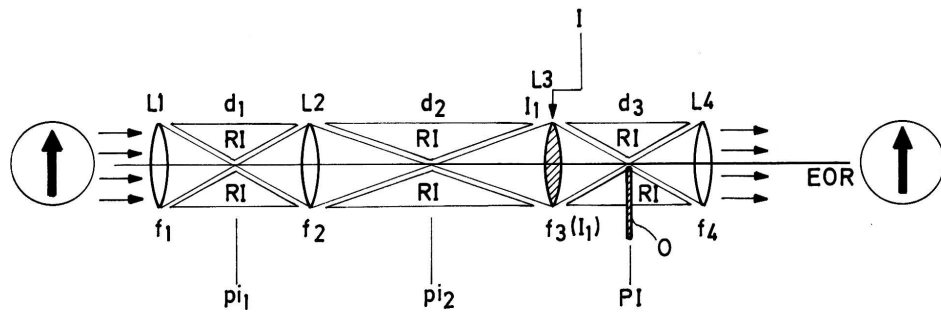


FIG. 2a

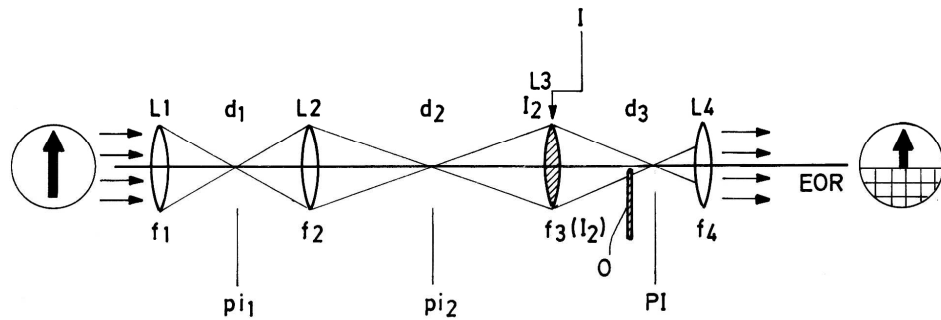


FIG. 2b

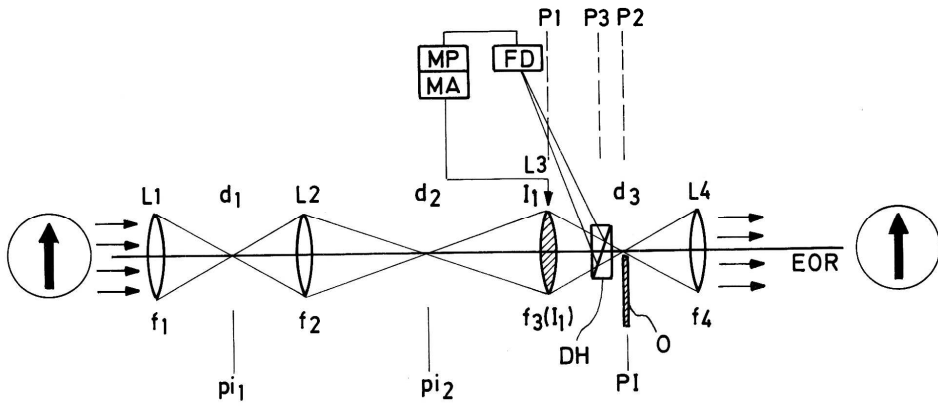


FIG. 3a

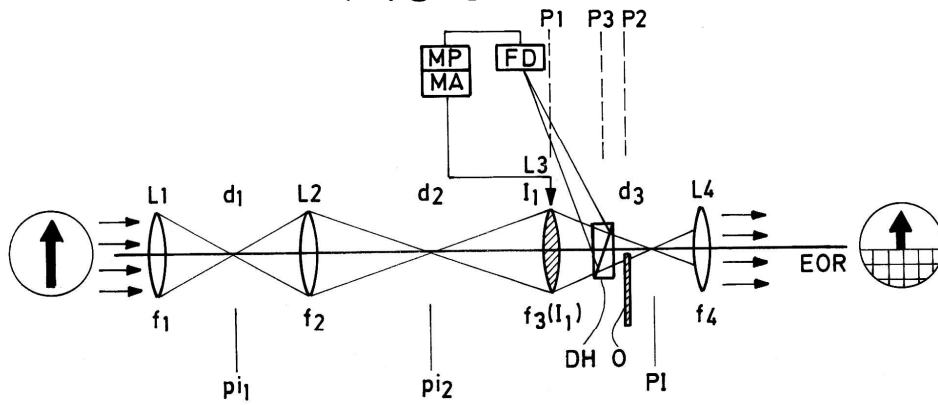


FIG. 3b

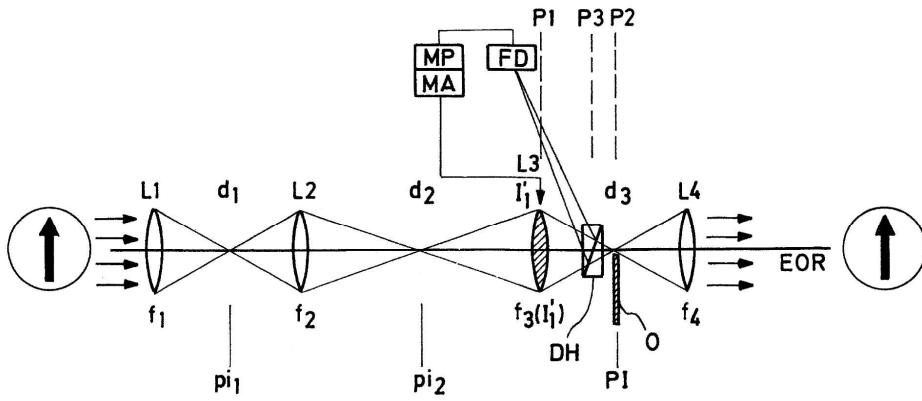


FIG. 3c

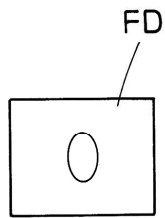


FIG. 4a

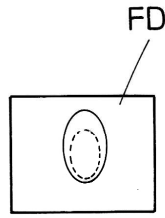


FIG. 4b

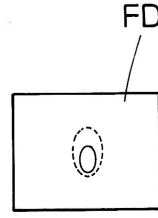


FIG. 4c



- ②① N.º solicitud: 201730100
②② Fecha de presentación de la solicitud: 30.01.2017
③② Fecha de prioridad:

INFORME SOBRE EL ESTADO DE LA TECNICA

⑤① Int. Cl.: **G02F1/29** (2006.01)

DOCUMENTOS RELEVANTES

Categoría	⑤⑥ Documentos citados	Reivindicaciones afectadas
A	CHOI, J. & HOWELL, J.: "PARAXIAL RAY OPTICS CLOAKING". Optical Society of America, 18/11/2014, Vol. 22, N° 24, Páginas 29465-78 [en línea][recuperado el 21/11/2017]. <DOI: 10.1364>. páginas 29467-72, 75-76.	1, 2
A	US 2016/0025956 A1 (CHOI, J. et al.) 28/01/2016, resumen; párrafos [0006]-[0010], [0013]-[0016], [0056]-[0065], [0097]-[0103], [0112] y [0134]; figuras 1, 2, 10, 20 y 31.	1, 2
A	US 2009/0316279 A1 (BOWERS, J. et al.) 24/12/2009, Resumen; párrafos [0028]-[0031]; figuras 1 y 3.	1, 2
A	CN 101299079 A (SHANGHAI NO 2 MIDDLE SCHOOL) 05/11/2008, Todo el documento.	1, 2
A	PENDRY, J. B. et al.: "CONTROLLING ELECTROMAGNETIC FIELDS". SCIENCE, 13/06/2006, Vol. 312, Páginas 1780-82 [en línea][Recuperado el 21/11/2017]. <DOI: 10.1126>. 1780-82.	-

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 n.º:

Fecha de realización del informe
27.11.2017

Examinador
Ó. González Peñalba

Página
1/4

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

G02F, G02B

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

INVENES, EPODOC, WPI, INSPEC

Fecha de Realización de la Opinión Escrita: 27.11.2017

Declaración

Novedad (Art. 6.1 LP 11/1986)	Reivindicaciones 1-7	SI
	Reivindicaciones	NO
Actividad inventiva (Art. 8.1 LP11/1986)	Reivindicaciones 1-7	SI
	Reivindicaciones	NO

Se considera que la solicitud cumple con el requisito de aplicación industrial. Este requisito fue evaluado durante la fase de examen formal y técnico de la solicitud (Artículo 31.2 Ley 11/1986).

Base de la Opinión.-

La presente opinión se ha realizado sobre la base de la solicitud de patente tal y como se publica.

1. Documentos considerados.-

A continuación se relacionan los documentos pertenecientes al estado de la técnica tomados en consideración para la realización de esta opinión.

Documento	Número Publicación o Identificación	Fecha Publicación
D01	CHOI, J. & HOWELL, J. PARAXIAL RAY OPTICS CLOAKING. Optical Society of America, Vol. 22, Nº 24, Páginas 29465-78 [en línea][recuperado el 21/11/2017]. <DOI: 10.1364>	18.11.2014
D02	US 2009/0316279 A1 (BOWERS, J. et al.)	24.12.2009

2. Declaración motivada según los artículos 29.6 y 29.7 del Reglamento de ejecución de la Ley 11/1986, de 20 de marzo, de Patentes sobre la novedad y la actividad inventiva; citas y explicaciones en apoyo de esta declaración

Se ha considerado, dentro del límite de tiempo establecido al efecto, que la invención definida en las reivindicaciones 1-7 de la presente Solicitud tiene novedad y actividad inventiva por no estar incluida en el estado de la técnica ni poder deducirse de este de un modo evidente por un experto en la materia.

Se han encontrado en el estado de la técnica dispositivos y métodos destinados al control paraxial de la luz de un haz para la ocultación de ciertos espacios situados adyacentemente al camino óptico de dicho haz, y, por tanto, de los objetos que estos contienen. Así, por ejemplo, el documento D01, citado en el Informe sobre el Estado de la Técnica (IET) con la categoría A y considerado entre los antecedentes más cercanos al objeto definido en las presentes reivindicaciones, recoge el origen de lo que se ha dado en llamar en el sector «manto de Rochester» ("Rochester Cloak"), un sencillo sistema paraxial de lentes similar al de la invención, que, merced a su estudiada disposición de planos focales, genera unas zonas de invisibilidad interpuestas entre las lentes que, en los puntos focales, se extienden prácticamente a planos completos. No se ha contemplado, sin embargo, a diferencia de esta invención, la posibilidad de adaptación dinámica de las zonas de invisibilidad, ya sea manual o automática, mediante señales eléctricas de control focal de una o varias lentes, ni, obviamente, el uso de lentes adaptativas ni sensores para ello, características esenciales y distintivas que confieren, en consecuencia, a la invención novedad y actividad inventiva con respecto a este documento, según los Artículos 6 y 8 de la vigente Ley de Patentes.

Otros documentos se ocupan de forma más generalista del control direccional de haces electromagnéticos. Como ejemplo de ello, el documento D02, también citado en el IET con la categoría A, divulga aparatos, métodos y sistemas que hacen posible, de manera genérica, la emisión, el ajuste de campo y el enfoque de la energía electromagnética en óptica de transformación, un ejemplo concreto de lo cual es la ocultación electromagnética. Aunque en el párrafo [0029] se relacionan posibles ejemplos de elementos de enfoque entre los cuales pueden encontrarse lentes adaptativas, no se contempla la adaptación sintonizable especificada para óptica paraxial de ocultación, ni tampoco sistemas o dispositivos específicamente aplicados en este campo, de manera que la invención sigue presentando con respecto a este documento, así como al resto del estado de la técnica considerado, novedad y actividad inventiva de acuerdo con los mencionados Arts. 6 y 8 LP.