

OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

⑪ Número de publicación: **2 373 535**

⑫ Número de solicitud: 201001619

⑤① Int. Cl.:
H04B 10/28 (2006.01)
H04J 14/06 (2006.01)

⑫

SOLICITUD DE PATENTE

A1

⑫ Fecha de presentación: **27.12.2010**

⑫ Fecha de publicación de la solicitud: **06.02.2012**

⑫ Fecha de publicación del folleto de la solicitud:
06.02.2012

⑦① Solicitante/s: **Universidad de Málaga**
Plaza de El Ejido, s/n
29071 Málaga, ES

⑦② Inventor/es: **Ríos Gómez, Francisco Javier;**
Romero Sánchez, Jorge;
Fernández Ramos, Raquel;
Martín Canales, José Francisco y
Marín Martín, Francisco Javier

⑦④ Agente: **No consta**

⑤④ Título: **Aparato duplexor óptico para la transmisión y recepción simultánea de haces láser.**

⑤⑦ Resumen:

Aparato duplexor óptico para la transmisión y recepción simultánea de haces láser, empleado para simplificar los problemas de alineamiento entre transceptores ópticos distantes, comprendiendo:

- un tubo reflector catadióptrico (5);
- un prisma polarizador (13), encargado de:
 - dividir el haz láser transmitido (2SP) en dos haces (2P, 2S) polarizados linealmente en planos perpendiculares, dirigiendo únicamente la componente reflejada (2S) al reflector catadióptrico (5);
 - dividir el haz láser recibido (2'SP), procedente del reflector catadióptrico (5), en dos haces (2'P, 2'S) polarizados linealmente en planos perpendiculares, dirigiendo únicamente la componente refractada (2'P) con destino al receptor (52);
- una lente divergente (14) situada entre el prisma polarizador (13) y el reflector catadióptrico (5) y encargada de:
 - recibir la componente reflejada (2S) del haz láser transmitido (2SP) procedente del prisma polarizador (13) y adaptarla al plano focal del reflector catadióptrico (5);
 - recibir y colimar el haz láser recibido (2'SP) procedente del reflector catadióptrico (5) y dirigirlo al prisma polarizador (13).

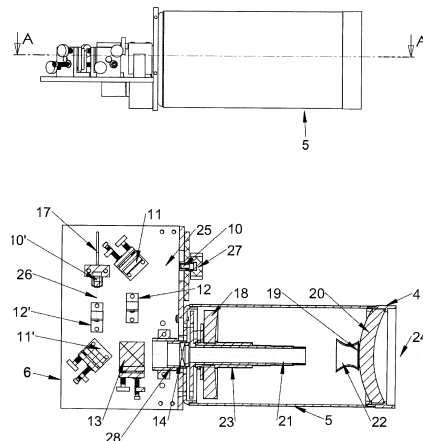


Fig. 4

DESCRIPCIÓN

Aparato duplexor óptico para la transmisión y recepción simultánea de haces láser.

5 **Campo de la invención**

La invención presentada se enmarca dentro de la industria óptica y mecánica de precisión (instrumentación), orientada a la emisión y recepción eficiente de haces luminosos.

10 **Antecedentes de la invención**

Los sistemas ópticos formados por lentes, espejos y otros elementos característicos para la manipulación de la luz tales como los partidores de haz, polarizadores, prismas, filtros, etc. se han venido utilizando de forma habitual en el campo de la óptica para el desarrollo de sistemas que permiten alterar la posición, dirección, fase, distribución energética y estado de polarización de la luz.

Los sistemas ópticos de transmisión y recepción de haces modulados basados en láser vienen empleando elementos ópticos diferenciados para transmitir y recibir la información. Sin embargo, utilizando algunos de los elementos antes mencionados y las propiedades de la luz, es posible simplificar esta filosofía y usar parte de los mismos elementos para ambas funciones tomando, si bien caminos ópticos distintos, el mismo eje óptico. Esta solución simplifica a la vez el problema del alineamiento entre transeptores distantes al eliminar elementos de ajuste.

La luz considerada como onda electromagnética se caracteriza por cuatro propiedades básicas: frecuencia o longitud de onda, amplitud, fase y estado de polarización. El estado de polarización se corresponde con las especificaciones de la onda transversa que la caracteriza. De acuerdo con la teoría electromagnética, las dos componentes perpendiculares del vector campo eléctrico y sus contribuciones pueden dar lugar a luz polarizada lineal, circular o elíptica. Cuando la luz polarizada es lineal, su energía se concentra y propaga en un plano que sigue espacialmente la dirección de propagación.

El multiplexado o multicanalización de señales es bien conocido en el ámbito de la teoría de la señal. Así, dos o más señales pueden transmitirse por un único canal de comunicación si se hace en tiempos, en frecuencias o fases distintas. Considerando la luz como un canal de comunicación y como onda electromagnética en sentido estricto, podemos considerar también su estado de polarización como una propiedad que nos permite multicanalizar señales electromagnéticas o luminosas si sus energías se encuentran en distintos planos de polarización. En este caso, se trata de establecer una diferenciación de señales por su distribución espacial de energía.

Definimos duplexor óptico como aquel sistema óptico que permite un acoplamiento bidireccional entre dos haces luminosos que portan información modulada. Los haces luminosos transmitido y recibido no se interfieren porque difieren en alguna propiedad que caracteriza a la luz que procesa: espacio, tiempo, frecuencia, fase o estado de polarización.

En esta invención se presenta un sistema duplexor óptico que se caracteriza por procesar dos haces láser polarizados linealmente en dos planos perpendiculares que se propagan de forma bidireccional sobre un único eje óptico.

Por otro lado, la luz generada por un láser de estado sólido tiene, en general, una naturaleza polarizada. Dependiendo del tipo de geometría y modo de funcionamiento del láser, la luz polarizada emitida puede tener distintas manifestaciones. Por ejemplo, los láseres de estado sólido del tipo Fabry-Perot monomodos suelen emitir luz polarizada linealmente en un solo plano; contrariamente, los láseres de cavidad vertical (VCSEL) tipo multimodo, emiten luz polarizada radial (distintos planos de polarización lineal, en función del orden del modo y distribuidos radialmente perpendiculares a la dirección de propagación). Para garantizar que un haz láser posea un tipo concreto de polarización, es necesario procesar la luz que produce por un polarizador.

Los polarizadores son elementos ópticos que, partiendo de una luz no polarizada, producen luz polarizada lineal o circular. Están basados, bien en propiedades de birrefringencia que poseen algunos cristales tales como el cuarzo, las propiedades de algunas superficies gruesas o finas (capas superficiales) que reflejan y refractan las componentes ortogonales del vector campo con disposiciones de tramas metálicas en materiales que absorben una componente y transmiten la otra (polarizadores de absorción). En la presente invención se utiliza un cubo polarizador que posee la propiedad de descomponer una luz con polarización arbitraria, en dos componentes perpendiculares S (reflejada) y P (refractada) linealmente polarizadas. Energéticamente hablando, la irradiancia o la energía del haz incidente, salvo un factor de pérdidas, se reparte entre las dos componentes S y P.

La luz polarizada linealmente, al incidir sobre determinadas sustancias puede desviar el ángulo de su plano de polarización. Este fenómeno de dispersión se debe a la interacción de los fotones con la estructura molecular de las superficies (sólidos), o de las moléculas individuales (gases). La longitud de onda del fotón impactante es un parámetro determinante en el proceso.

En la presente invención importa la evolución del ángulo del plano de polarización de un haz láser cuando éste atraviesa el aire. El aire atmosférico está formado por una mezcla de gases y de partículas en suspensión que pue-

den interaccionar con un haz láser polarizado generando fenómenos de dispersión y desplazamientos en su plano de polarización. Para ello, en el sistema duplexor óptico presentado, se incluyen divisores de haz y sensores que permiten analizar la desviación del plano de polarización con el fin de determinar la influencia de las componentes de la atmósfera sobre el propio haz.

También es conocido que los haces láser se caracterizan por tener una gran directividad, coherencia e irradiancia. Dependiendo del modo de vibración del láser, en términos generales, la irradiancia sigue una distribución estadística tipo “Gauss-Hermite” (Distribución *cuasi* gaussiana) en láseres monomodo y tipo “Gauss-Laguerre” (Distribución anular en pétalos) en láseres multimodo.

La coherencia del haz nos delimita su capacidad dispersiva. Así, el ángulo de divergencia θ en radianes de un haz láser depende de su apertura D y de su longitud de onda λ según la expresión:

$$\theta = \frac{2\lambda}{\pi D} \quad (1)$$

Este ángulo define un tronco cono dentro del cual el haz diverge. Igualmente, la apertura del sistema óptico que procesa el láser viene condicionada por la existencia de difracción. Si las aperturas son circulares, en el campo lejano se producen los denominados anillos de Airy que dispersan la energía en forma de nodos y vientres de acuerdo con una función tipo sinc ($\text{senc}x/x$). Se trata de la difracción de campo lejano o de Fraunhofer que empieza a producirse a distancias que dependen del diámetro de la apertura D y de la longitud de onda λ empleada. Así, el cero del primer anillo de altura h ocurre aproximadamente a una distancia d de:

$$d \cong \frac{hD}{1.22\lambda} \quad (2)$$

Con sistemas ópticos de aperturas de varios centímetros y longitudes de onda en el rango del infrarrojo, la difracción de Fraunhofer ocurre a distancias mayores de 10 km.

Desde el punto de vista de la energía luminosa procesada por un sistema óptico, su diseño debe tener en cuenta la distribución concreta de la energía de la luz que procesa y el balance de pérdidas energéticas que se producen en todo el sistema óptico. La eficiencia energética del sistema óptico se medirá comparando la energía empleada frente a la procesada, tanto la transmitida como la recibida.

La invención que se presenta hace uso de un reflector catadióptrico caracterizado por su pequeño tamaño y bajo coste pero con gran distancia focal necesaria para tener un campo de visión pequeño sin perturbaciones de otros fenómenos ópticos del entorno. Los reflectores catadióptricos hacen uso de lentes y espejos combinados permitiendo que la luz que procesan incida sobre aperturas con forma de corona circular. Poseen una zona de sombra central debido a la disposición de su espejo secundario. Así, si queremos usar un reflector catadióptrico para transmitir y recibir energía luminosa de forma eficiente mediante láser, la distribución energética o irradiancia de éstos deberá tener forma de corona circular o anular.

Existe la posibilidad de transformar la energía transmitida por un láser con distribución gaussiana en una distribución anular mediante el uso de una lente con forma cónica denominada “axicón” o bien hacer uso de láseres multimodo con distribución de energía en forma de corona circular o anular que siguen una distribución de Gauss-Laguerre (láseres L-G). En esta invención se presenta una realización del sistema duplexor óptico con un láser con distribución de energía anular del tipo L-G basándonos en dispositivos VCSEL (Vertical-Cavity Surface-Emitting Láser), porque además de ésta característica fundamental, son dispositivos que soportan mayores márgenes térmicos que los láseres tradicionales y una vida media de funcionamiento mucho mayor (>150.000 horas).

Los partidores de haces luminosos basados en prismas o láminas semitransparentes polarizantes o no polarizantes se han venido utilizando en el campo de la óptica desde hace décadas. La luz polarizada se utiliza de forma regular en espectroscopia y las ondas electromagnéticas polarizadas en transmisión de señales moduladas (televisión o satélite). La transmisión óptica por fibra o en espacio libre de luz polarizada es poco utilizada porque las aplicaciones y los métodos existentes no han requerido esta posibilidad.

En el momento en que nos planteamos transmitir y recibir señales luminosas moduladas de forma simultánea por un único eje óptico, es cuando puede considerarse el uso de luz polarizada porque ésta permite su redirección en distintos caminos. Nos ahorramos así doblar el sistema óptico (uno para transmisión y otro para recepción), a la vez que simplificamos el proceso mecánico de alineamiento: No hay que alinear dos haces (el transmitido y el recibido), sino, aparentemente, uno solo ya que los dos viajan por el mismo eje.

Por tanto, esta invención resuelve el problema técnico del uso de dos sistemas ópticos diferentes sustituyéndolos por un solo sistema óptico proporcionando así ventajas para la reducción de costes de la óptica empleada, para la simplificación de la mecánica de alineamiento y para el aumento de la eficiencia en la captación de los haces.

Descripción de la invención

En esta invención se presenta un aparato duplexor óptico para la transmisión y recepción de haces láser con irradiancia anular y polarizados linealmente en dos planos perpendiculares que se propagan de forma bidireccional sobre un único eje óptico.

El objeto de la invención es la optimización de la energía luminosa transmitida-recibida y la simplificación de la estructura mecánica del sistema óptico en aparatos de guiado, simplificando a la vez el procedimiento de alineamiento.

El aparato consta de un reflector catadióptrico que transmite y recibe haces láser polarizados que son dirigidos, de acuerdo con su sentido y estado de polarización, al exterior (haz transmitido), o al interior (haz recibido), mediante un cubo polarizador partidor de haz, espejos y lentes.

El haz láser transmitido, guiado por un espejo, se hace pasar por un cubo partidor de haz polarizante que permite la división del haz en dos haces perpendiculares polarizados linealmente. Si el láser se encuentra polarizado total o parcialmente, éste debe orientarse de manera que el cubo refleje la máxima componente S. La componente reflejada es adaptada mediante una lente divergente para adecuar el haz al plano focal del reflector de forma que éste transmita toda la energía con pérdidas mínimas. La distribución energética del haz láser que minimiza la energía transmitida debe ser de característica anular. El láser transmitido se encuentra polarizado linealmente en un plano bien definido.

El haz láser recibido procede de un duplexor homólogo que envía igualmente un haz polarizado linealmente pero en un plano perpendicular al haz láser transmitido. Éste atraviesa el mismo reflector catadióptrico y se adapta mediante la misma lente divergente pasando por el mismo cubo polarizador que identifica una componente refractada P'. La componente refractada (recibida), sigue un camino óptico distinto a la reflejada S (transmitida), pasando por un espejo de guiado e incidiendo sobre el sistema óptico del receptor.

El haz láser transmitido es generado por un láser de estado sólido con irradiancia anular que se encuentra térmicamente controlado y modulado mediante los circuitos electrónicos de un transmisor. El láser es colimado mediante una lente esférica antes de ser dirigido hacia el cubo polarizador.

El haz láser recibido es procesado por un sistema óptico consistente en una lente convergente que proyecta el haz sobre una lente hemisférica que se encuentra adosada a una fibra óptica de polímero que conduce la energía luminosa hacia un fotodiodo de avalancha igualmente, térmicamente controlado, y amplificado con circuitos electrónicos de gran sensibilidad.

El haz láser recibido, aunque posee mayoritariamente una componente refractada P', en su viaje por el espacio libre ha colisionado con moléculas y partículas en suspensión que, por dispersión, han alterado ligeramente el plano de polarización recibido. Así, se reciben en realidad dos componentes, una de gran intensidad P' y otra de menor intensidad S'. Una porción (en la realización preferida un 10%) de las componentes P' y S' recibidas son recogidas por dos fotodiodos mediante dos partidores de haz del tipo 90%-10%; esto es, refractan el 90% de la luz recibida y reflejan el 10%. Las porciones recogidas por los dos fotodiodos contienen información sobre la intensidad y la desviación del plano de polarización. Estas se corresponden con las componentes del vector campo ortogonales del haz recibido.

Si llamamos p' y s' a las componentes de irradiancia recibida, podremos calcular su módulo I:

$$I = \sqrt{p'^2 + s'^2} \quad (3)$$

Y su argumento α

$$\alpha = \tan^{-1} \frac{s'}{p'} \quad (4)$$

Si comparamos el módulo I con la irradiancia transmitida en origen podremos estimar la densidad de elementos de dispersión existentes en la atmósfera. El argumento α nos proporciona el tipo de elemento dispersor. Estas cantidades son dependientes del tiempo y una función directa del estado atmosférico (densidades de CO₂, vapor de agua H₂O, partículas en suspensión orgánicas (pólenes, orgánulos) e inorgánicas (carbono, sílice), etc.).

La información obtenida por el analizador atmosférico nos será útil para evaluar la atenuación de la señal recibida y su relación señal/ruido. En efecto, los elementos dispersivos de la atmósfera desvían y cambian el plano de polarización de algunos fotones haciendo que éstos fotones dispersos no lleguen o lleguen en un plano de polarización distinto al del receptor disminuyendo así la intensidad de la señal recibida y su relación señal/ruido. Evaluada ésta dispersión, se podrá actuar para compensarla aumentando la potencia del haz transmitido o la sensibilidad del receptor. A la

vez se podrá tener información sobre los elementos dispersantes de la atmósfera que podrá utilizarse para evaluar las características del aire y sus elementos en una situación meteorológica determinada.

Breve descripción de los dibujos

A continuación se pasa a describir de manera muy breve una serie de dibujos que ayudan a comprender mejor la invención y que se relacionan expresamente con una realización de dicha invención que se presenta como un ejemplo no limitativo de ésta.

Las Figuras 1A, 1B y 1C muestran distintas vistas del aparato duplexor óptico objeto de la presente invención.

Las Figuras 2A y 2B representan el aparato duplexor sobre un aparato de guiado con un transmisor láser y un receptor con termorreguladores y analizador atmosférico.

Las Figuras 3A y 3B representan el aparato duplexor con dos vistas de la disposición de los componentes ópticos para la división del haz transmitido y recibido.

La Figura 4 muestra una sección del aparato duplexor óptico mostrando los elementos y partes del reflector catadióptrico transmisor-receptor y los tres ejes ópticos.

La Figura 5A y 5B ilustran el camino de los haces transmitidos y recibidos diferenciando las componentes refractadas y reflejadas según las procesa el cubo polarizador.

La Figura 6A y 6B muestran dos características de irradiancia anular válidas para transmisión-recepción eficiente del aparato duplexor óptico objeto de la presente invención.

La Figura 7A y 7B muestran el mecanismo de enfoque de la lente divergente del duplexor y el soporte ajustable de los espejos de primera superficie y cubo polarizador.

Las Figuras 8A y 8B muestran los detalles de las monturas seccionadas de la óptica del transmisor y el receptor.

La Figura 9 muestra una vista seccionada de los soportes de los partidores de haz con los fotodiodos sensores.

Descripción detallada de la invención

En esta invención se presenta un aparato duplexor óptico que se caracteriza por procesar dos haces láser polarizados linealmente en dos planos perpendiculares que se propagan de forma bidireccional sobre un único eje óptico. El aparato duplexor óptico 1, mostrado en diferentes vistas en las Figuras 1A, 1B y 1C, está constituido por un tubo reflector catadióptrico 5 adosado a una caja o carcasa 6 rectangular que contiene los elementos ópticos y mecánicos para un transmisor láser 51, un receptor 52, ambos con termorregulación (50-50'), y un analizador atmosférico 54 tal como muestran las Figuras 2A y 2B. El conjunto, salvo el receptor, se sostiene en un aparato de guiado 53 que permite el movimiento acimutal y de elevación con precisión micrométrica. Los haces láser transmitidos 2 y recibidos 2' salen y entran del tubo reflector catadióptrico 5 por la ventana 4 de forma de corona con un círculo central opaco 3. En la parte inferior de la caja 6 se encuentra el tornillo 7 que ajusta la posición del espejo primario del reflector 5. Toda la estructura metálica está construida en aluminio: tubo reflector catadióptrico 5 y caja 6 con un recubrimiento antirreflejo. La caja 6 además, está cubierta interiormente por fieltro absorbente.

Las Figuras 3A y 3B muestran los elementos del sistema óptico incluidos en el interior de la caja 6. El tubo reflector catadióptrico 5 se encuentra atornillado a un soporte 8 sobre el que se adosa una base perpendicular 9 que aloja el sistema óptico del transmisor 10 y del receptor 10', dos espejos de primera superficie 11 y 11' que dirigen respectivamente el haz transmitido y recibido, un sistema óptico partidor de haz sensor -que comprende un primer 12 y un segundo 12' partidor de haz que analizan el haz recibido-, un cubo polarizador partidor de haz 13 que separa los haces transmitidos y recibidos y, finalmente, un sistema óptico de adaptación al reflector catadióptrico basado en una lente divergente 14. Los espejos 11-11' y el cubo polarizador 13, se encuentran instalados en soportes móviles 16 que permiten su movimiento angular en el espacio. Los espejos de primera superficie 11-11' son unos espejo especiales que generan una sola reflexión, mientras que los espejos normales hacen dos: una en la superficie espejante y otra en el cristal externo. Estos espejos solo tienen una superficie espejante de aluminio hecha por deposición de vapor.

La Figura 4 muestra una sección del tubo reflector catadióptrico que cubre un plano conteniendo a los tres ejes ópticos 24, 25, 26 por los que concurren los haces transmitidos y recibidos. El reflector catadióptrico 5 y sus elementos constituyen un telescopio del tipo Maksutov-Cassegrain. Posee un espejo primario 18 con forma de corona circular y esférico en la realización presentada (podría ser elíptico), un espejo secundario 19 de forma circular y esférico adosado a una lente correctora tipo menisco 20 con dos radios de curvatura, el primero idéntico al del espejo secundario. El espejo secundario 19 genera una zona de sombra opaca 3 en el exterior del menisco 20. El espejo primario 18 está sujeto a un cilindro hueco 23 móvil que se mueve en la dirección del eje óptico por un segundo cilindro hueco 21. El cilindro móvil 23 es solidario al tornillo 7 (tornillo de enfoque), y permite ajustar la posición del espejo primario 18. El tubo hueco 21, junto con la cazoleta tronco cónica 22 impiden la entrada de haces doblemente reflejados

ES 2 373 535 A1

superiores a un determinado ángulo (65 miliradianes en la realización presentada). Los haces transmitido y recibido pasan simultáneamente a través del tubo 21.

La distancia focal efectiva del reflector catadióptrico es función de la posición del espejo primario 18. Así, si las distancias focales del espejo primario 18 y del espejo secundario 19 son f_1 y f_2 respectivamente, y la distancia entre los dos espejos es l , la distancia focal efectiva f del reflector es:

$$f = \frac{f_1 f_2}{f_1 - f_2 - l} \quad (5)$$

En la realización presentada, la distancia focal efectiva cambia entre 700 mm y 1200 mm en función de la posición del espejo primario 18 de 90 mm de diámetro. Así, las aperturas angulares que sustiene el reflector están entre 35 y 60 miliradianes aproximadamente.

El haz láser transmitido 2 producido por el diodo láser 27, tras ser colimado por el sistema óptico 10, se dirige por el eje óptico 25 hacia el espejo de primera superficie 11 donde es reflejado hacia el cubo polarizador 13. En su paso, atraviesa el primer partidor de haz 12 el cual refracta el 90% de la energía. El cubo polarizador 13 refleja el haz en su componente S hacia el eje óptico 24. La componente refractada P del haz transmitido 2 seguirá por el eje 25 absorbiéndose en la pared de la caja 6. La energía transmitida por el eje 24 depende del estado de polarización del láser utilizado. Si el haz láser se encuentra polarizado en origen, deberá orientarse mediante giro para maximizar la componente S pudiendo llegar a tener, en el mejor de los casos sin considerar pérdidas, el 90% de la energía descontando el 10% que se refleja en el primer partidor de haz 12. Si el haz láser no se encuentra polarizado en ninguna dirección, sólo será transmitido en el mejor de los casos, el 45% de la energía recibida en el cubo polarizador 13.

Tras ser focalizado por los elementos del reflector catadióptrico 5, se recibe por el eje 24 un haz láser recibido 2' polarizado linealmente y perpendicular al haz transmitido. Al atravesar el cubo polarizador 13, su componente mayoritaria P' se refracta pasando al eje óptico 26 hacia el receptor. Su componente minoritaria S' se refleja hacia el eje 25 siendo recogida el 10% de ella por el primer partidor de haz 12 en su fotodiodo. La componente mayoritaria P' se dirige por el eje óptico 26 hacia el espejo de primera superficie 11' donde el haz recibido es reflejado hacia el sistema óptico del receptor 10'. En su paso, atraviesa el segundo partidor de haz 12' en el que se refracta el 90% de la energía hacia el receptor y se desvía el 10% hacia su fotodiodo.

Las Figuras 5A y 5B ilustran el haz transmitido y recibido en planos perpendiculares y la acción del cubo polarizador para separar las componentes transmitida S y recibida P en dos caminos diferentes. Igualmente se muestra un diagrama esquemático de los haces transmitidos-recibidos y sus componentes S y P con trazados acordes con la óptica geométrica paraxial.

Supongamos que los haces transmitidos y recibidos se encuentran parcialmente polarizados ambos con componentes separables S y P. El haz transmitido 2SP se produce en el diodo láser 27 y es colimado por una lente esférica 47. En su camino atraviesa la lámina partidora de haz 48 que permite su paso en un 90% de su irradiancia. El haz transmitido 2 incide sobre el cubo polarizador 13 separando el haz en las componentes 2S y 2P. La componente 2S la refleja hacia la lente divergente 14 y el tubo reflector 5, y la componente 2P la pierde por absorción en las paredes de la caja 6. La proporción energética entre las componentes 2S y 2P dependen del láser. En el peor de los casos (no polarización), se pierde la mitad de la energía. En el mejor de los casos (polarización lineal), la componente 2P no existirá y no habrá pérdidas. La componente 2S reflejada pasa por la lente divergente adaptadora 14 que ajusta la trayectoria de los rayos para maximizar la sección del haz y minimizar las pérdidas en el tubo reflector. En su camino, incide sobre el espejo secundario 19 que refleja el haz hacia el espejo primario 18 y, éste su vez, lo refleja hacia el menisco corrector 20 propagándose finalmente al espacio libre.

El haz recibido 2'SP proveniente del espacio libre desde un duplexor homólogo girado 90° (con componente P mayoritaria), y situado a gran distancia con una sección igual al diámetro del tubo reflector 5, entra por el menisco corrector 20, incide sobre el espejo primario 18 que lo refleja al espejo secundario 19 y, este a su vez, lo refleja hacia la lente divergente 14 colimándolo y haciéndolo incidir de nuevo sobre el cubo polarizador 13. El cubo polarizador separa las componentes mayoritaria 2'P refractada y minoritaria 2'S reflejada dirigiendo la primera hacia la lente convergente 43 focalizando la energía en la lente hemisférica 44. La componente 2'S minoritaria se dirige hacia la lámina partidora de haz 48 reflejándose el 10% de su irradiancia hacia un fotodiodo analizador. La componente 2'P mayoritaria pasa por la lámina partidora 48' refractando el 90% del haz hacia la lente convergente 43 y reflejando el 10% hacia el fotodiodo analizador.

Para minimizar las pérdidas, las distribuciones de energía incidentes deben ser de forma anular. Para evitar la sombra producida por la posición del espejo secundario 19, la irradiancia de la energía incidente y transmitida deben tener forma de corona circular. Los diámetros mayor y menor de la corona deben coincidir con el diámetro del espejo primario y secundario respectivamente. En la realización presentada ambos diámetros son de 90 mm y 30 mm. Las Figuras 6A y 6B muestran distribuciones de energía anular válidas para la transmisión y recepción con el duplexor óptico presentado. La primera es característica de un láser VCSEL multimodo con forma de pétalos radiales y la

ES 2 373 535 A1

segunda es característica de un láser tipo F-P procesado por una lente axicón. Sin restar generalidad, en la realización presentada se ha hecho uso de un láser VCSEL multimodo con la distribución de irradiancia mostrada en la figura 6A.

Las pérdidas energéticas deben minimizarse utilizando dispositivos ópticos con recubrimientos antirreflejantes, sintonizados a la frecuencia de trabajo. Así, la interacción del haz láser en su viaje con cada uno de los elementos ópticos que lo procesan, genera un factor de pérdidas P global ($0 < P < 1$), resultado de la contribución de cada uno de ellos. Si las pérdidas aportadas por el elemento i de la cadena óptica es P_i y existen $1, 2, 3, \dots, n$ elementos en la cadena, la pérdida total P en la cadena será:

$$P = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - P_i) \quad (6)$$

En el camino del haz transmisor hay nueve elementos ópticos: 27, 47, 11, 48, 13, 14, 19, 18 y 20. En el camino del haz receptor hay también nueve elementos: 20, 18, 19, 14, 13, 11', 48', 43 y 44. En la realización presentada todos los elementos ópticos poseen pérdidas menores del 2%. Así según la expresión (6), el factor de pérdidas en transmisión y en recepción es inferior al 16%.

Las Figuras 7A y 7B muestran respectivamente las monturas móviles de la lente divergente 14 y de los espejos de primera superficie (11-11') y cubo polarizador 13. La arandela 29 sujeta la lente 14 al tubo móvil 28 con caja para la lente que se desliza sobre el tubo 15. Los cilindros 31 (hueco sin rosca) y 30 (roscado), están adosados a los tubos 15 y 28 respectivamente de manera que se mueven solidariamente con ellos. La base 36 está fijada al tubo externo 15 y a la base principal 9. El tubo 15 posee una ranura 33 por la que se desliza el cilindro 30 solidario con el tubo 28. El tornillo 35 con cabeza de gran diámetro (mando de ajuste), y paso de rosca de 0.5 mm en la realización presentada, es pasante al cilindro 31 y roscado al 30. Entre los dos cilindros y el eje del tornillo se sitúa el muelle 34. La base de funcionamiento es la siguiente: el muelle 34 ejerce una fuerza sobre el cilindro 30 que hace desplazar al tubo 28 y a la lente solidaria 14 hacia el exterior. La posición de la lente depende de la longitud de tornillo roscada en 30. Teniendo en cuenta el paso de rosca empleado, en una vuelta del mando 35 la lente se desplaza 0.5 mm. El recorrido total en la realización es de 15 mm (30 vueltas).

Por otro lado, el soporte 16 de los espejos (11-11') y cubo polarizador 13, mostrado en la Figura 7B, es un soporte óptico estándar basado en la modificación de la posición de una superficie rectangular 37 cuyo plano puede cambiar en el espacio con la posición de dos tornillos de ajuste 38-38' situados en la diagonal del rectángulo. La superficie rectangular 37 se fija a través del tornillo 39 y el muelle 40 que la tensa con fuerza sobre los dos tornillos de ajuste. Los tornillos de ajuste 38-38' poseen un paso de rosca fino (0.25 mm/vuelta en la realización) que permiten mover la superficie rectangular 37 con precisión del miliradián. En la superficie rectangular 37 se adosan los espejos 11-11' y el cubo 13. Todos estos ajustes se realizan una sola vez con el fin de dirigir adecuadamente los haces transmitido y recibido. Una vez realizados, los tornillos 35, 38 y 38' se fijan con pegamento o lacre.

Las Figuras 8A y 8B muestran los sistemas ópticos de transmisión 10 y recepción 10', respectivamente. El sistema óptico del transmisor 10 tiene como objetivo colimar el haz láser generado por el diodo láser de estado sólido 27 que se encuentra encapsulado y emitiendo sobre una fina ventana óptica de vidrio (BK7 en esta realización). La lente 47 se fija sobre un cilindro roscado 46 que gira en su rosca con el cilindro 45 (0.5 mm/vuelta en la realización). La lente 47 es esférica con recubrimiento antirreflejo y permite, una vez ajustada la posición del láser emisor en su plano focal, transformar el haz generado en un haz paralelo de pequeña sección (4 mm de diámetro en la realización). El diámetro de la lente esférica deberá ser lo suficientemente grande como para no generar pérdidas en el haz recogido y para no producir fenómenos difractivos (6 mm de diámetro en la realización). El diodo láser 27 se encuentra encapsulado en la carcasa del sistema óptico del transmisor 10 que forma parte del sistema de termorregulación 50 siendo modulado por los circuitos electrónicos del transmisor 51.

El sistema óptico del receptor 10' posee tres elementos ópticos: una lente convergente 43, una lente hemisférica 44, ambas con recubrimiento antirreflejo, y una fibra óptica de polímero flexible 17. Por las características del sistema óptico presentado, el haz láser recibido se presenta como un haz paralelo de sección similar al transmitido. La lente colectora 43 focaliza el haz recibido en una lente hemisférica 44 pegada a una fibra óptica de polímero 17. El conjunto adapta la energía recibida para que sea recogida en prácticamente su totalidad. Por un lado, el haz es focalizado por la lente colectora 43 en una lente semiesférica (hemisférica) 44 que capta todos los haces recibidos con independencia de su ángulo en media esfera lenticular de 2.25 mm de diámetro. Una fibra óptica de polímero 17 recoge la energía para dirigirla hacia el fotodiodo de avalancha del receptor. La flexibilidad de la fibra y sus bajas pérdidas permite situar los circuitos del receptor 52 y el sistema de termorregulación del fotodiodo 50' a una cierta distancia del conjunto permitiendo la movilidad.

Finalmente, la Figura 9 muestra la estructura del sistema óptico partidor de haz sensor del analizador atmosférico 54. El objeto de estos sensores es recoger una porción del haz recibido (10%) en sus componentes P (mayoritaria) y S (minoritaria), como consecuencia de los fenómenos de dispersión con la atmósfera.

Cada partidor de haz (12, 12') del sistema óptico partidor de haz sensor consta de un soporte que aloja una lámina partidora de haz (48, 48') 90%-10% que presenta un ángulo de 45° sobre la base. Vista la sección del sistema en la Figura 9, si el haz incide de derecha a izquierda, refleja el 10% de su irradiancia hacia el fotodiodo sensor (49, 49').

ES 2 373 535 A1

El 90% restante se refracta y sigue su camino hacia el sistema óptico de recepción 10' (segundo partidador de haz 12') y hacia el sistema óptico de transmisión 10 (primer partidador de haz 12).

La porción 2'S se corresponde con la energía minoritaria recibida por los fotones dispersos por componentes del aire tales como el vapor de agua o CO₂. Esta componente se refleja en un 10% de su energía (2's) en la lámina 48 siendo recogida por el fotodiodo 49. La porción 2'P se corresponde con la energía mayoritaria recibida no dispersa. Su 10% se refleja en la lámina 48' siendo recogida por el fotodiodo 49'. El 90% de la porción 2'S se pierde. El 90% de la porción 2'P es recogida por el sistema óptico del receptor 10'.

Los fotodiodos sensores (49-49'), son de gran área activa y reciben la totalidad de las componentes 2's (minoritaria) y 2'p (mayoritaria) (las minúsculas representan el 10% de la energía recibida), de manera que, tras el procesado de las señales mediante amplificación, muestreo y tratamiento digital, se obtiene una medida de las pérdidas por dispersión según el cómputo de la ecuación (3) y una medida del tipo de partícula dispersiva según el cómputo de la ecuación (4) en un histograma angular dependiente del tiempo.

REIVINDICACIONES

1. Aparato duplexor óptico para la transmisión y recepción simultánea de haces láser, **caracterizado** por que comprende:

- un tubo reflector catadióptrico (5) para la recepción del haz láser recibido (2') y la transmisión del haz láser transmitido (2); y

- un sistema óptico que comprende:

- un prisma polarizador (13), encargado de:

- dividir el haz láser transmitido (2SP), procedente de un transmisor láser (51), en dos haces (2P, 2S) polarizados linealmente en planos perpendiculares, dirigiendo únicamente la componente reflejada (2S) hacia el reflector catadióptrico (5);

- dividir el haz láser recibido (2'SP), procedente del reflector catadióptrico (5), en dos haces (2'P, 2'S) polarizados linealmente en planos perpendiculares, dirigiendo únicamente la componente refractada (2'P) con destino al receptor (52); y

- una lente divergente (14) situada entre el prisma polarizador (13) y el reflector catadióptrico (5) y encargada de:

- recibir la componente reflejada (2S) del haz láser transmitido (2SP) procedente del prisma polarizador (13) y adaptarla al plano focal del reflector catadióptrico (5);

- recibir y colimar el haz láser recibido (2'SP) procedente del reflector catadióptrico (5) y dirigirlo al prisma polarizador (13).

2. Aparato duplexor óptico según la reivindicación 1, **caracterizado** por que el sistema óptico comprende adicionalmente:

- al menos un espejo de primera superficie desviador del haz transmitido (11), encargado de dirigir el haz láser transmitido (2SP), procedente del transmisor láser (51), al prisma polarizador (13);

- al menos un espejo de primera superficie desviador del haz recibido (11'), encargado de dirigir la componente refractada (2'P) del haz láser recibido (2'SP), procedente del prisma polarizador (13), al receptor (52).

3. Aparato duplexor óptico según la reivindicación anterior, donde los espejos de primera superficie desviadores de haz transmitido y recibido (11, 11') y el prisma polarizador (13) disponen cada uno de un soporte móvil (16) con una superficie rectangular (37), a la cual se adosan los espejos desviadores (11, 11') y el prisma polarizador (13), cuyo plano puede cambiar en el espacio con la posición de dos tornillos de ajuste (38-38') situados en la diagonal de la superficie rectangular (37).

4. Aparato duplexor óptico según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado** por que comprende un sistema óptico de transmisión (10) que dispone de una lente esférica (47) encargada de colimar el haz generado por un diodo láser (27) del transmisor láser (51).

5. Aparato duplexor óptico según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado** por que comprende un sistema óptico de recepción (10') que dispone de:

- una lente hemisférica (44);

- una lente convergente (43) encargada de focalizar la componente refractada (2'P) del haz láser recibido (2'SP), procedente del prisma polarizador (13), en la lente hemisférica (44);

- una fibra óptica de polímero (17) conectada a la lente hemisférica (44) y encargada de recoger el haz y dirigirlo al receptor (52).

6. Aparato duplexor óptico según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado** por que comprende el transmisor láser (51) y el receptor (52).

ES 2 373 535 A1

7. Aparato duplexor óptico según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado** por que comprende un analizador atmosférico (54) que dispone de:

- un primer partidor de haz (12) con una lámina partidora de haz (48) encargada de reflejar una porción de la componente reflejada (2'S) del haz láser recibido (2'SP), que incide en dicha lámina partidora de haz (48), a un fotodiodo sensor (49) incorporado en el primer partidor de haz (12);

- un segundo partidor de haz (12') con una lámina partidora de haz (48') encargada de:

- reflejar una porción de la componente refractada (2'P) del haz láser recibido (2'SP), que incide en dicha lámina partidora de haz (48), a un fotodiodo sensor (49') incorporado en el segundo partidor de haz (12');
• refractar la porción restante en dirección al receptor (52).

- medios de procesamiento de señales configurados para, a partir de las porciones de haz recibidas por los fotodiodo sensores (49, 49'), determinar la intensidad y la desviación del plano de polarización debido a los elementos de dispersión existentes en la atmósfera para poder así estimar la densidad y el tipo de dichos elementos dispersores y la atenuación que éstos provocan sobre el haz recibido.

8. Aparato duplexor óptico según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde el tubo reflector catadióptrico (5) comprende:

- un espejo primario (18) en forma de corona circular móvil a través de un soporte cilíndrico (23) que se desliza por la acción de un tornillo (7) por un tubo hueco (21) por el que discurren simultáneamente los haces láser transmitido y recibido;

- un espejo secundario (19); y

- una lente menisco correctora (20).

9. Aparato duplexor óptico según la reivindicación anterior, donde la distancia focal efectiva del reflector catadióptrico (5) es variable entre 700 mm y 1200 mm en función de la posición del espejo primario (18) y el ángulo de apertura es menor de 60 miliradianes.

10. Aparato duplexor óptico según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende una montura móvil de la lente divergente (14) que permite el movimiento de la misma a través del eje óptico, formada dos tubos (28, 15), una ranura (33) y dos pernos (30, 31) sobre los que se desliza un tornillo de ajuste (35) aprovechando la fuerza de un muelle (34).

11. Aparato duplexor óptico según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde la distribución de irradiancia de los haces láser transmitido (2) y recibido (2') es de forma de corona circular o anular.

12. Aparato duplexor óptico según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde el haz láser recibido (2') procede de otro aparato duplexor óptico que envía un haz polarizado linealmente en un plano perpendicular al haz láser transmitido (2).

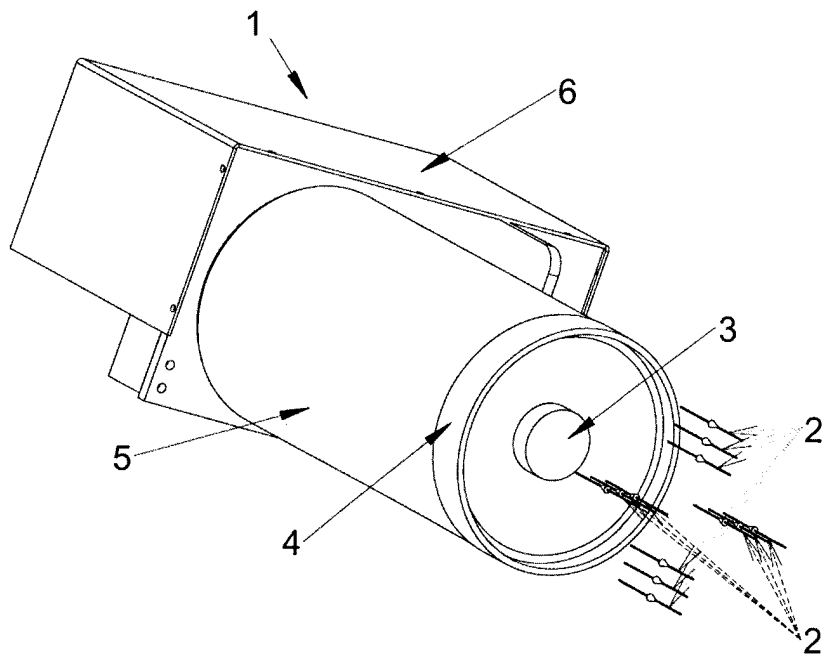


Fig. 1A

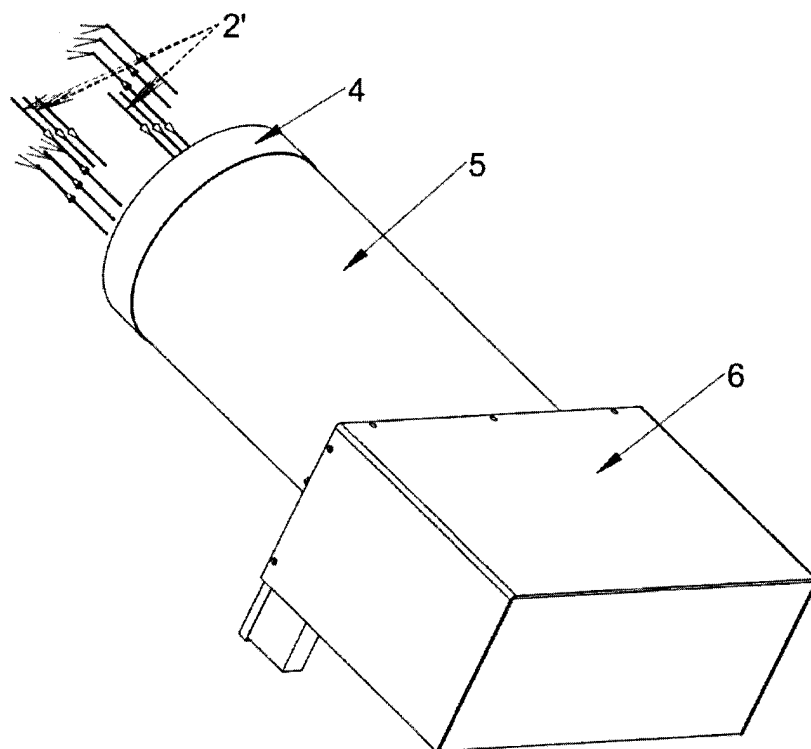


Fig. 1B

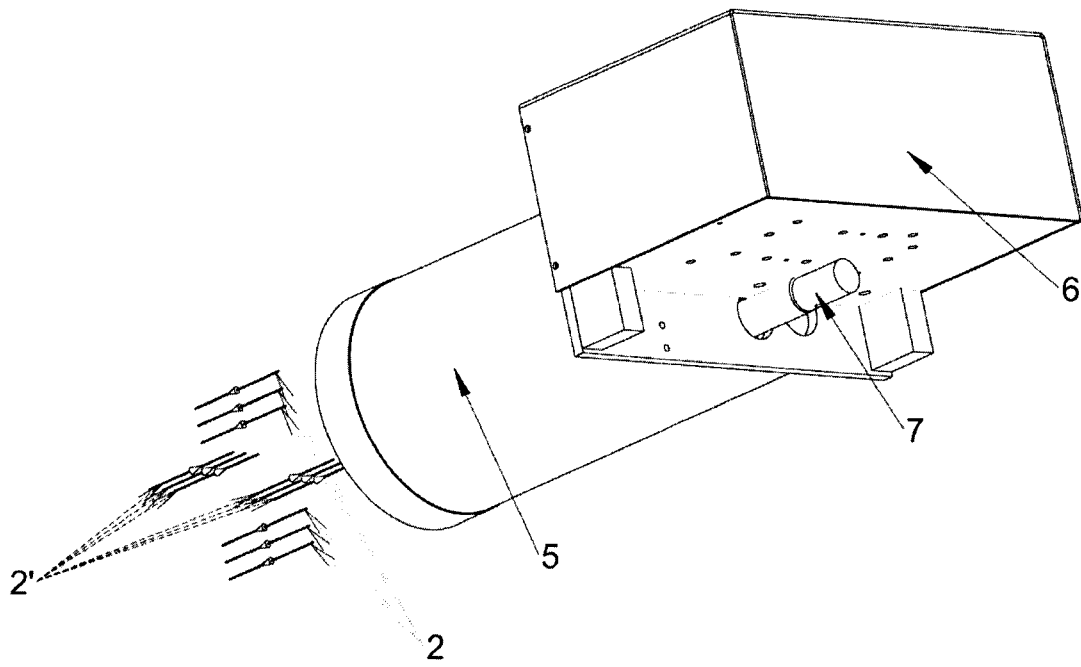


Fig. 1C

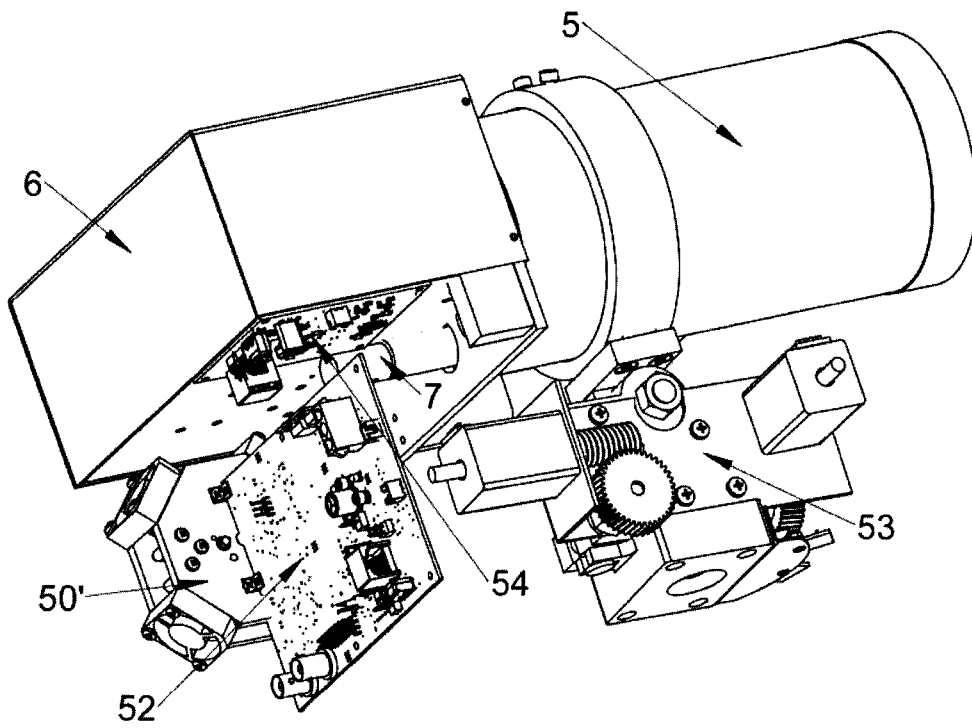


Fig. 2A

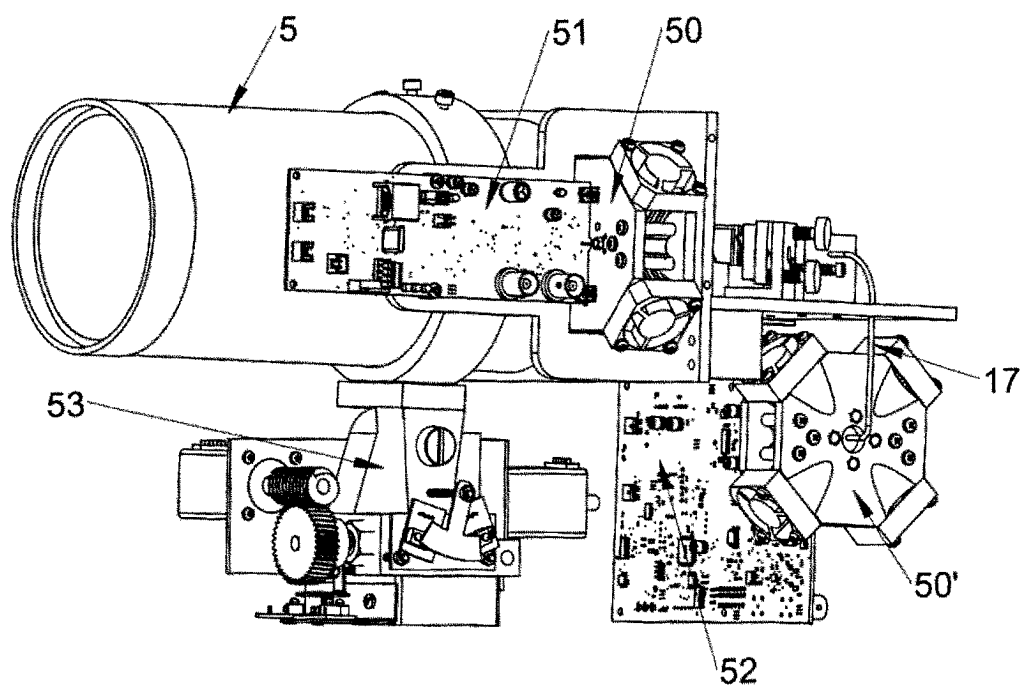


Fig. 2B

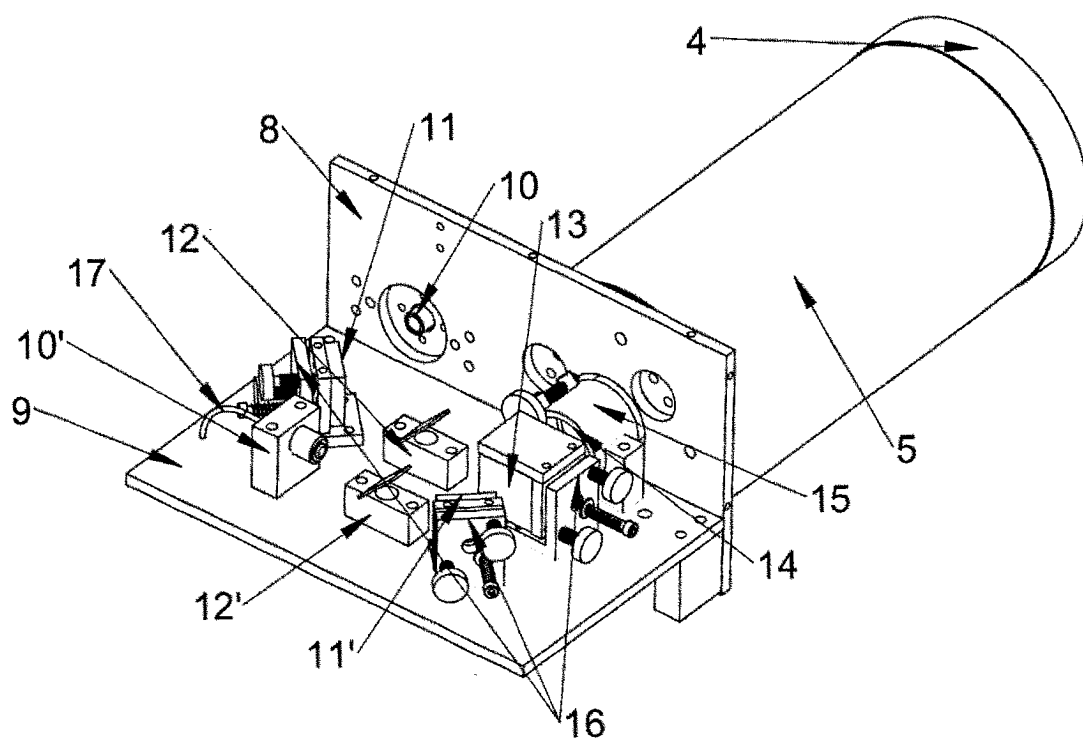


Fig. 3A

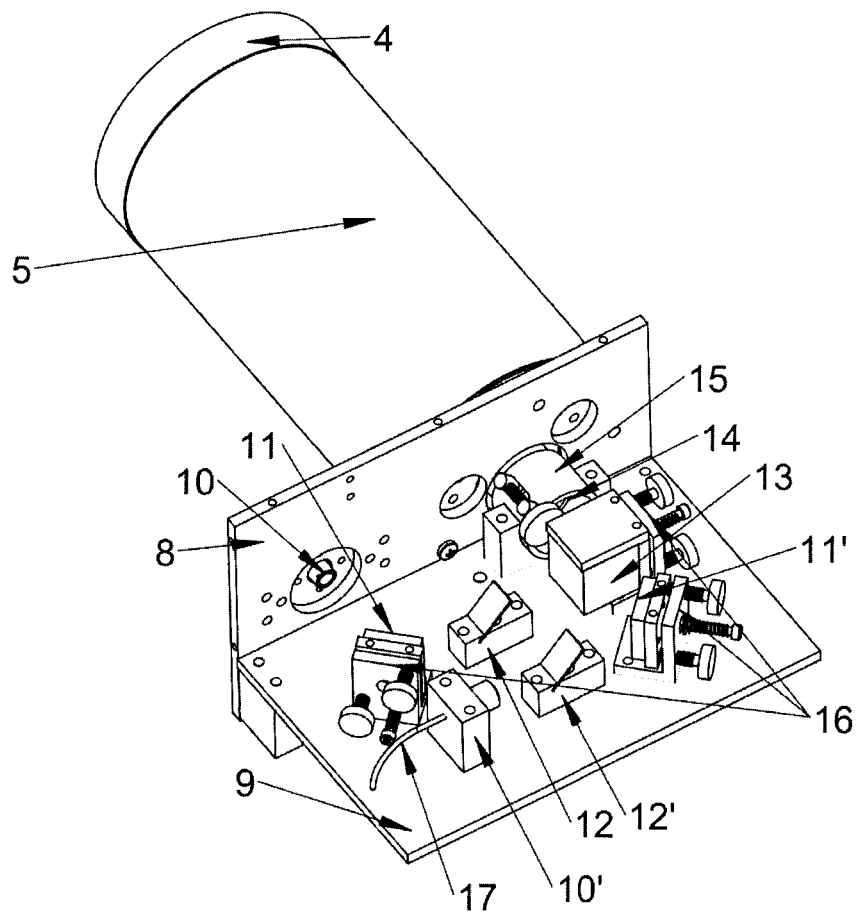


Fig. 3B

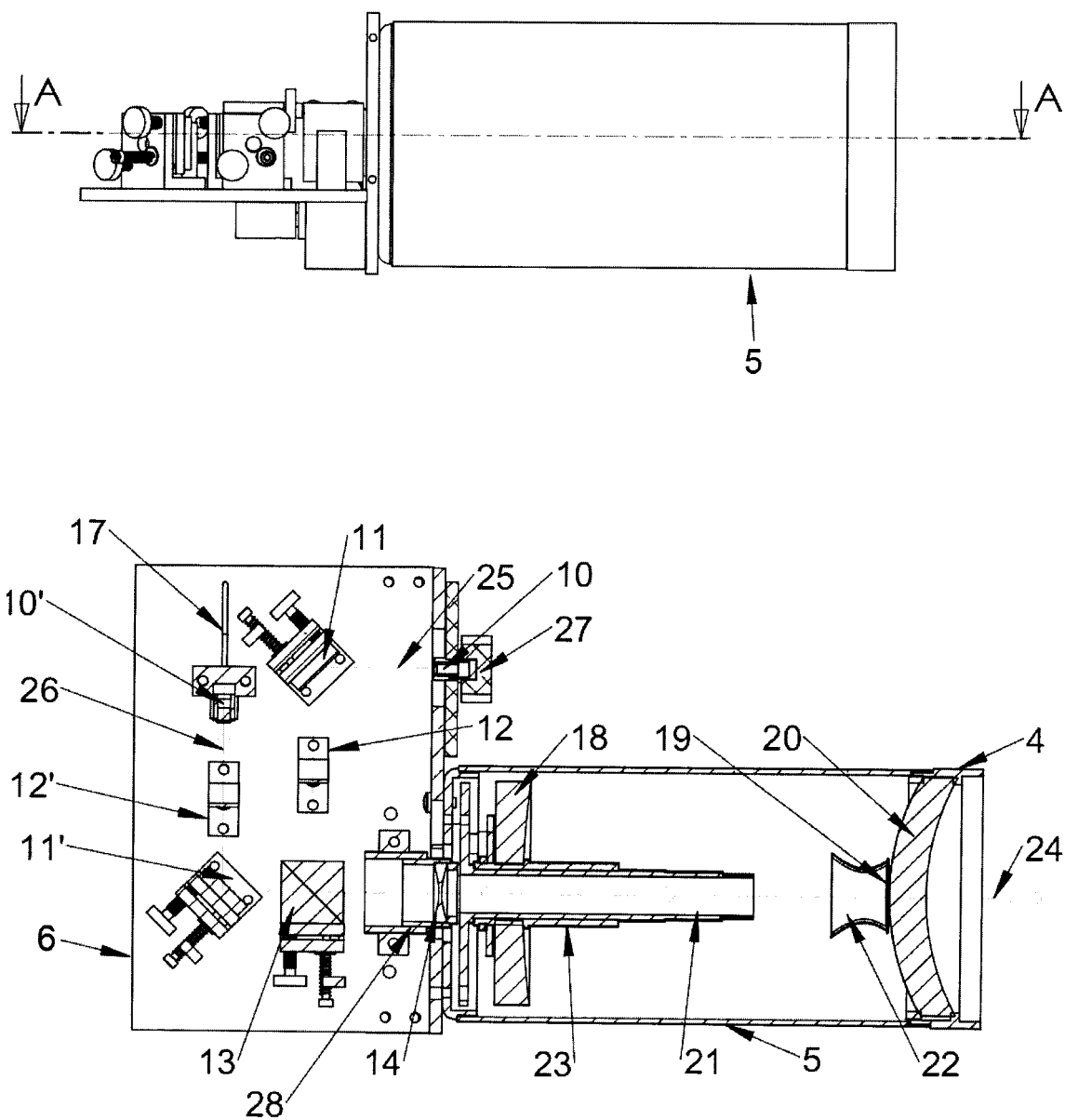


Fig. 4

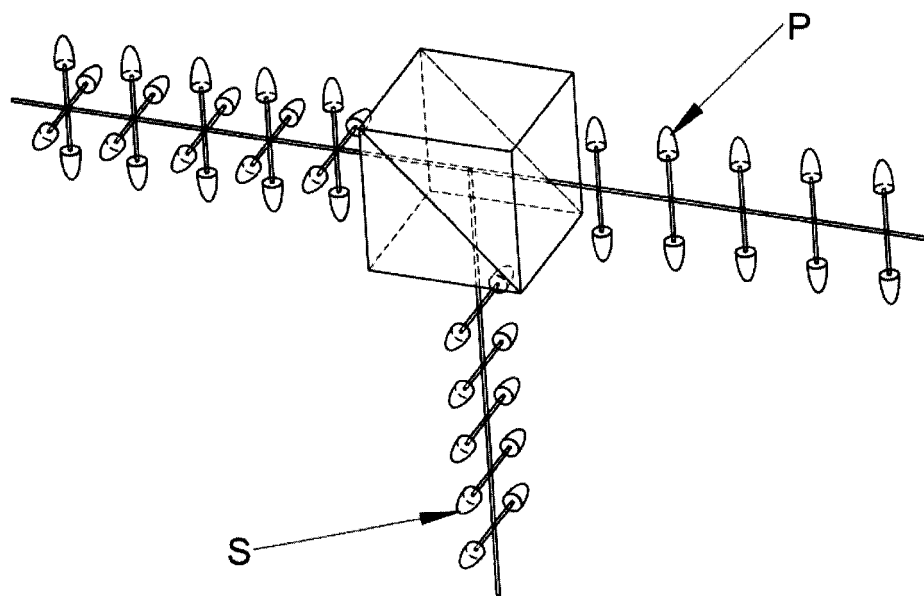


Fig. 5A

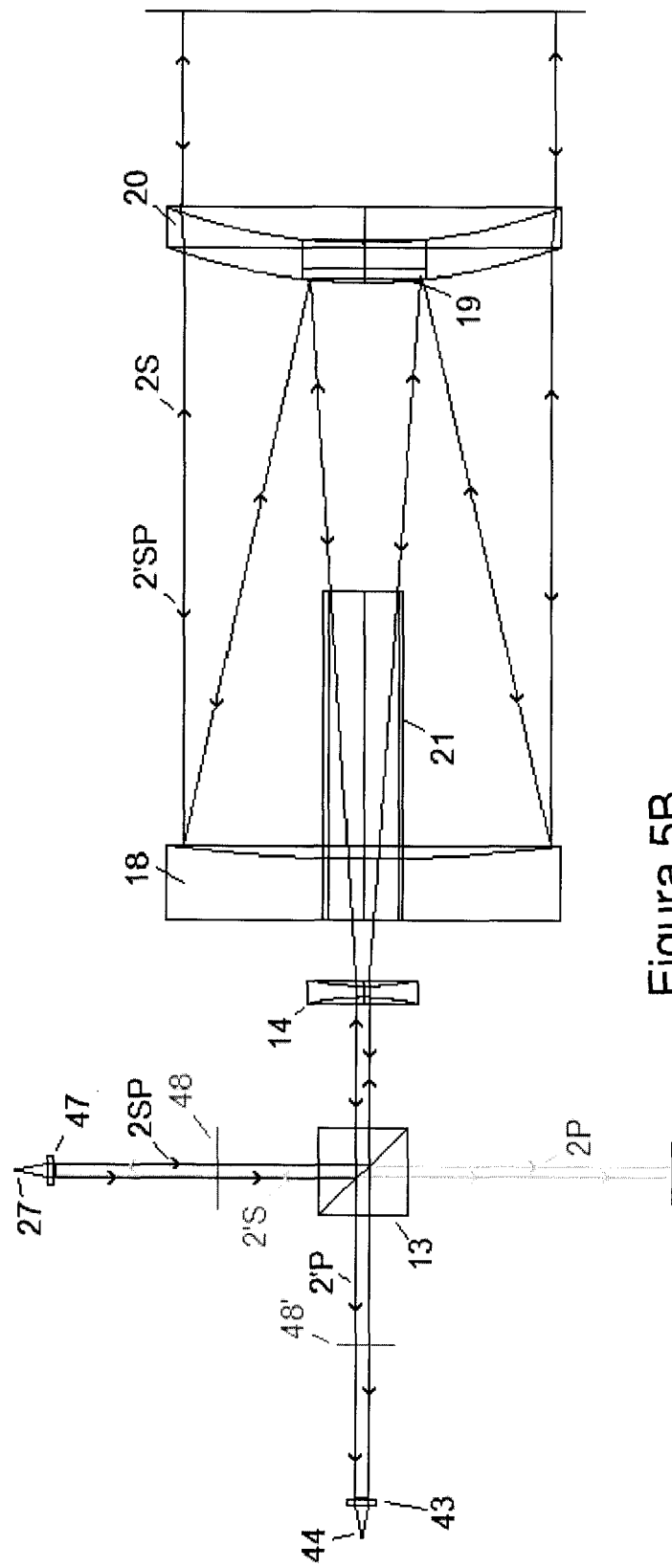


Figura 5B

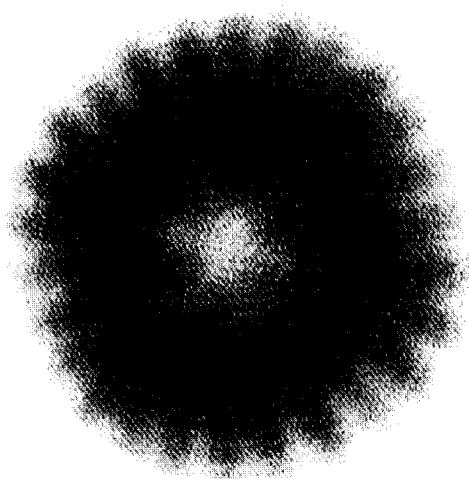


Fig. 6A

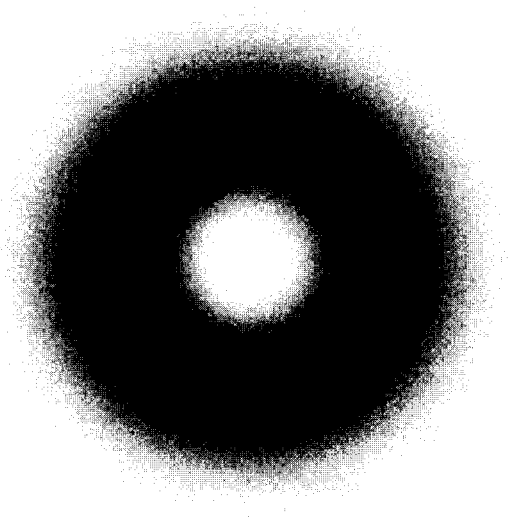


Fig. 6B

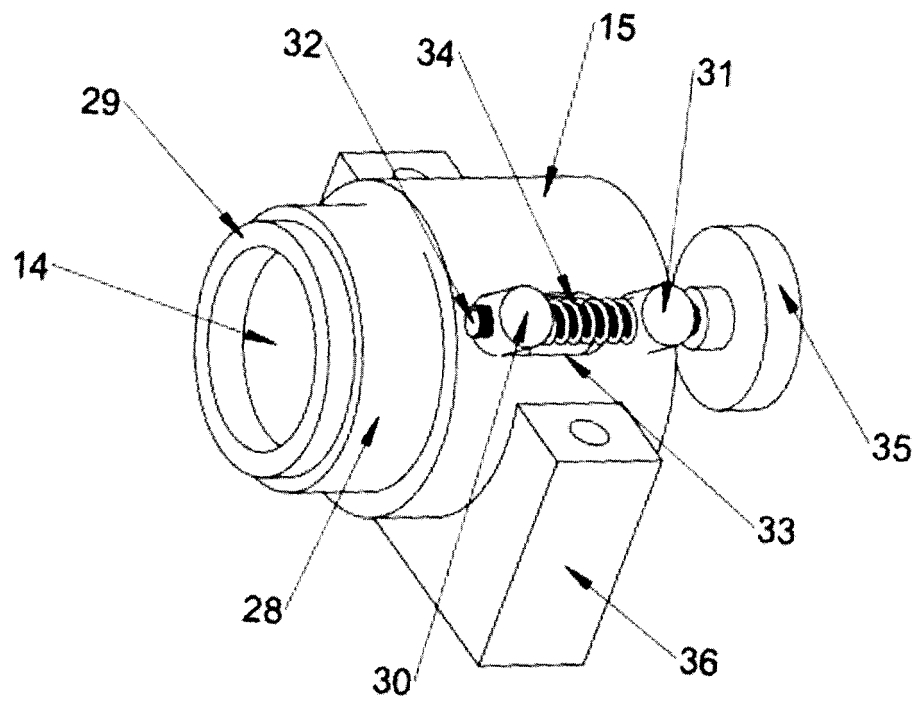


Fig. 7A

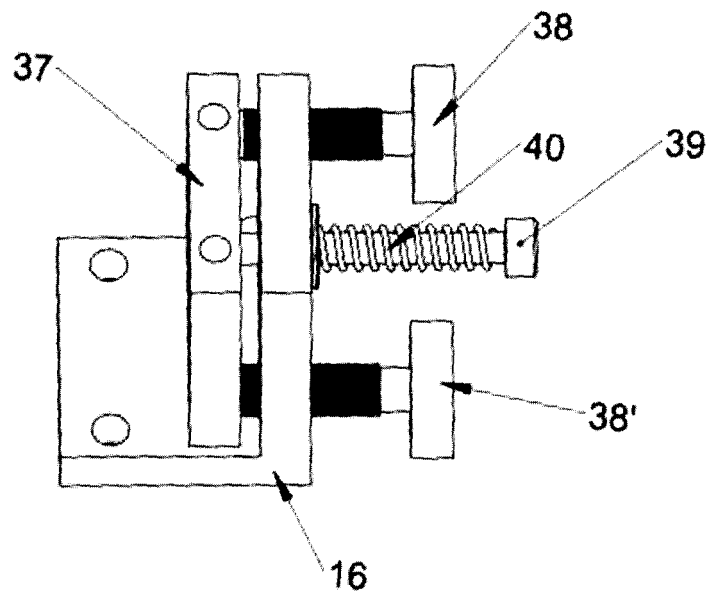


Fig. 7B

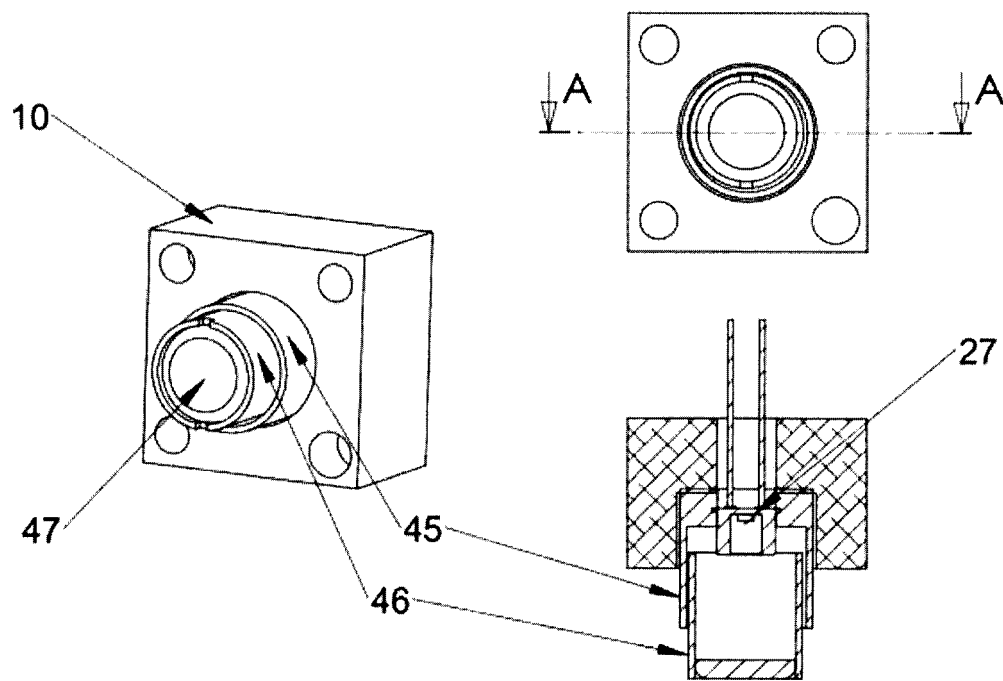


Fig. 8A

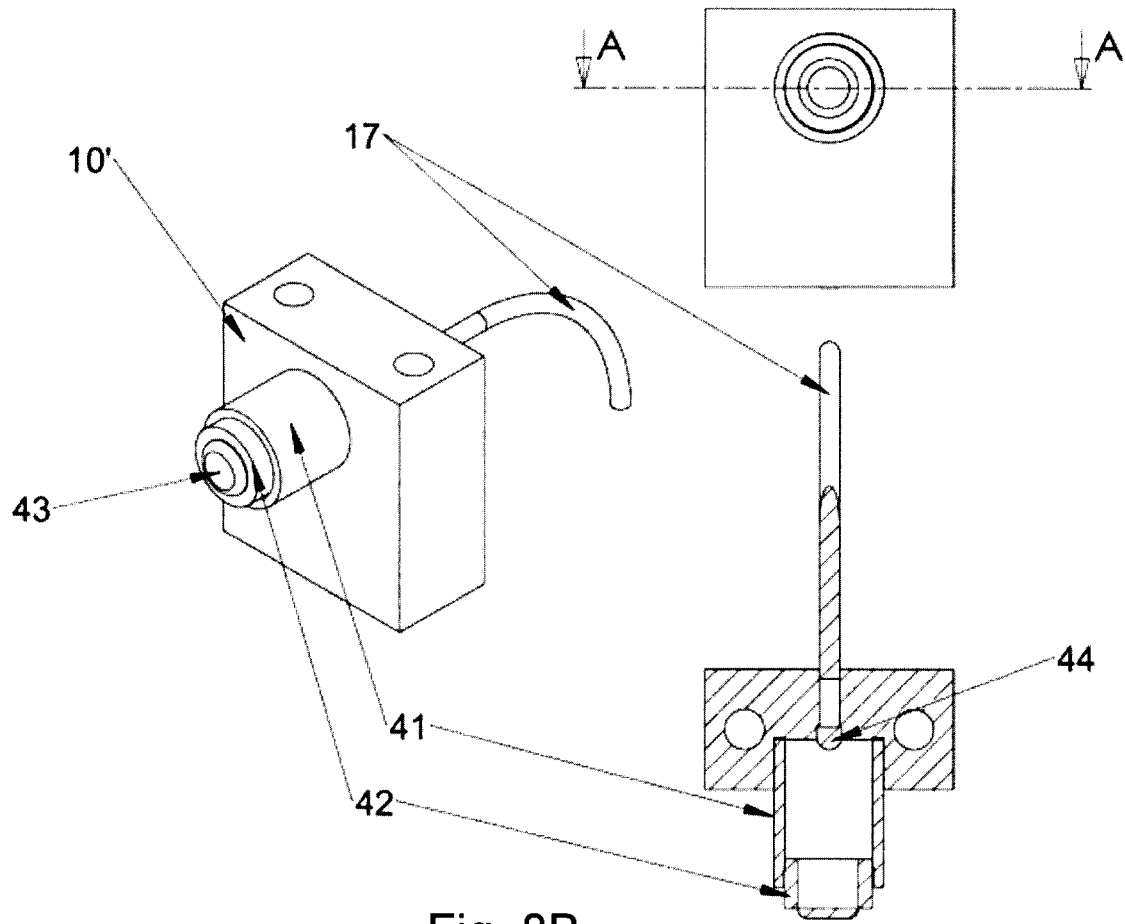


Fig. 8B

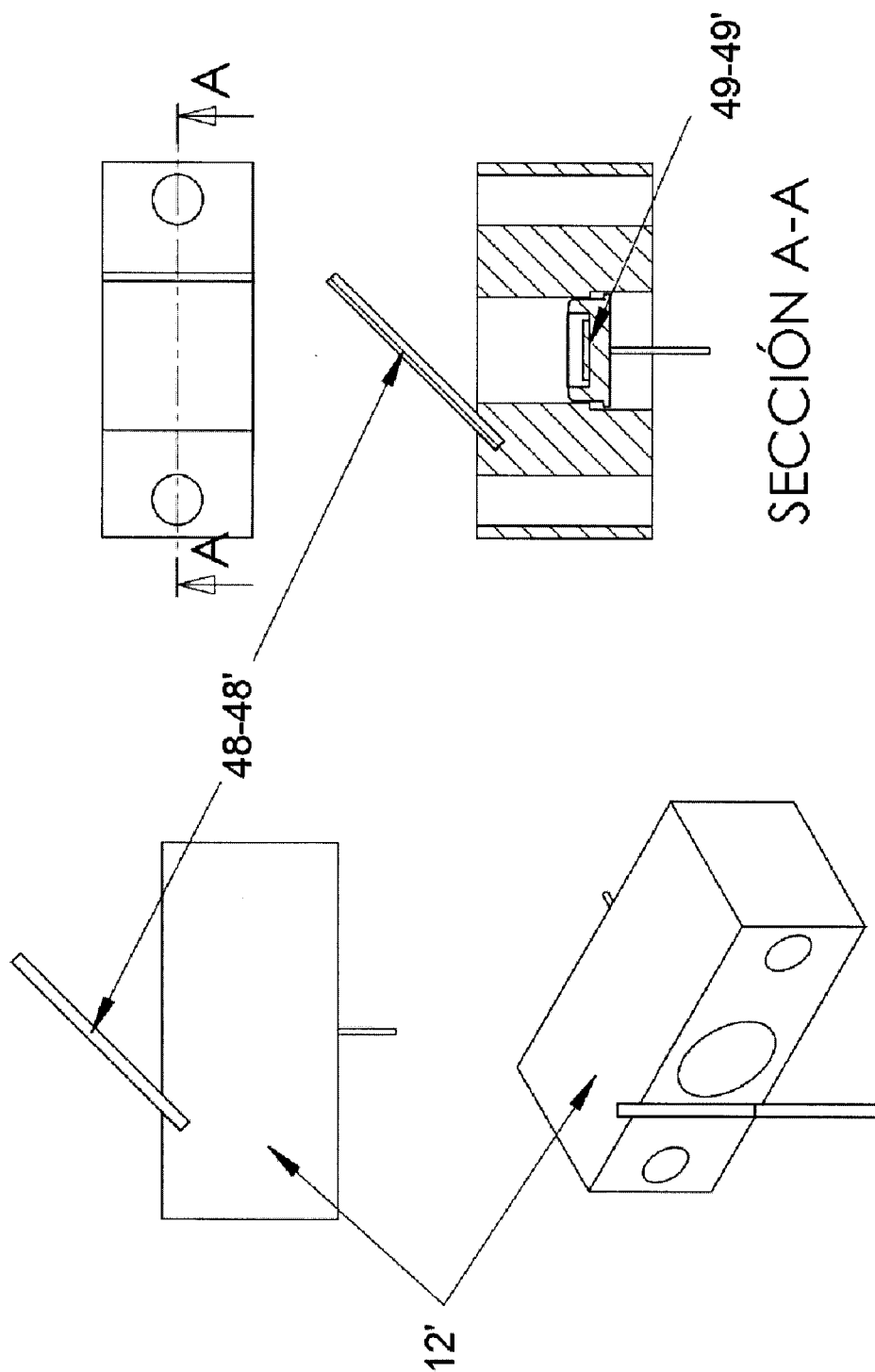


Figura 9



OFICINA ESPAÑOLA
DE PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

②① N.º solicitud: 201001619

②② Fecha de presentación de la solicitud: 27.12.2010

③② Fecha de prioridad:

INFORME SOBRE EL ESTADO DE LA TECNICA

⑤① Int. Cl.: **H04B10/28** (2006.01)
H04J14/06 (2006.01)

DOCUMENTOS RELEVANTES

Categoría	⑤⑥ Documentos citados	Reivindicaciones afectadas
X	US 5347387 A (RICE, R.) 13.09.1994, resumen; columna 8, línea 46 – columna 9, línea 12; columna 10, línea 23 – columna 11, línea 20; figura 1.	1-6,8,9,11,12
X	US 6327063 B1 (ROCKWELL, D.) 04.12.2001, resumen; columna 2, línea 52 – columna 3, línea 49; columna 5, líneas 19-64; columna 6, líneas 21-53; columna 7, línea 57 – columna 8, línea 21; figuras 1,2.	1,2,4,6,8,9,12
A	US 5777768 A (KOREVAAR, E.) 07.07.1998, resumen; columna 3, línea 33 – columna 4, línea 8; columna 7, línea 35 – columna 8, línea 13; figuras 5A,5B.	1-4,6,8,9,11,12
A	WO 0028671 A2 (LSA, INC.) 18.05.2000, resumen; página 5, línea 1 – página 6, línea 6; página 8, línea 4 – página 10, línea 13; figuras 1-4.	1-6,8,9,11,12
A	JP 06104848 A (CANON KK) 15.04.1994, todo el documento.	1-12
A	JP 04114524 A (CANON KK) 15.04.1992, todo el documento.	1-12
A	EP 0963063 A2 (COM DEV LTD.) 08.12.1999	

Categoría de los documentos citados

X: de particular relevancia

Y: de particular relevancia combinado con otro/s de la misma categoría

A: refleja el estado de la técnica

O: referido a divulgación no escrita

P: publicado entre la fecha de prioridad y la de presentación de la solicitud

E: documento anterior, pero publicado después de la fecha de presentación de la solicitud

El presente informe ha sido realizado

☒ para todas las reivindicaciones

☐ para las reivindicaciones nº:

Fecha de realización del informe
23.01.2012

Examinador
Ó. González Peñalba

Página
1/4

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

H04B, H04J

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: 23.01.2012

Declaración

Novedad (Art. 6.1 LP 11/1986)	Reivindicaciones 1-12	SI
	Reivindicaciones	NO
Actividad inventiva (Art. 8.1 LP11/1986)	Reivindicaciones 7, 10	SI
	Reivindicaciones 1-6, 8, 9, 11, 12	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.

Consideraciones:

La presente Solicitud se refiere, en su primera reivindicación, a un aparato duplexor óptico para la transmisión y recepción simultáneas de haces de láser, que comprende un tubo reflector catadióptrico que transmite y recibe los haces, y un sistema óptico que, a su vez, comprende un prisma divisor polarizador, que a) divide el haz transmitido, procedente de un transmisor de láser, en dos componentes polarizadas linealmente en planos perpendiculares, dirigiendo únicamente la componente reflejada hacia el reflector catadióptrico, y b) divide el haz recibido, procedente del receptor catadióptrico, en dos componentes polarizadas linealmente en planos perpendiculares, dirigiendo únicamente la componente refractada hacia un receptor; y una lente divergente situada entre el prisma polarizador y el reflector catadióptrico, para la adaptación óptica tanto del haz transmitido como del recibido.

Las restantes reivindicaciones 2-12, dependientes directa o indirectamente de esta primera, especifican o detallan los diversos componentes introducidos en esta primera reivindicación. Cabe destacar el contenido de la reivindicación 7, que contempla el análisis de las condiciones atmosféricas mediante la extracción y comparación de una parte del haz recibido, tanto en el camino óptico de reflexión desde el divisor polarizador, como en el camino óptico de transmisión desde éste.

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	US 5347387 A (RICE, R.)	13.09.1994
D02	US 5777768 A (KOREVAAR, E.)	07.07.1998
D03	WO 0028671 A2 (LSA, INC.)	18.05.2000

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 considera que la invención definida en las reivindicaciones 1-6, 8, 9, 11 y 12 de esta Solicitud carece de actividad inventiva por poder ser deducida del estado de la técnica de un modo evidente por un experto en la materia.

En efecto, en el documento D01, citado en el Informe sobre el Estado de la Técnica (IET) con la categoría X para dichas reivindicaciones y considerado el antecedente más cercano al objeto técnico en ellas definido, se describe un aparato duplexor óptico para la transmisión y recepción simultáneas de haces de láser, con idénticas características y funcionamiento que la reivindicación 1, a excepción de la lente divergente, elemento que no se cita de forma expresa en dicho documento pero que puede intuirse implícitamente en la Figura 2 (elementos de expansión / compresión de haz (15), y parte de enfoque (14)) y que, en cualquier caso, es una parte conocida del funcionamiento de un telescopio convencional como el aludido genéricamente en este documento D01 (columna 10, línea 39) y que hace las veces, al igual que en la invención, de reflector catadióptrico. Que dicho elemento es convencional y extendido en la técnica puede apreciarse por los documentos D02 (Figura 5A) y D03 (Figuras 2 y 3), en los que sí está presente en el tubo reflector catadióptrico o telescopio (en el caso de D03, con un funcionamiento no estrictamente divergente, sino convergente en un foco intermedio, lo cual es equivalente para el propósito buscado de adaptación óptica de ambos haces). Dicha primera reivindicación está, por tanto, anticipada, explícita o implícitamente, en el estado de la técnica, por lo que puede concluirse que carece de actividad inventiva de acuerdo con el Artículo 8 de la vigente Ley de Patentes.

Un razonamiento similar puede hacerse para las restantes reivindicaciones afectadas, que recogen elementos convencionales (soportes, lentes, fibra óptica detectora,...) ya conocidos y empleados de igual manera en el estado de la técnica para fines similares. Un experto de la técnica recurrirá de forma evidente a tales elementos para resolver problemas secundarios, como el apuntamiento de los haces, concurrentes con el esencial de la invención, pero distintos de este. Dichas reivindicaciones carecen también de actividad inventiva según el Art. 6 LP.