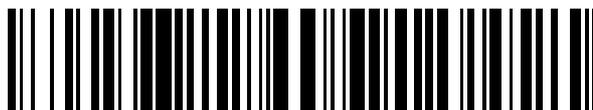


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 792 871**

51 Int. Cl.:

G01S 17/58 (2006.01)

G01S 17/95 (2006.01)

G01S 7/481 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **21.12.2015 PCT/EP2015/080798**

87 Fecha y número de publicación internacional: **23.06.2016 WO16097409**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **21.12.2015 E 15817317 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **19.02.2020 EP 3234642**

54 Título: **LIDAR basado en SMEM**

30 Prioridad:

19.12.2014 EP 14199178

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

12.11.2020

73 Titular/es:

**WINDAR PHOTONICS A/S (100.0%)
Helgeshøj Allé 16
2630 Taastrup, DK**

72 Inventor/es:

**KORSGAARD JENSEN, JØRGEN;
RODRIGO, PETER JOHN;
PEDERSEN, CHRISTIAN y
HU, QI**

74 Agente/Representante:

PONS ARIÑO, Ángel

ES 2 792 871 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

LIDAR basado en SMEM

5 Campo de la invención

La presente invención se refiere a un sistema para medir la velocidad de partículas, como partículas en el aire. La presente invención se refiere, en particular, a un sistema de detección y medición de distancias por luz (LIDAR) que tiene un sistema microelectromecánico (SMEM).

10

Antecedentes de la invención

Es bien sabido que el LIDAR puede utilizarse para medir la velocidad de una partícula. Típicamente, se utiliza una unidad óptica de enfoque de un solo haz, como un telescopio, para medir la velocidad. El telescopio simple se utiliza típicamente como transmisor y receptor de luz, siendo la luz típicamente un rayo láser. En primer lugar, la luz se transmite a un objetivo a través del telescopio, en segundo lugar, la luz se dispersa en el objetivo y, por último, la luz retrodispersada se recibe a través del telescopio, de forma que se puede determinar un componente de velocidad.

Un sistema LIDAR con un solo telescopio se limita a la medición de la línea visual, excluyendo la determinación de, por ejemplo, un campo de vientos con múltiples componentes de velocidad. Una solución para determinar múltiples componentes de velocidad, es decir, una pluralidad de vectores de velocidad, es implementar una unidad de escaneo en el telescopio, de forma que se pueda obtener un campo de visión más amplio. Otra solución es utilizar múltiples telescopios y, por ejemplo, medir simultáneamente las componentes de la velocidad del viento, por ejemplo, dividiendo un solo haz de luz. El inconveniente de esta última solución implica una disminución de la potencia óptica transmitida. Así pues, se ha sugerido conmutar un solo haz de luz entre una pluralidad de unidades ópticas de enfoque de haz, en particular de forma que las unidades ópticas de enfoque de haz apunten al mismo volumen de la sonda, de forma que se proporcionen diferentes vistas del mismo volumen del objetivo.

Para conmutar el haz de luz entre una pluralidad de unidades ópticas de enfoque de haz, se ha propuesto específicamente utilizar fibra óptica, de forma que el haz se conmute y se acople a las unidades ópticas de enfoque de haz con poca pérdida de potencia óptica. El uso de fibra óptica proporciona, en primer lugar, una configuración fija de la luz y una transmisión específica a, por ejemplo, la pluralidad de unidades ópticas de enfoque de haz. En este sentido, una solución de fibra óptica es un sistema muy estable. Por otra parte, tal solución es también muy sensible a la configuración, o más bien a la alineación, de las unidades ópticas de enfoque de haz. Por ejemplo, en el montaje de los sistemas LIDAR, las unidades ópticas de enfoque de haz pueden desalinearse fácilmente y la fibra óptica puede entonces ajustarse para adaptarse a la desalineación de las unidades ópticas de enfoque de haz. Alternativamente, las unidades ópticas de enfoque de haz pueden ajustarse a la fibra óptica, o una combinación de ambos procedimientos puede proporcionar un sistema LIDAR generalmente alineado. Tal alineación es engorrosa y exige mucho tiempo. Además, si el sistema LIDAR se instala, por ejemplo, en la parte superior de una turbina eólica, puede que no sea fácil alinear la fibra óptica o las unidades ópticas de enfoque de haz y, por lo tanto, existe una necesidad de un sistema LIDAR que proporcione una alineación fácil y sencilla del haz.

Resumen de la invención

A fin de resolver y dar una respuesta a los problemas y cuestiones anteriormente mencionados, la presente descripción proporciona un sistema LIDAR que comprende: una sección generadora de haz adaptada para generar un haz de salida; una pluralidad de unidades ópticas de enfoque de haz, cada una de las cuales tiene al menos un elemento óptico, definiendo el elemento óptico un eje óptico; y un elemento de orientación de haz en conexión óptica con la sección generadora de haz, y que comprende un sistema microelectromecánico (SMEM) que comprende al menos un elemento reflectante adaptado para ser dispuesto en una pluralidad de posiciones, el elemento de orientación de haz estando configurado de forma que el haz de salida pueda dirigirse indistintamente entre al menos un elemento óptico para cada una de las unidades ópticas de enfoque de haz mediante el posicionamiento selectivo del elemento o elementos reflectantes, y donde las posiciones seleccionadas del elemento o elementos reflectantes se seleccionan de forma que el haz de salida esté alineado con los ejes ópticos de al menos un elemento óptico de las unidades ópticas de enfoque de haz.

Mediante la invención como se describe en el presente documento, puede ser posible alinear fácilmente el haz de salida con el eje óptico de las unidades ópticas de enfoque de haz, por ejemplo, simplemente cambiando las posiciones seleccionadas del elemento o elementos reflectantes. Las posiciones seleccionadas podrían basarse en un diseño deseado, como un diseño teórico o un diseño prototipo. Alternativamente, las posiciones seleccionadas podrían

basarse en un parámetro de rendimiento del sistema una vez ensamblado. Cabe señalar que, al alinear el haz de salida con el eje óptico de al menos un elemento óptico de las unidades ópticas de enfoque de haz, deberá entenderse que esto está dentro de la precisión de, por ejemplo, el SMEM y la determinación del eje óptico. Por lo tanto, en la práctica, la alineación con el eje óptico está dentro de un cierto grado de precisión, de forma que el haz de salida se desvía del eje óptico tal como menos de 5 grados, tal como menos de 4 grados, tal como menos de 3 grados, tal como menos de 2 grados, preferiblemente tal como de 1 grado y/o más preferiblemente tal como de 0,1 grados.

Sin embargo, pueden producirse fácilmente variaciones del eje óptico respecto de un diseño deseado, lo que se conoce como desalineación; por ejemplo, durante el montaje o la instalación de las unidades ópticas de enfoque de haz. No obstante, la desalineación también puede producirse debido a las condiciones ambientales, como variaciones de temperatura que encojan o expandan los elementos ópticos u otros materiales, por ejemplo, al sujetar los elementos ópticos, en las unidades ópticas de enfoque de haz.

Por lo tanto, mediante la presente invención, puede ser posible adaptarse a la desalineación de las unidades ópticas de enfoque de haz simplemente cambiando las posiciones seleccionadas del elemento o elementos reflectantes. A diferencia de la alineación típica, la presente invención proporciona una alineación donde al menos puede evitarse la alineación mecánica de las unidades ópticas de enfoque de haz. Puede ser aconsejable evitar el alineamiento mecánico, especialmente cuando el sistema LIDAR se coloca en la parte superior de una turbina eólica, donde es difícil realizar un alineamiento mecánico. Aunque las unidades ópticas de enfoque de haz se pudieran desinstalar de la parte superior de la turbina eólica y se pudieran alinear mecánicamente en el suelo, seguiría existiendo el riesgo de desalinear las unidades ópticas de enfoque de haz cuando el sistema LIDAR se vuelva a instalar en la parte superior de la turbina eólica. Por lo tanto, la presente invención proporciona un sistema LIDAR que puede alinearse con un riesgo bajo, por ejemplo, cambiando las posiciones seleccionadas remotamente desde el sistema LIDAR.

La presente invención proporciona, además, un sistema LIDAR, donde una fibra no necesariamente se acopla a las unidades ópticas de enfoque de haz porque los SMEM pueden ser capaces de dirigir el haz de salida directamente a las unidades ópticas de enfoque de haz. De esta manera, puede ser posible proporcionar una alineación aún más simple de las unidades ópticas de enfoque de haz, en el sentido de que no es necesario que una fibra esté alineada con las unidades ópticas de enfoque de haz. Por otra parte, lo único que se necesita lograr es determinar la posición de las posiciones seleccionadas del elemento o elementos reflectantes del SMEM, de forma que el haz de salida pueda transmitirse y recibirse de manera óptima a través de las unidades ópticas de enfoque de haz.

Al tener un SMEM en el sistema LIDAR, como se describe, se logran varios efectos adicionales. En primer lugar, un SMEM con un elemento o elementos reflectantes es capaz de cambiar rápidamente entre posiciones. De esta manera, la presente invención puede ser similar a un sistema LIDAR con una pluralidad de unidades ópticas de enfoque de haz que transmiten y reciben simultáneamente. Sin embargo, la presente invención puede ser mejor que tal sistema LIDAR, porque puede haber muy poca pérdida óptica ya que el haz no está dividido, pero también porque puede haber poca pérdida de inserción en el elemento o elementos reflectantes en comparación. En segundo lugar, dado que un SMEM como el descrito comprende un elemento o elementos reflectantes, se proporciona un elemento de orientación de haz que puede ser insensible a las variaciones de longitud de onda, por ejemplo, si el elemento reflectante está debidamente recubierto. La variación de la longitud de onda puede, por ejemplo, producirse durante un largo periodo de tiempo, como durante meses o incluso años, por ejemplo, si la fuente de luz se desintoniza con el tiempo. Así, la presente invención proporciona un sistema LIDAR que proporciona una alineación de precisión eficiente, precisa y estable. En tercer lugar, el elemento o elementos reflectantes situados dentro de un SMEM pueden ser insensibles a los factores ambientales, por ejemplo, a las condiciones meteorológicas, como la humedad o la temperatura. Por consiguiente, la presente invención puede proporcionar un sistema LIDAR que funcione sin degradación, prolongando así la vida útil del sistema. En cuarto lugar, un SMEM puede ser insensible a la polarización. Así, la presente invención proporciona un sistema LIDAR que no requiere un control de la polarización, proporcionando un tronco de LIDAR que es sencillo de fabricar. Además, el elemento o elementos reflectantes dentro del SMEM pueden proporcionar un sistema LIDAR que ofrezca la ventaja de proporcionar la habilidad de regular la distancia de enfoque.

El sistema LIDAR que se describe en el presente documento puede ser un sistema LIDAR Doppler coherente. En tal sistema, el sistema transmite un haz de luz y recibe una parte de luz retrodispersada de un objetivo, de forma que la luz retrodispersada se superpone coherentemente con un haz de referencia generado por un oscilador local. Así, el sistema LIDAR puede comprender un oscilador local. El oscilador local puede comprender una óptica generadora, como una cuña de referencia encargada, por ejemplo, de generar una señal reflejada. En consecuencia, la luz retrodispersada puede recibirse con el haz de referencia en un detector, desde donde puede deducirse la velocidad radial o de línea visual del objetivo. Así, la luz retrodispersada puede ser una señal de objetivo desplazada por Doppler y una señal de referencia no desplazada, es decir, el detector puede recibir un espectro Doppler a partir del cual se puede realizar un análisis, como un análisis de frecuencia, por ejemplo, en un procesador de señales. Al tener la pluralidad de unidades ópticas de enfoque de haz, puede ser posible resolver una pluralidad de vectores de velocidad para el objetivo y/o para varios objetivos.

Un sistema LIDAR Doppler coherente está sujeto a ruido de intensidad inducido por fase (PIIN, por sus siglas en inglés) debido al ruido de fase del oscilador local que se convierte en ruido de intensidad por batimiento de la luz retrodispersada del objetivo. El PIIN depende al menos de la potencia de la señal procedente del oscilador local, la potencia de la luz residual, el tiempo de coherencia de la sección generadora de haz y el tiempo de retardo entre el oscilador local y la luz retrodispersada. Debido al tiempo de retardo entre el oscilador local y la luz retrodispersada, el PIIN depende de la configuración del camino óptico desde el objetivo hasta el oscilador local, de aquí la configuración del sistema LIDAR. Específicamente, el PIIN aumenta con el tiempo de retardo cuadrado entre el oscilador local y la luz retrodispersada, por lo que el PIIN aumenta con el cuadrado del camino óptico desde el objetivo hasta el oscilador local. En otras palabras, el PIIN es muy sensible al camino óptico, que por lo tanto debería acortarse todo lo posible para disminuir el PIIN.

Sin embargo, la implementación de un SMEM en un sistema LIDAR como se describe en la presente descripción puede tener el efecto de aumentar el PIIN debido a un aumento del camino óptico en comparación con otros sistemas LIDAR. No obstante, las ventajas descritas por los otros efectos proporcionan un sistema LIDAR que resulta muy ventajoso para medir la velocidad de las partículas.

Descripción de los dibujos

La **figura 1** muestra una realización de un sistema LIDAR según la presente invención.

La **figura 2** muestra una realización de un sistema LIDAR según la presente invención.

La **figura 3** muestra una realización de un sistema LIDAR según la presente invención.

La **figura 4** muestra una realización de un sistema LIDAR según la presente invención.

La **figura 5** muestra una realización de un sistema LIDAR según la presente invención.

La **figura 6** muestra una realización de un sistema LIDAR según la presente invención.

Descripción detallada de la invención

En una realización preferida de la presente invención, se proporciona un sistema LIDAR que comprende: una sección generadora de haz adaptada para generar un haz de salida; una pluralidad de unidades ópticas de enfoque de haz, cada una de las cuales tiene al menos un elemento óptico, definiendo los elementos ópticos uno o más ejes ópticos; y un elemento de orientación de haz en conexión óptica con la sección generadora de haz y que comprende un sistema microelectromecánico (SMEM) que comprende al menos un elemento reflectante adaptado para ser dispuesto en una pluralidad de posiciones, el elemento de dirección de haz está situado en al menos uno de los ejes ópticos de al menos un elemento óptico de las unidades ópticas de enfoque de haz y configurado de forma que el haz de salida de al menos un elemento reflectante pueda dirigirse indistintamente entre al menos un elemento óptico para cada una de las unidades ópticas de enfoque de haz mediante el posicionamiento selectivo del elemento o elementos reflectantes, y donde las posiciones seleccionadas del elemento o elementos reflectantes se seleccionan de forma que el haz de salida que se está dirigiendo esté alineado con al menos uno de los ejes ópticos de al menos un elemento óptico de las unidades ópticas de enfoque de haz.

En otra realización preferida de la presente invención, se proporciona un sistema LIDAR que comprende: una sección generadora de haz adaptada para generar un haz de salida; una pluralidad de unidades ópticas de enfoque de haz, cada una de las cuales tiene al menos dos elementos ópticos, definiendo los al menos dos elementos ópticos uno o más ejes ópticos; y un elemento de orientación de haz en conexión óptica con la sección generadora de haz y que comprende un sistema microelectromecánico (SMEM) que comprende al menos un elemento reflectante adaptado para ser dispuesto en una pluralidad de posiciones, el elemento de dirección de haz está situado en al menos uno de los ejes ópticos de los al menos dos elementos ópticos de las unidades ópticas de enfoque de haz y configurado de forma que el haz de salida de al menos un elemento reflectante pueda dirigirse indistintamente entre al menos un elemento óptico de los al menos dos elementos ópticos para cada una de las unidades ópticas de enfoque de haz mediante el posicionamiento selectivo del elemento o elementos reflectantes, y donde las posiciones seleccionadas del elemento o elementos reflectantes se seleccionan de forma que el haz de salida que se está dirigiendo esté alineado con al menos uno de los ejes ópticos de los al menos dos elementos ópticos de las unidades ópticas de enfoque de haz.

Al tener el elemento de dirección de haz situado en al menos uno de los ejes ópticos de al menos un elemento óptico de las unidades ópticas de enfoque de haz, el haz de salida puede alinearse directamente en uno de los ejes ópticos

de las unidades de enfoque de haz. Así, si uno de los al menos un elemento óptico que definen uno o más ejes ópticos se desalinea, formando así un nuevo eje óptico, el haz de salida puede alinearse directamente en el nuevo eje óptico, en particular colocando selectivamente el elemento o elementos reflectantes. La desalineación puede producirse, por ejemplo, debido al movimiento mecánico de al menos un elemento óptico. El al menos un elemento óptico pueden ser, 5 por ejemplo, elementos de lentes o elementos reflectantes, como espejos planos o curvos.

Más preferiblemente, el haz de salida puede transmitirse en espacio libre hacia al menos un elemento óptico de los al menos dos elementos ópticos de cada una de las unidades ópticas de enfoque de haz. Cuando se transmite en espacio libre, se deduce que el elemento de orientación de haz puede estar situado en al menos uno de los ejes ópticos de los 10 al menos dos elementos ópticos de las unidades ópticas de enfoque de haz.

En la mayoría de las realizaciones preferidas, cuando está alineado, el al menos un elemento reflectante puede comprender un plano reflectante. En tales realizaciones, puede suceder que un normal del plano reflectante esté en ángulo con respecto al haz de salida que incide en el plano reflectante y en ángulo con respecto a al menos uno de 15 los ejes ópticos de los al menos dos elementos ópticos de las unidades ópticas de enfoque de haz.

Objetivos y volúmenes de medición

Como se ha descrito anteriormente, la presente descripción se refiere a la medición de las velocidades de un objetivo. 20 Por consiguiente, el sistema puede configurarse para medir una velocidad de un objetivo sólido y/o difuso, tales como aerosoles como polvos, granos de polen, gotitas de agua y moléculas. Los aerosoles pueden estar dentro de distintos volúmenes objetivo, de forma que se puede medir una pluralidad de vectores de velocidad para varios objetivos.

En una realización preferida de la presente invención, el sistema está configurado de forma que dichas unidades 25 ópticas de enfoque de haz están enfocadas en distintos volúmenes objetivo. Los volúmenes objetivo pueden tener un diámetro inferior a 1 m, por ejemplo, tal como menor de 0,5 m, y una extensión radial inferior a 100 m, tal como menor de 25 m. A fin de enfocar en distintos volúmenes objetivo, puede haber una desviación angular entre la pluralidad de unidades ópticas de enfoque de haz. Por ejemplo, los ejes ópticos de dos o más unidades ópticas de enfoque de haz pueden estar en un ángulo de guiñada de entre 5 y 60 grados, tal como entre 20 y 60 grados. En este último caso, y 30 si cada unidad óptica de enfoque de haz se enfoca a 100 metros, entonces los volúmenes objetivo pueden estar separados lateralmente entre alrededor de 35 y 100 metros. Además del ángulo de guiñada, las dos o más unidades ópticas de enfoque de haz también pueden estar en un ángulo de elevación de entre 0 y +/- 30 grados.

Como también se ha descrito anteriormente, el sistema puede ser un sistema LIDAR Doppler coherente. En relación 35 con esto, el sistema puede basarse en la detección óptica heterodina. Por consiguiente, las unidades ópticas de enfoque de haz pueden configurarse para recibir señales ópticas.

Sistema óptico

40 En una realización, el sistema comprende, además, un circulador óptico que comprende al menos 2 puertos configurados para estar en conexión óptica con al menos la sección generadora de haz y el elemento de orientación de haz. Así, un primer puerto está conectado a la sección generadora de haz, y el haz se transmite desde y hacia el SMEM desde un segundo puerto. Antes del SMEM, el haz puede haber pasado a través de un oscilador local que genera una óptica, tal como una cuña de referencia, cuando se configura como LIDAR Doppler coherente. 45 Preferiblemente, el circulador óptico comprende 3 puertos, de forma que un tercer puerto está en conexión óptica con un detector. Así, el puerto 3 puede ser donde la señal del objetivo desplazada por Doppler y la señal de referencia se transmite a los detectores.

La conexión óptica como se describió anteriormente puede ser proporcionada por una fibra, preferiblemente una fibra 50 monomodo estándar. Por ejemplo, puede haber una fibra entre la sección generadora de haz y el primer puerto del circulador óptico. También puede haber una fibra desde el segundo puerto del circulador óptico que acopla el haz de salida de la fibra al SMEM, y como se describió anteriormente, preferiblemente antes del SMEM, también a un oscilador local que genera una óptica. La fibra del segundo puerto especifica en parte el tiempo de retardo entre el oscilador local y la luz retrodispersada y, por lo tanto, puede seleccionarse con una longitud a fin de disminuir el PIIN. Desde el 55 SMEM, el haz puede dirigirse a la pluralidad de unidades ópticas de enfoque de haz, de forma que el haz puede alinearse a lo largo del eje óptico de cada una de las unidades ópticas de enfoque de haz. Además, también puede haber una fibra entre el tercer puerto del circulador óptico y el detector. Como se acaba de describir, el sistema LIDAR como se describe en el presente documento puede ser un sistema óptico parcialmente de espacio libre. La parte de espacio libre puede aumentar el camino óptico en el sistema LIDAR de forma que el PIIN pueda aumentar en 60 consecuencia. Por otro lado, la parte de espacio libre también permite que el SMEM se implemente en el sistema LIDAR, de forma que el haz de salida puede alinearse a lo largo del eje óptico de cada una de las unidades ópticas de enfoque de haz. Un efecto adicional de tener el SMEM es que proporciona la posibilidad de usar una fibra

monomodo estándar, que típicamente tienen un coste reducido. Mediante la presente invención, se proporciona un sistema LIDAR con un coste reducido, especialmente en comparación con un sistema LIDAR donde se requiera, por ejemplo, una fibra monomodo que mantenga la polarización. Una fibra monomodo que mantenga la polarización se requiere, por ejemplo, en un sistema LIDAR controlado por polarización, donde el haz de salida también puede dividirse en señales con distintas polarizaciones.

En una realización de la presente invención, la sección generadora de haz es un láser sintonizable en longitud de onda. El láser sintonizable en longitud de onda puede ser capaz de cambiar la distancia de enfoque de cada una de las unidades ópticas de enfoque de haz, proporcionando así un sistema LIDAR flexible. El láser sintonizable puede configurarse para que se sintonice en un intervalo de +/-100 nm, tal como +/-50 nm, tal como +/-10 nm, y/o tal como +/-5 nm.

En una realización preferida de la presente invención, la sección generadora de haz es una fuente de luz totalmente semiconductor. La fuente de luz totalmente semiconductor puede ser, por ejemplo, un láser semiconductor amplificador de potencia de oscilador maestro (MOPA), tal como un láser semiconductor MOPA monolítico integrado, por ejemplo, que emite una longitud de onda de alrededor de 1550 nm. Como se describió anteriormente, el PIIN depende del tiempo de coherencia de la sección generadora de haz y, al utilizar un láser MOPA totalmente semiconductor, el tiempo de coherencia puede proporcionar una cantidad relativamente grande de PIIN en comparación con el uso de otras fuentes de luz láser. Por lo tanto, el uso de un láser MOPA totalmente semiconductor en combinación con un SMEM que también puede proporcionar un PIIN relativamente grande puede proporcionar un PIIN generalmente grande. Así, tal combinación puede considerarse una contrapartida importante. Por otra parte, un efecto de tener un láser totalmente semiconductor puede ser el hecho de que ofrece una solución económica y compacta de la sección generadora de haz. En particular, un láser MOPA totalmente semiconductor también proporciona un sistema LIDAR con reflejos espurios bajos o nulos. Además, un semiconductor total es muy estable y, por lo tanto, puede ser muy ventajoso en un sistema LIDAR, donde la estabilidad es muy importante, en particular cuando se utiliza en la parte superior de una turbina eólica.

Haz de salida

En una realización de la presente invención, el haz de salida es un rayo láser de onda continua. En otra realización de la presente invención, el haz de salida es un rayo láser de onda pulsada.

En una realización preferida de la presente invención, el haz de salida de cada una de dichas unidades ópticas de enfoque de haz se enfoca a una distancia de enfoque de entre 1 y 1000 metros. La distancia de enfoque, en otras realizaciones preferidas, puede ser inferior a 1 metro, tal como menor de 0,5 m, tal como menor de 0,25 m, y/o tal como menor de 0,1 m y/o llegando a una distancia de enfoque de hasta 1000 metros.

El haz de salida de cada una de dichas unidades ópticas de enfoque de haz puede enfocarse con medios de sintonización de longitudes de onda, por ejemplo, con un láser sintonizable en longitud de onda.

Unidades ópticas de enfoque de haz y su eje óptico

En una realización preferida de la presente invención, la pluralidad de unidades ópticas de enfoque de haz es de tres unidades ópticas de enfoque de haz, lo que permite determinar tres vectores de velocidad. En otra realización preferida de la presente invención, la pluralidad de unidades ópticas de enfoque de haz es de cuatro o cinco unidades ópticas de enfoque de haz, lo que permite determinar cuatro o cinco vectores de velocidad. Un efecto de tener cuatro o cinco unidades ópticas de enfoque de haz puede ser que pueden proporcionar una mejor precisión que tres unidades ópticas de enfoque de haz en relación con la medición de la velocidad de una partícula.

En una realización preferida de la presente invención, el eje óptico, como para al menos un elemento óptico, se define como la línea que conecta los puntos centrales del centro de curvatura de cada superficie óptica. En otras palabras, el eje óptico es una línea central hipotética que conecta el centro de curvatura de cada superficie óptica. El eje óptico puede ser una línea recta, especialmente cuando hay un solo elemento óptico.

Sin embargo, el eje óptico también puede estar definido por dos o más elementos ópticos, siguiendo la misma definición que para al menos un elemento óptico. En este sentido, el eje óptico, definido por dos o más elementos ópticos, puede ser una línea recta, pero el eje óptico también puede ser una línea que se redirige, formando así un eje óptico quebrado.

Cuando el haz de salida se está alineando con el eje óptico, utilizando las posiciones seleccionadas del elemento o elementos reflectantes según la presente invención, las posiciones seleccionadas se seleccionan preferiblemente antes de la instalación del sistema LIDAR, de forma que solo es necesario realizar la alineación una vez. Sin embargo,

como se describió, el eje óptico puede cambiar debido a varias razones, y en una realización alternativa de la presente invención, las posiciones seleccionadas se seleccionan después de la instalación del sistema LIDAR. Por ejemplo, las posiciones seleccionadas pueden seleccionarse de forma que las posiciones estén basadas en una medida de, por ejemplo, la señal transmitida y/o recibida. Así, el sistema LIDAR puede comprender un sistema de retroalimentación activo o más bien un sistema de alineación activo, proporcionando información de medición al SMEM para controlar las posiciones del elemento o elementos reflectantes.

SMEM

10 En una realización de la presente invención, las posiciones seleccionadas se posicionan con una precisión de menos de 500 micro grados, al menos a temperatura ambiente. En otras palabras, las posiciones seleccionadas pueden reposicionarse con gran precisión debido a que la repetibilidad posicional del SMEM es menor que 500 micro grados. Por lo tanto, el SMEM proporciona un sistema LIDAR donde la alineación del haz de salida a lo largo del eje óptico de cada una de las unidades ópticas de enfoque de haz es muy precisa y muy estable.

15 En una realización preferida de la presente invención, las posiciones seleccionadas son posiciones angulares entre -25 grados y +25 grados, tal como entre -10 grados y +10 grados, tal como entre -9 grados y +9 grados, tal como entre -8 grados y +8 grados, tal como entre -7 grados y +7 grados, tal como entre -6 grados y +6 grados, tal como entre -5 grados y +5 grados. El elemento o elementos reflectantes pueden ser capaces de inclinarse en dos direcciones, lo que significa que las posiciones angulares pueden estar a lo largo de dos direcciones, por ejemplo, las direcciones x e y.

25 Además, el SMEM puede configurarse para dirigir el haz de salida de una a otra unidad óptica de enfoque de haz en menos de 500 ms, tal como menos de 400 ms, tal como menos de 300 ms, tal como menos de 200 ms, tal como menos de 100ms, tal como menos de 50 ms, tal como menos de 40 ms, tal como menos de 30 ms, tal como menos de 20 ms, y/o tal como menos de 10 ms. De esta manera, el SMEM puede proporcionar un sistema LIDAR con un cambio rápido de la dirección de medición.

30 Preferiblemente, el elemento reflectante puede ser un espejo, es decir, el SMEM puede comprender al menos un espejo SMEM.

El SMEM puede comprender un espejo, tal como un espejo adherido con un diámetro de menos de 10 mm, tal como menos de 9 mm, tal como menos de 8 mm, tal como menos de 7 mm, tal como menos de 6 mm, tal como menos de 5 mm, tal como menos de 4 mm, tal como menos de 3 mm, tal como menos de 2 mm y/o tal como menos de 1. En otras realizaciones, el espejo puede ser mayor que 10.

40 Más preferiblemente, el elemento reflectante pueda configurarse con una reflectividad tolerante a la sintonización de longitudes de onda. De esta manera, la sintonización de longitudes de onda puede implementarse en el sistema LIDAR, de forma que el enfoque de las unidades ópticas de enfoque de haz puede cambiarse de manera óptima debido a la sintonización de longitudes de onda.

Otros elementos de orientación de haz

45 En una realización preferida de la presente invención, el elemento de orientación de haz comprende una o más estructuras redireccionadoras de haz, de forma que se reduce dicho posicionamiento del elemento o elementos reflectante(s). Por ejemplo, al tener hasta cuatro estructuras redireccionadoras de haz más, tales como espejos fijos, puede ser posible cambiar las posiciones del elemento reflectante en posiciones angulares de menos de 5 grados, de forma que el haz de salida cambie en una dirección de más de 20 grados, en particular de forma que el haz de salida pueda dirigirse a las unidades ópticas de enfoque de haz que tengan su eje óptico en un ángulo de más de 20 grados entre sí. Además, de esta forma, puede ser posible proporcionar un sistema LIDAR con un cambio muy rápido de la dirección de medición.

55 En una de las realizaciones de la presente invención, el elemento de orientación de haz comprende uno o más cristales líquidos, de forma que se puede controlar una polarización de dicho haz de salida. En un ejemplo de esta realización, puede colocarse un dispositivo de cristal líquido delante del SMEM para controlar el estado de polarización de la luz dirigida por el elemento o elementos reflectantes. Tal realización puede ser útil si algunas mediciones requieren que el haz de salida tenga estados de polarización específicos o sintonizables. En otro ejemplo de esta realización, se puede colocar un cristal líquido delante de cada uno de los telescopios. El elemento reflectante puede cambiar el haz a lo largo de la óptica de una de las unidades ópticas de enfoque de haz y a continuación, el cristal líquido puede cambiar la polarización entre dos estados lineales ortogonales. De esta forma, pueden proporcionarse dos haces de salida para cada telescopio, ofreciendo así la posibilidad de determinar más vectores de velocidad de uno o más objetivos.

Conexión óptica entre la sección generadora de haz y el SMEM

En una realización de la presente invención, la conexión óptica entre la sección generadora de haz y el SMEM se realiza por un haz de salida que diverge hacia el al menos un elemento reflectante, de forma que cuando se alinea con al menos uno de los ejes ópticos del al menos un elemento óptico de las unidades ópticas de enfoque de haz, el haz de salida dirigido es divergente hacia el al menos un elemento óptico. Preferiblemente, el haz dirigido es divergente hacia el al menos un elemento óptico en el espacio libre. De este modo se facilita que la alineación al eje óptico sea independiente de otros elementos de propagación. La alineación hacia al menos uno de los ejes ópticos puede hacerse de manera sencilla. En algunas realizaciones, el haz de salida que diverge hacia el al menos un elemento reflectante se propaga directamente desde una fibra óptica.

En otra realización de la presente invención, la conexión óptica entre la sección generadora de haz y el SMEM se realiza por un haz de salida que converge hacia el al menos un elemento reflectante, de forma que cuando se alinea con al menos uno de los ejes ópticos del al menos un elemento óptico de las unidades ópticas de enfoque de haz, el haz de salida dirigido es convergente hacia el al menos un elemento óptico. Preferiblemente, el haz dirigido es convergente hacia el al menos un elemento óptico en el espacio libre. De este modo se facilita que la alineación al eje óptico sea independiente de otros elementos de propagación. La alineación hacia al menos uno de los ejes ópticos puede hacerse de manera sencilla.

En una tercera realización de la presente invención, la conexión óptica entre la sección generadora de haz y el SMEM se realiza por un haz de salida que es colimado hacia el al menos un elemento reflectante, de forma que cuando se alinea con al menos uno de los ejes ópticos del al menos un elemento óptico de las unidades ópticas de enfoque de haz, el haz de salida dirigido es colimado hacia el al menos un elemento óptico. Preferiblemente, el haz colimado es convergente hacia el al menos un elemento óptico en el espacio libre. De este modo se facilita que la alineación al eje óptico sea independiente de otros elementos de propagación. La alineación hacia al menos uno de los ejes ópticos puede hacerse de manera sencilla.

Ejemplo 1: un sistema LIDAR generalizado

La figura 1 muestra una realización del sistema LIDAR según la presente invención. Un láser está conectado ópticamente a un circulador óptico a través de un primer puerto. El circulador comprende tres puertos y un segundo puerto está conectado ópticamente al oscilador local que genera una óptica. El oscilador local que genera una óptica está, además, acoplado ópticamente a un espejo SMEM que está configurado de forma que es capaz de dirigir la luz proveniente del láser, a través del circulador óptico, a través del oscilador local que genera una óptica, hasta una de la pluralidad de unidades ópticas de enfoque de haz, que aquí se denominan transceptores ópticos. Los transceptores ópticos están configurados para recibir la luz retrodispersada de un objetivo, de forma que la luz retrodispersada puede ser dirigida de vuelta a los espejos SMEM, a través de del oscilador local que genera una óptica, de la que sale un haz de referencia reflejado, que se superpone con la luz retrodispersada, hasta el circulador óptico, fuera del puerto 3, en el detector, donde un procesador de señales procesa el espectro de las señales.

Ejemplo 2: un sistema LIDAR que muestra dos unidades ópticas de enfoque de haz con elementos ópticos en un eje óptico recto

La **figura 2** muestra una realización del sistema LIDAR según la presente invención. Un haz de salida **(1)** se propaga desde una sección generadora de haz (que no se muestra en esta figura) hacia un SMEM **(4)** que tiene un elemento reflectante, de forma que el haz de salida se redirige entre dos unidades ópticas de enfoque de haz, que en este ejemplo tienen dos elementos ópticos, en este ejemplo una primera lente **(2)** y una segunda lente **(3)** en la primera unidad óptica de enfoque de haz, y una primera lente **(7)** y una segunda lente **(8)** hacia la segunda unidad óptica de enfoque de haz. El SMEM **(4)** está configurado para ser inclinado en un ángulo **(6)** a fin de alinear el haz de salida con los ejes ópticos de los dos elementos ópticos de las unidades ópticas de enfoque de haz. La primera unidad óptica de enfoque de haz tiene un eje óptico **(5)** que es el eje de simetría rotacional de la unidad óptica de enfoque de haz y en este caso, el eje óptico coincide con el eje mecánico de la unidad óptica de enfoque de haz y la dirección de la sonda en la que debe medirse un objetivo. La segunda unidad óptica de enfoque de haz tiene otro eje óptico **(9)** que es también el eje de simetría rotacional de la unidad óptica de enfoque de haz y en este caso, el eje óptico coincide con el eje mecánico de la unidad óptica de enfoque de haz y la dirección de la sonda en la que debe medirse el mismo objeto y/u otro objetivo. Se puede observar que el eje óptico, en este caso, es una línea recta para cada unidad óptica de enfoque de haz. Como también se puede observar en este ejemplo, hay un elemento reflectante en el SMEM que está situado en el eje óptico **(5)** y el otro eje óptico **(9)**. Los dos ejes ópticos se muestran con líneas de puntos. El haz de salida **(1)**, que también es el haz de medición, tiene un diámetro de haz, o ancho de haz, en este caso, menor que la apertura del SMEM, de forma que se puede alinear todo el haz.

Ejemplo 3: Un sistema LIDAR que muestra dos unidades ópticas de enfoque de haz con elementos ópticos en un eje óptico recto

La **figura 3** muestra una realización del sistema LIDAR según la presente invención. Un haz de salida (1) se propaga desde una sección generadora de haz (que no se muestra en esta figura) hacia un SMEM (4) que tiene un elemento reflectante, de forma que el haz de salida se redirige entre dos unidades ópticas de enfoque de haz, que en este ejemplo tienen dos elementos ópticos, en este ejemplo una primera lente (2) y una segunda lente (3) en la primera unidad óptica de enfoque de haz, y una primera lente (7) y una segunda lente (8) hacia la segunda unidad óptica de enfoque de haz. El SMEM (4) está configurado para ser inclinado en un ángulo a fin de alinear el haz de salida con los ejes ópticos de los dos elementos ópticos de las unidades ópticas de enfoque de haz. La primera unidad óptica de enfoque de haz tiene un eje óptico (5) que es el eje de simetría rotacional de la unidad óptica de enfoque de haz y en este caso, el eje óptico coincide con el eje mecánico de la unidad óptica de enfoque de haz y la dirección de la sonda en la que debe medirse un objetivo. La segunda unidad óptica de enfoque de haz tiene otro eje óptico (9) que es también el eje de simetría rotacional de la unidad óptica de enfoque de haz y en este caso, el eje óptico coincide con el eje mecánico de la unidad óptica de enfoque de haz y la dirección de la sonda en la que debe medirse el mismo objeto y/u otro objetivo. Se puede observar que el eje óptico, en este caso, es una línea recta para cada unidad óptica de enfoque de haz. El haz de salida (1), que también es el haz de medición, tiene un diámetro de haz, o ancho de haz, en este caso, menor que la apertura del SMEM, de forma que se puede alinear todo el haz. Antes de que el haz de salida se redirija a una de las dos unidades ópticas de enfoque de haz, el haz incide en un primer elemento reflectante (10) en comunicación óptica con la primera unidad óptica de enfoque de haz y en un segundo elemento reflectante (11) en comunicación óptica con la primera unidad óptica de enfoque de haz. El primer elemento reflectante y el segundo elemento reflectante pueden ser un espejo, un SMEM, rejillas y/o prismas. El primer y segundo elemento reflectante son, en este caso, elementos ópticos de la primera y segunda unidad óptica de enfoque de haz, respectivamente. Se puede observar en el ejemplo que el primer eje óptico (5) comprende dos ejes ópticos (5) y (5'), ya que el elemento reflectante (10) está dividiendo el eje óptico (5) en los dos ejes ópticos (5) y (5'). Del mismo modo, el segundo eje óptico (9) comprende dos ejes ópticos (9) y (9'), ya que el segundo elemento reflectante (11) está dividiendo el segundo el eje óptico (9) en los dos ejes ópticos (9) y (9'). Todos los ejes ópticos se muestran con líneas de puntos. Como también se puede observar en este ejemplo, hay un elemento reflectante en el SMEM que está situado en los ejes ópticos (5) y (5') y los otros ejes ópticos (9) y (9').

Ejemplo 4: un sistema LIDAR que muestra una unidad óptica de enfoque de haz con elementos ópticos en un eje óptico dividido

La **figura 4** muestra una realización del sistema LIDAR según la presente invención, donde solo se muestra una única unidad óptica de enfoque de haz. Un haz de salida (1) se propaga desde una sección generadora de haz (que no se muestra en esta figura) hacia una unidad óptica de enfoque de haz que en este ejemplo tiene dos elementos ópticos, en este ejemplo una primera lente (2) y una segunda lente (3). El SMEM (4) se coloca entre la primera y la segunda lente, y se configura para que ser inclinado en ángulo a fin de alinear el haz de salida con los ejes ópticos de uno de los elementos ópticos de las unidades ópticas de enfoque de haz, en este caso, la segunda lente (3). La segunda lente (3) tiene un eje óptico (5) que es el eje de simetría rotacional de la segunda lente y en este caso, el eje óptico coincide con el eje mecánico de la segunda lente y la dirección de la sonda en la que debe medirse un objetivo. Un efecto de tener una configuración como la que se muestra en la **figura 4** es que el primer elemento óptico (2) puede ser un elemento óptico común para la pluralidad de unidades ópticas de enfoque de haz. De esta forma, puede ahorrarse un primer elemento óptico para las unidades ópticas de enfoque de haz restantes. Además, como se puede observar en este ejemplo, el eje óptico es un eje óptico dividido, en el sentido de que pasa por el centro de la primera lente y el centro de la segunda lente. Debido a la limitada posición angular del SMEM (4), se imponen restricciones sobre la longitud focal y el tamaño de la lente (2). Se puede observar en el ejemplo que el primer eje óptico (5) comprende dos ejes ópticos (5) y (5'), ya que el elemento reflectante del SMEM (4) está dividiendo el eje óptico (5) en los dos ejes ópticos (5) y (5'). Todos los ejes ópticos se muestran con líneas de puntos. Como también se puede observar en este ejemplo, el elemento reflectante del SMEM que está situado en los ejes ópticos (5) y (5').

Ejemplo 5: un sistema LIDAR que muestra dos unidades ópticas de enfoque de haz con elementos ópticos en un eje óptico dividido

La **figura 5** muestra una realización del sistema LIDAR según la presente invención, donde se muestran dos unidades ópticas de enfoque de haz. Un haz de salida (1) se propaga desde una sección generadora de haz (que no se muestra en esta figura) hacia una unidad óptica de enfoque de haz que en este ejemplo tiene dos elementos ópticos, en este ejemplo una primera lente (2) y una segunda lente (3) para la primera unidad óptica de enfoque de haz, y una primera lente (2) y una segunda lente (8) para la segunda unidad óptica de enfoque de haz. El SMEM (4) se coloca después de la primera lente (2), siendo un elemento óptico de lente común para las dos unidades ópticas de enfoque de haz, y estando configurado el SMEM para ser inclinado en ángulo a fin de alinear el haz de salida con los ejes ópticos para uno de los elementos ópticos de las unidades ópticas de enfoque de haz, en este caso, la segunda lente (3) para la

primera unidad óptica de enfoque de haz y la segunda lente (8) para la segunda unidad óptica de enfoque de haz. La segunda lente (3) tiene un eje óptico (5) que es el eje de simetría rotacional de la segunda lente y en este caso, el eje óptico coincide con el eje mecánico de la segunda lente (3) y la dirección de la sonda en la que debe medirse un objetivo. La segunda lente (8) tiene un eje óptico (5) que es el eje de simetría rotacional de la segunda lente (8) y en este caso, el eje óptico coincide con el eje mecánico de la segunda lente y la dirección de la sonda en la que debe medirse un objetivo. Un efecto de tener una configuración como la que se muestra en la figura 4 es que el primer elemento óptico (2) puede ser un elemento óptico común para la pluralidad de unidades ópticas de enfoque de haz. De esta forma, puede ahorrarse un primer elemento óptico para las unidades ópticas de enfoque de haz restantes. Además, como se puede observar en este ejemplo, el eje óptico es un eje óptico dividido, en el sentido de que pasa por el centro de la primera lente (2) y el centro de las segundas lentes (3), (8). Se incluyen dos elementos reflectantes adicionales (10), (11) para reducir los problemas relacionados con las limitaciones espaciales y para dirigir el haz de medición (1) en las direcciones deseadas (5), (9). En esta configuración, los dos elementos adicionales (10), (11) pueden ajustarse en posiciones angulares combinadas con el posicionamiento angular del SMEM, de forma que el haz de medición (1) pueda ajustarse para que coincida con los ejes ópticos, respectivamente. Según la presente invención, el posicionamiento angular del SMEM puede utilizarse para reducir el número de ajuste mecánico, como por ejemplo, el ajuste de los elementos ópticos, tales como lentes o espejos. En este ejemplo, los dos elementos adicionales (10), (11) se muestran como dos elementos separados, pero alternativamente, podrían combinarse en un solo elemento, que seguiría siendo responsable de redirigir el haz desde el SMEM hacia las dos direcciones deseadas (5), (9). Se puede observar en el ejemplo que el primer eje óptico (5) comprende dos ejes ópticos (5) y (5'), ya que el elemento reflectante (10) está dividiendo el eje óptico (5) en los dos ejes ópticos (5) y (5'). Del mismo modo, el segundo eje óptico (9) comprende dos ejes ópticos (9) y (9'), ya que el segundo elemento reflectante (11) está dividiendo el segundo eje óptico (9) en los dos ejes ópticos (9) y (9'). Todos los ejes ópticos se muestran con líneas de puntos. Como también se puede observar en este ejemplo, hay un elemento reflectante en el SMEM que está situado en los ejes ópticos (5') y (9').

25 **Ejemplo 6: un sistema LIDAR que muestra dos unidades ópticas de enfoque de haz con elementos ópticos en un eje óptico dividido**

La figura 6 muestra una realización del sistema LIDAR según la presente invención donde hay un elemento óptico para cada una de las unidades ópticas de enfoque de haz. Un haz de salida divergente (1) se propaga desde una sección generadora de haz (que no se muestra en esta figura) hacia un SMEM (4). El haz de salida divergente puede originarse en una fibra óptica. El SMEM tiene un elemento reflectante, de modo que el haz de salida se redirige entre dos unidades ópticas de enfoque de haz, en este ejemplo, cada unidad de enfoque de haz tiene un elemento óptico. Además, en este ejemplo, hay una lente (3) en la primera unidad óptica de enfoque de haz y una lente (8) en la segunda unidad óptica de enfoque de haz. El SMEM (4) está configurado para ser inclinado en un ángulo a fin de alinear el haz de salida con los ejes ópticos del elemento óptico de las unidades ópticas de enfoque de haz. La primera unidad óptica de enfoque de haz tiene un eje óptico (5) que es el eje de simetría rotacional de la unidad óptica de enfoque de haz y en este caso, el eje óptico coincide con el eje mecánico de la unidad óptica de enfoque de haz y la dirección de la sonda en la que debe medirse un objetivo. La segunda unidad óptica de enfoque de haz tiene otro eje óptico (9) que es también el eje de simetría rotacional de la unidad óptica de enfoque de haz y en este caso, el eje óptico coincide con el eje mecánico de la unidad óptica de enfoque de haz y la dirección de la sonda en la que debe medirse el mismo objeto y/u otro objetivo. Se puede observar que el eje óptico, en este caso, es una línea recta para cada unidad óptica de enfoque de haz. Como también se puede observar en este ejemplo, hay un elemento reflectante en el SMEM que está situado en el eje óptico (5) y el otro eje óptico (9). Los dos ejes ópticos se muestran con líneas de puntos. El haz de salida (1), que también es el haz de medición, tiene un ángulo divergente. En este caso, el ángulo divergente limita las distancias entre la sección generadora de haz (que no se muestra en esta figura) y el SMEM, de modo que puede alinearse todo el haz.

REIVINDICACIONES

1. Un sistema LIDAR que comprende:
- una sección generadora de haz adaptada para generar un haz de salida (1);
- 5 - una pluralidad de unidades ópticas de enfoque de haz, cada una de las cuales tiene al menos un elemento óptico (2, 3, 7, 8), definiendo los elementos ópticos uno o más ejes ópticos (5, 5', 9, 9'); y
- un elemento de orientación de haz en conexión óptica con la sección generadora de haz y que comprende un sistema microelectromecánico (SMEM) (4) que comprende al menos un elemento reflectante (10, 11) adaptado para ser dispuesto en una pluralidad de posiciones,
- 10 el elemento de dirección de haz está situado en al menos uno de los ejes ópticos (5, 5', 9, 9') de los al menos un elemento óptico (2, 3, 7, 8) de las unidades ópticas de enfoque de haz y configurado de forma que el haz de salida del al menos un elemento reflectante (10, 11) pueda dirigirse indistintamente entre el al menos un elemento óptico (2, 3, 7, 8) de cada una de las unidades ópticas de enfoque de haz mediante el posicionamiento selectivo del elemento o elementos reflectante(s) (10, 11), y donde las posiciones seleccionadas del elemento o elementos reflectante(s) (10, 11) se seleccionan de forma que el haz de salida que se está dirigiendo esté alineado con al menos uno de los ejes ópticos (5, 5', 9, 9') de los al menos un elemento óptico (2, 3, 7, 8) de las unidades ópticas de enfoque de haz, caracterizado porque
- 15 si uno de los al menos un eje óptico (5, 5', 9, 9') se desalinea, formando así un nuevo eje óptico, el al menos un elemento reflectante (10, 11) se configura para ser posicionado de forma que el haz de salida del al menos un elemento reflectante (10, 11) se propaga en el espacio libre hasta el al menos un elemento óptico, por lo que el haz de salida del al menos un elemento reflectante (10, 11) se alinea directamente con el nuevo eje óptico mediante posicionamiento selectivo del al menos un elemento reflectante (10, 11).
2. El sistema LIDAR según la reivindicación 1, donde dicho sistema está configurado para medir una
- 25 velocidad de un objetivo sólido y/o difuso, y/o donde dicho sistema está configurado de forma que dichas unidades ópticas de enfoque de haz están enfocadas en distintos volúmenes objetivo.
3. El sistema LIDAR según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde dicho sistema es un sistema LIDAR Doppler coherente.
- 30
4. El sistema LIDAR según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde dicho sistema comprende, además, un circulador óptico que comprende al menos 2 puertos configurados para estar en conexión óptica con al menos dicha sección generadora de haz y dicho elemento de orientación de haz.
- 35
5. El sistema LIDAR según la reivindicación 4, donde dicha conexión óptica es proporcionada por una fibra monomodo estándar.
6. El sistema LIDAR según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde dicha sección generadora de haz es un láser sintonizable en longitud de onda o una fuente de luz totalmente semiconductor.
- 40
7. El sistema LIDAR según cualquiera de las reivindicaciones 1-6, donde dicho haz de salida es un rayo láser de onda continua o un rayo láser de onda pulsada.
8. El sistema LIDAR según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde dicho haz de salida de
- 45 cada una de dichas unidades ópticas de enfoque de haz se enfoca a una distancia de enfoque de entre 1 y 1000 metros y/o donde dicho haz de salida de cada una de dichas unidades ópticas de enfoque de haz se enfoca con medios de sintonización de longitudes de onda.
9. El sistema LIDAR según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde dichas posiciones
- 50 seleccionadas se posicionan con una precisión de menos de 500 micro grados y/o donde dichas posiciones seleccionadas son posiciones angulares entre -25 grados y +25 grados.
10. El sistema LIDAR según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde dicho SMEM está configurado para dirigir el haz de salida de una a otra unidad óptica de enfoque de haz en menos de 500 ms, tal como
- 55 menos de 400 ms, tal como menos de 300 ms, tal como menos de 200 ms, tal como menos de 100ms, tal como menos de 50 ms, tal como menos de 40 ms, tal como menos de 30 ms, tal como menos de 20 ms, y/o tal como menos de 10 ms.
11. El sistema LIDAR según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde dicho elemento reflectante
- 60 es un espejo.
12. El sistema LIDAR según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde dicho elemento reflectante

está configurado con una reflectividad que es tolerante a la sintonización de longitudes de onda.

13. El sistema LIDAR según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde el elemento de orientación de haz comprende una o más estructuras redireccionadoras de haz, de forma que se reduce dicho posicionamiento del elemento o elementos reflectante(s).

14. El sistema LIDAR según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde dicho elemento de orientación de haz comprende uno o más cristales líquidos, de forma que se puede controlar una polarización de dicho haz de salida.

10 15. El sistema LIDAR según cualquiera de las reivindicaciones 1-14, donde la conexión óptica entre la sección generadora de haz y el SMEM se realiza por un haz de salida que diverge hacia el al menos un elemento reflectante, de forma que cuando se alinea con al menos uno de los ejes ópticos del al menos un elemento óptico de las unidades ópticas de enfoque de haz, el haz de salida dirigido es:

- 15
- divergente hacia el al menos un elemento óptico, o
 - convergente hacia el al menos un elemento óptico, o
- 20 - colimado hacia el al menos un elemento óptico.

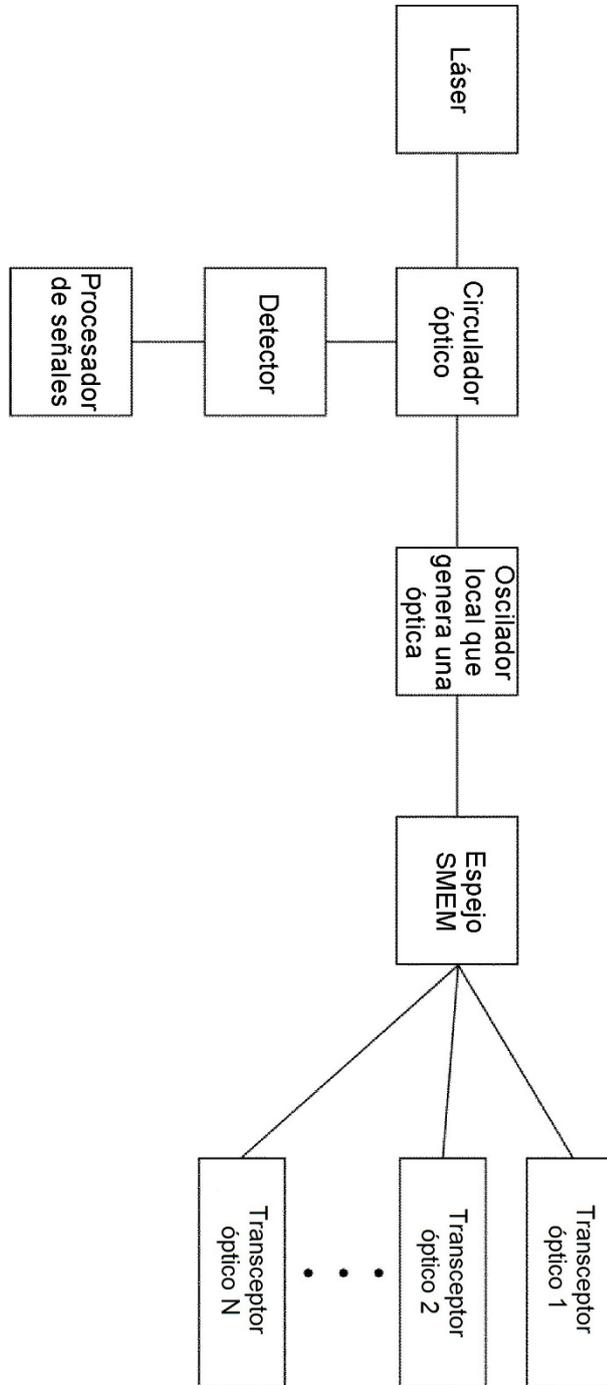


Fig. 1

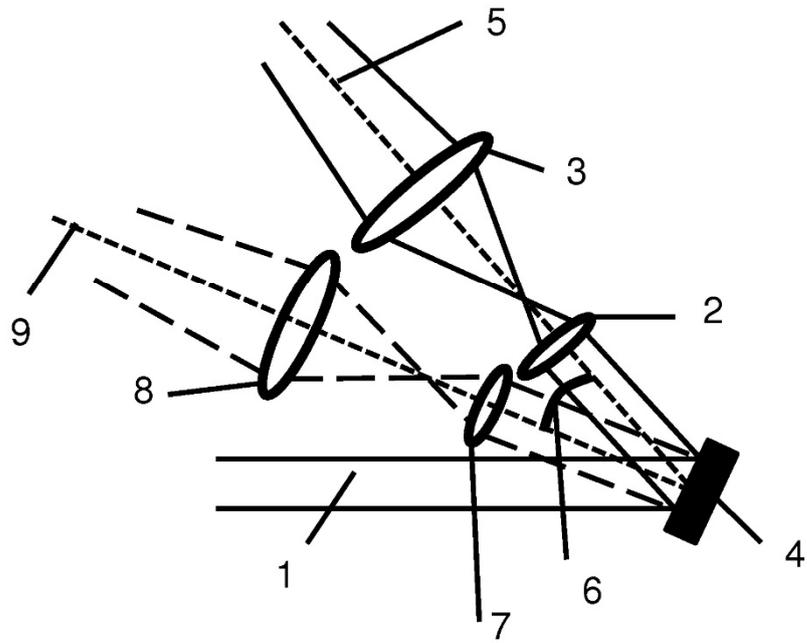


Fig. 2

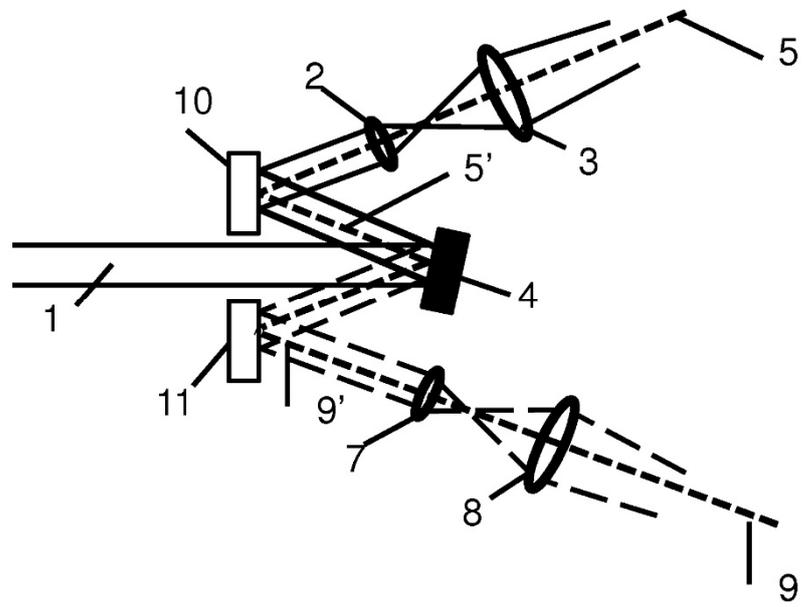


Fig. 3

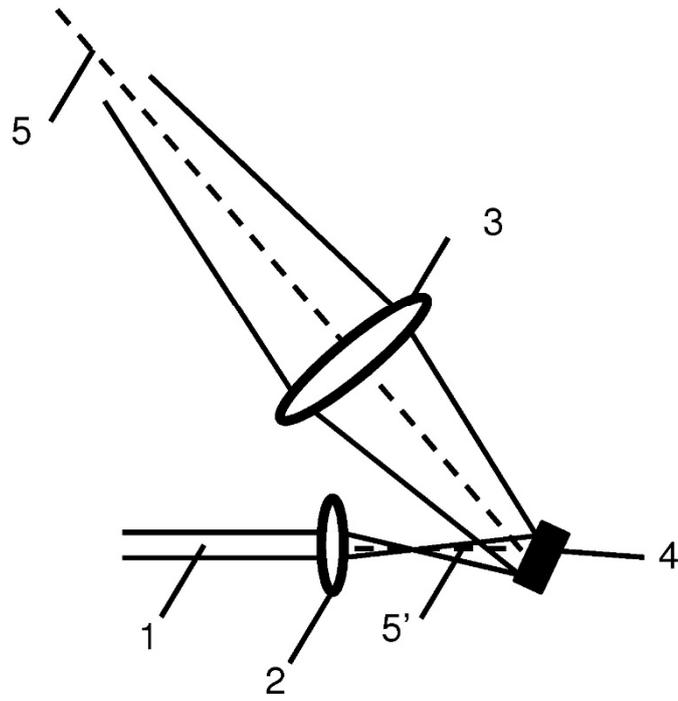


Fig. 4

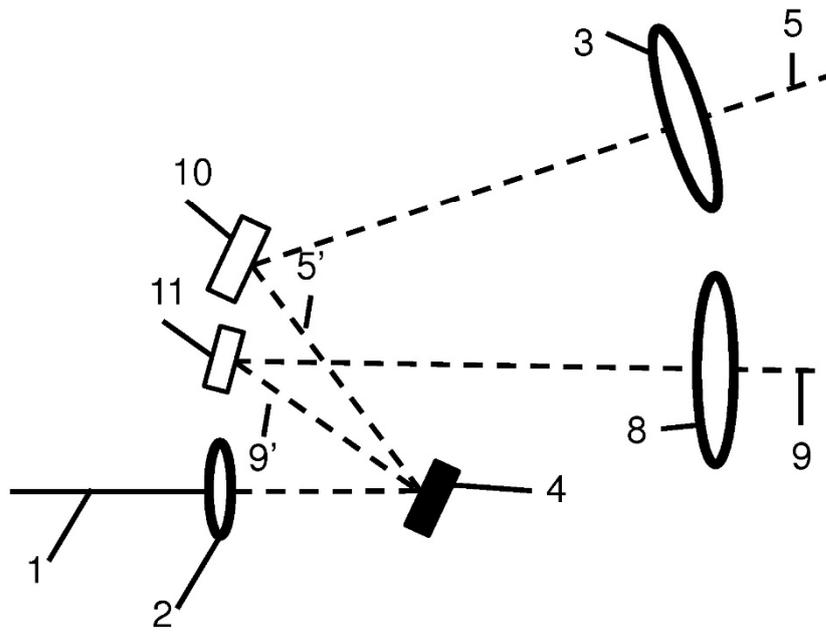


Fig. 5

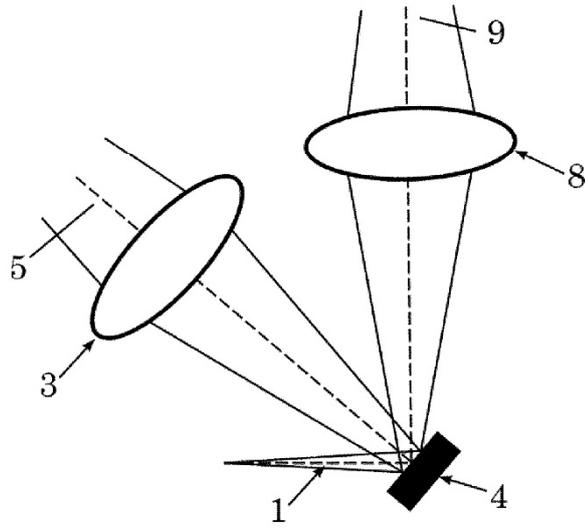


Fig. 6