

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 624 309**

51 Int. Cl.:

H01S 3/139 (2006.01)

G02B 26/00 (2006.01)

H01S 3/081 (2006.01)

H01S 3/105 (2006.01)

H01S 3/106 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **22.05.2013 PCT/GB2013/051350**

87 Fecha y número de publicación internacional: **05.12.2013 WO13178995**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **22.05.2013 E 13731847 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **15.03.2017 EP 2862248**

54 Título: **Método y aparato para sincronizar y realizar barridos de la frecuencia de salida de una cavidad láser**

30 Prioridad:

01.06.2012 GB 201209778

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

13.07.2017

73 Titular/es:

M SQUARED LASERS LIMITED (100.0%)

1 Kelvin Campus

West of Scotland Science ParkGlasgowG20 0SP GB,

72 Inventor/es:

MAKER, GARETH THOMAS

74 Agente/Representante:

CURELL AGUILÁ, Mireia

ES 2 624 309 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Método y aparato para sincronizar y realizar barridos de la frecuencia de salida de una cavidad láser.

5 La presente invención se refiere al campo de fuentes láser y, en particular, a un método y un aparato para sincronizar y realizar barridos de la salida de una cavidad láser.

10 El uso de láseres monofrecuencia se basa notablemente en la capacidad de seleccionar un modo longitudinal de la cavidad del láser, y mantenerla durante un periodo prolongado de tiempo. Esto también puede incluir el seguimiento del modo si se realiza un barrido de la longitud de la cavidad del láser para cambiar la frecuencia de salida. Esta selección se lleva a cabo normalmente mediante una combinación de elementos ópticos introducidos en la cavidad y o el uso de una cavidad de referencia externa. Los elementos en el interior de la cavidad pueden incluir, por ejemplo, filtros birrefringentes y etalones.

15 En el caso de medios láser ampliamente sintonizables, los requisitos de selección de frecuencia impuestos sobre estos elementos ópticos son particularmente rigurosos. El primer requisito se deriva del hecho de que el modo de funcionamiento deseado es uno de entre un número elevado de posibles modos longitudinales en los cuales puede funcionar la cavidad. En segundo lugar, la necesidad de sintonizar la frecuencia del láser implica que también debe sintonizarse el elemento de selección, típicamente haciéndolo girar con respecto a uno de sus ejes. Como consecuencia, las técnicas de montaje utilizadas para permitir el giro del elemento de selección hacen que la frecuencia del láser tenga tendencia a la deriva, mientras que el ruido mecánico inducido por estos elementos contribuye al ensanchamiento de la anchura de línea del campo de salida.

25 Los expertos en la materia conocen varios medios activos de láser monofrecuencia ampliamente sintonizables, por ejemplo, de Colorante, de Ti:Zafiro, de Cr:LiCaF y calcogenuros dopados con metales de transición, tales como Cr:ZnSe. El intervalo de sintonización proporcionado por estos medios activos supera los 50 THz (o más de 100 nm). Los modos de la cavidad láser de entre los cuales debe seleccionarse uno solo están separados típicamente por unos pocos cientos de MHz. Tal como se ha mencionado previamente, la selección se logra mediante la introducción, dentro de la cavidad, de una serie de elementos ópticos, cada uno de los cuales introduce una pérdida de potencia de funcionamiento que es una función periódica de la frecuencia del láser. A este periodo se le hace referencia como intervalo espectral libre (FSR) del elemento. Típicamente, los elementos seleccionados para lograr el funcionamiento monofrecuencia se escogen para presentar intervalos espectrales libres sucesivamente más pequeños, correspondientes a regiones sucesivamente más estrechas de pérdidas de inserción bajas.

35 La disposición óptica está configurada de tal manera que solamente un modo longitudinal del láser tiene la capacidad de oscilar a una frecuencia correspondiente a un mínimo de la pérdida de la totalidad de los elementos introducidos. Es conocido que los requisitos exactos para los elementos de selección del modo dependen de la cantidad de ensanchamiento entre no homogéneo y homogéneo en el medio activo, así como de cualquier efecto de quemado de agujeros espaciales. Además, también es conocido que otros diversos factores actúan de manera que ensanchan la anchura de línea de la salida de una cavidad láser, por ejemplo, la temperatura, cambios del índice de refracción, vibraciones mecánicas, etcétera.

45 Con el número cada vez mayor de aplicaciones para fuentes láser, hay presencia activa de un deseo de proporcionar láseres con salidas que presenten una anchura de línea lo más estrecha posible. Por ejemplo, las fuentes láser de anchura de línea estrecha son altamente deseables para ser usadas dentro de sensores ópticos y para su utilización en los campos de las comunicaciones ópticas y la metrología de frecuencias ópticas, véase, por ejemplo, *Journal of the Optical Society of America – B*, vol. 16, n.º 12, 1 de diciembre de 1999, páginas 2.255 a 2.268, documento titulado “*Ultrasensitive frequency-modulation spectroscopy enhanced by a high-finesse optical cavity: theory and application to overtone transitions of C2H2 y C2HD*”, y *Applied Physics B*, vol. 92, n.º 3, 9 de agosto de 2008, páginas 13 a 326, documento titulado “*Noise-immune cavity-enhanced optical heterodyne molecular spectroscopy: Current status and future potential*”.

55 Es por lo tanto un objetivo de una forma de realización de la presente invención proporcionar métodos y aparatos alternativos para sincronizar y realizar barridos de la salida de la cavidad láser, que proporcionen la salida del láser con una anchura de línea reducida con respecto a aquellas técnicas conocidas en las anterioridades.

Sumario de la invención

60 Según un primer aspecto de la presente invención, se proporciona una cavidad de referencia externa para sincronizar y realizar barridos de una cavidad láser, comprendiendo la cavidad de referencia externa un primer espejo de cavidad montado en un primer cristal piezoeléctrico y un segundo espejo de cavidad montado en un segundo cristal piezoeléctrico

65 caracterizada por que

el primer y segundo cristales piezoeléctricos están montados mecánicamente dentro de la cavidad de referencia, de tal manera que la dilatación térmica del primer y segundo cristales piezoeléctricos actúa moviendo el primer y segundo espejos de cavidad en la misma dirección según un eje longitudinal de la cavidad de referencia.

5 La cavidad de referencia externa antes descrita proporciona una disposición opto-mecánica que actúa para compensar los efectos de la deriva térmica dentro de la cavidad.

Preferentemente, la cavidad de referencia externa comprende además un sistema de accionamiento de la cavidad de referencia, en donde el sistema de accionamiento de la cavidad de referencia proporciona unos medios para controlar independientemente la posición del primer espejo de cavidad dentro de la cavidad de referencia.

10 Resulta ventajoso utilizar solamente un único espejo para realizar barridos de la cavidad láser sincronizada, puesto que el ruido inducido en la salida de la cavidad del láser se reduce efectivamente a la mitad en comparación con cavidades de referencia externas conocidas que logran el barrido al accionar simultáneamente el primer y segundo espejos de cavidad en oposición de fase.

15 De la forma más preferida, el sistema de accionamiento de la cavidad de referencia proporciona también unos medios para controlar independientemente la posición del segundo espejo de cavidad dentro de la cavidad de referencia. De esta manera, la cavidad de referencia externa puede seguir proporcionando la funcionalidad deseable de poder incorporar una señal de entrada externa para sincronizar la cavidad láser con una referencia de frecuencia absoluta, por ejemplo, una línea de absorción atómica o un ondámetro de alta precisión externo.

20 De acuerdo con un segundo aspecto de la presente invención, se proporciona un sistema de láser que comprende una cavidad láser, estando la cavidad del láser subordinada a una cavidad de referencia externa de acuerdo con el primer aspecto de la presente invención.

25 Preferentemente, el aparato de sincronización y barrido comprende un generador de señales para generar una señal de error entre una salida de la cavidad del láser y una salida de la cavidad de referencia externa; un primer circuito de procesado de señales para procesar una primera componente de la señal de error con el fin de proporcionar una señal de realimentación para un primer cristal piezoeléctrico del espejo dual piezoaccionado de la cavidad del láser; y un segundo circuito de procesado de señales para procesar una segunda componente de la señal de error, con el fin de proporcionar una señal de realimentación para un segundo cristal piezoeléctrico del espejo dual piezoaccionado de la cavidad del láser.

30 Es preferible que el grosor del segundo cristal piezoeléctrico sea menor que el grosor del primer cristal piezoeléctrico. De la forma más preferida, el segundo cristal piezoeléctrico está configurado de tal manera que puede ser accionado con una frecuencia mayor que el primer cristal piezoeléctrico.

35 Como consecuencia, preferentemente el primer cristal piezoeléctrico proporciona unos medios para realizar barridos del modo longitudinal único sincronizado de la cavidad, mientras que el segundo cristal piezoeléctrico proporciona unos medios para sincronizar el funcionamiento de la cavidad del láser con un modo longitudinal único de la cavidad.

40 El primer cristal piezoeléctrico puede tener un grosor de 4 mm. Preferentemente, la configuración del primer cristal piezoeléctrico permite que el mismo sea accionado con una frecuencia inferior a 10 kHz. El segundo cristal piezoeléctrico puede tener un grosor inferior a 1 mm. De la forma más preferida, el segundo cristal piezoeléctrico tiene un grosor inferior a 0,5 mm. El segundo cristal piezoeléctrico puede tener un grosor de 0,1 mm.

45 Preferentemente, la configuración del segundo cristal piezoeléctrico permite que el mismo sea accionado con una frecuencia superior a 15 kHz. De la forma más preferida, la configuración del segundo piezoeléctrico le permite ser accionado con una frecuencia de 100 kHz o superior. Es preferible que el grosor del segundo cristal piezoeléctrico sea inferior al grosor del primer cristal piezoeléctrico. De la forma más preferida, el segundo cristal piezoeléctrico está configurado de tal manera que puede ser accionado con una frecuencia superior a la del primer cristal piezoeléctrico.

50 Como consecuencia, el primer cristal piezoeléctrico proporciona preferentemente unos medios para realizar barridos del modo longitudinal único sincronizado de la cavidad, mientras que el segundo cristal piezoeléctrico proporciona unos medios para sincronizar el funcionamiento de la cavidad del láser con un modo longitudinal único de la cavidad.

55 El primer cristal piezoeléctrico puede tener un grosor de 4 mm. Preferentemente, la configuración del primer cristal piezoeléctrico permite que el mismo sea accionado con una frecuencia inferior a 10 kHz. El segundo cristal piezoeléctrico puede tener un grosor inferior a 1 mm. De la forma más preferida, el segundo cristal piezoeléctrico tiene un grosor inferior a 0,5 mm. El segundo cristal piezoeléctrico puede tener un grosor de 0,1 mm.

60 La configuración del segundo cristal piezoeléctrico permite preferentemente que el mismo sea accionado con una frecuencia superior a 15 kHz. De la forma más preferida, la configuración del segundo piezoeléctrico le permite que sea accionado con una frecuencia de 100 kHz o superior.

65

Formas de realización del segundo aspecto de la presente invención pueden comprender características para implementar las características preferidas opcionales del primer aspecto de la invención o viceversa.

5 Según un tercer aspecto de la presente invención, se proporciona un método para accionar una cavidad de referencia externa con el fin de sincronizar y realizar barridos de una cavidad láser, que comprende: montar un primer espejo de cavidad en un primer cristal piezoeléctrico de la cavidad de referencia; montar un segundo espejo de cavidad en un segundo cristal piezoeléctrico de la cavidad de referencia;

10 caracterizado por que

el primer y segundo cristales piezoeléctricos de la cavidad de referencia se montan mecánicamente dentro de la cavidad de referencia, para permitir que la dilatación térmica del primer y segundo cristales piezoeléctricos de la cavidad de referencia mueva el primer y segundo espejos de la cavidad en la misma dirección según un eje longitudinal de la cavidad de referencia.

Preferentemente, el método comprende además controlar independientemente la posición del primer espejo de cavidad dentro de la cavidad de referencia. El método puede comprender además controlar independientemente la posición del segundo espejo de cavidad dentro de la cavidad de referencia

20 Formas de realización del tercer aspecto de la presente invención pueden comprender características para implementar las características preferidas opcionales del primer o segundo aspectos de la invención o viceversa.

Breve descripción de los dibujos

25 Aspectos y ventajas de la presente invención se pondrán de manifiesto al leer la siguiente descripción detallada y por referencia a los siguientes dibujos, en los cuales:

30 la Figura 1 presenta una representación esquemática de un láser de Ti:Zafiro que incorpora un aparato de estabilización activo;

la Figura 2 presenta una representación esquemática de una cavidad de referencia externa utilizada por el láser de Ti:Zafiro de la Figura 1;

35 la Figura 3 proporciona una representación esquemática de dos espejos duales piezoaccionados adecuados para su uso dentro del sistema de láser de la Figura 1;

40 la Figura 4 proporciona diagramas de bloques de dos circuitos de sincronización y barrido para controlar los espejos duales piezoaccionados de la Figura 3; y

la Figura 5 proporciona diagramas de bloques de dos circuitos de accionamiento de la cavidad de referencia para accionar la cavidad de referencia externa del láser de Ti:Zafiro de la Figura 1.

45 En la descripción que se ofrece a continuación, las partes iguales se indican durante toda la memoria y los dibujos con los mismos numerales de referencia. Los dibujos no se presentan necesariamente a escala y las proporciones de ciertas partes se han exagerado para ilustrar mejor detalles y características de formas de realización de la invención.

Descripción detallada

50 A continuación se describirán de forma detallada, y en referencia a las Figuras 1 a 5, métodos y aparatos para sincronizar y realizar barridos de la salida de una cavidad láser, al mismo tiempo que se reduce la anchura de línea asociada. En particular, la Figura 1 presenta una ilustración esquemática de un láser de Ti:Zafiro 1 que incorpora un aparato de estabilización activo. En la forma de realización descrita en este momento, puede observarse que el láser 1 comprende una cavidad láser 2 y una cavidad de referencia externa 3.

La cavidad láser 2 presenta una geometría de cavidad en anillo con forma de pajarita, definida por un primer espejo 4, un segundo espejo 5, un espejo piezoaccionado 6 y un acoplador de salida 7, estando situados todos ellos dentro de un receptáculo mecánicamente estable 8. Situado dentro de la cavidad 2 se encuentra un medio activo de Ti:Zafiro 9 (entre el primer 4 y el segundo 5 espejos); un diodo óptico 10 (entre el primer espejo 4 y el espejo piezoaccionado 6); un filtro birrefringente (BRF) 11 (entre el segundo espejo 5 y el acoplador de salida 7); y un etalón con separación de aire 12 (entre el espejo piezoaccionado 6 y el acoplador de salida 7). Una combinación de la geometría de la cavidad en anillo y del diodo óptico 10 es la que obliga a que la cavidad láser 2 funcione de una manera unidireccional, lo cual da como resultado una onda progresiva dentro de la cavidad que elimina los efectos perjudiciales del quemado de agujeros espaciales dentro del medio activo 9.

Dado que la absorción óptica dentro del Ti:Zafiro se produce sobre un intervalo amplio de longitudes de onda de ~400 nm a ~600 nm, el medio activo 9 se puede bombear ópticamente a través de cualquier láser “verde” de onda continua, disponible comercialmente, por ejemplo, una fuente láser de estado sólido bombeada por diodo de 532 nm (no representada). El bombeo del medio activo 9 tiene lugar preferentemente a través del segundo espejo 5.

Para sintonizar la longitud de onda de la salida de láser 13, se utiliza el BRF intracavidad 11. El BRF 11 introduce en la cavidad 2 una pérdida dependiente de la longitud de onda, y la sintonización de esta última se logra por rotación del BRF 11. El BRF 11 proporciona un ajuste de la longitud de onda relativamente rápido aunque aproximado. En ausencia de cualquier otra técnica de estrechamiento de la anchura de línea, la salida de láser 13 presenta una anchura de línea de ~8 GHz.

La introducción del etalón con separación de aire 12 en la cavidad láser 2 actúa para estrechar adicionalmente la operación de anchura de línea del láser 1. Esto es debido a que el etalón con separación de aire 12 introduce una pérdida espectral en la cavidad 2, que tiene un ancho de banda de transmisión más estrecho que el correspondiente presentado por el BRF 11. Ajustando electrónicamente el espaciamiento del etalón con separación de aire 12, también puede sintonizarse de forma precisa la salida de láser 13. El funcionamiento a largo plazo en un solo modo para la cavidad láser 2 también puede lograrse a través de la servosincronización electrónica del etalón con separación de aire, intracavidad, 12, una técnica conocida para los expertos en la materia. Esta técnica conlleva sincronizar el pico de la función de transmisión del etalón con separación de aire 12, con el modo longitudinal más próximo de la cavidad 2 (dentro del intervalo de captura del bucle del servomecanismo) por oscilación del espaciamiento del etalón con separación de aire 12. En ausencia de cualquier otra técnica de estrechamiento de la anchura de línea, la salida de láser 13 presenta una anchura de línea de ~5 MHz.

El espejo piezoaccionado 6 proporciona unos medios para mantener un funcionamiento de modo longitudinal único cuando se sintoniza la frecuencia del láser, puesto que el control preciso del espejo piezoaccionado 6 permite variar de forma precisa la longitud de la cavidad, y que la misma se ajuste para corresponderse con la frecuencia en oscilación del modo longitud único de la cavidad cuando se sintoniza la longitud de esta última. Con el enganche del circuito de sincronización de pico del etalón con separación de aire 12, la transmisión de pico del etalón con separación de aire 12 se mantiene entonces sincronizada con esta frecuencia de oscilación del modo longitudinal (dentro del intervalo de captura del circuito de sincronización), incluso cuando esta frecuencia es sintonizada con el espejo piezoaccionado 6. En ausencia de cualquier otra técnica de estrechamiento de la anchura de línea, la salida de láser 13 presenta una anchura de línea aumentada de aproximadamente un factor de dos a ~10 MHz. Esto es un resultado del ruido mecánico introducido en la cavidad láser 2 por el funcionamiento del espejo piezoaccionado 6. Por lo tanto, existe un compromiso conocido entre la capacidad de sintonizar un único modo longitudinal de la cavidad láser 2 y la anchura de línea de la salida de láser 13.

Una técnica conocida alternativa para inducir el funcionamiento de un solo modo, y para proporcionar unos medios con el fin de realizar barridos de la frecuencia de salida de la cavidad láser, es subordinar la cavidad láser 2 a una cavidad de referencia externa 3. Esto se logra utilizando un espejo de interceptación 14 para redirigir una pequeña parte de la salida 13 proveniente de la cavidad láser 2 hacia la cavidad de referencia externa 3. Un espejo dual piezoaccionado 6a conectado eléctricamente a un circuito de sincronización y barrido proporciona los medios para que la cavidad de referencia externa 3 controle la cavidad láser 2, de lo cual se proporcionan detalles adicionales más abajo.

En referencia a la Figura 2, puede observarse que la cavidad de referencia externa 3 comprende una cavidad lineal de alta estabilidad y excelencia, definida por un primer y un segundo espejos de cavidad, representados en general con los números de referencia 15 y 16. En esta Figura se incluye un eje longitudinal 17 para facilitar la toma de referencias. El primer 15 y segundo 16 espejos de cavidad están montados en el primer y segundo cristales piezoeléctricos, representados de manera general con los números de referencia 18 y 19, para permitir el barrido de la cavidad de referencia (según se describe de forma más detallada posteriormente). El primer espejo 15 y segundo espejo 16 difieren únicamente en que se forma una apertura 20 a través del segundo espejo 16, para permitir que pase luz a través de este componente. De una manera similar, el primer cristal piezoeléctrico 18 y segundo cristal piezoeléctrico 19 difieren solamente en que se forma una apertura 21 a través del segundo cristal piezoeléctrico 19, para permitir nuevamente que se propague luz a través de este componente.

Es conocido que los cristales piezoeléctricos 18 y 19 tienen unos elevados coeficientes de dilatación térmica, con lo que los cristales piezoeléctricos 18 y 19 están montados mecánicamente de tal manera que su dilatación térmica provoca que los dos espejos de cavidad 15 y 16 se muevan en la misma dirección según el eje longitudinal 17. De esta forma, la disposición opto-mecánica de la cavidad de referencia externa 3 actúa para compensar los efectos de la deriva térmica.

La Figura 3(a) presenta una representación esquemática de una primera forma de realización del espejo dual piezoaccionado 6a. En esta forma de realización, un primer cristal piezoeléctrico 22 en el apilamiento dual proporciona una variación de la longitud, para sintonizar la cavidad láser 2 a lo largo de la longitud deseada, típicamente de forma aproximada 30 GHz. Su grosor físico es aproximadamente 4 mm. Su configuración física es tal que la frecuencia máxima con la cual se puede accionar es inferior a 10 kHz y, por este motivo, al cristal

piezoeléctrico 22 se le hace referencia como “piezoeléctrico lento”. El segundo cristal piezoeléctrico 23a del apilamiento dual tiene un grosor de aproximadamente 0,5 mm, y por tanto proporciona un intervalo de sintonización muy pequeño, de forma típica solamente en torno a 100 MHz. No obstante, su configuración física permite que sea accionado con una frecuencia mucho mayor, aproximadamente 20 kHz, cuando se compara con el primer cristal piezoeléctrico 22, y, por este motivo, al cristal piezoeléctrico 23a se le hace referencia como “piezoeléctrico rápido”. La función principal del piezoeléctrico rápido 23a es ayudar a reducir el ruido intrínseco de la cavidad láser 2 y, por tanto, reducir la anchura de línea de la salida de láser 13.

La Figura 3(b) presenta una forma de realización preferida del espejo dual piezoaccionado 6b. Esta forma de realización es similar a la descrita anteriormente en referencia a la Figura 3(a) con la excepción de que ahora el piezoeléctrico rápido 23b tiene un grosor de aproximadamente 0,1 mm y una configuración física que permite su accionamiento a frecuencias todavía mayores, típicamente 100 kHz o superiores. El aumento de las diferencias en la frecuencia de accionamiento entre el piezoeléctrico rápido 23b y el piezoeléctrico lento 22 se pueden aprovechar para proporcionar una electrónica mejorada de sincronización, según se describe de forma más detallada posteriormente en referencia a la Figura 4(b).

La sincronización y el barrido de la cavidad láser 2 en un único modo longitudinal se puede conseguir de la manera siguiente. Se genera un patrón de franjas por la interferencia entre la salida de láser 13 y una salida proveniente de la cavidad de referencia 3, que se genera por una fracción del haz de salida 13 que se desvía hacia la cavidad de referencia 3 por medio del espejo de interceptación 14. El voltaje de las franjas es una medida de la longitud de onda de la salida de láser 13 con respecto a un modo de la cavidad de referencia 3. Por lo tanto, el mantenimiento del voltaje de franjas a una fracción fija (típicamente el 50%) de su valor de pico indica que la longitud de onda de la salida de láser 13 está “sincronizada” con un modo de la cavidad de referencia 3.

El sistema de sincronización mantiene constante la longitud de onda de la salida de láser 13 proporcionando una señal de realimentación a los espejos piezoaccionados 6a o 6b en la cavidad láser 2. Tradicionalmente, con el espejo dual piezoaccionado 6a de la Figura 3(a), la señal de realimentación sería generada por un circuito de sincronización y barrido 24 según se representa con el diagrama de bloques de la Figura 4(a). En un primer bloque 25, se genera una señal de error 26 comparando un voltaje de franjas 27 con respecto a un voltaje que es proporcional a la potencia de salida 28 del láser. A continuación, la señal de error se procesa y ecualiza dentro de un circuito de procesamiento de señales 29.

Una primera componente de la señal de error procesada y ecualizada 30 se filtra con un filtro pasabajo 31 y, a continuación, se amplifica por medio de un primer amplificador de alto voltaje 32, para proporcionar una señal de realimentación 33 al piezoeléctrico lento 22 y proporcionar así unos medios para realizar un barrido de la cavidad láser sincronizado 2. Una segunda componente de la señal de error procesada y ecualizada 34 se amplifica de manera similar por medio de un segundo amplificador de alto voltaje 35, para proporcionar una señal de realimentación 36 al piezoeléctrico rápido 23a.

Alternativamente, con el espejo dual piezoaccionado 6b de la Figura 3(b), la señal de realimentación se generaría por medio de un circuito de sincronización y barrido 37 tal como se representa con el diagrama de bloques de la Figura 4(b). El primer bloque 25 genera nuevamente una señal de error 26 comparando el voltaje de franjas 27 con respecto a un voltaje que es proporcional a la potencia de salida 28 del láser. La señal de error 26 se divide no obstante en dos componentes 26a y 26b antes de ser procesada y ecualizada independientemente dentro del circuito dedicado de procesamiento de señales 29a y 29b, respectivamente. A continuación, la señal de error procesada y ecualizada 26a se amplifica por medio de un primer amplificador 35, para proporcionar una señal de realimentación 36 al piezoeléctrico rápido 23b. La señal de error procesada y ecualizada 26b es amplificada de manera similar por el segundo amplificador 32, para proporcionar la señal de realimentación 33 al piezoeléctrico lento 22.

Separando la señal de error 26 en dos componentes, las dos señales 26a y 26b se pueden optimizar individualmente en cuanto al ruido, al rango dinámico, a la corriente continua (DC) y al rendimiento de alta frecuencia correspondientes, respectivamente, a sus cristales piezoeléctricos asociados 22 y 23b. Esto permite aumentar al máximo la ganancia del bucle de control del circuito de procesamiento de señales 29a, lo cual da como resultado la reducción de la anchura de línea de la salida de láser 13 cuando la cavidad láser 2 se sincroniza con la cavidad de referencia externa 3.

Con la cavidad láser 2 sincronizada con la cavidad de referencia externa 3 según se ha descrito anteriormente, se puede realizar entonces un barrido (o desplazamiento) de la frecuencia de salida del láser mediante un barrido (o ajuste) de la longitud de la cavidad de referencia 3. Tradicionalmente, esto se logra utilizando un sistema de accionamiento 38 de la cavidad de referencia, según se representa con el diagrama de bloques de la Figura 5(a). En el primer caso, un sistema de control 39 genera una primera señal de entrada 40 para un circuito de procesamiento de señales 41.

Normalmente, es deseable también poder proporcionar unos medios para sincronizar la cavidad láser 2 con una referencia de frecuencia absoluta, tal como una línea de absorción atómica o un ondámetro de alta precisión

externo. La cavidad de referencia externa 3 facilita esta funcionalidad al proporcionar una entrada externa en el circuito de procesado de señales 41, adecuada para recibir una segunda señal de entrada 42 que puede ser cualquier señal de error de frecuencia adecuada, por ejemplo, una señal de realimentación proveniente de un ondámetro o una señal transmitida o reflejada, proveniente de una celda atómica.

5 A continuación, la primera señal de entrada 40 y, si estuviera presente, la segunda señal de entrada 42, se procesan dentro del circuito de procesado de señales 41, para producir una primera señal de accionamiento 43 para el primer cristal piezoeléctrico 18 y una segunda señal de accionamiento 44 para el segundo cristal piezoeléctrico 19. Tanto la primera 43 como la segunda 44 señales de accionamiento están conectadas eléctricamente al respectivo cristal piezoeléctrico 18 y 19 por medio de amplificadores de alto voltaje 45 y 46, respectivamente. Estas señales 43 y 44 están configuradas para accionar simultáneamente el primer 18 y el segundo 19 cristales piezoeléctricos en oposición de fase, de tal manera que se mueven en direcciones iguales y opuestas según el eje longitudinal 17. El grosor del primer 18 y del segundo 19 cristales piezoeléctricos es tal que permite que se realicen barridos de la cavidad de referencia externa 3 en aproximadamente 120 GHz.

15 Tal como puede observarse a partir de lo anterior, el diseño de la cavidad de referencia 3 es tal que usa solamente una pequeña fracción de la deformación total disponible del primer 18 y del segundo 19 cristales piezoeléctricos. Por lo tanto, la longitud de la cavidad de referencia se puede ajustar con un alto grado de precisión, posibilitando barridos precisos de la frecuencia de salida de la cavidad láser 2. Con esta disposición, se ha demostrado que la cavidad láser 2 proporciona una salida que presenta un ancho de línea de ~50 kHz y una deriva de frecuencia absoluta de aproximadamente 100 MHz/h°C.

20 La cantidad de ruido eléctrico que llega a la cavidad de referencia 3 es crítica para el rendimiento global de la cavidad láser 2. Por lo tanto, los anchos de línea observados se ven afectados por el ruido inducido por el movimiento del primer 18 y del segundo 19 cristales piezoeléctricos. El ruido inherente en la segunda señal de entrada 42 proveniente de la fuente externa, cuando esté presente, también actúa como fuente de ensanchamiento del ancho de línea de la salida de la cavidad láser 2. Para hacer frente a estos efectos perjudiciales, se ha demostrado que resulta altamente beneficioso dividir la funcionalidad del primer 15 y del segundo 16 espejos de la cavidad de referencia externa 3. Esto se logra sustituyendo el sistema de accionamiento 38 de la cavidad de referencia presentado en la Figura 5(a), por el sistema de accionamiento 47 de la cavidad de referencia de la Figura 5(b).

25 En particular, puede observarse que la Figura 5(b) comprende dos sistemas de accionamiento independientes 47a y 47b de la cavidad. El primer sistema de accionamiento 47a de la cavidad se utiliza para accionar solamente el primer cristal piezoeléctrico 18 y, por lo tanto, solamente el primer espejo 15 de la cavidad de referencia. En el primer sistema de accionamiento 47a de la cavidad, un sistema de control 39 genera nuevamente una señal de entrada 48 que se conecta eléctricamente al primer cristal piezoeléctrico 18 por medio de un primer amplificador de alto voltaje 49. El segundo sistema de accionamiento 47b de la cavidad se utiliza para accionar solamente el segundo cristal piezoeléctrico 19 y, por tanto, solamente el segundo espejo 16 de la cavidad de referencia. En el segundo sistema de accionamiento 47b de la cavidad, la segunda señal de entrada externa 42 está conectada eléctricamente al segundo cristal piezoeléctrico 18 por medio de un segundo amplificador de alto voltaje 50.

30 Con esta disposición, el primer 15 y el segundo 16 espejos de la cavidad de referencia se mueven de forma independiente entre sí. El barrido de la cavidad láser 2 se controla principalmente por medio del primer espejo 15 de la cavidad de referencia, puesto que, en ausencia de la segunda señal de entrada, externa 42, el segundo espejo 16 de la cavidad de referencia permanece fijo. Se apreciará que esto reduce eficazmente el intervalo de barrido de la cavidad de referencia externa 3 a aproximadamente 60 GHz. No obstante, este intervalo de barrido sigue siendo mayor que la deformación disponible total del primer 22 y del segundo 23 cristales piezoeléctricos de la cavidad láser 2 en un factor de dos. Se observa que esto es más que suficiente para seguir permitiendo el ajuste de la longitud de la cavidad de referencia con un alto grado de precisión, posibilitando barridos precisos de la frecuencia de salida de la cavidad láser 2.

35 El hecho de que, al dividir la funcionalidad del primer 15 y el segundo 16 espejos de la cavidad de referencia externa 3, se reduzca a la mitad eficazmente el ruido inducido en la salida de la cavidad láser 2, resulta especialmente ventajoso. Esto lo puede explicar el hecho de que el sistema de accionamiento 47a de la cavidad de referencia comprende menos circuitería electrónica en comparación con el sistema de accionamiento 38 de la cavidad de referencia. Además, con el sistema de accionamiento 47 de la cavidad de referencia, únicamente se está utilizando un cristal piezoeléctrico 18 de la cavidad de referencia externa 3 para realizar barridos de la cavidad láser 2.

40 Los lectores versados apreciarán que, en una forma de realización alternativa, el sistema de accionamiento de referencia puede comprender solamente el primer sistema de accionamiento 47a de la cavidad, de tal manera que no habría presencia de ningún mecanismo para mover el segundo espejo 16 de la cavidad de referencia. Aunque una forma de realización de este tipo seguiría resultando beneficiosa para reducir el ancho de línea de la salida de láser 13, eliminaría la funcionalidad deseable de poder incorporar una señal de entrada externa 42.

65

5 El aprovechamiento del espejo dual piezoaccionado 6b de la Figura 3(b) y la utilización del circuito de sincronización y barrido 37, según se representa con el diagrama de bloques de la Figura 4(b), conjuntamente con el sistema de accionamiento 47 de la cavidad de referencia de la Figura 5(b), ha permitido que la cavidad láser 2 produzca una salida monomodal 13 de la cual se pueden realizar barridos de decenas de GHz, y que presenta un ancho de línea inferior a 10 kHz. La comparación con los anchos de línea de cientos de kHz que se encuentran en aquellos sistemas de barrido conocidos en la técnica y que no utilizan estos componentes, resulta favorable a la del presente documento.

10 Aunque la totalidad de las anteriores formas de realización se ha descrito en referencia a un sistema de láser de Ti:Zafiro que presenta una geometría de cavidad en anillo con forma de pajarita, los lectores versados apreciarán que el aparato y las técnicas no se limitan a un uso con dichos sistemas. Estos componentes se podrían aplicar igual de bien a cualquier cavidad láser alternativa que utilice un espejo dual piezoaccionado y una cavidad externa con fines relacionados con la sincronización y el barrido.

15 Anteriormente se han descrito dos sistemas que se pueden utilizar para sincronizar y realizar un barrido de la salida de una cavidad láser. El primero implica el uso de un espejo dual piezoaccionado que permite un procesado aparte de la señal de error usada para proporcionar una señal de realimentación eléctrica a los dos cristales piezoeléctricos. El segundo implica un sistema de accionamiento de la cavidad de referencia que actúa de forma que divide la funcionalidad del primer y segundo espejos de una cavidad de referencia externa utilizados para sincronizar y realizar un barrido de la cavidad láser. Cuando se aplican de manera independiente, o juntos, los métodos y aparatos descritos se pueden usar para sincronizar y realizar barridos de la salida de la cavidad del láser al mismo tiempo que proporcionado a la salida del láser un ancho de línea reducido cuando se compara con aquellos sistemas de láser conocidos en la técnica.

25 Durante toda la memoria, a no ser que el contexto requiera lo contrario, se entenderá que las expresiones "comprender" o "incluir", o variaciones tales como "comprende" o "comprendiendo", "incluye" o "incluyendo", implican la inclusión de un entero o grupo de enteros mencionados, pero no la exclusión de ningún otro entero o grupo de enteros.

30 Además, una referencia a cualquier técnica anterior en la descripción no debería considerarse como una indicación de que la técnica anterior forma parte del conocimiento general común.

35 La descripción anterior de la invención se ha presentado con fines ilustrativos y descriptivos, y no pretende ser exhaustiva o limitar la invención a la forma precisa dada a conocer. Las formas de realización descritas se seleccionaron y describieron con el fin de explicar de la mejor manera posible los principios de la invención y su aplicación práctica, con el fin de permitir así que otras personas versadas en la materia hiciesen el mejor uso posible de la invención en diversas formas de realización y con diversas modificaciones, según resulte adecuado para el uso particular que se contemple. Por lo tanto, pueden incorporarse otras modificaciones o mejoras sin desviarse con respecto al alcance de la invención que definen las reivindicaciones adjuntas.

40

REIVINDICACIONES

1. Cavityad de referencia externa (3) para sincronizar y realizar barridos de una cavityad láser (2), comprendiendo la cavityad de referencia externa (3) un primer espejo de cavityad (15) montado en un primer cristal piezoeléctrico (18) de la cavityad de referencia, un segundo espejo de cavityad (16) montado en un segundo cristal piezoeléctrico (19) de la cavityad de referencia,
- 5 caracterizada por que
- 10 el primer (18) y segundo (19) cristales piezoeléctricos de la cavityad de referencia están montados mecánicamente dentro de la cavityad de referencia (3) para permitir que la dilatación térmica del primer (18) y segundo (19) cristales piezoeléctricos de la cavityad de referencia mueva el primer (15) y segundo (16) espejos de cavityad en la misma direcciónd a lo largo de un eje longitudinal (17) de la cavityad de referencia (3).
- 15 2. Cavityad de referencia externa (3) según la reivindicación 1, en la que la cavityad de referencia externa (3) además comprende un primer sistema de accionamiento (47a) de la cavityad de referencia, que proporciona unos medios para controlar independientemente la posiciónd del primer espejo de cavityad (15) dentro de la cavityad de referencia (3).
- 20 3. Cavityad de referencia externa (3) según la reivindicación 2, en la que la cavityad de referencia además comprende un segundo sistema de accionamiento (47b) de la cavityad, que proporciona unos medios para controlar independientemente la posiciónd del segundo espejo de cavityad (16) dentro de la cavityad de referencia (3), siendo el primer y segundo sistemas de accionamiento (47a, 47b) de la cavityad independientes.
- 25 4. Sistema de láser (1) que comprende una cavityad láser (2), estando la cavityad láser (2) subordinada a una cavityad de referencia externa (3) según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3.
5. Sistema de láser (1) según la reivindicación 4, en el que la cavityad láser (2) está subordinada a la cavityad de referencia externa (3) por un aparato de sincronizaciónd y barrido (37) conectado a un espejo dual piezoaccionado (6b) de la cavityad láser, comprendiendo el aparato de sincronizaciónd y barrido (37)
- 30 un generador de señaes (25) para generar una seña de error (26) entre una salida de la cavityad del láser y una salida de la cavityad de referencia externa;
- 35 un primer circuito de procesado de señaes (29b) para procesar una primera componente de la seña de error (26b) de manera que se proporcione una seña de realimentaciónd (33) para un primer cristal piezoeléctrico (22) del espejo dual piezoaccionado (6b) de la cavityad del láser; y
- 40 un segundo circuito de procesado de señaes (29a) para procesar una segunda componente de la seña de error (26a), de manera que se proporcione una seña de realimentaciónd (36) para un segundo cristal piezoeléctrico (23b) del espejo dual piezoaccionado (6b) de la cavityad del láser.
- 45 6. Sistema de láser (1) según la reivindicación 5, en el que el grosor del segundo cristal piezoeléctrico (23b) del espejo dual piezoaccionado (6b) de la cavityad láser es inferior al grosor del primer cristal piezoeléctrico (22) del espejo dual piezoaccionado (6b) de la cavityad láser.
- 50 7. Sistema de láser (1) según una de las reivindicaciones 5 o 6, en el que la configuraciónd del segundo cristal piezoeléctrico (23b) del espejo dual piezoaccionado (6b) de la cavityad láser le permite ser accionado a una frecuencia mayor que el primer cristal piezoeléctrico (22) del espejo dual piezoaccionado (6b) de la cavityad láser.
- 55 8. Sistema de láser (1) según cualquiera de las reivindicaciones 5 a 7, en el que el primer cristal piezoeléctrico (22) del espejo dual piezoaccionado (6b) de la cavityad láser proporciona unos medios para realizar barridos del modo longitudinal úndico sincronizado de la cavityad.
9. Sistema de láser (1) según cualquiera de las reivindicaciones 5 a 8, en el que el segundo cristal piezoeléctrico (23b) del espejo dual piezoaccionado (6b) de la cavityad láser proporciona unos medios para sincronizar el funcionamiento de la cavityad láser con un úndico modo longitudinal de la cavityad.
- 60 10. Sistema de láser (1) según cualquiera de las reivindicaciones 5 a 9, en el que el primer cristal piezoeléctrico (22) del espejo dual piezoaccionado (6b) de la cavityad láser tiene un grosor de 4 mm.
- 65 11. Sistema de láser (1) según cualquiera de las reivindicaciones 5 a 10, en el que la configuraciónd del primer cristal piezoeléctrico (22) del espejo dual piezoaccionado (6b) de la cavityad láser le permite ser accionado a una frecuencia inferior a 10 kHz.

12. Sistema de láser (1) según cualquiera de las reivindicaciones 5 a 11, en el que el segundo cristal piezoeléctrico (23b) del espejo dual piezoaccionado (6b) de la cavidad láser presenta un grosor inferior a 0,5 mm.

5 13. Sistema de láser según cualquiera de las reivindicaciones 5 a 12, en el que la configuración del segundo cristal piezoeléctrico (23b) del espejo dual piezoaccionado (6b) de la cavidad láser le permite ser accionado a una frecuencia de 100 kHz o mayor.

14. Método para accionar una cavidad de referencia externa (3) para sincronizar y realizar barridos de una cavidad láser (2), que comprende:

10 montar un primer espejo de cavidad (15) en un primer cristal piezoeléctrico (18) de la cavidad de referencia;
montar un segundo espejo de cavidad (16) en un segundo cristal piezoeléctrico (19) de la cavidad de referencia;
15 caracterizado por que
el primer (18) y segundo (19) cristales piezoeléctricos de la cavidad de referencia están mecánicamente
20 montados dentro de la cavidad de referencia (3) para permitir que la dilatación térmica del primer (18) y segundo (19) cristales piezoeléctricos de la cavidad de referencia mueva el primer (15) y segundo (16) espejos de cavidad en la misma dirección a lo largo de un eje longitudinal (17) de la cavidad de referencia (3).

15. Método para accionar una cavidad de referencia externa (3) según la reivindicación 14, en el que el método además comprende controlar independientemente la posición del primer espejo de cavidad (15) dentro de la cavidad de referencia (3).
25

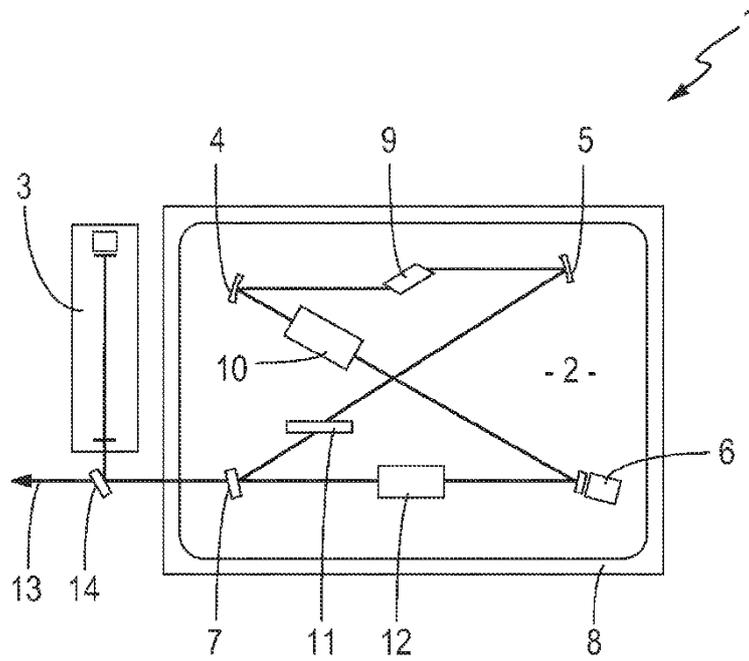


Fig. 1

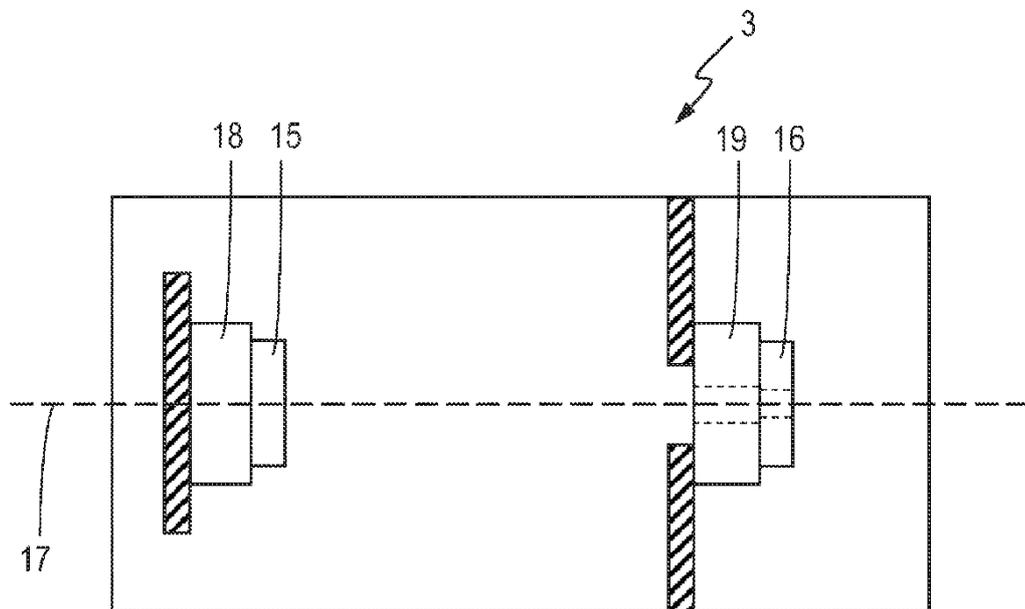


Fig. 2

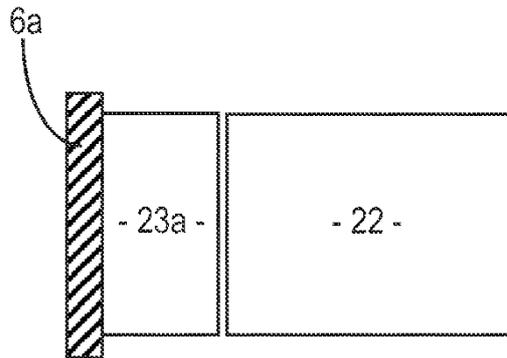


Fig. 3(a)

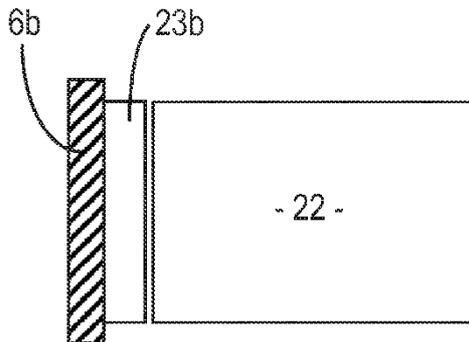
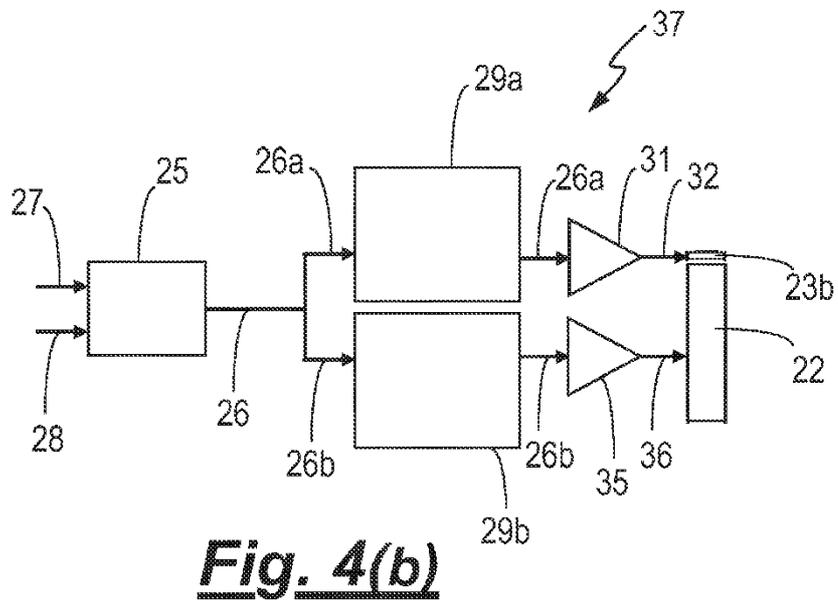
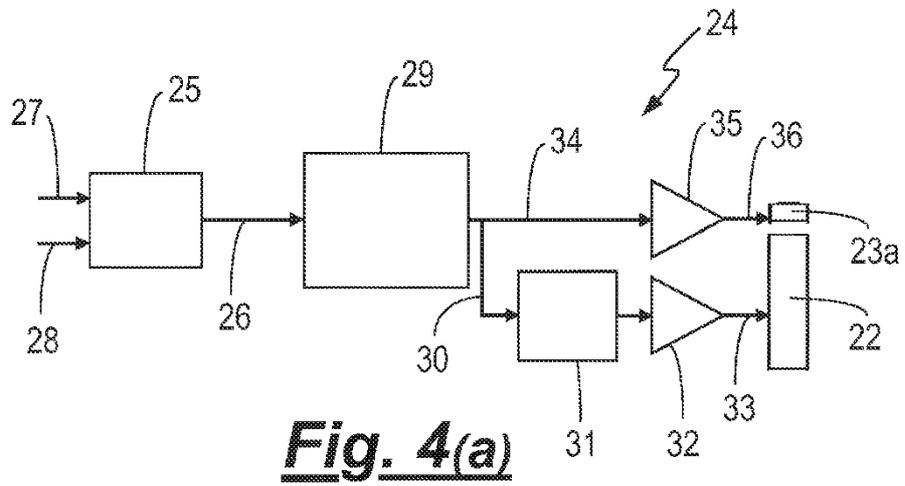


Fig. 3(b)



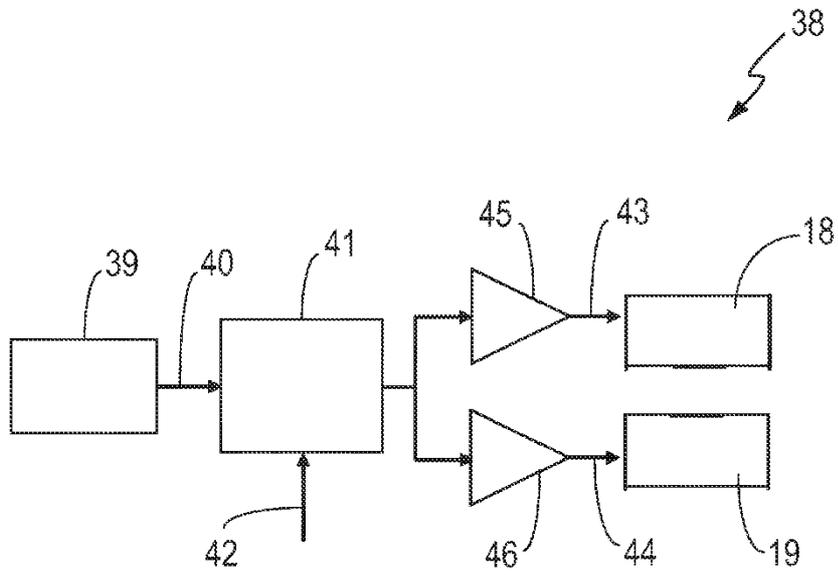


Fig. 5(a)

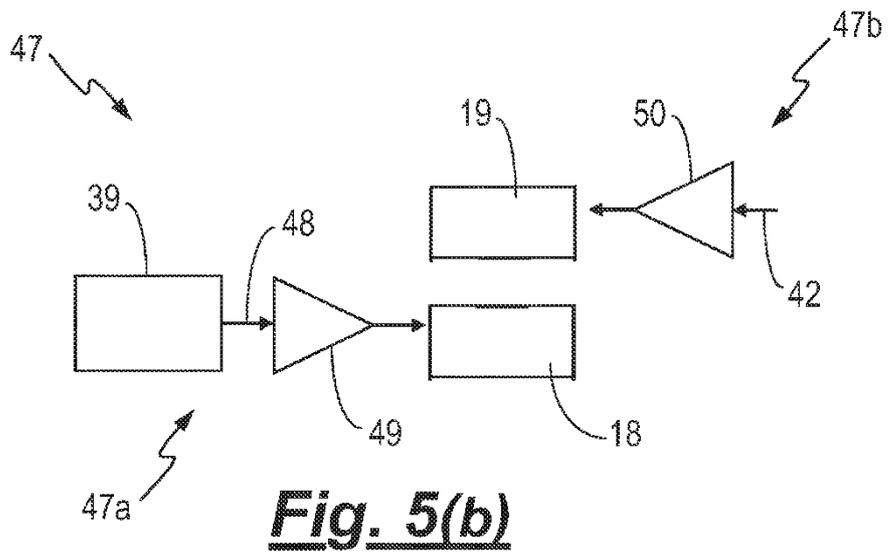


Fig. 5(b)