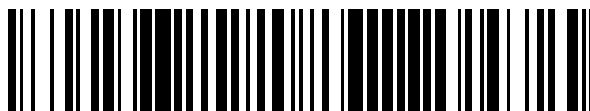


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 718 037**

51 Int. Cl.:

G01S 7/481 (2006.01)

G01S 17/10 (2006.01)

G01S 17/58 (2006.01)

G01S 17/95 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **19.11.2015** **E 15195306 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **02.01.2019** **EP 3026455**

54 Título: **Lidar impulsado con amplificador óptico con semiconductor**

30 Prioridad:

25.11.2014 FR 1461407

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

27.06.2019

73 Titular/es:

**LEOSPHERE (100.0%)
43 rue de Liège
75008 Paris, FR**

72 Inventor/es:

**PUREUR, VINCENT;
GUILLOU-CAMARGO, FABIOLA y
GORJU, GUILLAUME**

74 Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

ES 2 718 037 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 impulsado con amplificador óptico con semiconductor

Campo técnico

5 La invención se sitúa en el campo de la observación de la atmósfera por un lidar. Se aplica especialmente a la determinación a distancia de la velocidad del viento, de la concentración de partículas en la atmósfera, de su distancia, de sus dimensiones y/o de su forma, y a la determinación a distancia de la temperatura de la atmósfera. Más precisamente, la invención se refiere a un lidar impulsado dispuesto para la determinación de estas propiedades de la atmósfera. La invención encuentra una utilidad particular en la protección de los generadores eólicos en donde se buscan los lidars relativamente fiables con un coste moderado. También puede ser útil para la prospección y la optimización de la energía eólica. La invención se aplica también al campo de la meteorología operacional, por ejemplo para asegurar los despegues y los aterrizajes de aeronaves en las zonas aeroportuarias.

Estado de la técnica anterior

15 Los sistemas lidars, también denominados lidars, son unos dispositivos de detección y de medida a distancia ampliamente utilizados en la caracterización de los flujos de aire en la atmósfera. Permiten caracterizar propiedades de la atmósfera tales como una velocidad del viento, una concentración de partículas y una temperatura de la atmósfera. El principio de un lidar se basa en las propiedades ópticas de propagación de un haz óptico entre el lidar y un objetivo al menos parcialmente reflectante. Un lidar comprende normalmente una fuente de laser, un captador, y unos medios de tratamiento. La fuente de laser emite un haz de laser de medida hacia el objetivo, el cual refleja una parte de este haz de laser, denominado haz de laser de retorno, hacia el captador. El captador mide una o 20 varias características del haz de laser de retorno, el cual es analizado por los medios de tratamiento a fin de deducir una propiedad del objetivo. En particular, la velocidad del viento puede ser determinada analizando el desfase de frecuencia por efecto Doppler del haz de laser de retorno con respecto al haz de laser de medida. La concentración de partículas en la atmósfera puede ser determinada analizando la amplitud del haz de laser de retorno, cuanto más elevada sea la tasa de partículas en la atmósfera, más importante es la amplitud.

25 Con objeto de tantear una columna de atmósfera en una zona dada, se deben realizar unas medidas en un conjunto de muestras de la atmósfera, denominadas volúmenes de medida. Cada volumen de medida es marcado en un sistema referencial del lidar con respecto a una orientación y una distancia de medida. La distancia de medida puede ser ajustada de diferentes maneras, según el tipo de lidar. Dos principales tipos de lidars se utilizan actualmente para la caracterización de la atmósfera, los lidars continuos y los lidars impulsados. Para un lidar continuo es necesaria una focalización del haz de laser de medida por un telescopio. La distancia media de medida depende entonces de la distancia de la puesta a punto del telescopio, y la profundidad de campo es función de la focal y de la 30 abertura del telescopio. Ésta aumenta con el cuadrado de la distancia, y la función de ponderación disminuye lentamente, lo que favorece las ambigüedades de medida en los ecos lejanos. Con objeto de efectuar medidas a distancias diferentes, se debe modificar el reglaje del telescopio, lo que implica unos movimientos mecánicos relativos entre las piezas del telescopio. Para un lidar impulsado, la focalización del haz de laser de medida no es indispensable. El haz de laser de medida puede ser simplemente colimado. La distancia de medida se determina entonces a partir de la duración del recorrido de un impulso entre el lidar y el volumen de medida. De este modo, 35 contrariamente a los lidars continuos, los lidars impulsados no implican la utilización de piezas en movimiento en el telescopio, tienen una resolución longitudinal de medida idéntica independiente de la distancia de medida, y muestran menos fácilmente una ambigüedad. Los lidars impulsados tienen por tanto una simplicidad de puesta en práctica en comparación con los lidars continuos mientras que mantiene una buena calidad de medición.

45 Por otra parte, los lidars se clasifican según el tipo de detección empleado. Cuando la vía de recepción del lidar genera una mezcla del haz de laser de retorno con una parte del haz de laser de medida, se habla de una detección coherente, o heterodino, y de lidar coherente. El lidar puede entonces suministrar una medida representativa de una diferencia de característica entre el haz de laser de medida y el haz de laser de retorno, por ejemplo una información de la diferencia de fase o de la diferencia de frecuencia. Al contrario, un lidar de detección no coherente, o lidar no coherente o de detección directa, mide una característica del haz de laser de retorno sin mezclarlo con un haz de laser de referencia.

50 La fuente de laser es uno de los componentes más onerosos y de los más consumidores de energía eléctrica en un lidar. El tipo de tecnología utilizada y su puesta en práctica son por tanto particularmente importantes en la búsqueda de un lidar eficiente de bajo coste. Los lidars impulsados recurren generalmente a una fuente de laser formada por un oscilador principal y a un amplificador de potencia, siendo conocido este conjunto con el acrónimo MOPA para "Master Oscillator Power Amplifier" en inglés. Más precisamente, un sistema MOPA comprende un laser principal que funciona como un oscilador principal y un amplificador óptico que permite amplificar la potencia del haz de laser principal. 55

El laser principal puede ser un laser de fibra o un laser con semiconductor. Generalmente produce un haz de laser que tiene una longitud de onda de $1,5 \mu\text{m}$ o $2 \mu\text{m}$. Más generalmente, el laser principal puede emitir en el infrarrojo próximo, por ejemplo en la banda $[0,8; 2,1 \mu\text{m}]$. Esta señal es primeramente modulada en el tiempo con objeto de

5 crear los impulsos ópticos. Los moduladores utilizados son en general del tipo Modulador Acústico Óptico (MAO) o interferómetro Mach Zehnder y tienen normalmente unas tasas de extinción óptica entre los impulsos de 30 a 45 dB, pudiendo a continuación la señal residual ser amplificada entre los impulsos. Además, los MAOs tienen unos tiempos de respuesta del orden de algunas decenas de nanosegundos. Esto impone un límite inferior a la duración temporal de los impulsos ópticos e influye directamente en la resolución espacial del lidar y su zona ciega.

10 Para la medida de la velocidad del viento, los lidars impulsados utilizan a menudo unos amplificadores ópticos de fibra. En general, se trata de un amplificador de fibra dopada con erbio, iterbio, holmio o tulio, según la longitud de onda del haz de laser principal. Los amplificadores de fibra tienen el inconveniente de generar una potencia media de salida limitada por el bombeo óptico. La potencia media puede ser conservada en régimen de impulsos para unas cadencias comprendidas entre 10 y 100 kHz. Los amplificadores de fibra tienen una eficacia energética relativamente baja, del orden del 5%. Sus costes de fabricación y de integración en masa son relativamente elevados y pueden difícilmente ser bajados con la cantidad teniendo en cuenta su complejidad.

15 Se conoce en el estado de la técnica el documento WO2011/036553 que describe un método y un sistema para determinar las características del viento en un volumen determinado, a partir de las medidas efectuadas por un conjunto de lidars cubriendo cada uno una muestra del volumen. En él se describe un anemómetro de laser basado en la utilización de fuentes de lasers no coherentes modulables en frecuencia, de un amplificador óptico de fibra y de un circuito de correlación de los haces emitidos por dichas fuentes y los haces retrodifundidos detectados.

20 Se conoce también el documento EP1118876 que expone un lidar coherente que genera un haz de laser a partir de un laser impulsado. El lidar comprende un laser impulsado, un divisor óptico que separa el haz de laser en una vía de medida y una vía de referencia, un acoplador óptico, y unos medios de detección. La vía de referencia comprende especialmente una línea de demora susceptible de llevar un amplificador óptico.

25 Se conoce igualmente el documento WO2011/150242 que describe un método y un lidar que tienen como objetivo medir simultáneamente las distancias y las velocidades con cortos y largos alcances. En él se describe una fuente de radiación que comprende especialmente un laser, un separador, un generador de impulsos y, de manera opcional, un amplificador óptico de fibra.

El estado de la técnica comprende también el documento US2012/171036 que expone un sistema de control del ángulo de ataque de una pala por medio de un lidar. El lidar, situado al nivel de un borde de ataque de una pala, comprende uno o varios haces de lasers impulsados, un detector que recibe la luz impulsada retrodifundida por un fluido. La velocidad del fluido se determina por el dentado temporal de la luz impulsada retrodifundida.

30 Finalmente, se conoce el documento WO2009/046717 que describe la utilización de un lidar coherente que comprende un laser con semiconductores, un amplificador óptico y un detector. La velocidad del fluido se determina por la detección coherente mezclando el haz de laser de retorno con una parte de la señal de referencia.

Exposición de la invención

35 Un objetivo de la invención es principalmente remediar total o parcialmente los inconvenientes anteriormente citados. En particular, un primer objetivo de la invención es reducir los costes de desarrollo y de fabricación de un lidar impulsado para aplicaciones de protección de generadores eólicos y/o de seguridad de las zonas aeroportuarias, o para aplicaciones de medida del viento a corta y media distancia. Otro objetivo es disminuir el consumo eléctrico del lidar impulsado y mejorar la compacidad y la integración del amplificador óptico en el lidar para facilitar su concepción. La invención tiene también como objetivo mejorar la fiabilidad del amplificador óptico, y por tanto la del lidar impulsado. Otro objetivo más es permitir una mejor extinción óptica entre los impulsos y una cadencia de tiro más alta.

Más precisamente, la invención tiene como objetivo un lidar impulsado que comprende:

- un laser principal apto para generar un haz de laser principal,
- un generador de impulsos dispuesto para generar la señal de bombeo,
- 45 • un amplificador óptico dispuesto para amplificar el haz de laser principal en función de la señal de bombeo, formando el haz de laser amplificado un haz de laser de medida apto para iluminar un volumen de medida,
- un captador dispuesto para recibir el haz de laser de medida retrodifundido por el volumen de medida, denominado haz de laser de retorno, y generar una señal de medida que comprende una información representativa de una característica del haz de laser de retorno, y
- 50 • una unidad de tratamiento dispuesta para determinar la característica del haz de laser de retorno,

estando el lidar impulsado caracterizado por que el laser principal es continuo o casi continuo, el amplificador óptico es un amplificador óptico con semiconductor, y por que la señal de bombeo se determina de modo que el amplificador óptico con semiconductor genera un haz de laser de medida de impulsos.

El lidar impulsado según la invención tiene también como característica principal acoplar la función de modulación de intensidad del haz de laser principal y la función de amplificación de este haz de laser en un mismo componente, o sea el amplificador óptico con semiconductor.

5 Según una primera variante de realización, el amplificador óptico con semiconductor es un amplificador óptico con semiconductor con sección rectangular, o "ridge semiconductor optical amplifier" en inglés. Según una segunda variante de realización, el amplificador óptico con semiconductor es un amplificador óptico con semiconductor cónico. Este tipo de amplificador óptico es también calificado como ensanchado, o en forma de embudo. Es más conocido por la denominación anglosajona "tapered semiconductor optical amplifier". Hay que tener en cuenta que la tasa de extinción óptica de un amplificador con semiconductor puede alcanzar los 70 dB, lo que reduce en gran medida la amplificación de señal residual entre los impulsos. Además, los tiempos de subida/descenso de un amplificador con semiconductor son inferiores a un nanosegundo, lo que implica una mejora de la resolución espacial del instrumento, y una reducción de su zona ciega.

10 El laser principal puede ser un laser con semiconductor o un laser de fibra. En el caso en el que el laser principal sea un laser con semiconductor, puede estar formado con el amplificador óptico con semiconductor sobre un mismo sustrato semiconductor. La pareja formada por el laser principal y el amplificador óptico tiene así un tamaño y un coste reducidos.

15 El laser principal puede ser un laser continuo, o un laser "continuous wave (CW)" en inglés, o casi continuo. En el caso de un laser casi continuo el lidar está entonces dispuesto para que los intervalos de tiempo en los que el amplificador óptico es bombeado estén contenidos en los intervalos de tiempo en los que el laser principal emite el haz de laser principal.

20 Según una forma particular de realización el lidar comprende además unos medios para gobernar independientemente el laser principal y el amplificador óptico con semiconductor. Por órdenes independientes se entienden unas instrucciones diferenciadas para el laser principal y para el amplificador óptico. En particular, los períodos en los que el laser principal emite el haz de laser pueden diferir de aquéllos en los que el haz de laser está amplificado. A título de ejemplo, el laser principal puede ser pilotado por una señal continua mientras que el amplificador óptico es pilotado por una señal modulada en el tiempo.

25 Según una primera forma de realización, el generador de impulsos está dispuesto para generar una corriente eléctrica de bombeo. Esta corriente eléctrica puede ser aplicada a un componente de un material semiconductor del amplificador óptico.

30 Según una segunda forma de realización, el generador de impulsos está dispuesto para generar una señal óptica de bombeo. Esta señal óptica es por ejemplo un haz de laser de bombeo. La longitud de onda del haz de laser de bombeo, o su frecuencia, se determina en función de las propiedades optoelectrónicas del amplificador óptico con semiconductor. La longitud de onda del haz de laser de bombeo corresponde a la frecuencia de absorción del amplificador óptico con semiconductor.

35 La señal de bombeo puede determinarse para obtener cualquier forma temporal deseada del haz de laser de medida. El generador de impulsos puede por ejemplo estar dispuesto para que el amplificador óptico con semiconductor genere un haz de laser de medida de forma temporal cuadrada, triangular, o gaussiana. La frecuencia y la forma de los impulsos pueden ser variables en el tiempo ya que no dependen más que de la orden del generador de impulsos. Hay que tener en cuenta que un amplificador óptico con semiconductor tiene un tiempo de respuesta relativamente bajo, por ejemplo del orden de un nanosegundo, en comparación con la duración de los impulsos, por ejemplo del orden de una centena de nanosegundos. En consecuencia, la forma temporal del haz de laser de medida puede ser sensiblemente idéntica a la de la señal de bombeo, próxima al factor de amplificación. Dicho de otro modo, la amplitud del haz de laser de medida puede seguir en el tiempo la amplitud de la señal de bombeo, próxima al factor de amplificación y próxima a una eventual demora. Otra ventaja de la utilización de un amplificador óptico con semiconductor es que es posible aplicar un desfase de frecuencia óptica en el impulso con respecto al haz de referencia. Este desfase de frecuencia puede por ejemplo proceder directamente de una orden en la corriente aplicada al amplificador con semiconductor.

40 Según una forma particular de realización, el lidar comprende además unos medios para generar un haz de laser de referencia correlacionado con el haz de laser principal, y para dirigir el haz de laser de referencia hacia el captador. El haz de laser de referencia puede especialmente estar correlacionado en frecuencia al haz de laser principal. El lidar se denomina entonces "lidar coherente". La señal de medida generada por el captador comprende entonces una información representativa de una diferencia de característica entre el haz de laser de referencia y el haz de laser de retorno. A título de ejemplo, esta información puede resultar del efecto Doppler. La señal de medida incluye entonces una información representativa de una diferencia de frecuencia entre el haz de laser de retorno y el haz de laser de referencia. Esta diferencia de frecuencia es representativa de la velocidad radial de las partículas.

45 Según una primera variante de realización, los medios para generar el haz de laser de referencia comprenden un separador de haz dispuesto en el camino óptico entre el laser principal y el amplificador óptico con semiconductor, de modo que el haz de laser de referencia esté formado por una parte de la radiación del haz de laser principal. Más

generalmente, el separador de haz puede estar dispuesto en cualquier punto de una vía de medida del lidar, es decir aguas abajo del laser principal.

5 Según una segunda variante de realización, el laser principal comprende un medio de ganancia dispuesto de modo que el haz de laser principal sea extraído por una primera cara del medio de ganancia, y el haz de laser de referencia sea extraído por una segunda cara del medio de ganancia. La segunda cara del medio de ganancia puede especialmente estar revestida por un revestimiento parcialmente reflectante que deje pasar una parte de la radiación de laser generada en el medio de ganancia.

10 Según una tercera variante de realización, el lidar comprende una segunda fuente de laser además del laser principal. La segunda fuente de laser puede generar un haz de laser de referencia con una frecuencia sensiblemente idéntica a la del haz de laser principal para que los dos haces sean coherentes. La frecuencia (longitud de onda) del haz de laser principal y la del haz de laser de referencia preferiblemente son constantes.

15 Según una forma particular de realización, el lidar comprende unos medios para limitar las reflexiones parásitas del haz de laser hacia el laser principal. El lidar puede especialmente tener un preamplificador con semiconductor pilotado por una señal de mando de manera que tome bien un estado denominado de paso en el cual amplifique o que deje pasar el haz de laser principal sin amplificación en una cierta zona de longitudes de onda, bien un estado denominado de bloqueo en el que atenúe la amplitud del haz de laser que lo atraviesa. La señal de mando que pilota el preamplificador puede ser la señal de bombeo producida por el generador de impulsos, o cualquier otra señal. El preamplificador con semiconductor es por ejemplo de sección rectangular. Está preferiblemente formado sobre el mismo sustrato que el laser principal y/o el amplificador óptico.

20 Más particularmente, el preamplificador óptico con semiconductor puede estar situado entre el laser principal y el amplificador óptico con semiconductor. Puede recibir, como el amplificador óptico, la señal de bombeo a fin de amplificar el haz de laser principal en función de esta señal de bombeo. Las fases de amplificación por el preamplificador y el amplificador ópticos están así perfectamente sincronizadas.

25 Las reflexiones parásitas hacia el laser principal pueden también ser limitadas previendo unas superficies ópticas no estrictamente paralelas entre los diferentes componentes. Ciertas superficies tienen por ejemplo un ángulo comprendido entre 0,5 y 3 grados. El no paralelismo puede especialmente ser realizado por un corte del sustrato semiconductor al nivel de la cara de salida del amplificador óptico. Estas reflexiones pueden también ser limitadas utilizando un amplificador óptico con semiconductor cuyo eje óptico forma un ángulo no nulo con el eje óptico del laser principal.

30 El generador de impulsos puede ser dispuesto para modificar una propiedad de la señal de bombeo a fin de modificar la frecuencia del haz de laser de medida generado por el amplificador óptico con semiconductor y/o la frecuencia del haz de laser principal preamplificado por el preamplificador óptico. Un desfase de frecuencia puede así obtenerse entre el haz de laser de medida y el haz de laser de referencia. Cuando el generador de impulsos produce una corriente eléctrica es posible modificar una intensidad de esta corriente eléctrica para modificar la frecuencia del haz de laser que atraviesa el preamplificador óptico o el amplificador óptico con semiconductor.

35 La invención tiene también como objetivo un generador eólico que comprende unas palas, unos medios para orientar las palas, y un lidar coherente impulsado tal como se ha descrito anteriormente. Según la invención, los medios para orientar las palas están dispuestos para orientar las palas en función de la característica del haz de laser de retorno determinada por la unidad de tratamiento. En particular, la orientación de las palas puede ser determinada en función de una velocidad y de una dirección del viento.

40 La invención tiene también como objetivo un barco de vela que comprende unos medios para ajustar una superficie de vela, y un lidar coherente impulsado tal como se ha descrito anteriormente. Según la invención, los medios para ajustar la superficie de vela están dispuestos para ajustar la superficie de vela en función de la característica del haz de laser de retorno determinada por la unidad de tratamiento.

45 **Descripción de las figuras**

Otras ventajas y particularidades de la invención aparecerán por la lectura de la descripción detallada de las puestas en práctica y los modos de realización no limitativos con respecto a los dibujos anejos, en los cuales:

- la figura 1 representa un primer ejemplo de realización de un lidar coherente impulsado según la invención;
- las figuras 2A, 2B, 2C representan en forma de gráficos unos ejemplos de espectros en frecuencia de una señal de medida que corresponde a diferentes distancias de medida;
- la figura 3 representa en la forma de un gráfico un ejemplo de resultados de las velocidades radiales del viento obtenidos por un lidar coherente impulsado según la invención;
- la figura 4 representa un segundo ejemplo de realización de un lidar coherente impulsado según la invención, que comprende un elemento de desfase de frecuencia pilotado de forma continua;

- la figura 5 representa un tercer ejemplo de realización de un lidar coherente impulsado según la invención, en el que un laser principal comprende un medio de ganancia cuya primera cara produce un haz de laser principal y una segunda cara produce un haz de laser de referencia;
- 5 – la figura 6 representa un cuarto ejemplo de realización de un lidar coherente impulsado según la invención, en el cual el captador óptico está dispuesto de modo que reciba a la vez el haz de laser de referencia y el haz de laser de retorno a través de una segunda cara del medio de ganancia del laser principal;
- la figura 7 representa un quinto ejemplo de realización de un lidar coherente impulsado según la invención, que comprende una pluralidad de amplificadores ópticos con semiconductor;
- 10 – la figura 8 representa un sexto ejemplo de realización de un lidar coherente impulsado según la invención, que comprende una pluralidad de lasers principales;
- la figura 9 ilustra la aplicación de un desfase de frecuencia entre un haz de laser de medida y el haz de laser de referencia por la orden de una corriente eléctrica aplicada a un amplificador óptico con semiconductor;
- la figura 10 representa una parte de un ejemplo de lidar impulsado según la invención que comprende un preamplificador situado entre un laser principal y un amplificador óptico.

15 **Descripción de los modos de realización**

A partir de los modos de realización descritos a continuación, que no son limitativos, se podrá especialmente considerar unas variantes de la invención que no comprenden más que una selección de las características descritas, después aisladas de las otras características descritas (incluso si esta selección está aislada en el seno de una frase que comprende estas otras características), si esta selección de características es suficiente para conferir una ventaja técnica o para diferenciar la invención con respecto al estado de la técnica anterior. Esta selección comprende al menos una característica, preferiblemente funcional sin detalles estructurales, o solamente con una parte de los detalles estructurales si esta parte únicamente es suficiente para conferir una ventaja técnica o para diferenciar la invención con respecto al estado de la técnica anterior.

La figura 1 representa un primer ejemplo de realización de un lidar coherente impulsado según la invención. El lidar 10 comprende un laser principal 11, un separador de haz 12, un amplificador óptico con semiconductor 13, un generador de impulsos eléctricos u ópticos 14, un circulador 15, un telescopio 16, un combinador de haces 17, un captador óptico 18, y una unidad de tratamiento 19. El laser principal 11 es un laser continuo. Genera un haz de laser principal F_m en la dirección del separador de haz 12. El haz de laser F_m es por ejemplo emitido en la banda de frecuencias infrarroja, por ejemplo en la frecuencia central de 1.550 nanómetros (nm), o sea una frecuencia de aproximadamente 193,5 THz. En esta banda de frecuencias la radiación laser es relativamente poco absorbida por la atmósfera, y los lasers son producidos con unos componentes de un coste relativamente bajo. El haz de laser principal F_m es llamado monofrecuencia. Tiene por ejemplo una anchura de línea de laser inferior o igual a 5 MHz, y una potencia media del orden de algunas decenas de miliwatios. El laser principal 11 puede ser un laser con semiconductor o un laser de fibra. El laser con semiconductor es por ejemplo un diodo de laser. Más precisamente, puede llevar un diodo de laser con una cavidad vertical que emite por la superficie o “vertical cavity surface-emitting laser” (VCSEL) en inglés, o un laser con una cavidad externa que emite por la superficie o “vertical external cavity surface-emitting laser” (VECSEL) en inglés. Este diodo de laser puede ser bombeado de manera óptica o eléctrica. El laser con semiconductor puede también ser un laser de retroalimentación repartido o “Distributed Feedback Laser” (DFB) en inglés, un reflector de Bragg distribuido o “Distributed Bragg Reflector” (DBR) en inglés, o un laser con diodo con cavidad extendida o “Extended Cavity Diode Laser” en inglés.

El separador de haz 12 permite formar una vía de medida y una vía de referencia. Separa el haz de laser principal F_m en un haz de laser de referencia F_{ref} y un haz de laser para amplificar F_{ta} . El separador de haz 12 está aquí representado como siendo un cubo separador. Puede no obstante tratarse de cualquier elemento óptico apto para dividir un haz de laser en dos haces de laser distintos. El haz de laser de referencia F_{ref} está dirigido hacia el combinador de haces 17, y el haz de laser para amplificar F_{ta} está dirigido hacia el amplificador óptico con semiconductor 13.

El amplificador óptico con semiconductor 13 amplifica la potencia del haz de laser para amplificar F_{ta} conservando sus propiedades espectrales, en particular su polarización, su longitud de onda y su forma transversal. Se denomina haz de laser amplificado F_{amp} el haz de laser de salida del amplificador óptico 13. La ganancia del amplificador óptico 13 puede estar comprendida entre 10 dB y 30 dB. El amplificador óptico 13 tiene por ejemplo una anchura de banda de amplificación de 85 nm centrada alrededor de la longitud del haz de laser principal F_m , o sea 1.550 nm. El amplificador óptico 13 forma con el laser principal 11 un amplificador de potencia con oscilador principal, o “Master Oscillator Power Amplifier” (MOPA) en inglés, correspondiendo el laser principal 11 a un oscilador local u oscilador principal. Según una particularidad de la invención, el amplificador óptico 13 es bombeado por una señal de bombeo de impulsiones S_p producida por el generador de impulsos 14, de modo que el haz de laser amplificado F_{amp} de salida del amplificador óptico 13 tenga también la forma de una señal de impulsos. La señal de bombeo S_p es por ejemplo una señal cuadrada. El haz de laser amplificado tiene entonces un estado bajo para el cual la potencia óptica es sensiblemente nula, y un estado alto para el cual la potencia óptica es no nula. Para el estado alto es por

ejemplo sensiblemente igual a 1 Watio. La duración temporal de cada impulso, dicho de otra manera la duración en el estado alto para una señal cuadrada, está por ejemplo comprendida entre aproximadamente 100 ns y 400 ns. Esta duración puede ser ajustada en función de la resolución deseada. Con respecto a un amplificador óptico de fibra en el que el tiempo de vida de los portadores de carga es del orden de algunos microsegundos, un amplificador óptico con semiconductor tiene la ventaja de poder generar unos impulsos con una mayor frecuencia de repetición, siendo el tiempo de vida de los portadores del orden del nanosegundo. La frecuencia de repetición de los impulsos puede por ejemplo ser del orden de varios megahertzios. La determinación de una característica de la atmósfera a una distancia dada puede entonces resultar de una pluralidad de impulsos ópticos, compensando su poca energía la frecuencia de repetición de los impulsos relativamente elevada.

Según una primera variante de realización, la señal de bombeo S_p es una corriente eléctrica, denominada corriente de inyección, aplicada al componente de material semiconductor del amplificador óptico 13. El generador de impulsos 14 es entonces un generador de corriente. Según una segunda variante de realización, la señal de bombeo S_p es una señal óptica, por ejemplo un haz de laser. El generador de impulsos 14 es entonces un laser que produce un haz de laser con una longitud de onda apta para bombear el amplificador óptico 13. El amplificador óptico 13 puede ser un amplificador óptico con semiconductor en forma de embudo o con sección rectangular. Estos tipos de amplificadores ópticos son más conocidos por sus denominaciones anglosajonas "tapered semiconductor optical amplifier" y "ridge semiconductor optical amplifier". El amplificador óptico con semiconductor 13 tiene como ventaja tener un tiempo de respuesta muy corto, del orden de algunos nanosegundos. El tiempo de respuesta para pasar de un estado activo, en el que el haz principal F_m está amplificado, a un estado pasivo, en el que el haz F_m está absorbido, puede ser inferior o igual a 4 ns. De igual modo, el tiempo de respuesta para el paso del estado pasivo al estado activo puede ser inferior o igual a 4 ns. El amplificador óptico 13 es entonces preferiblemente bombeado/alimentado por un generador de impulsos que tiene un tiempo de respuesta análogo o inferior con el fin de obtener un haz de laser amplificado F_{amp} de forma óptima.

El haz de laser amplificado F_{amp} es dirigido hacia una primera entrada/salida del circulador 15 y vuelve a salir en una segunda entrada/salida para dirigirse hacia el telescopio 16 a fin de ser focalizado o colimado. El circulador puede ser sustituido por un separador de haz por polarización, o "polarization beamsplitter" (PBS) en inglés. El telescopio 16 consta por ejemplo de una lente de focalización de un grupo de lentes. El haz de laser salido del telescopio 16 es denominado haz de laser de medida F_{mes} . Es focalizado por ejemplo a una distancia del orden de algunas centenas de metros.

El haz de laser de medida F_{mes} , cuando alcanza un objetivo tal como una partícula, es en parte reflejado hacia el lidar. Esta parte reflejada, denominada haz de laser de retorno F_{ret} , pasa de nuevo por el telescopio 16, entra en el circulador 15 por la segunda entrada-salida y vuelve a salir por una tercera entrada-salida para ser dirigida hacia el combinador de haces 17. En este ejemplo de realización en el que el haz de laser de retorno F_{ret} pasa por el mismo telescopio que el haz de laser de medida F_{mes} , se habla de sistema monostático. Alternativamente, el haz de laser de retorno F_{ret} podría ser captado por un telescopio diferente del telescopio utilizado por el haz de laser de medida. Se habla entonces de sistema biestático.

El combinador de haces 17 tiene como función mezclar el haz de laser de retorno F_{ret} con el haz de laser de referencia F_{ref} , a fin de realizar una medida coherente por interferometría. De una manera muy conocida por el experto en la materia, la diferencia de frecuencia entre el haz de laser de referencia F_{ref} y el haz de laser de retorno F_{ret} , denominada desfase Doppler, permite determinar la velocidad radial del objetivo según el eje del haz de laser de medida F_{mes} . Hay que tener en cuenta en este ejemplo de realización que la disposición del separador de haz 12 aguas arriba del amplificador óptico 13 tiene como efecto generar un haz de laser de referencia continuo o casi continuo, lo que facilita la comparación con el haz de laser de retorno F_{ret} .

El haz de laser de retorno F_{ret} y el haz de laser de referencia F_{ref} son recibidos por el captador óptico 18, el cual transforma la señal óptica resultante en una señal eléctrica representativa de la suma de los haces de laseres de retorno F_{ret} y de referencia F_{ref} . Esta señal eléctrica es denominada señal de medida S_{mes} . El captador óptico 18 es por ejemplo un fotodiodo.

La unidad de tratamiento 19 está dispuesta para recibir la señal de medida S_{mes} , y para extraer una característica de la atmósfera. En particular, la unidad de tratamiento 19 puede determinar el desfase Doppler experimentado por el haz de laser de medida F_{mes} , y de ahí deducir la velocidad radial de las partículas en la atmósfera. Hay que tener en cuenta que un mismo impulso del haz de laser de medida F_{mes} puede ser reflejado sobre partículas diferentes que se encuentren a distancias diferentes del lidar 10. De este modo y según una forma particular de realización, la señal de medida S_{mes} es muestreada, transformada en el campo de frecuencia de Fourier y después discretizada en varias casillas de distancia. A título de ejemplo, la frecuencia de muestreo puede ser igual a 250 MHz. Esta frecuencia de muestreo permite obtener aproximadamente una cincuentena de puntos para cada casilla de distancia. Para una duración del impulso de 200 nanosegundos, la resolución espacial de una casilla de distancia es de 30 metros aproximadamente. A partir del espectro de frecuencias la velocidad radial de las partículas puede por tanto ser determinada para una casilla de distancia dada y para un impulso dado del haz de laser de medida F_{mes} . La unidad de tratamiento 19 puede ser dispuesta para determinar una característica media de la atmósfera a una o varias distancias dadas simultáneamente a partir de varios impulsos del haz de laser de medida F_{mes} .

Según una forma particular de realización, los parámetros del lidar 10 se ajustan en función de una característica de la atmósfera determinada por la unidad de tratamiento 19. En particular, el laser principal y el amplificador pueden ser ajustados en función de la energía por impulso del haz de laser de retorno F_{ret} . Estos ajustes pueden afectar a la frecuencia, a la potencia y/o a la forma de la señal de bombeo S_p , a fin de modificar la tasa de repetición de los impulsos, su energía o su duración.

Las figuras 2A, 2B y 2C representan en forma de gráficos unos ejemplos de espectros en frecuencia determinados por impulsos del haz de laser de retorno correspondiente a distancias de medida diferentes. En este caso, el gráfico de la Figura 2A representa el espectro de la señal de medida S_{mes} para la casilla de distancia de 50 m. Los gráficos de las Figuras 2B y 2C representan el espectro de la señal de medida S_{mes} para las casillas de distancia de 130 m y 290 m respectivamente. En cada gráfico el eje de abscisas representa una frecuencia en MHz y el eje de ordenadas representa la amplitud normalizada de los puntos muestreados de la señal de medida S_{mes} para la casilla de distancia considerada. La frecuencia es aquí el desfase de frecuencia entre el haz de laser de medida F_{mes} y el haz de laser de retorno F_{ret} . Los gráficos proceden de un haz de laser de medida F_{mes} que tiene una tasa de repetición de 150 kHz y de una medida del haz de laser de retorno F_{ret} en una duración de integración de 10 s. A la distancia de 50 m el espectro de la señal S_{mes} tiene un pico de amplitud de aproximadamente 10,8 MHz, que corresponde a una velocidad radial del viento de aproximadamente 8,3 m/s. A distancias de 130 m y 290 m los espectros tienen un pico de amplitud de aproximadamente 12,5 MHz, lo que corresponde a una velocidad radial de aproximadamente 9,6 m/s. Hay que resaltar que la amplitud del pico a la distancia de 130 m es netamente superior a las de los picos a las distancias de 50 m y 290 m. Esto se explica por el hecho de que el haz de laser de medida está focalizado a una distancia relativamente próxima de 130 m.

La figura 3 representa en la forma de un gráfico un ejemplo de los resultados obtenidos por un lidar coherente impulsado según la invención. Más precisamente, el gráfico de la figura 3 representa la velocidad radial del viento para diferentes distancias comprendidas entre 50 m y 290 m. El eje de las abscisas representa la distancia de medida, aquí una altitud en metros, y el eje de las ordenadas representa una velocidad radial del viento en metros por segundo. La velocidad radial del viento se determina simultáneamente para cada distancia (o distancia de casilla) a partir del espectro establecido para uno o varios impulsos. Para cada impulso la velocidad radial puede ser determinada considerando la frecuencia del pico de amplitud, o una frecuencia media o mediana de las amplitudes superiores o iguales a un valor umbral, por ejemplo un umbral de señal sobre ruido.

La figura 4 representa un segundo ejemplo de realización de un lidar coherente impulsado según la invención. El lidar 40 comprende, como el lidar 10 de la Figura 1, un laser principal 11, un separador de haz 12, un amplificador óptico con semiconductor 13, un generador de impulsos 14, un circulador 15, un telescopio 16, un combinador de haces 17, un captador óptico 18, y una unidad de tratamiento 19. Con respecto al lidar 10 de la figura 1, el amplificador óptico 13 es representado como siendo un amplificador óptico cónico o en forma de embudo ("tapered optical amplifier"). No obstante, se podría utilizar cualquier amplificador óptico con semiconductor. El lidar 40 comprende además un elemento de desfase de frecuencia 41 dispuesto en la vía de medida. En este caso el elemento de desfase de frecuencia 41 está dispuesto entre la salida del amplificador óptico 13 y la primera entrada del circulador 15. Permite así crear un desfase de frecuencia (o desplazamiento de frecuencia) entre el haz de laser de medida F_{mes} y el haz de laser de referencia F_{ref} . Este desfase tiene como consecuencia generar un desfase de frecuencia no nulo entre el haz de laser de retorno F_{ret} y el haz de laser de referencia F_{ref} para una velocidad radial nula del objetivo. El tratamiento de la señal de medida S_{mes} puede entonces ser facilitado. Además, el desfase de frecuencia permite conocer el sentido de la velocidad radial del viento. El elemento de desfase de frecuencia 41 es preferiblemente un elemento óptico y puede ser pilotado de forma continua. Hay que tener en cuenta que este elemento puede estar situado en otra parte en la vía de medida, incluso estar situado en la vía de referencia en la medida en la que permite en todos los casos crear un desfase de frecuencia entre el haz de laser de retorno F_{ret} y el haz de laser de referencia F_{ref} . El desfase de frecuencia podría también ser generado al nivel del amplificador óptico 13 durante las fases de amplificación y de impulso. Puede especialmente ser generado por medio de la señal de bombeo S_p .

La figura 5 representa un tercer ejemplo de realización de un lidar coherente impulsado según la invención. En este ejemplo de realización el lidar 50 no comprende un separador de haz. El laser principal 11 genera el haz de laser principal F_m por extracción en una primera cara del medio de ganancia en la dirección del amplificador óptico 13, y el haz laser de referencia F_{ref} por extracción en una segunda cara del medio de ganancia, opuesta a la primera, en la dirección del combinador de haces 17. La segunda cara del medio de ganancia tiene un revestimiento parcialmente reflectante en la longitud de onda del haz de laser. En una tal configuración, en la que ningún elemento óptico está interpuesto entre el laser principal 11 y el amplificador óptico 13, es particularmente ventajoso utilizar un laser con semiconductor como el laser principal 11. El laser principal 11 y el amplificador óptico 13 pueden entonces estar formados sobre un mismo sustrato semiconductor 51. De este modo, el amplificador de potencia con oscilador principal (MOPA) puede tener la forma de un único componente optoelectrónico con el fin de disminuir los costes de fabricación y de integración del lidar.

La figura 6 representa un cuarto ejemplo de realización de un lidar coherente impulsado según la invención. En este ejemplo de realización el lidar 60 comprende un laser principal 11 y un amplificador óptico 13 formados sobre un único sustrato semiconductor 51. El captador óptico 18 está dispuesto de modo que reciba a la vez el haz de laser de referencia F_{ref} y el haz de laser de retorno F_{ret} a través de la segunda cara del laser principal 11. La presencia del

circulador 15 y del combinador de haces 17 puede ser evitada en la medida en la que el laser principal 11 y el amplificador óptico 13 son transparentes entre dos impulsos ópticos. El haz de laser de retorno F_{ret} puede así alcanzar el captador óptico 18. Este ejemplo de realización tiene la ventaja de tener un número muy reducido de componentes.

- 5 Las figuras 7 y 8 representan dos ejemplos de realización de lidars que permiten aumentar la energía por impulso del haz de laser de medida.

En el ejemplo de realización de la Figura 7 el lidar 70 comprende un único laser principal 11 y una pluralidad de amplificadores ópticos con semiconductor 13_1-13_N , en donde N es un entero natural superior o igual a dos. El haz de laser principal F_m está dividido en N subhaces, cada uno dirigido hacia uno de los amplificadores ópticos 13_1-13_N . Los subhaces amplificados son dirigidos hacia la primera entrada del circulador 15 en donde son mezclados para formar un único haz de medida F_{mes} . Los amplificadores ópticos 13_1-13_N pueden estar formados sobre un único sustrato semiconductor o sobre varios sustratos distintos. Pueden ser bombeados por un mismo generador de impulsos 14, o por generadores de impulsos distintos. Según una variante de realización, cada amplificador óptico 13_1-13_N está asociado a un laser principal distinto 11_1-11_N . Los laseres principales pueden generar unos haces de laseres teniendo sensiblemente la misma frecuencia. El o los laseres principales 13 pueden estar formados sobre el mismo sustrato semiconductor que los amplificadores ópticos 13_1-13_N .

En el ejemplo de realización de la figura 8 el lidar 80 comprende un único amplificador óptico 13, pero una pluralidad de laseres principales 11_1-11_N que generan unos haces de laseres principales F_m con frecuencias distintas. Los haces de laseres F_m son emitidos en periodos de tiempo distintos, de manera que no interfieren en el tiempo. Son dirigidos hacia el amplificador óptico 13 en donde son amplificados secuencialmente. De este modo, el amplificador óptico 13 puede generar un haz de laser de medida cuya potencia esté repartida en varias frecuencias. Según una primera variante de realización los N laseres principales 11_1-11_N son sustituidos por un único laser cuya frecuencia es modificable rápidamente por una orden. Según una segunda variante de realización, los N laseres principales 11_1-11_N son sustituidos por un único laser acoplado a un elemento de desfase de frecuencia. El laser puede emitir un haz de laser con una frecuencia única, que el elemento de desfase de frecuencia hace variar secuencialmente. El o los laseres principales 11 pueden estar formados sobre el mismo sustrato semiconductor que el amplificador óptico 13. Según una tercera variante de realización se utiliza un laser principal bifrecuencia. Se emite un primer haz de laser según una primera dirección y se utiliza como un haz de laser principal, y un segundo haz de laser se emite según una segunda dirección, y se utiliza como un haz de laser de referencia. Se observa generalmente un desfase de frecuencia entre los dos haces de laser. Este desfase de frecuencia predeterminado permite determinar el sentido de la velocidad radial del viento.

La figura 9 ilustra la posibilidad de aplicar un desfase de frecuencia entre el haz de laser de medida F_{mes} y el haz de laser de referencia F_{ref} por medio del amplificador con semiconductor 13. En particular representa en diferentes gráficos, correspondientes a corrientes eléctricas de bombeo de intensidades diferentes, la amplitud del espectro de una señal de medida S_{mes} en función de la frecuencia. El haz de laser de retorno F_{ret} es aquí retornado por un objetivo que evoluciona a una velocidad predeterminada con respecto al lidar. En cada gráfico el eje de las abscisas representa la frecuencia del espectro de la señal S_{mes} obtenido por la transformada de Fourier, y el eje de las ordenadas representa su amplitud. Los gráficos ponen en evidencia el hecho de que un aumento de la intensidad de la corriente aplicada al amplificador óptico con semiconductor produce una modificación de la frecuencia del haz de laser de medida F_{mes} . La función del desfase de frecuencia entre el haz de laser de medida F_{mes} y el haz de laser de referencia F_{ref} puede así ser realizada por la modificación de la intensidad de la corriente de la señal de bombeo S_p aplicada al amplificador óptico con semiconductor 13.

La figura 10 representa otro ejemplo de realización de un lidar impulsado según la invención. En esta figura sólo está representada la parte del lidar que asegura las funciones de formación y de amplificación del haz de medida. El lidar comprende un laser principal 11, un amplificador óptico con semiconductor 13, y un generador de impulsos 14. Además tiene un preamplificador 102 situado en la vía de medida del lidar, en este caso entre el laser principal 11 y el amplificador óptico 13. El preamplificador 102 es preferiblemente un amplificador óptico con semiconductor. Está entonces ventajosamente formado sobre el mismo sustrato semiconductor 101 que el laser principal 11 y el amplificador óptico 13. En el ejemplo de la figura 10 el preamplificador 102 es un amplificador óptico con semiconductor con sección rectangular. Podría sin embargo ser sustituido por un amplificador óptico ensanchado. El preamplificador 102 puede ser utilizado en régimen de impulsos o de forma continua. En el régimen de impulsos el preamplificador 102 es pilotado por una señal de mando a fin de poder tomar dos estados ópticos: un primer estado denominado de paso, en el que amplifica cualquier haz de laser en una cierta zona de longitudes de onda, y un segundo estado denominado de bloqueo en el que atenúa la amplitud del haz de laser que lo atraviesa. En este régimen el preamplificador 102 tiene como función amplificar el haz de laser principal y atenuar, incluso suprimir, las reflexiones parásitas hacia el laser principal 11.

Según una primera variante de realización, que corresponde a la figura 10, el preamplificador 102 es pilotado, como el preamplificador óptico 13, por la señal de bombeo S_p liberada por el generador de impulsos 14. Esta variante de realización permite limitar el número de componentes del lidar y facilitar la sincronización entre el preamplificador 102 y el amplificador óptico 13.

Según una segunda variante de realización, el amplificador óptico 13 es mandado de forma que amplifique el haz de laser F_m permanentemente, y la señal de bombeo de impulsos S_p se aplica únicamente al preamplificador 102, que también tiene la tarea de modulador de intensidad del haz de laser de medida F_{mes} .

5 Según una tercera variante de realización, solamente el amplificador óptico 13 es pilotado por la señal de bombeo S_p . El preamplificador 102 es pilotado por otra señal de mando, señalada como S_{p2} , dispuesto para dejar atravesar el haz de laser principal durante las fases en las que es amplificado por el amplificador óptico 13. La señal de mando S_{p2} forma entonces una señal de bombeo para este preamplificador 102. Puede tener una forma temporal y una amplitud sensiblemente idénticas a las de la señal de bombeo S_p . Sin embargo, su forma temporal y su amplitud pueden diferir de las de la señal de bombeo S_p . En particular, su amplitud puede ser inferior a la de la señal de bombeo S_p .
10

Hay que tener en cuenta que también se puede generar un desfase de frecuencia entre el haz de laser de referencia y el haz de laser de medida al nivel del preamplificador óptico 102 modificando por ejemplo la intensidad de la corriente de la señal de mando S_{p2} que se le aplica.

15 El ejemplo de realización del lidar de la Figura 10 y sus variantes de realización pueden ser combinadas con uno o varios otros ejemplos de realización. En particular, el lidar puede tener varios lasers principales y/o varios amplificadores ópticos, como en los ejemplos de las figuras 7 y 8.

20 La atenuación de las reflexiones parásitas dirigidas hacia el haz de laser principal puede, de manera alternativa, o además de la adición de un preamplificador óptico, ser realizada previendo unas superficies ópticas no estrictamente paralelas entre los diferentes componentes. Por ejemplo, la cara de salida del amplificador óptico 13 puede no ser paralela con la cara de salida del laser principal 11. Para esto, el sustrato semiconductor 101 puede ser cortado con un ángulo adaptado. El amplificador óptico 13 puede igualmente ser dispuesto de manera que su eje óptico forme un ángulo no nulo con el eje óptico del laser principal para atenuar las reflexiones parásitas.

25 La invención se refiere también a dispositivos equipados con un lidar tal como el descrito anteriormente. En particular, la invención se refiere a un generador eólico que comprende unas palas, unos medios para orientar las palas, y un lidar coherente impulsado según la invención. Los medios para orientar las palas están dispuestos para orientar las palas en función de la característica del haz de laser de retorno. La invención se refiere también a un barco de vela que comprende unos medios para ajustar una superficie de vela, y un lidar coherente impulsado según la invención. Los medios para ajustar la superficie de vela están dispuestos para ajustar la superficie de vela en función de la característica del haz de laser de retorno determinada por la unidad de tratamiento.

30 Naturalmente, la invención no está limitada a los ejemplos que acaban de ser descritos y numerosas modificaciones pueden ser aportadas a estos ejemplos sin salir del marco de la invención. En particular, en lugar de un único captador óptico, el lidar según la invención podría tener un primer captador óptico para el haz de laser de retorno, y un segundo captador óptico para el haz de laser de referencia. Además, las diferentes características, formas, variantes y modos de realización de la invención pueden estar asociadas los unos con los otros según diversas
35 combinaciones en la medida en la que no sean incompatibles o exclusivos los unos de los otros.

REIVINDICACIONES

1. Lidar impulsado que comprende:
 - un laser principal (11) apto para generar un haz de laser principal (F_m),
 - un generador de impulsos (14) dispuesto para generar la señal de bombeo (S_p),
- 5 • un amplificador óptico (13) dispuesto para amplificar el haz de laser principal (F_m) en función de la señal de bombeo (S_p), formando el haz de laser principal amplificado (F_{amp}) un haz de laser de medida (F_{mes}) apto para iluminar un volumen de medida,
- 10 • un captador (18) dispuesto para recibir una parte del haz de laser de medida retrodifundido por el volumen de medida, denominado haz de laser de retorno (F_{ret}), y generar una señal de medida (S_{mes}) que comprende una información representativa de una característica del haz de laser de retorno (F_{ret}), y
- 15 • una unidad de tratamiento (19) dispuesta para determinar la característica del haz de laser de retorno (F_{ret}),
 estando el lidar impulsado (10, 40, 50, 60, 70, 80) caracterizado por que el laser principal (11) es continuo o casi continuo, el amplificador óptico es un amplificador óptico con semiconductor (13), y por que la señal de bombeo (S_p) es determinada de modo que el amplificador óptico con semiconductor genere un haz de laser de medida (F_{mes}) de impulsos.
- 20 2. Lidar impulsado según la reivindicación 1, en el que el amplificador óptico con semiconductor (13) es un amplificador óptico con semiconductor con sección rectangular, o un amplificador óptico con semiconductor cónico o ensanchado.
- 20 3. Lidar impulsado según una de las reivindicaciones 1 y 2, en el que el laser principal (11) es un laser con semiconductor.
- 25 4. Lidar impulsado según la reivindicación 3, en el que el laser con semiconductor (11) y el amplificador óptico con semiconductor (13) están formados sobre un mismo sustrato (51) de material semiconductor.
- 25 5. Lidar impulsado según una de las reivindicaciones anteriores que comprende además unos medios para mandar independientemente el laser principal (11) y el amplificador óptico con semiconductor (13).
- 30 6. Lidar impulsado según una de las reivindicaciones anteriores, en el que el generador de impulsos (14) está dispuesto para generar una corriente eléctrica de bombeo.
- 30 7. Lidar impulsado según una de las reivindicaciones 1 a 5, en el que el generador de impulsos (14) está dispuesto para generar una señal óptica de bombeo.
- 35 8. Lidar impulsado según una de las reivindicaciones anteriores, en el que el generador de impulsos (14) está dispuesto de modo que el amplificador óptico con semiconductor (13) genere un haz de laser de medida cuadrado.
- 35 9. Lidar impulsado según una de las reivindicaciones anteriores que comprende además unos medios (12) para generar un haz de laser de referencia (F_{ref}) correlacionado con el haz de laser principal (F_m), y para dirigir el haz de laser de referencia hacia el captador (18), comprendiendo la señal de medida (S_{mes}) generada por el captador una información representativa de una diferencia de característica entre el haz de laser de referencia (F_{ref}) y el haz de laser de retorno (F_{ret}).
- 40 10. Lidar impulsado según la reivindicación 9, en el que los medios para generar el haz de laser de referencia comprenden un separador de haz (12) dispuesto en el camino óptico entre el laser principal (11) y el amplificador óptico con semiconductor (13), de modo que el haz de laser de referencia (F_{ref}) esté formado por una parte de la radiación del haz de laser principal (F_m).
- 40 11. Lidar impulsado según la reivindicación 9, en el que el laser principal (11) comprende un medio de ganancia dispuesto de modo que el haz de laser principal sea generado en una primera cara del medio de ganancia, y el haz de laser de referencia (F_{ref}) sea generado sobre una segunda cara del medio de ganancia.
- 45 12. Lidar impulsado según una de las anteriores reivindicaciones, en el que los parámetros del laser principal (11) se ajustan en función de la señal de medida (S_{mes}).
- 45 13. Lidar impulsado según una de las anteriores reivindicaciones, que comprende además un preamplificador óptico con semiconductor (102) situado entre el laser principal (11) y el amplificador óptico con semiconductor (13), recibiendo el preamplificador óptico (102) la señal de bombeo (S_p) para amplificar el haz de laser principal (F_m) en función de la señal de bombeo (S_p).
- 50 14. Lidar impulsado según una de las anteriores reivindicaciones, en el que el generador de impulsos (14) está dispuesto para poder modificar una propiedad de la señal de bombeo (S_p) para modificar la frecuencia del haz de

laser (F_{amp}) generado por el amplificador óptico con semiconductor (13) y/o por el preamplificador óptico con semiconductor (102).

- 5 15. Generador eólico que comprende unas palas, unos medios para orientar las palas, y un lidar impulsado (10, 40, 50, 60, 70, 80) según una de las reivindicaciones anteriores, estando los medios para orientar las palas dispuestos para orientar las palas en función de la característica del haz de laser de retorno (F_{ret}).

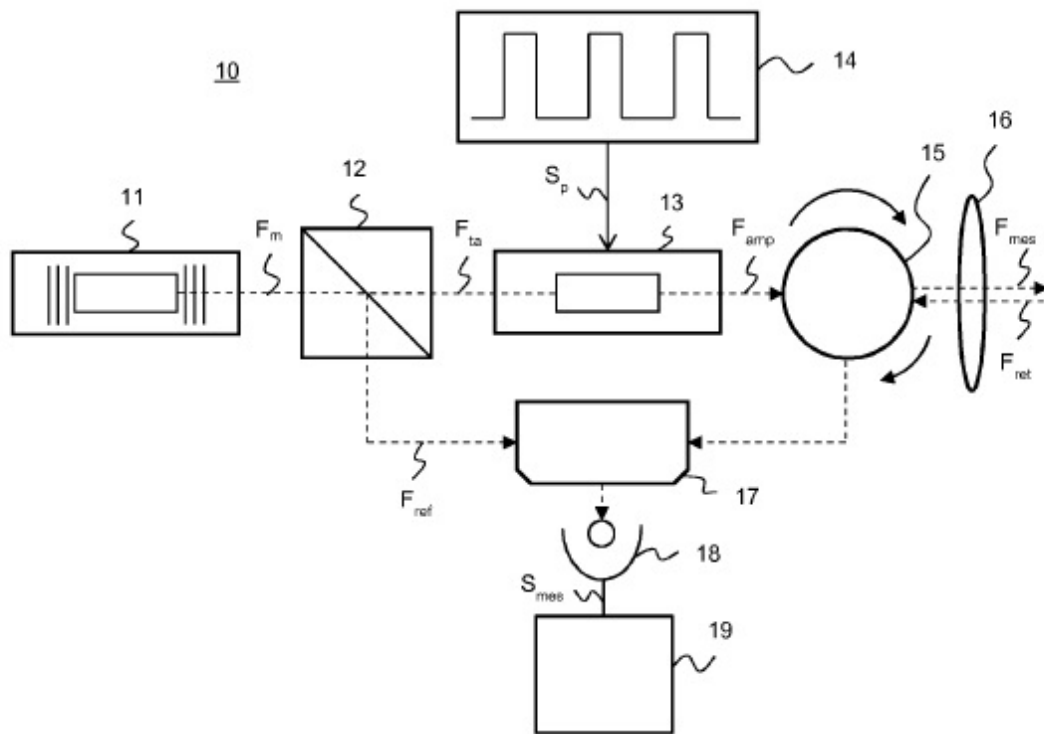


FIG. 1

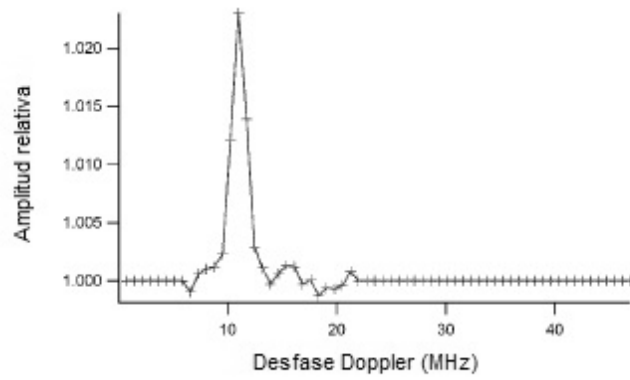


FIG. 2A

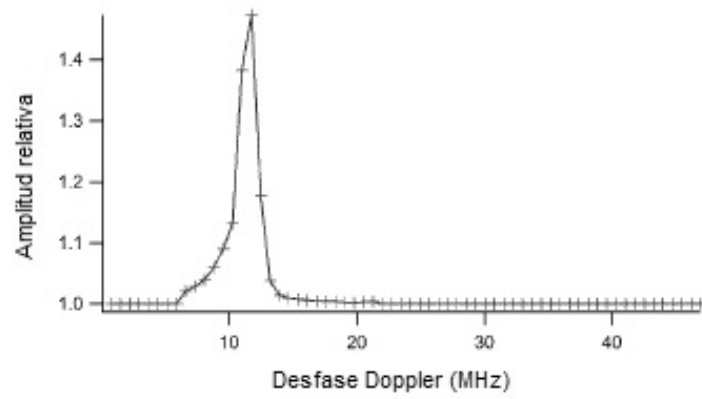


FIG. 2B

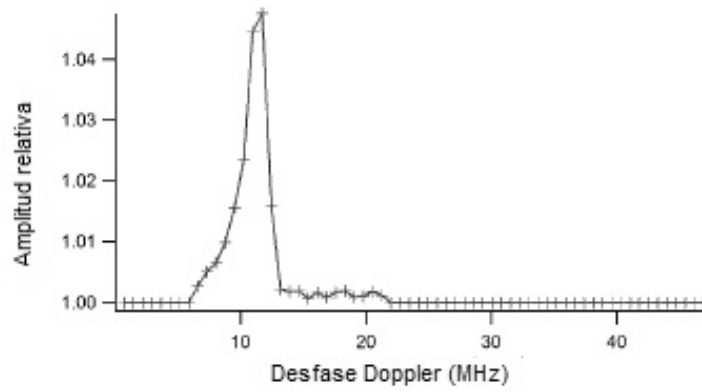


FIG. 2C

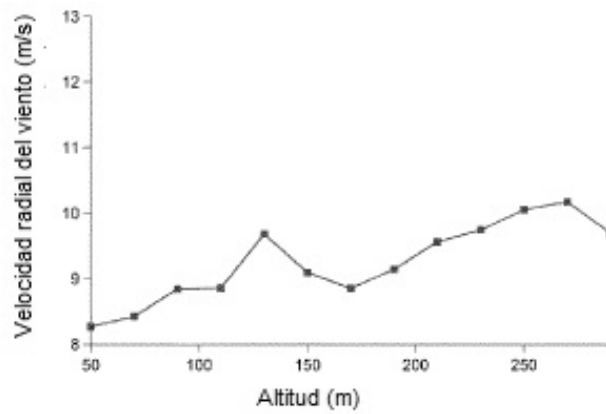


FIG. 3

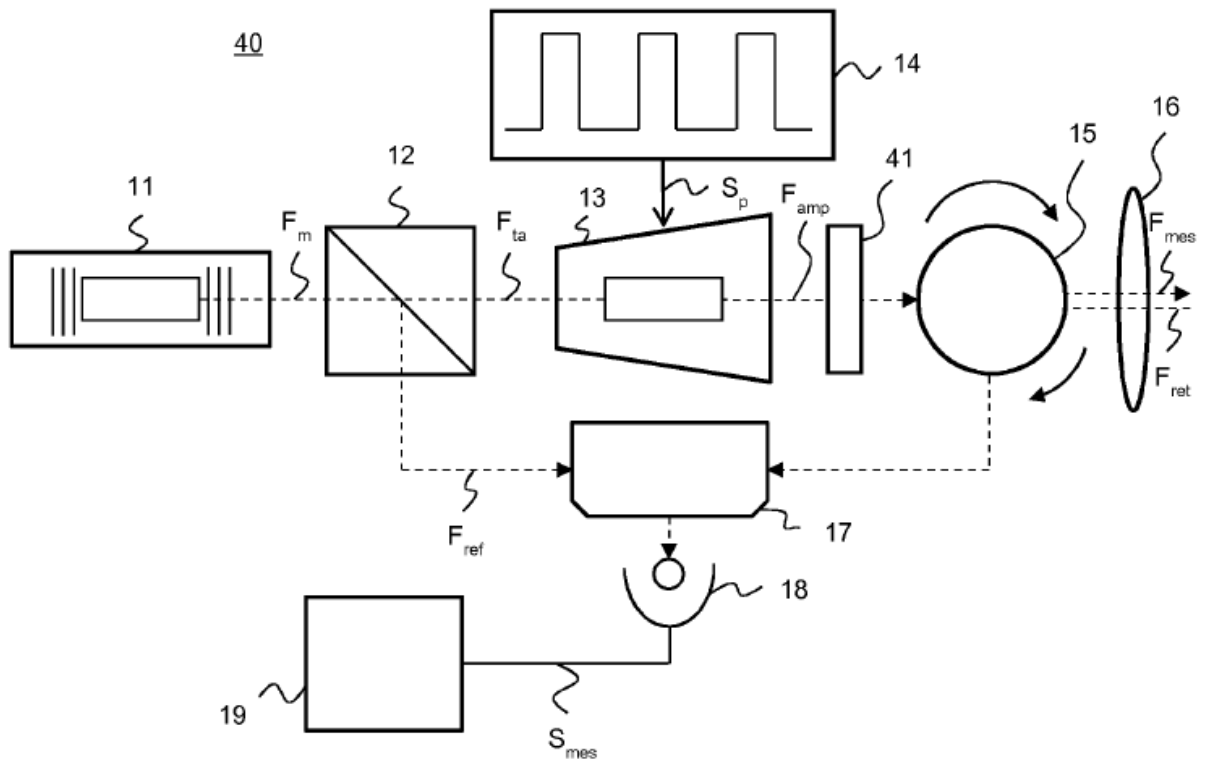


FIG. 4

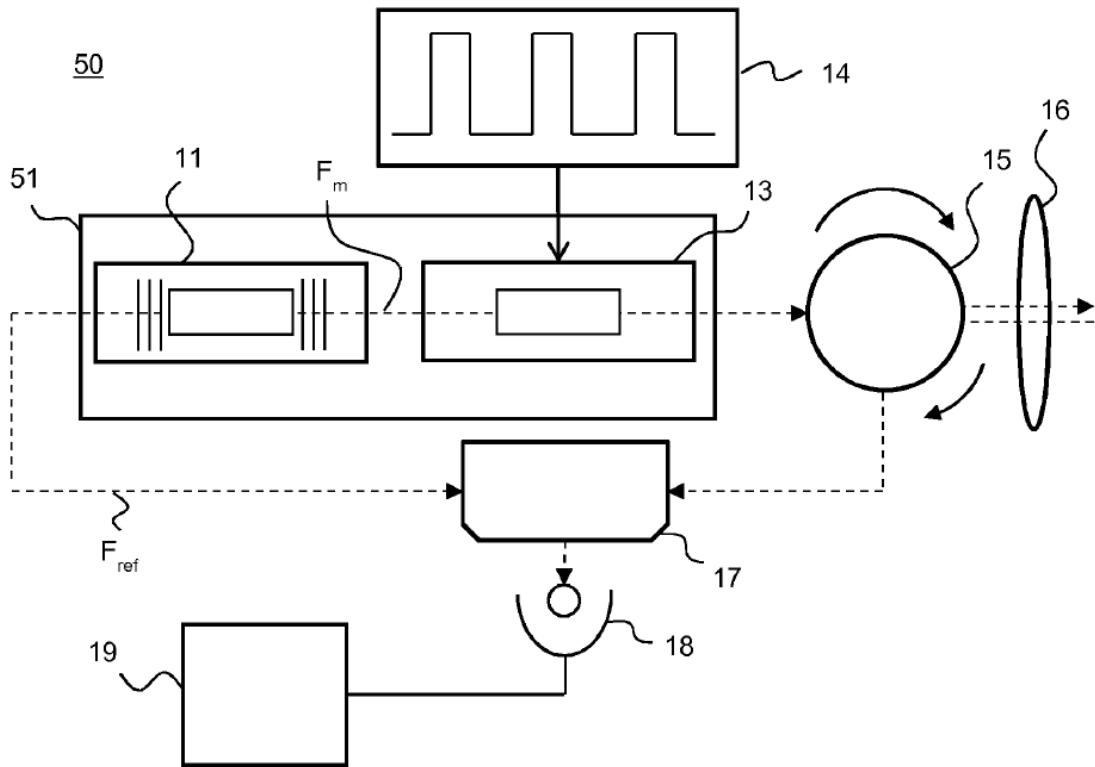


FIG. 5

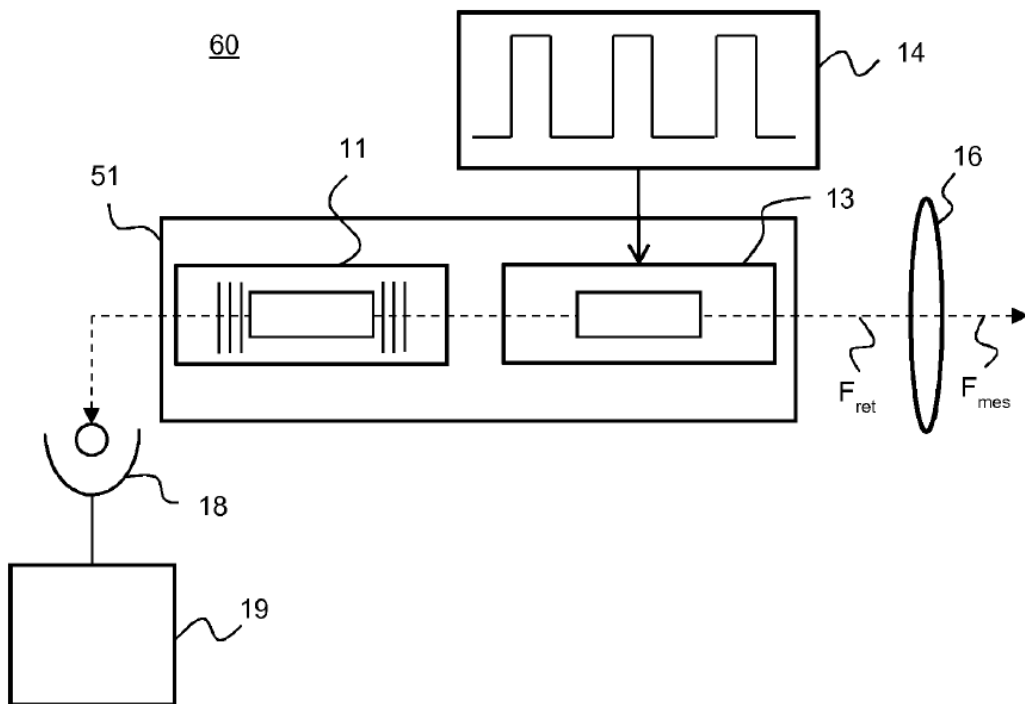


FIG. 6

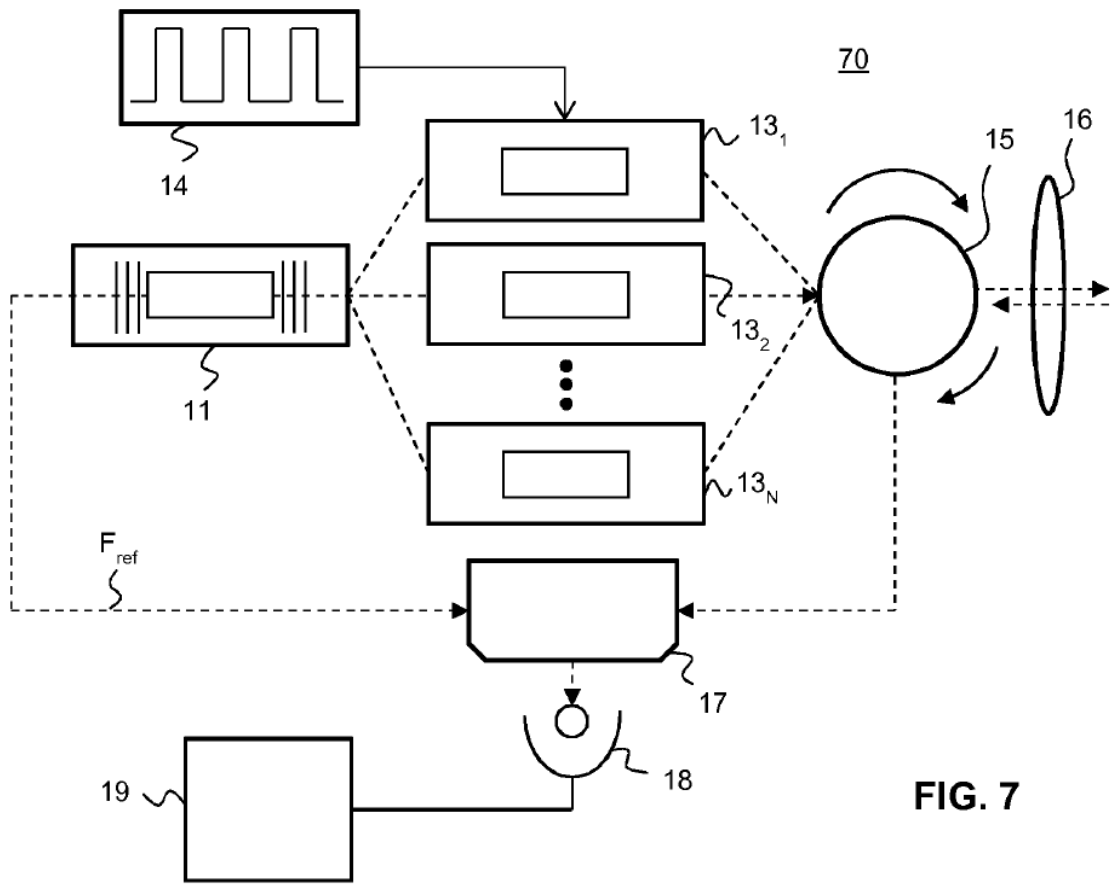


FIG. 7

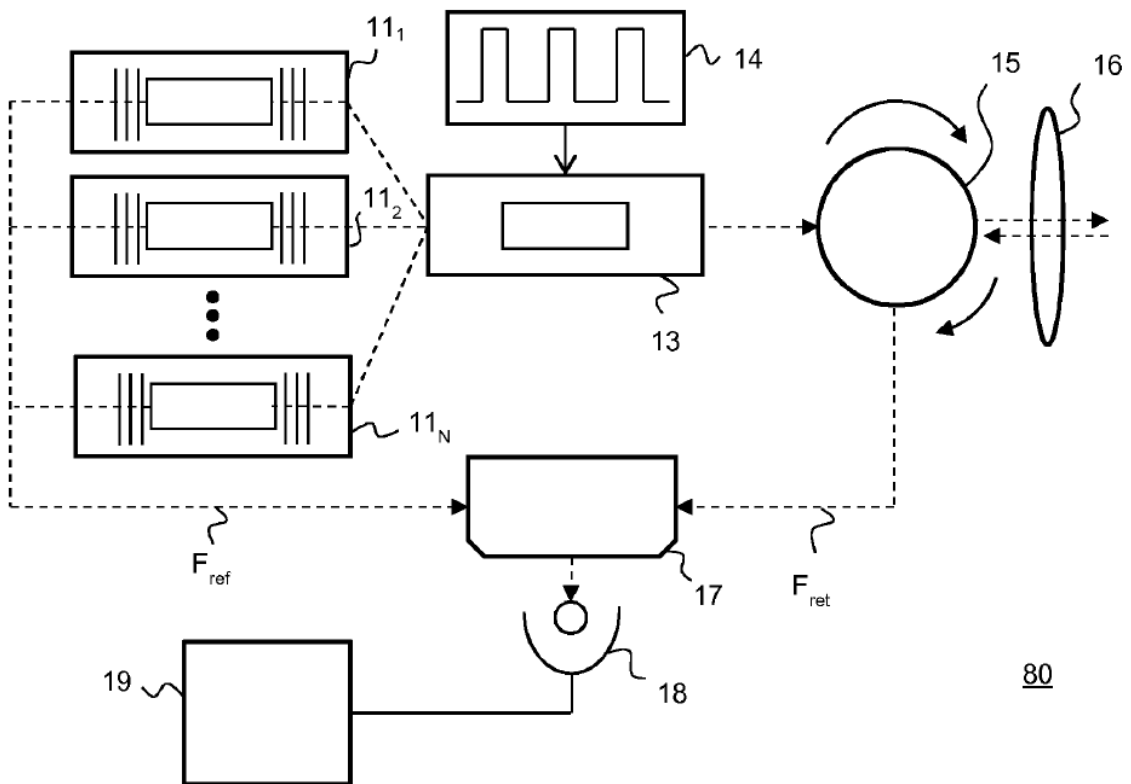
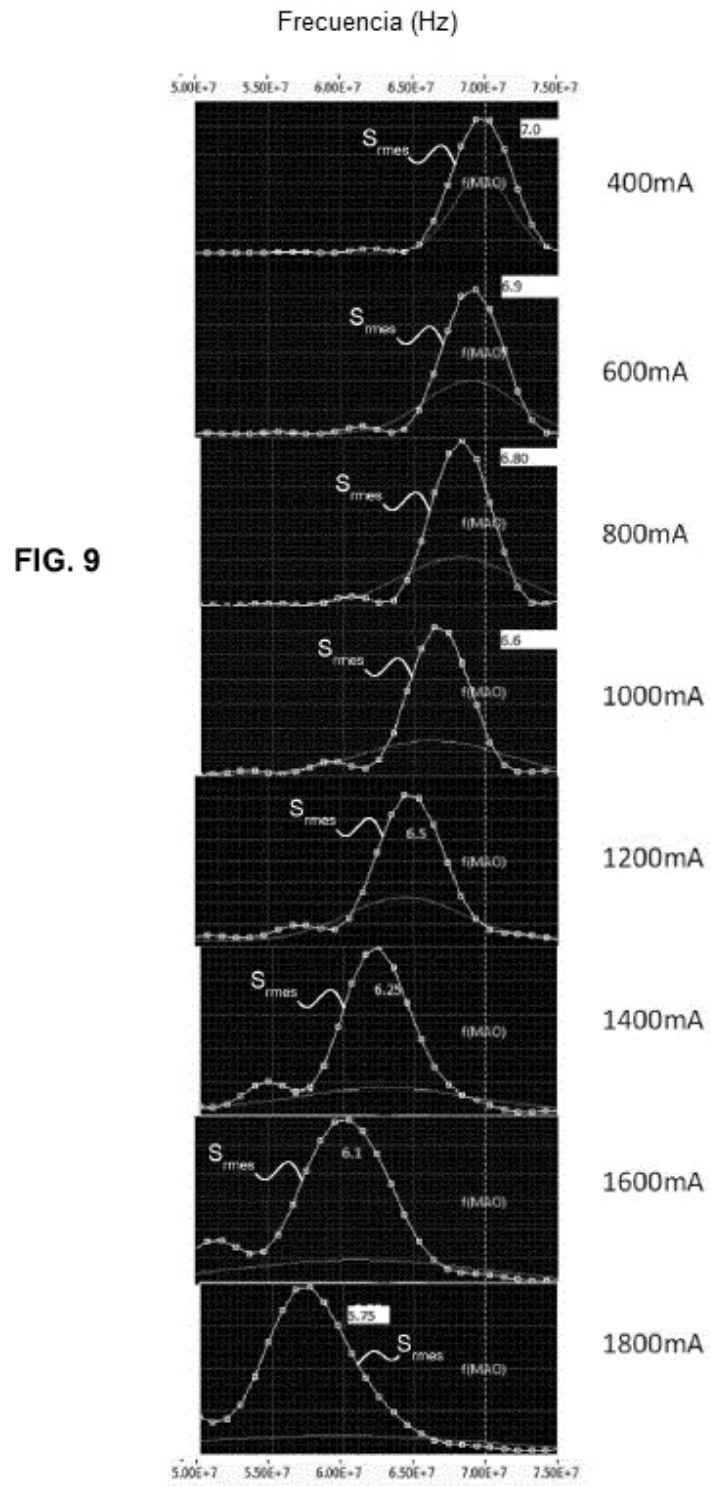


FIG. 8



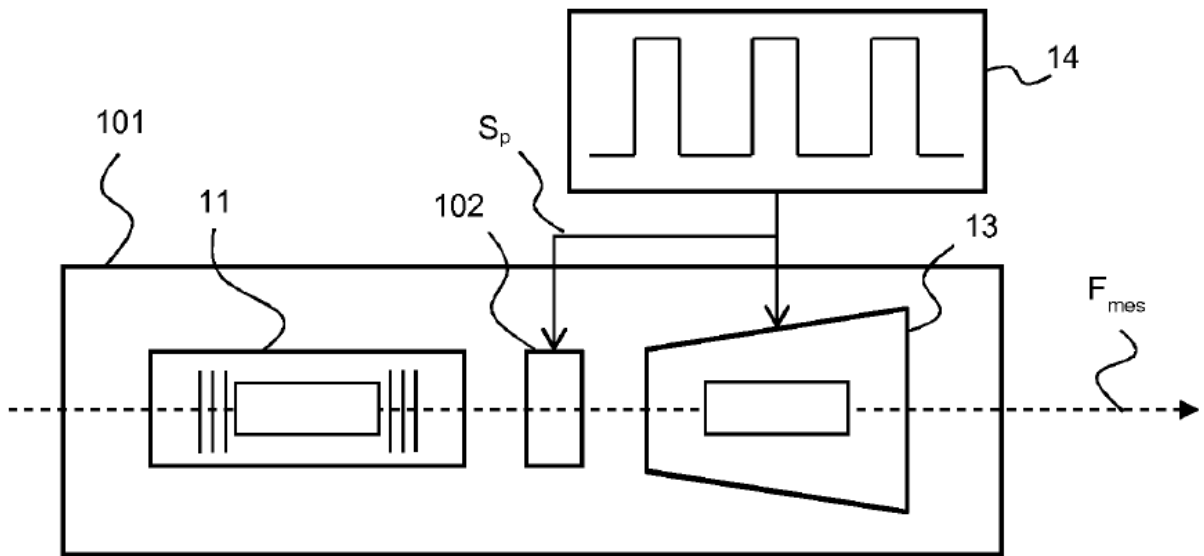


FIG. 10