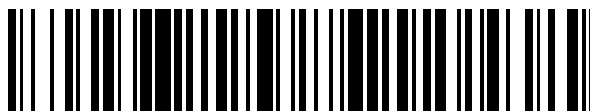


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 798 106**

51 Int. Cl.:

H01S 3/139	(2006.01)
H01S 3/13	(2006.01)
H01S 3/08	(2006.01)
H01S 3/081	(2006.01)
H01S 3/083	(2006.01)
H01S 3/105	(2006.01)
H01S 3/106	(2006.01)
G02B 26/00	(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **22.05.2013 PCT/GB2013/051349**
- 87 Fecha y número de publicación internacional: **05.12.2013 WO13178994**
- 96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **22.05.2013 E 13731846 (5)**
- 97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **25.03.2020 EP 2862247**

54 Título: **Método y aparato para bloquear y escanear la frecuencia de salida de una cavidad láser**

30 Prioridad:

01.06.2012 GB 201209777

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

09.12.2020

73 Titular/es:

**M SQUARED LASERS LIMITED (100.0%)
1 Kelvin Campus
West of Scotland Science Park, Glasgow,
G20 0SP, GB**

72 Inventor/es:

MILLER, WILLIAM

74 Agente/Representante:

PONS ARIÑO, Ángel

ES 2 798 106 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 bloquear y escanear la frecuencia de salida de una cavidad láser

- 5 La presente invención se refiere al campo de las fuentes láser y, en particular, a un método y aparato para bloquear y escanear la salida de una cavidad láser.

10 El uso de láseres de frecuencia única depende en gran medida de la capacidad de seleccionar un modo longitudinal de la cavidad láser y mantenerlo durante un período prolongado de tiempo. Esto también puede incluir el seguimiento del modo si se escanea la longitud de la cavidad láser con el fin de cambiar la frecuencia de salida. Esta selección se realiza normalmente mediante una combinación de elementos ópticos insertados en la cavidad y/o el uso de una cavidad de referencia exterior. Los elementos intracavitarios pueden incluir, por ejemplo, filtros birrefringentes y etalones.

15 En el caso de medios láser ampliamente sintonizables, los requisitos de selección de frecuencia colocados en estos elementos ópticos son específicamente estrictos. El primer requisito resulta del hecho de que el modo de operación deseado es uno de una gran cantidad de modos longitudinales posibles en los que puede operar la cavidad. En segundo lugar, la necesidad de sintonizar la frecuencia láser implica que el elemento de selección también debe sintonizarse, normalmente al rotar alrededor de uno de sus ejes. Como resultado, las técnicas de montaje empleadas para permitir que el elemento de selección rote hacen que la frecuencia láser sea propensa a la desviación, mientras que el ruido mecánico inducido por estos elementos contribuye a la ampliación de la anchura de línea del campo de salida.

25 Los expertos en la materia conocen diversos medios de ganancia láser de frecuencia única ampliamente sintonizables, por ejemplo, tintes, zafiro dopado con titanio, LiCaF dopado con cromo y calcogenuros dopados con metales de transición tal como el ZnSe dopado con cromo. Ejemplos de tales sistemas se describen en Las cartas de física aplicada, vol. 22, N.º 11, 1 de junio de 1973, páginas 573-575 documento titulado "Estabilización de frecuencia de un láser de colorante CW"; publicación de patente internacional número WO 2006/026540 A2; publicación de patente europea número EP 1 744 414 A1; y la patente de Estados Unidos número 4.272.734. El intervalo de sintonización proporcionado por estos medios de ganancia es mayor que 50 THz (o más de 100 nm). Los modos de cavidad láser de los que solo debe seleccionarse uno solo están separados normalmente por unos pocos cientos de MHz. Tal y como se ha mencionado anteriormente, la selección se logra mediante la inserción dentro de la cavidad de una serie de elementos ópticos, cada uno de los cuales introduce una pérdida de potencia de operación que es una función periódica de la frecuencia láser. Este período se conoce como el intervalo espectral libre (FSR) del elemento. Habitualmente, los elementos elegidos para lograr la operación de frecuencia única se seleccionan para tener intervalos espectrales libres sucesivamente más pequeños correspondientes a las regiones sucesivamente más estrechas de baja pérdida de inserción.

40 La disposición óptica está configurada de tal manera que solo un modo láser longitudinal es capaz de oscilar a una frecuencia correspondiente a un mínimo de pérdida de todos los elementos insertados. Se sabe que los requisitos exactos para los elementos de selección de modo dependen de la cantidad de ampliación no homogénea a homogénea en el medio de ganancia, así como de cualquier efecto de quema de agujeros espaciales. Además, también se sabe que otros factores actúan para ampliar la anchura de línea de la salida de una cavidad láser, por ejemplo, la temperatura, los cambios de índice de refracción, las vibraciones mecánicas, etc.

45 Con el número cada vez mayor que aplicaciones para fuentes láser, existe un deseo continuo de proporcionar láseres con salidas que muestren una anchura de línea tan estrecha como sea posible. Por ejemplo, las fuentes láser de anchura de línea estrecha son muy deseables para su uso dentro de sensores ópticos y para su uso en los campos de comunicaciones ópticas y metrología de frecuencia óptica.

50 Por lo tanto, un objeto de una realización de la presente invención es proporcionar métodos y aparatos alternativos para bloquear y escanear la salida de la cavidad láser que proporcionan la salida láser con una anchura de línea reducida sobre las técnicas conocidas en la técnica.

55 **Sumario de la invención**

De acuerdo con un primer aspecto de la presente invención, se proporciona un sistema láser que comprende una cavidad láser y un aparato de bloqueo y escaneo para una cavidad láser, comprendiendo el aparato una cavidad de referencia exterior que tiene un sistema de accionamiento de cavidad de referencia para escanear una longitud de cavidad de referencia y un circuito de bloqueo y escaneo conectado eléctricamente a un espejo piezoaccionado doble de la cavidad láser en el que el circuito conectado eléctricamente comprende:

65 un generador de señales para generar una señal de error entre una salida de la cavidad láser y una salida de la cavidad de referencia exterior; caracterizado por que el generador de señales divide la señal de error en un primer y un segundo componente y el circuito de bloqueo y

escaneo comprende además:

5 un primer circuito de procesamiento de señales para procesar un primer componente de la señal de error con el fin de proporcionar una señal de retroalimentación para un primer cristal piezoeléctrico del espejo piezoaccionado doble; y
un segundo circuito de procesamiento de señales para procesar un segundo componente de la señal de error con el fin de proporcionar una señal de retroalimentación para un segundo cristal piezoeléctrico del espejo piezoactivado doble.

10 El aparato descrito anteriormente proporciona un circuito de bloqueo y escaneo que proporciona la salida láser con una anchura de línea más estrecha en comparación con los circuitos conocidos en la técnica. La separación de la circuitería de procesamiento de señales en distintas rutas de señal permite que cada una se optimice para adaptarse a las características del cristal piezoeléctrico correspondiente. Esto permite maximizar la 'ganancia de bucle' de los circuitos de procesamiento mientras se mantiene la estabilidad del bucle de control. El ruido de modulación de
15 frecuencia (anchura de línea) del láser se reduce de este modo hacia el nivel de ruido intrínseco de la cavidad de referencia a medida que aumenta la ganancia de bucle estable máxima.

Es preferible que el espesor del segundo cristal piezoeléctrico sea menor que el espesor del primer cristal piezoeléctrico. Lo más preferentemente es que el segundo cristal piezoeléctrico se configure de tal manera que pueda
20 accionarse a una frecuencia más alta que el primer cristal piezoeléctrico.

Como resultado, el primer cristal piezoeléctrico proporciona preferentemente un medio para escanear el modo de cavidad longitudinal única bloqueada, mientras que el segundo cristal piezoeléctrico proporciona un medio para
25 bloquear la operación de la cavidad láser en un modo de cavidad longitudinal única.

El primer cristal piezoeléctrico puede tener un espesor de 4 mm. La configuración del primer cristal piezoeléctrico preferentemente permite que se accione a una frecuencia menor que 10 kHz. El segundo cristal piezoeléctrico puede tener un espesor menor que 1 mm. Lo más preferentemente es que el segundo cristal piezoeléctrico tenga un espesor
30 menor que 0,5 mm. El segundo cristal piezoeléctrico puede tener un espesor de 0,1 mm.

La configuración del segundo cristal piezoeléctrico preferentemente permite que se accione a una frecuencia mayor que 15 kHz. Lo más preferentemente es que la configuración del segundo piezoeléctrico le permita accionarse a una frecuencia de 100 kHz o más.

35 De acuerdo con un segundo aspecto de la presente invención, se proporciona un método para bloquear y escanear una cavidad láser que comprende;

- proporcionar la cavidad láser con un espejo piezoaccionado doble;
- proporcionar la cavidad láser con una cavidad de referencia exterior que tiene un sistema de accionamiento de
40 cavidad de referencia para escanear una longitud de cavidad de referencia;
- generar una señal de error entre una salida de la cavidad láser y una salida de la cavidad de referencia exterior; caracterizado por
dividir la señal de error en un primer y un segundo componente;
- procesar un primer componente de la señal de error para proporcionar una señal de retroalimentación para un
45 primer cristal piezoeléctrico del espejo piezoaccionado doble; y
- procesar un segundo componente de la señal de error para proporcionar una señal de retroalimentación para un segundo cristal piezoeléctrico del espejo piezoactivado doble.

50 El procesamiento independiente de las señales de retroalimentación para los cristales piezoeléctricos primero y segundo del espejo piezoaccionado doble es ventajoso porque produce una salida láser que muestra una anchura de línea más estrecha en comparación con los métodos conocidos en la técnica.

Preferentemente, la señal de retroalimentación para el primer cristal piezoeléctrico proporciona un medio para escanear el modo de cavidad longitudinal única bloqueada.
55

La señal de retroalimentación para el segundo cristal piezoeléctrico puede proporcionar un medio para bloquear la operación de la cavidad láser en un modo de cavidad longitudinal única.

60 La señal de retroalimentación para el primer cristal piezoeléctrico puede accionar el primer cristal piezoeléctrico a una frecuencia menor que 10 kHz.

Preferentemente, la señal de retroalimentación para el segundo cristal piezoeléctrico acciona el segundo cristal piezoeléctrico a una frecuencia mayor que 15 kHz. Más preferentemente, la señal de retroalimentación para el segundo cristal piezoeléctrico acciona el segundo cristal piezoeléctrico a una frecuencia de 100 kHz o más.
65

Las realizaciones del segundo aspecto de la invención pueden comprender características para implementar las

características preferidas u opcionales del primer aspecto de la invención o viceversa.

Breve descripción de los dibujos

5 Los aspectos y ventajas de la presente invención serán evidentes tras la lectura de la siguiente descripción detallada y haciendo referencia a los siguientes dibujos, en los que:

10 La figura 1 presenta una representación esquemática de un láser de zafiro dopado con titanio que incorpora un aparato de estabilización activa de acuerdo con las realizaciones de la presente invención;

La figura 2 presenta una representación esquemática de una cavidad de referencia exterior empleada por el láser de zafiro dopado con titanio de la figura 1;

15 La figura 3 proporciona una representación esquemática de dos espejos piezoaccionados dobles adecuados para su uso dentro del sistema láser de la figura 1;

La figura 4 proporciona unos diagramas de bloque de dos circuitos de bloqueo y escaneado para controlar los espejos piezoaccionados dobles de la figura 3; y

20 La figura 5 proporciona unos diagramas de bloques de dos circuitos de accionamiento de cavidad de referencia para accionar la cavidad de referencia exterior del láser de zafiro dopado con titanio de la figura 1.

25 En la descripción siguiente, las partes similares están marcadas a través de la memoria descriptiva y los dibujos con los mismos números de referencia. Los dibujos no están necesariamente a escala y las proporciones de ciertas partes se han exagerado para ilustrar mejor los detalles y características de las realizaciones de la invención.

Descripción detallada

30 Los métodos y aparatos para bloquear y escanear la salida de una cavidad láser mientras se reduce la cavidad de anchura de línea asociada se describirán ahora en detalle haciendo referencia a las figuras 1 a 5. En particular, la figura 1 presenta una ilustración esquemática de un láser de zafiro dopado con titanio 1 que incorpora un aparato de estabilización activa. En la realización actualmente descrita, puede verse que el láser 1 comprende una cavidad láser 2 y una cavidad de referencia exterior 3.

35 La cavidad láser 2 muestra una geometría de cavidad de anillo de pajarita definida por un primer espejo 4, un segundo espejo 5, un espejo piezoaccionado 6 y un acoplador de salida 7, todos localizados dentro de una carcasa mecánicamente estable 8. Localizado dentro de la cavidad 2 hay un medio de ganancia de zafiro dopado con titanio 9 (entre los espejos primero 4 y segundo 5); un diodo óptico 10 (entre los espejos primero 4 y piezoaccionado 6); un filtro birrefringente (BRF) 11 (entre el segundo espejo 5 y el acoplador de salida 7); y un etalón con espacio de aire 12 (entre el espejo piezoactivado 6 y el acoplador de salida 7). Esta es una combinación de la geometría de cavidad de anillo y el diodo óptico 10 que fuerza a la cavidad láser 2 a operar de manera unidireccional, resultando en una onda intracavitaria de desplazamiento que elimina los efectos perjudiciales de la quema de agujeros espaciales dentro del medio de ganancia 9.

45 Ya que la absorción óptica dentro del zafiro dopado con titanio se produce en un amplio intervalo de longitud de onda de ~400 nm a ~600 nm, el medio de ganancia 9 puede bombearse ópticamente por cualquier láser "verde" de onda continua disponible comercialmente, por ejemplo, una fuente de láser de estado sólido bombeada por diodo de 532 nm (no mostrada). El bombeo del medio de ganancia 9 tiene lugar preferentemente a través del segundo espejo 5.

50 Con el fin de sintonizar la longitud de onda de la salida láser 13, se emplea el BRF de intracavidad 11. El BRF 11 introduce una pérdida dependiente de la longitud de onda en la cavidad 2, y la sintonización de la longitud de onda se logra por la rotación del BRF 11. El BRF 11 proporciona un ajuste de longitud de onda relativamente rápido pero basto. En ausencia de otras técnicas de estrechamiento de la anchura de línea, la salida láser 13 muestra una anchura de línea de ~8 GHz.

55 La introducción del etalón con espacio de aire 12 en la cavidad láser 2 actúa para reducir aún más la operación de anchura de línea del láser 1. Esto se debe a que el etalón con espacio de aire 12 introduce una pérdida espectral en la cavidad 2 que tiene un ancho de banda de transmisión más estrecho que el mostrado por el BRF 11. Ajustando electrónicamente la separación del etalón con espacio de aire 12, la salida láser 13 también puede sintonizarse finamente. La operación de modo único a largo plazo para la cavidad láser 2 también puede lograrse a través del bloqueo electrónico del servo etalón con espacio de aire intracavitario 12, una técnica conocida por los expertos en la materia. Esta técnica implica bloquear el pico de la función de transmisión del etalón con espacio de aire 12 al modo longitudinal de la cavidad 2 más cercana (dentro del intervalo de captura del servo bucle) haciendo oscilar el espacio del etalón con espacio de aire 12. En ausencia de otras técnicas de reducción de la anchura de línea, la salida láser 60 65 13 muestra una anchura de línea de ~5 MHz.

El espejo piezoaccionado 6 proporciona un medio para mantener una operación de modo longitudinal única a medida que se sintoniza la frecuencia láser, ya que el control preciso del espejo piezoaccionado 6 permite cambiar con precisión la longitud de cavidad y ajustarla para que coincida con la frecuencia del modo de cavidad longitudinal oscilante única a medida que se sintoniza la longitud de cavidad. Con el circuito de bloqueo de pico de etalón con espacio de aire 12 acoplado, la transmisión máxima del etalón con espacio de aire 12 se mantiene bloqueada a esta frecuencia de modo longitudinal oscilante (dentro del intervalo de captura del circuito de bloqueo), incluso cuando esta frecuencia se sintoniza por el espejo piezoactivado 6. En ausencia de otras técnicas de reducción de la anchura de línea, la salida láser 13 muestra una anchura de línea aumentada de aproximadamente un factor de dos a ~10 MHz. Esto es el resultado del ruido mecánico introducido en la cavidad láser 2 por la operación del espejo piezoactivado 6. Por lo tanto, existe una compensación conocida entre poder sintonizar un modo longitudinal único de la cavidad láser 2 con la anchura de línea de la salida láser 13.

Una técnica alternativa conocida para inducir la operación de modo único y proporcionar un medio para escanear la frecuencia de salida de la cavidad láser, es esclavizar la cavidad láser 2 a una cavidad de referencia exterior 3. Esto se logra empleando un espejo de recogida 14 con el fin de redirigir una pequeña parte de la salida 13 desde la cavidad láser 2 hacia la cavidad de referencia exterior 3. Un espejo piezoaccionado doble 6a conectado eléctricamente a un circuito de bloqueo y escaneo proporciona los medios para que la cavidad de referencia exterior 3 controle la cavidad láser 2, cuyos detalles adicionales se proporcionan más adelante.

Haciendo referencia a la figura 2, puede verse que la cavidad de referencia exterior 3 comprende una alta estabilidad, una alta finura, una cavidad lineal definida por los espejos de cavidad primero y segundo, en general, representados por los números de referencia 15 y 16. Se incluye un eje longitudinal 17 en esta figura para facilitar la referencia. Los espejos de cavidad primero 15 y segundo 16 están montados en los cristales piezoeléctricos primero y segundo, en general, representados por los números de referencia 18 y 19, con el fin de permitir el escaneo de la cavidad de referencia (como se describe con más detalle a continuación). El primer espejo 15 y el segundo espejo 16 difieren solo en que se forma una abertura 20 a través del segundo espejo 16 con el fin de permitir que la luz pase a través de este componente. De una manera similar, el primer cristal piezoeléctrico 18 y el segundo cristal piezoeléctrico 19 difieren solo en que se forma una abertura 21 a través del segundo cristal piezoeléctrico 19 con el fin de permitir nuevamente que la luz se propague a través de este componente.

Se sabe que los cristales piezoeléctricos 18 y 19 tienen coeficientes de expansión de alta temperatura, por lo tanto, los cristales piezoeléctricos 18 y 19 se montan mecánicamente de tal manera que su expansión térmica hace que ambos espejos de cavidad 15 y 16 se muevan en la misma dirección a lo largo del eje longitudinal 17. De esta manera, la disposición opto-mecánica de la cavidad de referencia exterior 3 actúa para compensar los efectos de la desviación térmica.

La figura 3 (a) presenta una representación esquemática de una primera realización del espejo piezoactivado doble 6a. En esta realización, un primer cristal piezoeléctrico 22 en la pila doble proporciona una variación de longitud con el fin de sintonizar la cavidad láser 2 a lo largo de la longitud deseada, normalmente alrededor de 30 GHz. Su espesor físico es de alrededor de 4 mm. Su configuración física es de tal manera que la frecuencia máxima a la que puede accionarse es menor que 10 kHz y, por esta razón, el cristal piezoeléctrico 22 se denomina "piezo lento". El segundo cristal piezoeléctrico 23a en la pila doble tiene alrededor de 0,5 mm de espesor y, por lo tanto, proporciona un intervalo de sintonización muy pequeño, normalmente solo de alrededor de 100 MHz. Sin embargo, su configuración física le permite accionarse a una frecuencia mucho más alta, alrededor de 20 kHz, cuando se compara con el primer cristal piezoeléctrico 22, y por esta razón el cristal piezoeléctrico 23a se denomina "piezo rápido". La función principal del piezo rápido 23a es ayudar a reducir el ruido intrínseco de la cavidad láser 2 y reducir de este modo la anchura de línea de la salida láser 13.

La figura 3 (b) presenta una realización preferida del espejo piezoaccionado doble 6b. Esta realización es similar a la descrita anteriormente haciendo referencia a la figura 3 (a) con la excepción de que el piezo rápido 23b tiene ahora un espesor de alrededor de 0,1 mm y una configuración física que le permite accionarlo a frecuencias aún más altas, normalmente 100 kHz o más. Las mayores diferencias en la frecuencia de accionamiento entre el piezo rápido 23b y el piezo lento 22 pueden explotarse para proporcionar una electrónica de bloqueo mejorada, como se describe con más detalle a continuación haciendo referencia a la figura 4 (b).

El bloqueo y escaneo de la cavidad láser 2 en un modo longitudinal único puede lograrse de la siguiente manera. Se genera un patrón marginal por la interferencia entre la salida láser 13 y una salida de la cavidad de referencia 3 generada por la fracción del haz de salida 13 que se desvía hacia la cavidad de referencia 3 por el espejo de recogida 14. La tensión marginal es una medida de la longitud de onda de la salida láser 13 en relación con un modo de la cavidad de referencia 3. Por lo tanto, al mantener la tensión marginal en una fracción fija (normalmente el 50 %) de su valor máximo indica que la longitud de onda de la salida láser 13 está "bloqueada" para un modo de la cavidad de referencia 3.

El sistema de bloqueo mantiene constante la longitud de onda de la salida láser 13 al proporcionar una señal de retroalimentación a los espejos piezoaccionados 6a o 6b en la cavidad láser 2. Tradicionalmente, con el espejo piezoaccionado doble 6a de la figura 3 (a), la señal de retroalimentación se generaría mediante un circuito de bloqueo

y escaneo 24 como se representa en el diagrama de bloques de la figura 4 (a). En un primer bloque 25, se genera una señal de error 26 comparando una tensión marginal 27 con respecto a una tensión que es proporcional a la potencia de salida 28 del láser. A continuación, la señal de error se procesa y se ecualiza dentro de un circuito de procesamiento de señales 29.

5 Un primer componente de la señal de error procesada y ecualizada 30 se filtra por un filtro de paso bajo 31 y a continuación se amplifica por un primer amplificador de alta tensión 32 con el fin de proporcionar una señal de retroalimentación 33 al piezo lento 22 y proporcionar de este modo un medio para escanear la cavidad láser bloqueada 2. Un segundo componente de la señal de error procesada y ecualizada 34 se amplifica de manera similar por un
10 segundo amplificador de alta tensión 35 para proporcionar una señal de retroalimentación 36 al piezo rápido 23a.

Como alternativa, con el espejo piezoaccionado doble 6b de la figura 3 (b), la señal de retroalimentación se generaría mediante un circuito de bloqueo y escaneo 37 como se representa en el diagrama de bloques de la figura 4 (b). El primer bloque 25 genera nuevamente una señal de error 26 comparando la tensión marginal 27 con respecto a una
15 tensión que es proporcional a la potencia de salida 28 del láser. Sin embargo, la señal de error 26 se divide en dos componentes 26a y 26b antes de procesarse y ecualizarse independientemente dentro del circuito de procesamiento de señales dedicado 29a y 29b, respectivamente. A continuación, la señal de error procesada y ecualizada 26a se amplifica por un primer amplificador 35 con el fin de proporcionar una señal de retroalimentación 36 al piezo rápido 23b. La señal de error procesada y ecualizada 26b se amplifica de manera similar por el segundo amplificador 32 con
20 el fin de proporcionar la señal de retroalimentación 33 al piezo lento 22.

Al separar la señal de error 26 en dos componentes, las dos señales 26a y 26b pueden optimizarse individualmente para el ruido, un intervalo dinámico, una corriente continua (CC) y un rendimiento de alta frecuencia correspondiente a su cristal piezoeléctrico asociado 22 y 23b, respectivamente. Esto permite maximizar la ganancia de bucle de control
25 del circuito de procesamiento de señales 29a, lo que da como resultado que la anchura de línea de la salida láser 13 se reduzca cuando la cavidad láser 2 se bloquea en la cavidad de referencia exterior 3.

Con la cavidad láser 2 bloqueada en la cavidad de referencia exterior 3 como se ha descrito anteriormente, la frecuencia de salida del láser puede escanearse (o compensarse) escaneando (o ajustando) a continuación la longitud de la cavidad de referencia 3. Tradicionalmente, esto se logra a través del empleo de un sistema de accionamiento de cavidad de referencia 38 como se representa en el diagrama de bloques de la figura 5 (a). En la primera instancia, un sistema de control 39 genera una primera señal de entrada 40 para un circuito de procesamiento de señales 41.
30

A menudo es deseable también poder proporcionar un medio para bloquear la cavidad láser 2 en una referencia de frecuencia absoluta, tal como una línea de absorción atómica o un medidor de onda de alta precisión de terceros. La cavidad de referencia exterior 3 facilita esta funcionalidad al proporcionar una entrada exterior en el circuito de procesamiento de señales 41 adecuado para recibir una segunda señal de entrada 42 que puede ser cualquier señal de error de frecuencia adecuada, por ejemplo, una señal de retroalimentación de un medidor de onda o una señal transmitida o reflejada de una célula atómica.
35

La primera señal de entrada 40 y, si está presente, la segunda señal de entrada 42 se procesan a continuación dentro del circuito de procesamiento de señales 41 con el fin de 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 se conectan eléctricamente al respectivo cristal piezoeléctrico 18 y 19 a través de los amplificadores de alta tensión 45 y 46, respectivamente. Estas señales 43 y 44 están configuradas para accionar simultáneamente los cristales piezoeléctricos primero 18 y segundo 19 en antifase de tal manera que se muevan en direcciones iguales y opuestas a lo largo del eje longitudinal 17. El espesor de los cristales piezoeléctricos primero 18 y segundo 19 es de tal manera que permiten escanear la cavidad de referencia exterior 3 en alrededor de 120 GHz.
40

Como puede observarse a partir de lo anterior, el diseño de la cavidad de referencia 3 es de tal manera que usa solo una pequeña fracción de la desviación total disponible de los cristales piezoeléctricos primero 18 y segundo 19. Por lo tanto, La longitud de cavidad de referencia puede ajustarse con un alto grado de precisión, permitiendo escaneos precisos de la frecuencia de salida de la cavidad láser 2. Con la presente disposición, se ha demostrado que la cavidad láser 2 proporciona una salida que muestra una anchura de línea de ~ 50 kHz y una desviación de frecuencia absoluta de alrededor de 100 MHz/hr^{°C}.
45

La cantidad de ruido eléctrico que llega a la cavidad de referencia 3 es crítica para el rendimiento general de la cavidad láser 2. Por lo tanto, las anchuras de línea observadas se ven afectadas por el ruido inducido por el movimiento de los cristales piezoeléctricos primero 18 y segundo 19. El ruido inherente en la segunda señal de entrada 42 procedente de la fuente exterior, cuando está presente, también actúa como una fuente de ampliación de la anchura de línea de la salida de la cavidad láser 2. Con el fin de abordar estos efectos perjudiciales, ha resultado altamente beneficioso dividir la funcionalidad de los espejos primero 15 y segundo 16 de la cavidad de referencia exterior 3. Esto se logra reemplazando el sistema de accionamiento de cavidad de referencia 38 presentado en la figura 5 (a) con el sistema de accionamiento de cavidad de referencia 47 de la figura 5 (b).
50

En particular, puede verse que la figura 5 (b) comprende dos sistemas de accionamiento de cavidad independientes 47a y 47b. El primer sistema de accionamiento de cavidad 47a se emplea para accionar solo el primer cristal piezoeléctrico 18 y, por lo tanto, solo el primer espejo de cavidad de referencia 15. En el primer sistema de accionamiento de cavidad 47a, un sistema de control 39 genera nuevamente una señal de entrada 48 que se conecta
 5 eléctricamente al primer cristal piezoeléctrico 18 a través de un primer amplificador de alta tensión 49. El segundo sistema de accionamiento de cavidad 47b se emplea para accionar solo el segundo cristal piezoeléctrico 19 y, por lo tanto, solamente el segundo espejo de cavidad de referencia 16. En el segundo sistema de accionamiento de cavidad 47b, la segunda señal de entrada exterior 42 se conecta eléctricamente al segundo cristal piezoeléctrico 18 a través de un segundo amplificador de alta tensión 50.

10 Con esta disposición, los espejos de cavidad de referencia primero 15 y segundo 16 se mueven independientemente uno de otro. El escaneo de la cavidad láser 2 está controlado principalmente por el primer espejo de cavidad de referencia 15 ya que en ausencia de la segunda señal de entrada exterior 42, el segundo espejo de cavidad de referencia 16 permanece estacionario. Se apreciará que esto reduce eficazmente el intervalo de escaneo de la cavidad de referencia exterior 3 a alrededor de 60 GHz. Sin embargo, este intervalo de exploración sigue siendo un factor de dos mayor que la desviación total disponible de los cristales piezoeléctricos primero 22 y segundo 23 de la cavidad láser 2. Se encuentra que esto es más que suficiente para permitir que la longitud de cavidad de referencia se ajuste con un alto grado de precisión, permitiendo escaneos precisos de la frecuencia de salida de la cavidad láser 2.

15 Una ventaja significativa es el hecho de que al dividir la funcionalidad de los espejos primero 15 y segundo 16 de la cavidad de referencia exterior 3, el ruido inducido en la salida de la cavidad láser 2 se reduce a la mitad de manera eficaz. Esto puede tenerse en cuenta por el hecho de que el sistema de accionamiento de cavidad de referencia 47a comprende menos circuitería electrónica en comparación con el sistema de accionamiento de cavidad de referencia 39. Asimismo, con el sistema de accionamiento de cavidad de referencia 47, solo se está empleando un cristal piezoeléctrico 18 de la cavidad de referencia exterior 3 para escanear la cavidad láser 2.

20 El lector experto en la materia apreciará que, en una realización alternativa, el sistema de accionamiento de referencia puede comprender solo el primer sistema de accionamiento de cavidad 47a, de tal manera que no habría facilidad para mover el segundo espejo de cavidad de referencia 16. Aunque tal realización seguiría siendo beneficiosa para reducir la anchura de línea de la salida láser 13, eliminaría la funcionalidad deseable de poder incorporar una señal de entrada exterior 42.

25 Aprovechando el espejo piezoaccionado doble 6b de la figura 3 (b) y empleando el circuito de bloqueo y escaneo 37, como se representa en el diagrama de bloques de la figura 4 (b), junto con el sistema de accionamiento de cavidad de referencia 47 de la figura 5 (b), ha permitido que la cavidad láser 2 produzca una salida de modo única 13 que puede escanearse decenas de GHz y que muestre una anchura de línea menor que 10 kHz. Esto se compara favorablemente con las anchuras de línea de cientos de kHz encontradas en los sistemas de escaneo conocidos en la técnica que no emplean estos componentes.

30 Aunque todas las realizaciones anteriores se han descrito haciendo referencia a un sistema láser de zafiro dopado con titanio que tiene una geometría de cavidad de anillo de pajarita, el lector experto en la materia apreciará que el aparato y las técnicas no se limitan al uso con tales sistemas. Estos componentes también podrían aplicarse a cualquier cavidad láser alternativa que emplee un espejo piezoaccionado doble y una cavidad exterior para fines de bloqueo y escaneo.

35 Anteriormente se han descrito dos sistemas que pueden emplearse para bloquear y escanear la salida de una cavidad láser. El primero implica el uso de un espejo piezoaccionado doble que permite el procesamiento por separado de la señal de error usada para proporcionar una señal de retroalimentación eléctrica a los dos cristales piezoeléctricos. El segundo implica un sistema de accionamiento de cavidad de referencia que actúa para dividir la funcionalidad de los espejos primero y segundo de una cavidad de referencia exterior empleada para bloquear y escanear la cavidad láser. Cuando se aplican de manera independiente o juntos, los métodos y aparatos descritos pueden usarse para bloquear y escanear la salida de la cavidad láser mientras se proporciona a la salida láser una anchura de línea reducida en comparación con los sistemas láser conocidos en la técnica.

40 A lo largo de la memoria descriptiva, a menos que el contexto indique otra cosa, los términos "comprenden" o "incluyen", o variaciones tales como "comprende" o "que comprende", "incluye" o "incluyendo" se entenderá que implican la inclusión de un entero o grupo de enteros establecido, pero no la exclusión de ningún otro entero o grupo de enteros.

45 Asimismo, la referencia a cualquier técnica anterior en la descripción no debería tomarse como una indicación de que la técnica anterior forma parte del conocimiento común general.

50 La descripción anterior de la invención se ha presentado con fines ilustrativos y descriptivos y no pretende ser exhaustiva ni limitar la invención a la forma precisa desvelada. Las realizaciones descritas se eligieron y describieron con el fin de explicar mejor los principios de la invención y su aplicación práctica para permitir de ese modo que otros expertos en la materia utilicen mejor la invención en diversas realizaciones y con diversas modificaciones que sean

adecuadas para el uso específico contemplado. Por lo tanto, pueden incorporarse modificaciones o mejoras adicionales sin desviarse del alcance de la invención tal y como se define en las reivindicaciones adjuntas.

REIVINDICACIONES

1. Un sistema láser (1) que comprende una cavidad láser (2) y un aparato de bloqueo y escaneo para la cavidad láser (2), comprendiendo el aparato de bloqueo y escaneo: una cavidad de referencia exterior (3) que tiene un sistema de accionamiento de cavidad de referencia (38, 47) para escanear una longitud de cavidad de referencia; y un circuito de bloqueo y escaneo (37) conectado eléctricamente a un espejo piezoaccionado doble (6a, 6b) de la cavidad láser (2), en el que el circuito de bloqueo y escaneo (37) comprende un generador de señales (25) para generar una señal de error (26) entre una salida de la cavidad láser (2) y una salida de la cavidad de referencia exterior (3), **caracterizado por que** el generador de señales (25) está configurado para dividir la señal de error (26) en un primer (26b) y un segundo componente (26a), y el circuito de bloqueo y escaneo (37) comprende además:
- un primer circuito de procesamiento de señales (29b) para procesar el primer componente (26b) de la señal de error (26) para proporcionar una señal de retroalimentación (33) para un primer cristal piezoeléctrico (22) del espejo piezoaccionado doble (6a, 6b); y
 - un segundo circuito de procesamiento de señales (29a) para procesar el segundo componente (26a) de la señal de error (26) para proporcionar una señal de retroalimentación (36) para un segundo cristal piezoeléctrico (23a, 23b) del espejo piezoaccionado doble (6a, 6b).
2. Un sistema láser (1) de acuerdo con la reivindicación 1, en el que el espesor del segundo cristal piezoeléctrico (23a, 23b) del espejo piezoaccionado doble (6a, 6b) es menor que el espesor del primer cristal piezoeléctrico (22).
3. Un sistema láser (1) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 o 2, en el que una configuración del segundo cristal piezoeléctrico (23a, 23b) del espejo piezoaccionado doble (6a, 6b) es de tal manera que puede accionarse a una frecuencia más alta que el primer cristal piezoeléctrico (22) del espejo piezoactivado doble (6a, 6b).
4. Un sistema láser (1) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el primer cristal piezoeléctrico (22) del espejo piezoactivado doble (6a, 6b) tiene un espesor de 4 mm.
5. Un sistema láser (1) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que una configuración del primer cristal piezoeléctrico (22) del espejo piezoaccionado doble (6a) permite que se accione a una frecuencia menor que 10 kHz.
6. Un sistema láser (1) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el segundo cristal piezoeléctrico (23a, 23b) del espejo piezoaccionado doble (6) tiene un espesor menor que 1 mm o, como alternativa, menor que 0,5 mm.
7. Un sistema láser (1) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la configuración del segundo cristal piezoeléctrico (23a) del espejo piezoaccionado doble (6a) permite que se accione a una frecuencia mayor que 15 kHz o, como alternativa, a una frecuencia mayor que 100 kHz.
8. Un sistema láser (1) de acuerdo con la reivindicación 1, en el que el primer cristal piezoeléctrico (22) del espejo piezoactivado doble (6a, 6b) proporciona un medio para escanear un modo de cavidad longitudinal única bloqueada.
9. Un sistema láser (1) de acuerdo con la reivindicación 8, en el que el segundo cristal piezoeléctrico (23b) del espejo piezoactivado doble (6a, 6b) proporciona un medio para bloquear la operación de una cavidad láser (2) en un modo de cavidad longitudinal única.
10. Un método para bloquear y escanear una cavidad láser (2) que comprende:
- proporcionar la cavidad láser (2) con un espejo piezoactivado doble (6a, 6b);
 - proporcionar la cavidad láser (2) con una cavidad de referencia exterior (3) que tiene un sistema de accionamiento de cavidad de referencia (38, 47) para escanear una longitud de cavidad de referencia;
 - generar una señal de error (26) entre una salida de la cavidad láser (2) y una salida de la cavidad de referencia exterior (3);
- caracterizado por**
- dividir la señal de error (26) en un primer (26b) y un segundo componente (26a);
 - procesar el primer componente (26b) de la señal de error (26) para proporcionar una señal de retroalimentación (33) para un primer cristal piezoeléctrico (22) del espejo piezoactivado doble (6a, 6b); y
 - procesar el segundo componente (26a) de la señal de error (26) para proporcionar una señal de retroalimentación (36) para un segundo cristal piezoeléctrico (23a, 23b) del espejo piezoaccionado doble (6a, 6b).
11. Un método para bloquear y escanear una cavidad láser (2) de acuerdo con la reivindicación 10 en el que la señal de retroalimentación (33) para el primer cristal piezoeléctrico (22) del espejo piezoactivado doble (6a, 6b) proporciona un medio para escanear un modo de cavidad longitudinal única bloqueada.
12. Un método para bloquear y escanear una cavidad láser (2) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 10

u 11, en el que la señal de retroalimentación (36) para el segundo cristal piezoeléctrico (23a, 23b) del espejo piezoaccionado doble (6a, 6b) proporciona un medio para bloquear la operación de la cavidad láser (2) en un modo de cavidad longitudinal única.

- 5 13. Un método para bloquear y escanear una cavidad láser (2) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 10 a 12, en el que la señal de retroalimentación (33) para el primer cristal piezoeléctrico (22) del espejo piezoactivado doble (6a, 6b) acciona el primer cristal piezoeléctrico (22) del espejo piezoactivado doble (6a, 6b) a una frecuencia menor que 10 kHz.
- 10 14. Un método para bloquear y escanear una cavidad láser de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 10 a 13, en el que la señal de retroalimentación (36) para el segundo cristal piezoeléctrico (23a, 23b) del espejo piezoaccionado doble (6a, 6b) acciona el segundo cristal piezoeléctrico (23a, 23b) del espejo piezoaccionado doble (6a, 6b) a una frecuencia mayor que 15 kHz o, como alternativa, a una frecuencia de 100 kHz o más.

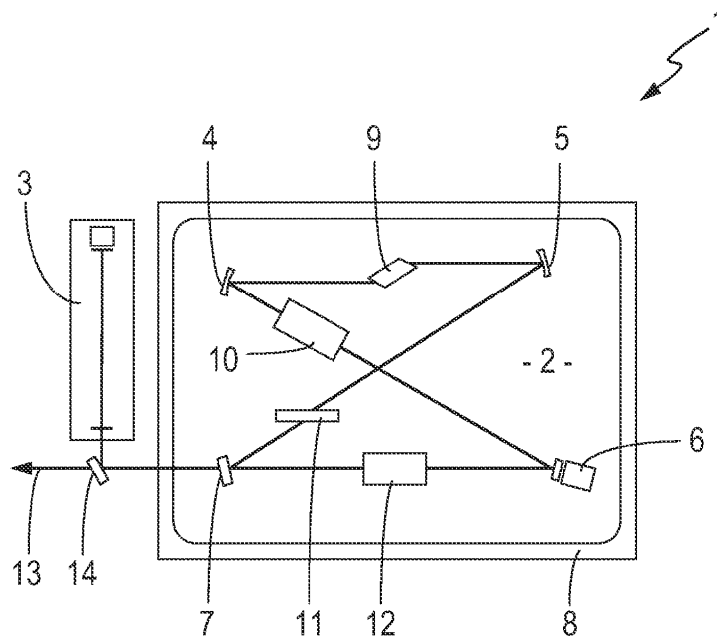


Fig. 1

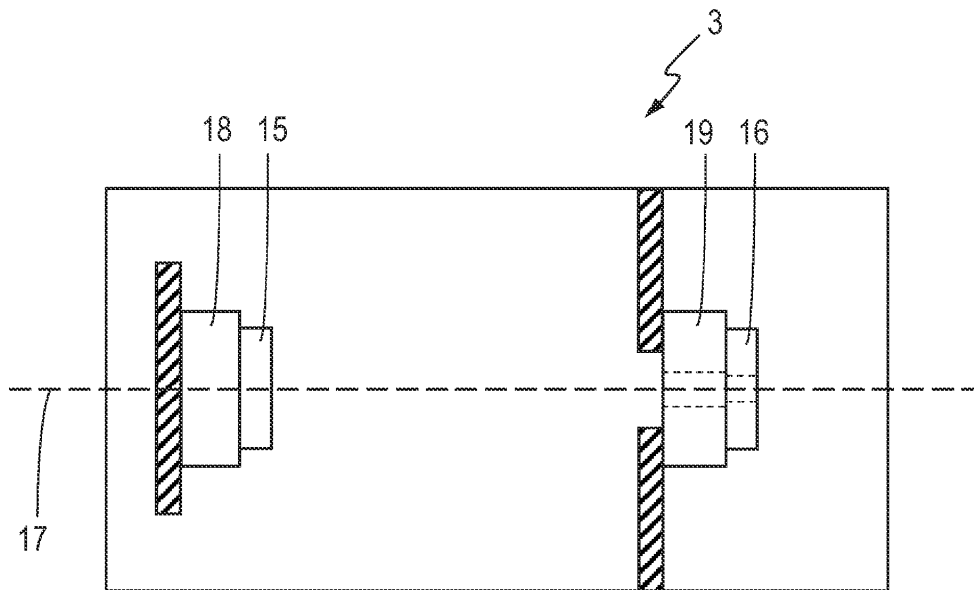


Fig. 2

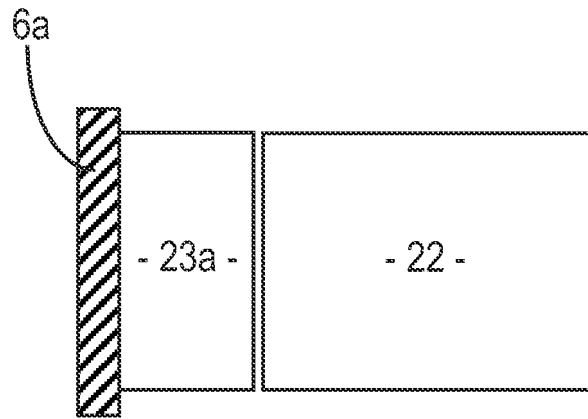


Fig. 3(a)

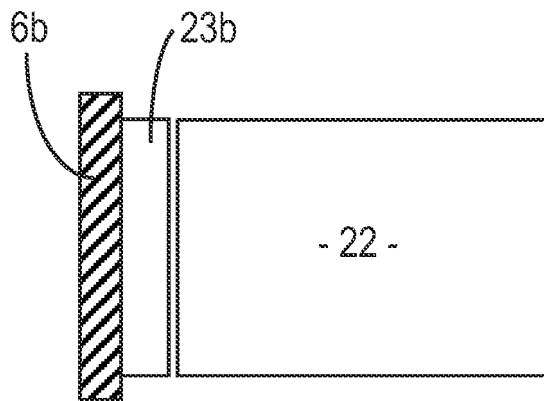
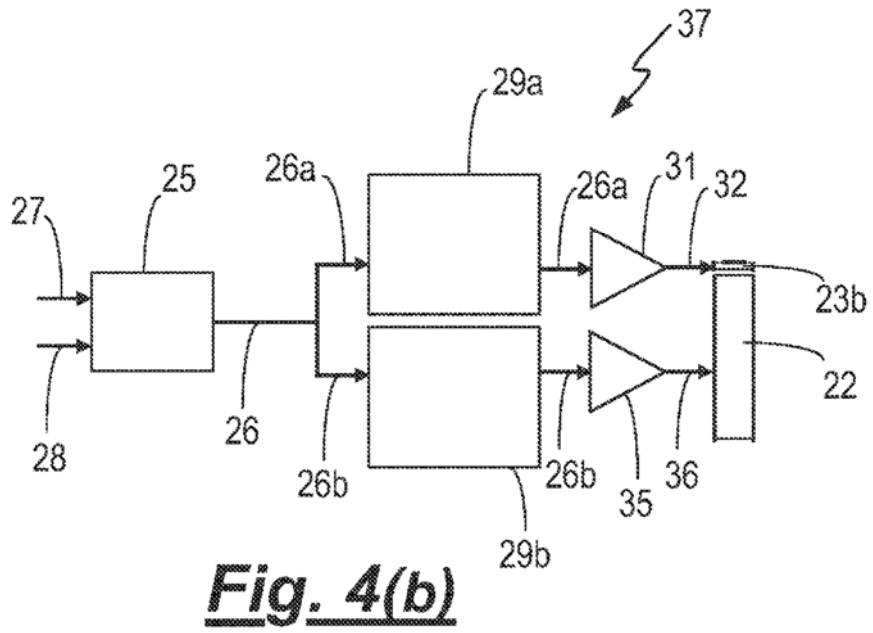
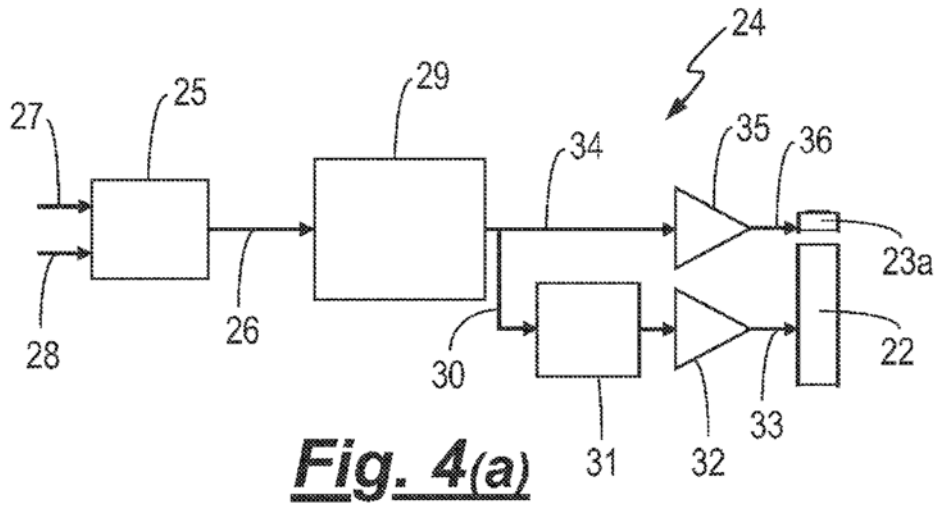


Fig. 3(b)



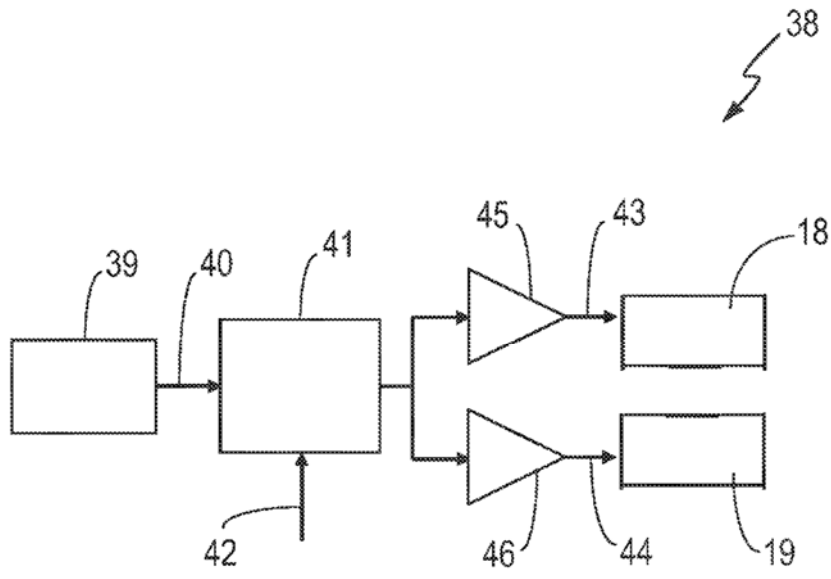


Fig. 5(a)

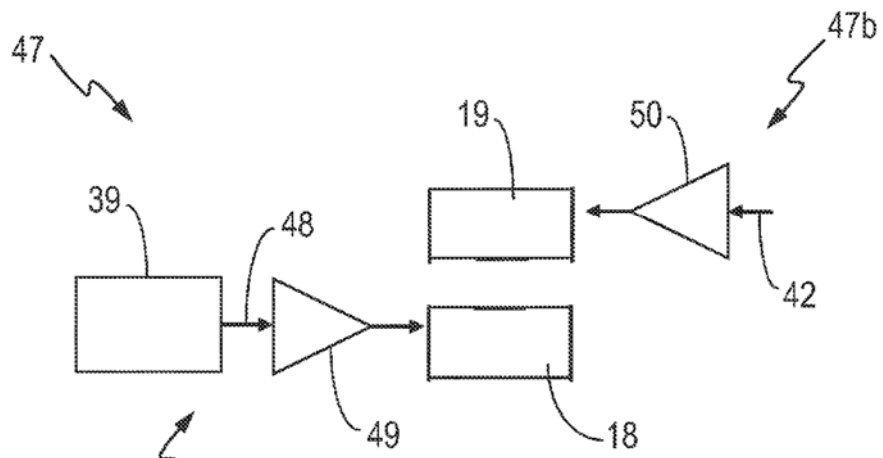


Fig. 5(b)