

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 748 395**

51 Int. Cl.:

**G01S 17/89** (2006.01)

**G01S 17/88** (2006.01)

**G01S 7/481** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **29.03.2016 PCT/GB2016/050873**

87 Fecha y número de publicación internacional: **13.10.2016 WO16162664**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **29.03.2016 E 16715046 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **24.07.2019 EP 3281035**

54 Título: **Método y aparato para la formación de imágenes fantasma computacional**

30 Prioridad:

**10.04.2015 GB 201506089**  
**10.04.2015 EP 15275119**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**16.03.2020**

73 Titular/es:

**BAE SYSTEMS PLC (100.0%)**  
**6 Carlton Gardens**  
**London SW1Y 5AD, GB**

72 Inventor/es:

**COLOSIMO, NICHOLAS, GIACOMO, ROBERT**

74 Agente/Representante:

**ISERN JARA, Jorge**

ES 2 748 395 T3

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

Método y aparato para la formación de imágenes fantasma computacional

5 Esta invención se refiere en general a un método y a un aparato para realizar la formación de imágenes fantasma computacional que es la adquisición de información de objeto por medio de mediciones de correlación de fotocorriente.

La mayoría de las soluciones de formación de imágenes convencionales implican una luz de una fuente (por ejemplo, el sol) que se refleja en un objeto y sobre un detector (por ejemplo, una matriz de plano focal que consiste en millones de píxeles del detector que se encuentran en el interior de una cámara digital). Las propiedades espaciales de la imagen resultante son una función de la matriz de plano focal y la óptica asociada delante de ello. La formación de imágenes fantasma computacional (FIFC) es una nueva técnica de formación de imágenes que ha recibido una atención significativa durante los últimos años, y permite que las imágenes resueltas espacialmente sean grabadas, como resultado de lo cual, un pequeño detector de único píxel puede ser proporcionado como un medio de detección de imagen.

La formación de imágenes fantasma computacional implica el uso de una fuente luminosa estructurada para iluminar un objeto o región de interés y un detector de único píxel para recibir los reflejos. Un solo dispositivo de baja complejidad, tal como un fotodiodo, puede ser utilizado para este fin y producir una imagen bidimensional del objeto o región de interés, donde la imagen resultante es una función del nivel y tipo de estructura de iluminación utilizada por el sistema de iluminación (es decir, la fuente luminosa estructurada), y el uso de detector de único píxel se considera muy ventajoso en muchas aplicaciones, ya que puede fijarse o incorporarse con facilidad en cualquier plataforma sin que surjan problemas de espacio, peso o potencia.

Un tipo conocido de fuente luminosa estructurada puede implicar un láser y un modulador de luz espacial (MLE) que proporciona una "máscara" variable en el tiempo (espacialmente aleatoria) a través de la cual la luz láser pasa y, por lo tanto, obtiene información espacial que en última instancia transmite al objeto o región de interés y luego, por reflexión, al detector de único píxel. El sistema detector de único píxel sólo puede emitir un único valor correspondiente a un intervalo de tiempo particular, pero si se conoce la "máscara" de iluminación que se está utilizando en un momento dado, entonces es posible reconstruir la imagen bidimensional a partir de un mayor número de estos valores individuales (iteraciones del ciclo de detección de iluminación).

Con referencia a la Figura 1 de los dibujos, se ilustra esquemáticamente un aparato de formación de imágenes fantasma con modulador de luz espacial, que comprende una fuente láser de onda continua (OC) 1 y un modulador de luz espacial (MLE) 2. La luz láser espacialmente modulada se utiliza para iluminar un objeto 3 de interés y la luz reflejada del objeto 3 es capturada por un detector de único píxel 4, tal como un fotodiodo o similares. Se apreciará que, si bien la fuente de iluminación se ilustra en la figura 1 como relativamente cercana al objeto 3 de interés, esto no es esencial para el funcionamiento del propio sistema. De hecho, la fuente de iluminación y el detector de único píxel 4, pueden, en teoría, estar espacialmente separados por distancias significativas. Las señales detectadas procedentes del detector 4 son alimentadas en un correlacionador 5, que también recibe datos representativos del patrón de iluminación del objeto en cualquier momento dado (esto puede ser proporcionado en forma de una señal de referencia o de otro tipo). El correlacionador 5 está configurado para aplicar un algoritmo de FIFC para reconstruir las imágenes. Los algoritmos de FIFC son conocidos en la técnica, y un experto en la materia estará familiarizado con estos.

Las implementaciones ejemplares de FIFC son notificadas, por ejemplo, por: B. I. Erkmen, "Computational ghost imaging for remote sensing", JOURNAL OF THE OPTICAL SOCIETY OF AMERICA A, vol. 29, no. 5, pp. 782-789, May 2012, and B. Sun et al, "Normalized ghost imaging", OPTICS EXPRESS, vol. 20, no. 15, pp. 16892-16901, July 2012.

Mientras que la formación de imágenes fantasma computacional ofrece una alternativa a los sistemas de formación de imágenes convencionales, existe una serie de inconvenientes implicados. En primer lugar, aunque la FIFC sería muy beneficiosa para aplicaciones aerotransportadas, tales como la fotografía de vida silvestre y paisajes realizada por pequeñas aeronaves tripuladas o VANT, el peso adicional y la sobrecarga de energía creada por la necesidad de una fuente láser y un modulador de luz espacial es a menudo prohibitivo. Además, las matrices de plano focal son relativamente caras y cuanto mayor sea la resolución, es decir, cuantos más píxeles de detector se requieran, más caro será el plano focal. También hay un límite superior físico para el número de detectores de píxeles que pueden ser instalados en una única matriz de un tamaño especificado.

Un objeto de aspectos de la presente invención es abordar al menos algunos de estos problemas.

Según un aspecto de la presente invención, se proporciona un aparato de formación de imágenes fantasma computacional que comprende una primera fuente de radiación electromagnética y un sistema de control configurado para provocar que la radiación electromagnética de dicha fuente sea aplicada a una pluralidad seleccionada de porciones tridimensionales de un volumen atmosférico ubicado entre una segunda fuente de radiación electromagnética y un objeto o región de interés con el fin de ionizar el aire dentro de dichas porciones seleccionadas

5 y crear un modulador de radiación espacial atmosférica de un patrón especificado para provocar que dicho objeto o región de interés sea irradiado con una segunda radiación electromagnética espacialmente modulada en dicho patrón especificado, comprendiendo el aparato además un detector para recibir la segunda radiación electromagnética espacialmente modulada reflejada por dicho objeto o región de interés, y un módulo de procesamiento para reconstruir una imagen de dicho objeto o región de interés utilizando la salida de datos de dicho detector.

10 El patrón especificado puede ser un patrón de porciones individualmente ionizadas y no ionizadas de dicho volumen atmosférico, cuyo patrón es conocido y puede ser sustancialmente uniforme, pero es más probable que sea aleatorio (aunque conocido, una vez generado).

15 La primera fuente de radiación electromagnética puede comprender uno o más láseres.

20 En una realización ejemplar de la presente invención, el sistema de control puede ser configurado para periódicamente alterar dicho patrón especificado de dicho modulador de radiación espacial atmosférica por medio del cambio de las porciones seleccionadas de dicho volumen atmosférico al cual se aplica dicha radiación electromagnética, y datos representativos de cada patrón especificado y un intervalo de tiempo asociado a ello es proporcionado a dicho módulo de procesamiento.

25 El detector, que puede ser un detector de un único píxel, y el módulo de procesamiento están ubicados a distancia de dicha primera fuente de radiación electromagnética y sistema de control.

30 El aparato puede comprender un mecanismo de orientación de haz para orientar de manera selectiva un haz de radiación electromagnética producido a partir de dicha primera fuente de radiación electromagnética, siendo dicho sistema de control acoplado de forma comunicable a dicho mecanismo de orientación de haz y configurado para generar señales para orientar dicho haz de radiación electromagnética relativo a dicho volumen atmosférico con el fin de aplicar secuencialmente radiación electromagnética a dichas porciones seleccionadas de dicho volumen atmosférico. Alternativamente, o además, el aparato puede comprender un módulo de división de haces para dividir un haz producido a partir de dicha primera fuente de radiación electromagnética en una pluralidad de trayectorias que corresponden a ubicaciones respectivas de porciones seleccionadas.

35 Los aspectos de la presente invención se extienden a un sistema de control para aparato como se ha descrito anteriormente, configurado para provocar que la radiación electromagnética de dicha primera fuente sea aplicada a una pluralidad seleccionada de porciones tridimensionales de un volumen atmosférico entre una segunda fuente de radiación electromagnética y un objeto o región de interés con el fin de ionizar el aire dentro de dichas porciones seleccionadas y crear un modulador de radiación espacial atmosférica de un patrón especificado para provocar que dicho objeto o región de interés sea irradiado con radiación electromagnética espacialmente modulada en dicho patrón especificado, periódicamente alterar dicho patrón especificado de dicho modulador de radiación espacial atmosférica por medio del cambio de las porciones seleccionadas de dicho volumen atmosférico a las que se aplica dicha radiación electromagnética de dicha primera fuente, y proporcionar datos representativos de cada patrón especificado y un intervalo de tiempo asociado con ello a dicho módulo de procesamiento.

40 Según otro aspecto de la presente invención, se proporciona un método de creación de moduladores de radiación espacial atmosférica para su uso en un aparato de formación de imágenes fantasma computacional, comprendiendo el método la aplicación de radiación electromagnética de una primera fuente de radiación electromagnética a una pluralidad seleccionada de porciones tridimensionales de un volumen atmosférico ubicado entre una segunda fuente de radiación electromagnética y un objeto o región de interés con el fin de ionizar el aire dentro de dichas porciones seleccionadas y crear un patrón especificado de porciones ionizadas y no ionizadas para provocar que dicho objeto o región de interés sea irradiado con una segunda radiación electromagnética espacialmente modulada en dicho patrón especificado, y cambiar periódicamente dicho patrón especificado de porciones ionizadas y no ionizadas de dicho volumen atmosférico para crear los respectivos moduladores de radiación espacial de diferentes patrones especificados asociados con intervalos de tiempo especificados.

45 El volumen atmosférico puede ser dividido en una serie de porciones tridimensionales, y el método puede incluir la etapa que consiste en aplicar secuencialmente dicha radiación electromagnética a dichas porciones seleccionadas dentro de dicha matriz.

50 En todos los casos, la segunda fuente de radiación electromagnética puede comprender una o más fuentes luminosas y el o cada modulador de radiación espacial puede comprender un modulador de luz espacial de un patrón especificado para provocar que dicho objeto o región de interés sea irradiado con luz espacialmente modulada en dicho patrón especificado.

55 Estos y otros aspectos de la presente invención resultarán evidentes a partir de la siguiente descripción específica en la que se describen las realizaciones de la invención, únicamente a modo de ejemplos, y con referencia a los dibujos adjuntos, en los que:

60 La figura 1 es un diagrama de bloques esquemático de un sistema de formación de imágenes fantasma

computacional según la técnica anterior;

La figura 2 es un diagrama esquemático que ilustra el concepto de una matriz de celdas M por N para los fines de definir un volumen atmosférico dentro del cual un modulador de luz espacial atmosférica puede ser creado para su uso en un aparato de formación de imágenes fantasma computacional según una realización ejemplar de la presente invención;

La figura 3 es un diagrama esquemático que ilustra una manera en la cual la potencia de láser puede ser aplicada a células seleccionadas dentro de una matriz para crear un modulador de luz espacial atmosférica para su uso en un aparato de formación de imágenes fantasma computacional según una realización ejemplar de la presente invención;

La figura 4 es un diagrama esquemático que ilustra una manera alternativa en la cual la potencia de láser puede ser aplicada a células seleccionadas dentro de una matriz para crear un modulador de luz espacial atmosférica para su uso en un aparato de formación de imágenes fantasma computacional según una realización ejemplar de la presente invención;

La figura 5A es un diagrama esquemático que ilustra un elemento reflectante atmosférico plano que puede ser creado utilizando los principios empleados en un aparato y método según una realización ejemplar de la presente invención;

La figura 5B es un diagrama esquemático que ilustra una lente divergente atmosférica que puede ser creada utilizando los principios empleados en un aparato y método según una realización ejemplar de la presente invención;

La figura 6 es un diagrama esquemático que ilustra la configuración de un modulador de luz espacial atmosférica creado utilizando un método según una realización ejemplar de la presente invención; y

La figura 7 es un diagrama esquemático que ilustra el aparato de formación de imágenes fantasma computacional según una realización ejemplar de la presente invención.

De este modo, los aspectos de la presente invención operan en el principio de utilizar uno o más dispositivos de láser para causar de manera selectiva calentamiento o ionización de porciones de un área tridimensional de la atmósfera con el fin de crear o simular un modulador de luz espacial (MLE) de un tamaño deseado y configuración conocida para su uso en sistemas de formación de imágenes fantasma computacionales.

En general, y con referencia a la figura 2 de los dibujos, el área de la atmósfera en la que se requiere la creación de un MLE puede considerarse como una matriz de celdas 10 compuesta de M filas y N columnas o capas de "celdas" 12, en las que una celda es simplemente una porción tridimensional predefinida de la matriz. En el ejemplo mostrado, cada celda es idéntica en tamaño y forma, pero esto no es esencial, y la presente invención no está necesariamente destinada a ser limitada en este sentido. Se apreciará que el número de celdas en la dimensión vertical de la matriz de celdas puede variar. Por lo tanto, la matriz de celdas puede ser de cualquier tamaño, forma y número de celdas que se desee.

Dentro de la matriz 10, la estructura tridimensional de un MLE puede ser definida en términos de un número de celdas en una configuración deseada, y son estas celdas las que luego serán identificadas selectivamente por la fuente láser para efectuar el cambio deseado en sus respectivas propiedades.

Se sabe que si se aplica un campo eléctrico de potencia suficientemente alta a un volumen de aire, el aire puede ser ionizado. El aire ionizado tiene propiedades reflectantes. De este modo, los aspectos de los principios empleados en la presente invención operan en el principio de que al ionizar un volumen de aire, se puede provocar que se refleje un haz de radiación electromagnética cuando golpea ese volumen, de una manera similar a un espejo o de manera similar un dispositivo reflectante.

También se sabe que un aumento en la temperatura de un volumen de aire causa una disminución correspondiente en la densidad de ese volumen de aire. Como resultado, el índice de refracción del aire caliente es menor que el del aire más frío (y por lo tanto más denso). De este modo, algunos aspectos de la presente invención operan en el principio de que al proporcionar un volumen de aire que es más caliente que el aire alrededor del mismo, ese volumen de aire puede causar refracción de un haz de radiación electromagnética cuando pasa a través del mismo, de una manera similar a una lente convergente o divergente.

Por lo tanto, con referencia a la figura 2 de los dibujos, se apreciará que mediante el calentamiento o ionización selectiva de las celdas 12 dentro de la matriz remota 10, se pueda crear un MLE tridimensional y cambiarlo dinámicamente utilizando una fuente de radiación electromagnética de alta potencia. Esto puede lograrse de varias maneras diferentes. Por ejemplo, puede emplearse un láser pulsado de potencia (LPP) y aprovecharse del efecto "Kerr" para conseguir la autofocalización del haz láser en el punto requerido (es decir, dentro de la celda seleccionada).

Alternativamente, puede utilizarse una combinación (es decir, cruzamiento) de dos haces de láser de onda continua (OC) en un punto requerido para lograr el efecto deseado. De cualquier manera, los láseres están configurados para calentar o ionizar selectivamente la región de la atmósfera remota, haciendo que las celdas seleccionadas se calienten y cambien su índice de refracción, o causando la ionización de las celdas seleccionadas y, por lo tanto, causando que se vuelvan reflectantes o se desvíen de alguna manera.

Con referencia a la figura 3 de los dibujos, el aparato utilizado para efectuar una realización ejemplar de la presente invención comprende al menos una fuente de láser 14 montado en un recinto 15. En el ejemplo mostrado, la fuente láser 14 es una fuente láser de potencia pulsada configurada para emitir pulsos láser de alta potencia hacia la matriz de celda remota 10 a través de una apertura transparente del láser 16. Un dispositivo ópticamente reflectante, i.e. espejo, 18 está montado en un accionador de doble eje (no mostrado) en la trayectoria de salida del láser principal, estando el accionador acoplado de manera comunicable con un sistema de control que está configurado para hacer que el accionador (y, por lo tanto, el espejo 18) se mueva, de tal modo que dirija selectivamente la salida del láser a través de la apertura 16 hacia las celdas seleccionadas 12 de la matriz 10 (orientación del haz). El sistema de control puede, por ejemplo, configurarse para provocar que la salida del láser sea escaneada por la matriz de celdas que proporciona un pulso (o más de un pulso) a cada celda seleccionada, ya sea a través de un patrón de trama o de un patrón optimizado para adaptarse a la aplicación y/o a los requisitos operativos del equipo disponible.

Como se ha mencionado de manera breve anteriormente, el pulso del láser se autofocaliza de forma eficaz mediante el efecto "Kerr", lo que le permite proporcionar suficiente potencia concentrada para ionizar la celda a la que está dirigido. El efecto Kerr es un cambio en el índice de refracción de un material en respuesta a un campo eléctrico aplicado. En el caso de un pulso de láser de potencia suficientemente alta, su campo eléctrico es lo suficientemente alto como para cambiar el índice de refracción del aire. Como resultado, el área de la sección transversal del pulso (perpendicular a la dirección de propagación) puede considerarse que se contrae con la distancia (debido a las diferencias en el índice de refracción), llevando así al pulso a un enfoque intenso en algún punto del intervalo descendente del láser, en este caso la celda seleccionada. Este enfoque intenso es de una intensidad lo suficientemente alta como para calentar o ionizar la célula. Se pueden proporcionar uno o más pulsos por celda, dependiendo del efecto deseado y de las condiciones ambientales.

Con referencia a la figura 4 de los dibujos, el aparato que puede ser utilizado en una realización ejemplar alternativa de la presente invención, puede comprender dos fuentes de láser de OC (onda continua) 20, 22 montadas dentro de recintos respectivos 24, 26, teniendo cada cual una apertura de láser transparente 28, 30 en su interior. Una vez más, cada sistema láser está provisto de un espejo 32, 34 montado en un accionador de doble eje (no se muestra) acoplado de forma comunicable a un sistema de control (no se muestra). El funcionamiento del sistema es similar, en principio, al descrito anteriormente con referencia a la figura 3 de los dibujos, excepto que, en este caso, se utilizan dos (o más) láseres de OC separados espacialmente (que pueden montarse en la misma plataforma o a través de diferentes plataformas) para calentar o ionizar selectivamente la atmósfera en cada celda remota requerida. Esto se logra asegurando (a través de la indicación u orientación precisa del haz) que los haces láser se cruzan en el mismo punto (en la celda 12 seleccionada), asegurando así que se alcanza la potencia suficiente. Esta exploración podrá efectuarse sobre la base de un sistema de control configurado para mantener una separación espacial y una orientación predeterminadas entre el componente atmosférico y la fuente de radiación electromagnética. Sin embargo, en una realización ejemplar alternativa, tal exploración puede realizarse utilizando un sistema de control configurado para dirigir la(s) fuente(s) a coordenadas específicas correspondientes a las respectivas ubicaciones absolutas específicas en la atmósfera.

En otra realización ejemplar, y o bien además de las disposiciones mencionadas anteriormente o como alternativa, está previsto que un divisor de haces pueda ser empleado para dividir un haz de láser en numerosas trayectorias nuevas que corresponden a la configuración de una pluralidad de celdas respectivas a ser identificadas selectivamente. De este modo, una pluralidad de tales celdas remotas podría ser identificada de manera selectiva simultáneamente, sin la necesidad de explorar una sola trayectoria láser a través de la matriz de celda remota.

Se entenderá que la matriz de celda 10 está dispuesta a distancia de la fuente de láser 15 o fuentes de láser 24 y 26 y que la matriz de celda 10 puede formarse en orientaciones adecuadas para la aplicación del MLE formado en la matriz de celda, de modo que las orientaciones distintas de normal a la trayectoria de la fuente de láser 15 o fuentes de láser 24 y 26 pueden proporcionarse para MLE formado en la matriz de celda.

Con referencia a la figura 5A de los dibujos, en su forma más simple, los principios descritos anteriormente se pueden emplear para crear un espejo plano atmosférico 40, que puede ser orientado en cualquier ángulo requerido en el volumen atmosférico definido por una matriz de celda 10. El espejo 40 se crea mediante la aplicación de una fuente de láser de la manera descrita anteriormente a cada una de las celdas 12 que se configuran entre sí para formar la "forma" deseada del espejo.

Con referencia a la figura 5B de los dibujos, las realizaciones ejemplares de la invención pueden utilizarse en lentes divergentes atmosféricas. La lente ilustrada 40 tiene una configuración de lente doble convexa y, en el ejemplo mostrado, se ha creado generalmente de forma centralizada en la matriz de celda 10 con su eje longitudinal en línea con el eje vertical generalmente en el centro de la matriz 10. Para crear la lente 40, las celdas que corresponden a la

"estructura" tridimensional de una lente convexa doble se calientan, por ejemplo, utilizando uno de los métodos descritos anteriormente, con lo que se reduce el índice de refracción de estas celdas en relación con las celdas circundantes, y provocan que los rayos de un haz entrante 41 de radiación electromagnética se refracten a medida que entran en el componente 40 y se divergen. Para evitar cualquier tipo de dudas, se apreciará que el componente atmosférico 40 sea un área tridimensional en la matriz de celda comprendida por una pluralidad de celdas atmosféricas, cada una de las cuales ha sido calentada con el fin de alcanzar el índice de refracción requerido.

En una realización alternativa ejemplar, una lente divergente puede ser creada por el calentamiento de las celdas que rodean una configuración tridimensional de celdas en la forma de una lente cóncava doble (similar en su forma a la de una lente divergente convencional). De este modo, el elemento atmosférico resultante comprendería una región con forma de lente cóncava de celdas sin calentar rodeadas por un cuerpo de celdas calientes, como se muestra en la figura 5C de los dibujos (en la que el área sombreada 40 denota las celdas calientes y la región de lente cóncava doble no está caliente).

En los casos descritos anteriormente con referencia a las figuras 5A y 5B de los dibujos, el índice de refracción de las celdas calientes que forman la estructura de la lente es sustancialmente constante, y las diferentes propiedades modificadoras de la trayectoria de radiación EM se consiguen por la geometría u orientaciones del componente. En otras palabras, al igual que con un componente físico, es sólo la geometría del volumen tridimensional de las celdas calientes (o celdas sin calentar) la que define la función de la lente resultante.

Se puede emplear un sistema de control y cualquier número de láseres para asegurar que se aplique la cantidad correcta de potencia de láser a cada celda a fin de alcanzar el nivel requerido de calentamiento (o ionización en relación con el caso mencionado anteriormente descrito con referencia a las figuras 3 o 4 de los dibujos), teniendo en cuenta factores ambientales y el cambio de índice de refracción requerido a alcanzar. Cuando el componente ya no es necesario, la potencia del láser puede ser simplemente eliminada, y las celdas atmosféricas volverán rápidamente a su estado normal.

En un sistema conocido de formación de imágenes fantasma computacional, y con referencia a la figura 6 de los dibujos, el MLE 50 puede comprender una o más matrices planas de dispositivos ópticamente reflectantes u opacos 52, por ejemplo, absorbedores de metamateriales o dispositivos microespejos digitales, que pueden configurarse individualmente de forma dinámica para que sean transmisibles a una fuente de luz entrante u opaca a ello. De este modo, la "máscara" que la fuente de luz "ve" es un patrón pixelado de porciones transmisivas y opacas. Se proporciona un sistema de control que está configurado para cambiar ese patrón, por medio de la manipulación o el ajuste de los absorbedores de metamateriales o dispositivos de microespejos con el fin de alterar la configuración de las porciones transmisivas y opacas para cada intervalo de tiempo. Los intervalos de tiempo son necesariamente cortos, del orden de microsegundos, con el fin de garantizar que la calidad de la imagen eventualmente reconstruida sea adecuada.

Con referencia ahora a la figura 7 de los dibujos, un aparato de formación de imágenes fantasma computacional según una realización ejemplar de la presente invención, se proporciona una fuente de láser 100, en este caso, provista en una primera plataforma aerotransportada 102. Asimismo montado en la primera plataforma aerotransportada 102, se encuentra un sistema de control (no mostrado) para controlar el funcionamiento de la fuente de láser 100 tanto en términos de salida como de orientación de haz. En el ejemplo mostrado, una segunda plataforma aerotransportada 104, alejada de la primera plataforma 102, está provista de uno o más detectores de único píxel (no mostrado). Las mediciones obtenidas por el detector de único píxel pueden transmitirse a una ubicación remota (ya sea a la primera plataforma aerotransportada 102 o a otro lugar, por ejemplo, una estación en tierra (no mostrada) para su procesamiento, aunque en algunas realizaciones ejemplares, el medio de procesamiento de imágenes puede proporcionarse en o sobre la misma plataforma que el detector de único píxel.

El sistema de control para la fuente de láser 100 incluye una base de datos en la que se almacenan datos representativos de una pluralidad de configuraciones de MLE correspondientes a los respectivos patrones de porciones opacas y transmisivas de una matriz de celda. En uso, cuando se requiere obtener una imagen de un objeto 106 de interés, un procesador dentro del sistema de control recupera una primera configuración de MLE y genera señales de accionamiento para la fuente de láser 100. Las señales de accionamiento incluyen señales de orientación del haz para orientar la fuente de láser de forma que el haz apunte a cada celda seleccionada en una matriz de celda definida nominalmente dentro de la atmósfera entre la plataforma 102 y el objeto 106 de interés, con lo que se ionizan las celdas seleccionadas para generar la matriz de celda remota en la orientación deseada. Las señales de accionamiento también incluyen datos representativos de la potencia y el tiempo del pulso del láser requeridos. De este modo, las señales de accionamiento hacen que la fuente de láser cree un primer MLE atmosférico 108 entre la plataforma 102 y el objeto 106, en el que el MLE atmosférico 108 comprende una pluralidad de células reflectantes, dispuestas en un patrón conocido (uniforme o aleatorio). Después de un intervalo de tiempo predeterminado, el procesador recupera la siguiente configuración del MLE en una secuencia de la base de datos, y el procedimiento mencionado anteriormente se repite para crear un segundo MLE atmosférico correspondiente al siguiente intervalo de tiempo. Este procedimiento es entonces repetido para una pluralidad de intervalos de tiempo adicionales y configuraciones de MLE correspondientes, hasta que el procedimiento de formación de imágenes está completo. Se apreciará que, si la plataforma 102 sobre la que se monta la fuente principal de láser 100 se están moviendo en relación con el objeto 106 de interés, o el objeto de interés se está moviendo con relación a la fuente principal de láser,

entonces será necesario proporcionar un módulo de seguimiento para seguir el movimiento relativo entre las dos, y ajustar la ubicación de la creación de los MLE para tener en cuenta dicho movimiento y asegurar que el objeto 106 de interés se ilumine consistentemente con el patrón requerido de luz de la estructura. Cuando la fuente de láser se retira del volumen atmosférico, las celdas que contiene regresan relativamente rápido a su estado normal.

5 En una realización ejemplar de la presente invención, el sistema de control para la fuente de láser 100 incluye de nuevo una base de datos en la que se almacenan datos representativos de una pluralidad de configuraciones de MLE, pero en este caso, corresponden a los respectivos patrones de porciones divergentes y transmisivas de una matriz de celda. En uso, cuando se requiere obtener una imagen de un objeto 106 de interés, un procesador dentro del sistema  
10 de control recupera una primera configuración de MLE y genera señales de accionamiento para la fuente de láser 100. Las señales de accionamiento incluyen señales de orientación/división del haz para orientar o de otro modo dirigir la fuente de láser de forma que el haz apunte a cada celda seleccionada en una matriz de celda definida nominalmente dentro de la atmósfera entre la plataforma 102 y el objeto 106 de interés, con lo que se calientan las celdas seleccionadas. Las señales de accionamiento también incluyen datos representativos de la potencia y el tiempo del pulso del láser requeridos. De este modo, las señales de accionamiento hacen que la fuente de láser cree un primer  
15 MLE atmosférico 108 entre la plataforma 102 y el objeto 106, en el que el MLE atmosférico 108 comprende una pluralidad de lentes divergentes atmosféricas, dispuestas en un patrón conocido (uniforme o aleatorio). Después de un intervalo de tiempo predeterminado, el procesador recupera la siguiente configuración del MLE en una secuencia de la base de datos, y el procedimiento mencionado anteriormente se repite para crear un segundo MLE atmosférico  
20 correspondiente al siguiente intervalo de tiempo. Este procedimiento es entonces repetido para una pluralidad de intervalos de tiempo adicionales y configuraciones de MLE correspondientes, hasta que el procedimiento de formación de imágenes está completo. Se apreciará que, si la plataforma 102 sobre la que se monta la fuente principal de láser 100 se están moviendo en relación con el objeto 106 de interés, o el objeto de interés se está moviendo con relación a la fuente principal de láser, entonces será necesario proporcionar un módulo de seguimiento para seguir el  
25 movimiento relativo entre las dos, y ajustar la ubicación de la creación de los MLE para tener en cuenta dicho movimiento y asegurar que el objeto 106 de interés se ilumine consistentemente con el patrón requerido de luz de la estructura. Cuando la fuente de láser se retira del volumen atmosférico, las celdas que contiene regresan relativamente rápido a su estado normal.

30 La energía solar, lunar u otra energía electromagnética 110, ya sea natural (por ejemplo, de la luz de las estrellas) o de una fuente artificial, pasa a través de cada MLE atmosférico 108 e ilumina el objeto 106 de interés con un patrón estructurado de luz 110a correspondiente al intervalo de tiempo asociado con la configuración de MLE respectiva. Los datos representativos de la configuración del MLE (o el patrón de luz estructurado resultante) y el intervalo de tiempo con el que se relaciona se transmiten al sistema de procesamiento de imágenes o son conocidos por éste.

35 El detector de un único píxel montado en la plataforma remota 104 recibe la luz reflejada del objeto 106 de interés, y una sola medición para cada máscara es suficiente para fines de procesamiento. El sistema de procesamiento de imágenes recibe dichas mediciones y crea una imagen bidimensional multiplexada del objeto 106 mediante la correlación de la información espacial conocida a partir de las señales capturadas. La imagen multiplexada puede ser  
40 reconstruida completamente utilizando cualquier algoritmo FIFC conocido, por ejemplo, una transformada inversa de Hadamard.

Además, se puede proporcionar un sistema de supervisión de los elementos atmosféricos en el interior del sistema de control, o acoplarse de forma comunicable al mismo. El sistema de supervisión de los elementos atmosféricos puede,  
45 por ejemplo, comprender un láser de baja potencia de una longitud de onda adecuada (como resultará evidente para un experto en la materia) para detectar los efectos atmosféricos. Por consiguiente, el sistema de supervisión puede formar parte de un circuito de retroalimentación con el procesador del sistema de control para permitir que las señales de accionamiento se ajusten para compensar la distorsión atmosférica. En las realizaciones ejemplares alternativas, el aparato puede incluir un módulo de control de calidad para controlar el rendimiento (es decir, las propiedades y características) del elemento atmosférico contra un conjunto predefinido de criterios deseados, y generar señales para  
50 ajustar dinámicamente la orientación del haz y/o la potencia de la fuente de radiación electromagnética de forma que se reduzca o elimine la desviación de las propiedades y características del elemento atmosférico con respecto a lo que se define en los criterios predefinidos. Esta desviación puede ser causada por la distorsión atmosférica o de otro tipo. En otras palabras, se facilita el "ajuste fino" sucesivo y/o continuo del elemento atmosférico para crear y mantener  
55 un elemento atmosférico que tenga las características y la calidad deseadas de manera consistente.

Se apreciará que los principios descritos en esta invención pueden ser utilizados en muchas configuraciones diferentes de aparatos FIFC, y las ubicaciones relativas de la fuente láser principal, el sistema de control, el detector de píxel  
60 único y el sistema de procesamiento de imágenes no son fijos.

Resultará evidente para un experto en la materia a partir de la siguiente descripción que modificaciones y variaciones pueden ser realizadas a las realizaciones descritas sin apartarse del alcance de la invención como se define por las reivindicaciones adjuntas. Por ejemplo, si bien las realizaciones específicas descritas anteriormente se refieren específicamente a radiación electromagnética visible, es decir, luz, y modulación de luz espacial, la presente invención  
65 es igualmente aplicable para su uso con otros tipos de radiación electromagnética y, en tales casos, el modulador espacial puede ser referido en esta invención como un modulador de radiación espacial con un patrón especificado y

configurado para provocar que dicho objeto o región de interés sea irradiado con radiación electromagnética espacialmente modulada en dicho patrón especificado.

## REIVINDICACIONES

1. Un aparato de formación de imágenes fantasma computacional que comprende una primera fuente de radiación electromagnética (100) y un sistema de control configurado para provocar que la radiación electromagnética de dicha primera fuente sea aplicada a una pluralidad seleccionada de porciones tridimensionales (12) de un volumen atmosférico (10) ubicado entre una segunda fuente de radiación electromagnética (110) y un objeto o región de interés (106) con el fin de calentar o ionizar el aire dentro de dichas porciones seleccionadas y crear un modulador de radiación espacial atmosférica (108) de un patrón especificado para provocar que dicho objeto o región de interés sea irradiado con una segunda radiación electromagnética espacialmente modulada en dicho patrón especificado, comprendiendo el aparato además un detector para recibir la segunda radiación electromagnética espacialmente modulada reflejada por dicho objeto o región de interés, y un módulo de procesamiento para reconstruir una imagen de dicho objeto o región de interés utilizando la salida de datos de dicho detector.
2. Aparato según la reivindicación 1, en el que dicho patrón especificado es un patrón de porciones individualmente ionizadas y no ionizadas de dicho volumen atmosférico.
3. Aparato según la reivindicación 1, en el que dicho patrón especificado se define por un patrón de lentes divergentes atmosféricas, en el que dichas lentes divergentes comprenden una o más porciones calientes de dicho volumen atmosférico.
4. Aparato según la reivindicación 2 o la reivindicación 3, en el que dicho patrón es aleatorio.
5. Aparato según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que dicha primera fuente de radiación electromagnética comprende uno o más láseres.
6. Aparato según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que dicho sistema de control es configurado para periódicamente alterar dicho patrón especificado de dicho modulador de radiación espacial atmosférica por medio del cambio de las porciones seleccionadas de dicho volumen atmosférico al cual se aplica dicha radiación electromagnética, y datos representativos de cada patrón especificado y un intervalo de tiempo asociado a ello son proporcionados a dicho módulo de procesamiento.
7. Aparato según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que dicho detector y módulo de procesamiento están ubicados de forma remota desde dicha primera fuente de radiación electromagnética y sistema de control.
8. Aparato según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende además un mecanismo de orientación de haz para orientar de manera selectiva un haz de radiación electromagnética producido a partir de dicha primera fuente de radiación electromagnética, siendo dicho sistema de control acoplado de forma comunicable a dicho mecanismo de orientación de haz y configurado para generar señales para orientar dicho haz de radiación electromagnética con respecto a dicho volumen atmosférico con el fin de aplicar secuencialmente radiación electromagnética a dichas porciones seleccionadas de dicho volumen atmosférico.
9. Aparato según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende un módulo de división de haces para dividir un haz producido a partir de dicha primera fuente de radiación electromagnética en una pluralidad de trayectorias que corresponden a ubicaciones respectivas de porciones seleccionadas de dicho volumen atmosférico.
10. Aparato según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 9, en el que dicha segunda fuente de radiación electromagnética comprende una o más fuentes de luz, y dicho modulador de radiación espacial comprende un modulador de luz espacial para provocar que dicho objeto o región de interés sea irradiado con luz espacialmente modulada en dicho patrón especificado.
11. Un sistema de control para aparato según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, configurado para provocar que la radiación electromagnética de dicha primera fuente sea aplicada a una pluralidad seleccionada de porciones tridimensionales de un volumen atmosférico entre una segunda fuente de radiación electromagnética y un objeto o región de interés con el fin de calentar o ionizar el aire dentro de dichas porciones seleccionadas y crear un modulador de radiación espacial atmosférica de un patrón especificado para provocar que dicho objeto o región de interés sea irradiado con una segunda radiación electromagnética espacialmente modulada en dicho patrón especificado, para periódicamente alterar dicho patrón especificado de dicho modulador de radiación espacial atmosférica por medio del cambio de las porciones seleccionadas de dicho volumen atmosférico al que se aplica dicha radiación electromagnética, y proporcionar datos representativos de cada patrón especificado y un intervalo de tiempo asociado con ello a dicho módulo de procesamiento.
12. Un sistema de control según la reivindicación 11, en el que dicha segunda fuente de radiación electromagnética comprende una o más fuentes luminosas, y dicho modulador de radiación espacial comprende un modulador de luz espacial de un patrón especificado para provocar que dicho objeto o región de interés sea irradiado con luz espacialmente modulada en dicho patrón especificado.

- 5 13. Un método de creación de moduladores de radiación espacial atmosférica (108) para su uso en un aparato de formación de imágenes fantasma computacional, comprendiendo el método la aplicación de radiación electromagnética de una primera fuente de radiación electromagnética (100) a una pluralidad seleccionada de porciones tridimensionales (12) de un volumen atmosférico (10) ubicado entre una segunda fuente de radiación electromagnética (110) y un objeto o región de interés (106) con el fin de calentar o ionizar el aire dentro de dichas porciones seleccionadas y crear un patrón especificado de la trayectoria de radiación electromagnética que modifica porciones para provocar que dicho objeto o región de interés sea irradiado con radiación electromagnética espacialmente modulada en dicho patrón especificado, y cambiar periódicamente dicho patrón especificado de la trayectoria de radiación electromagnética que modifica porciones de dicho volumen atmosférico para crear los respectivos moduladores de radiación espacial de diferentes patrones especificados asociados con intervalos de tiempo especificados.
- 10
- 15 14. Un método según la reivindicación 13, en el que el volumen atmosférico se divide en una matriz de porciones tridimensionales, y el método comprende la etapa que consiste en aplicar secuencialmente dicha radiación electromagnética a dichas porciones seleccionadas dentro de dicha matriz.
- 20 15. Un método según la reivindicación 13 o la reivindicación 14, en el que dicha segunda fuente de radiación electromagnética comprende una o más fuentes luminosas, y dichos moduladores de radiación espacial comprenden moduladores de luz espacial de diferentes patrones especificados asociados con intervalos de tiempo especificados.

Fig. 1

Técnica anterior

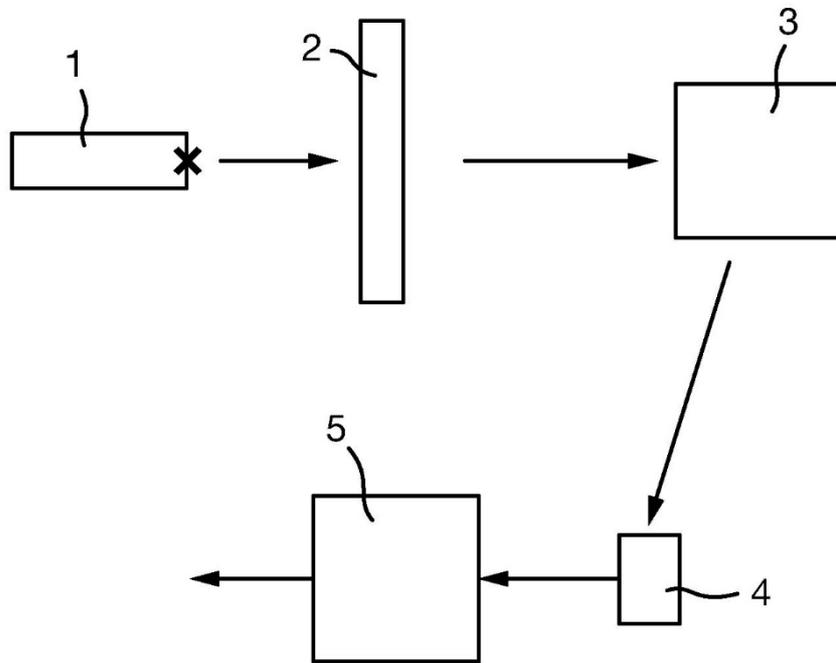


Fig. 2

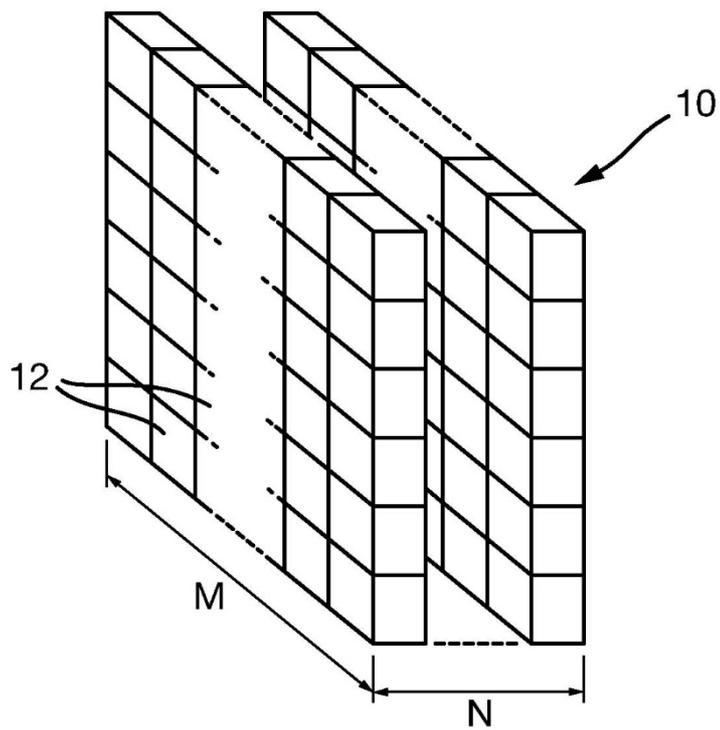


Fig. 3

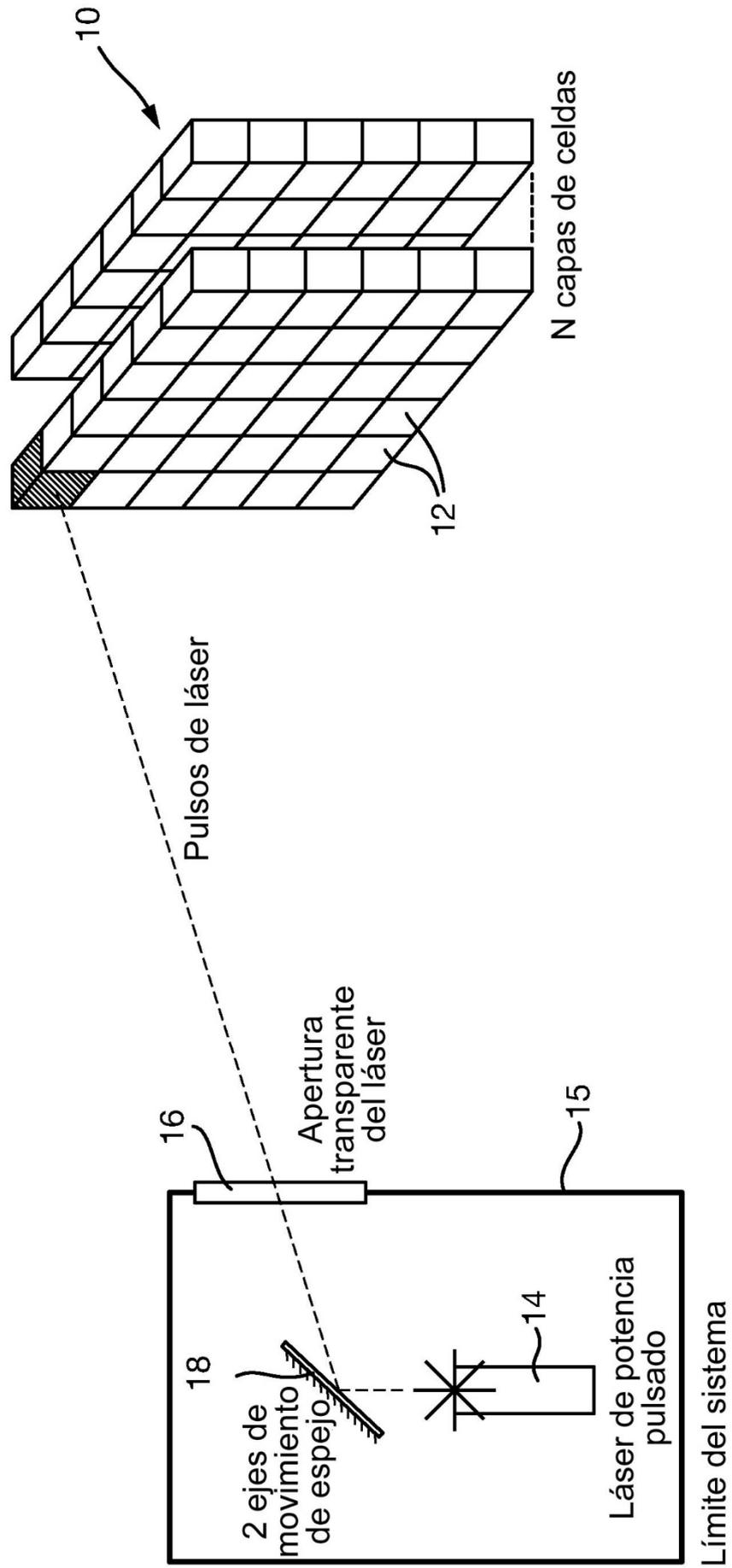


Fig. 4

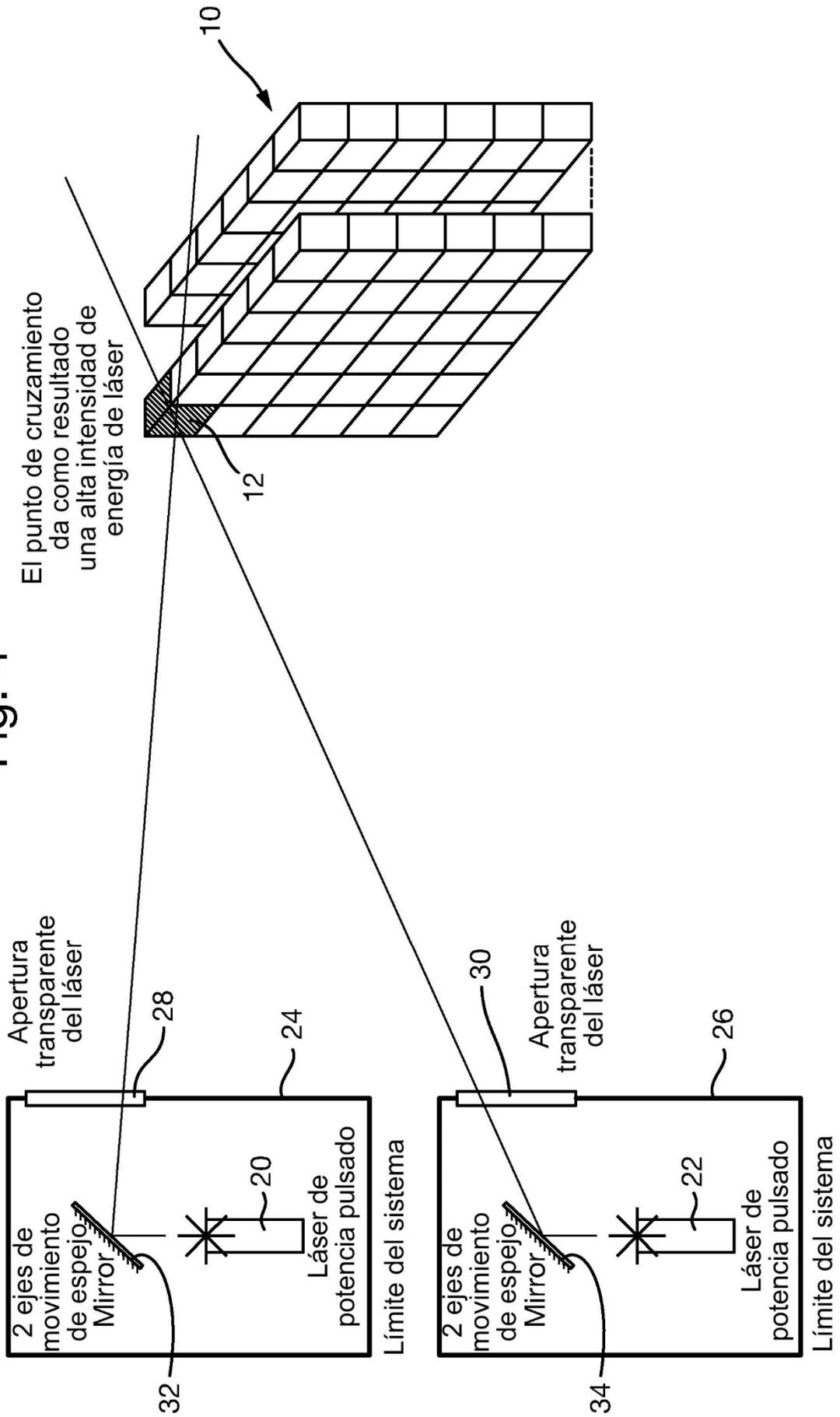


Fig. 5

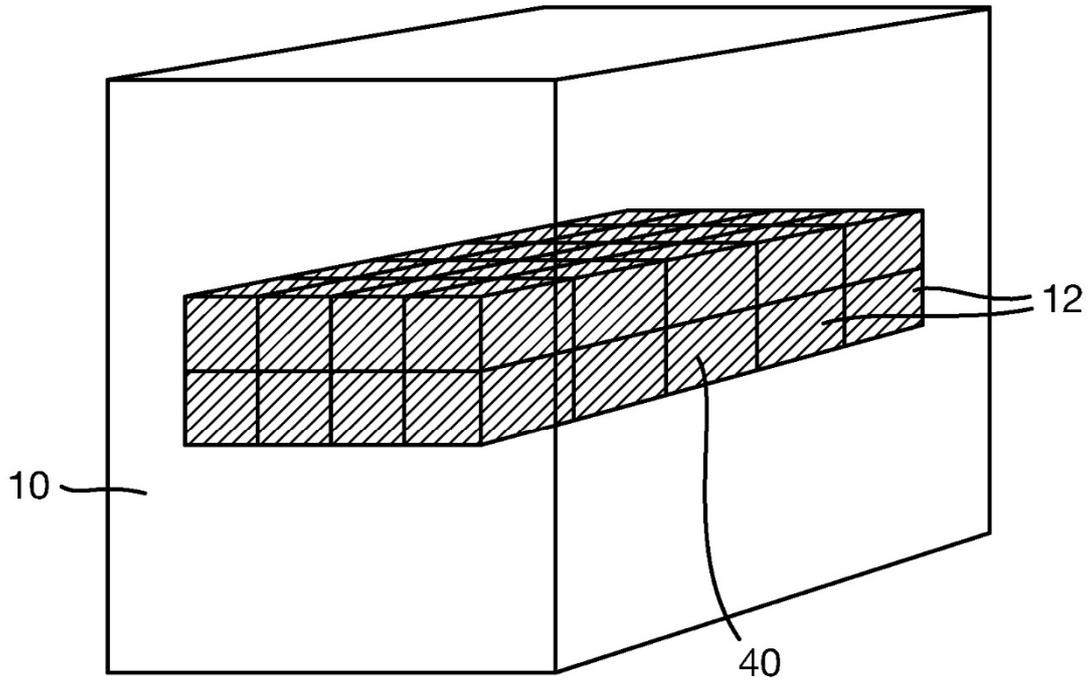


Fig. 5A

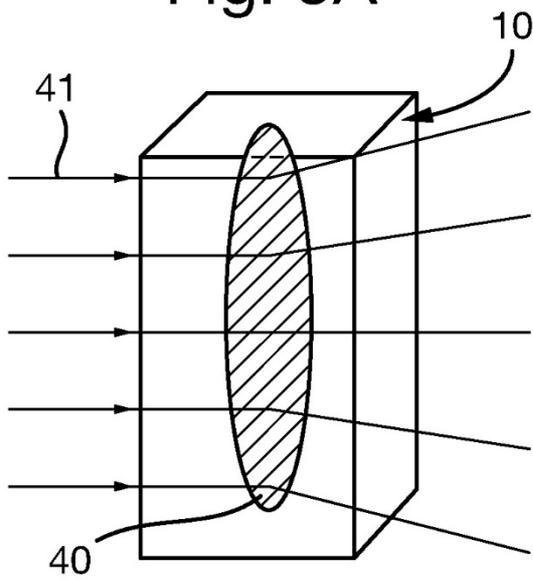


Fig. 5B

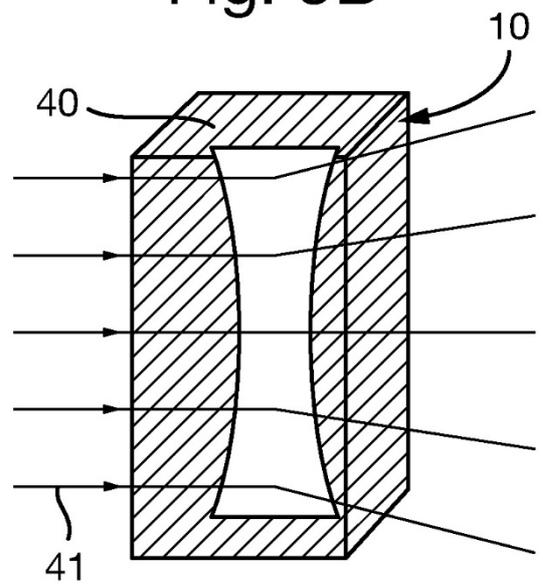


Fig. 6

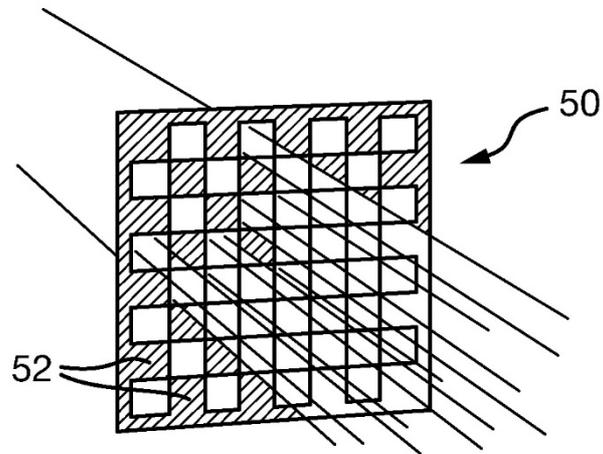


Fig. 7

