

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 669 059**

51 Int. Cl.:

G01N 21/47 (2006.01)

A61B 3/10 (2006.01)

A61B 3/12 (2006.01)

G01B 9/02 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **27.07.2006** **E 13156571 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **14.03.2018** **EP 2597457**

54 Título: **Sistema de formación de imagen de tomografía de coherencia óptica en el dominio de la frecuencia**

30 Prioridad:

28.07.2005 US 703376 P

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

23.05.2018

73 Titular/es:

**BIOPTIGEN, INC. (100.0%)
104 T.W. Alexander Drive
Durham NC 27709, US**

72 Inventor/es:

**IZATT, JOSEPH A.;
BUCKLAND, ERIC J. y
BROWN, WILLIAM J.**

74 Agente/Representante:

ISERN JARA, Jorge

ES 2 669 059 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

Sistema de formación de imagen de tomografía de coherencia óptica en el dominio de la frecuencia

5 Solicitudes relacionadas

La presente solicitud reivindica la prioridad de la solicitud provisional de EE. UU. con n.º 60/703.376.

Antecedentes de la invención

10 La presente invención se refiere a sistemas de formación de imagen y, más en concreto, a sistemas de formación de imagen de coherencia óptica.

15 Se conoce una diversidad de enfoques para la formación de imagen usando tomografía de coherencia óptica (OCT, *optical coherence tomography*). Tales sistemas se pueden caracterizar como OCT en el dominio de Fourier (FD-OCT, *Fourier domain OCT*) y OCT en el dominio del tiempo (TD-OCT, *time domain OCT*). En general, la FD-OCT incluye fuente de barrido (SS, *swept source*) y dominio espectral (SD, *spectral domain*), en donde los sistemas de SD usan, en general, una fuente de banda ancha junto con un espectrómetro en lugar de una fuente de láser de barrido y un fotodiodo o fotodiodos. En general, los sistemas de TD se basan en el movimiento de un espejo o fuente de referencia con el tiempo para controlar la profundidad de la formación de imagen mediante la provisión de una supresión controlada de profundidad de coherencia para los fotones que vuelven desde la muestra que se está sometiendo a formación de imagen. Ambos sistemas usan fuentes ópticas de banda ancha, produciendo una coherencia agregada baja que dicta la resolución alcanzable en la dirección axial o de profundidad.

25 Estas técnicas de formación de imagen se derivan del campo general de la reflectometría óptica de baja coherencia (OLCR, *Optical Low Coherence Reflectometry*). Las técnicas en el dominio del tiempo se derivan en concreto de la reflectometría óptica en el dominio de la coherencia. Las técnicas de fuente de barrido se derivan en concreto de la reflectometría óptica en el dominio de la frecuencia. Se ha hecho referencia a las técnicas de dominio espectral como "radar espectral".

30 En contraposición a los sistemas en el dominio del tiempo, la profundidad de la formación de imagen se puede determinar, en la FD-OCT, por medio de las relaciones de transformada de Fourier entre el espectro adquirido, en lugar de por el intervalo de un espejo físicamente explorado, permitiendo de ese modo una adquisición concurrente de fotones a partir de todas las profundidades sometidas a formación de imagen en la muestra. En concreto, en la FD-OCT, el intervalo de frecuencia óptica entre elementos muestreados del espectro se puede usar para controlar la profundidad de la formación de imagen, con un intervalo de muestreo más estrecho que proporciona una capacidad de formación de imagen más profunda.

40 Además del ancho de banda total, que en general controla la resolución axial, y el intervalo de muestreo, que en general controla la profundidad de la formación de imagen, un tercer parámetro, el ancho de línea muestreado eficaz, en general controla una calidad de la imagen como una función de la profundidad. Tal como se usan en el presente documento, las referencias a "ancho de línea" se refieren al ancho de línea muestreado eficaz a menos que se indique lo contrario. A medida que se aumenta el ancho de línea muestreado eficaz en cada intervalo muestreado, disminuye la longitud de coherencia muestreada eficaz, lo que puede producir una envolvente perjudicial de una relación de señal con respecto a ruido decreciente a lo largo de la profundidad sometida a formación de imagen. Este comportamiento se conoce habitualmente como caída progresiva y, en general, es deseable reducir al mínimo esta caída progresiva de calidad de señal.

50 ZHAO YONGHUA ET AL: "Optical frequency-domain reflectometry (OFDR) using an integrated fiber tunable filter", *PROC SPIE INT SOC OPT ENG; PROCEEDINGS OF SPIE - THE INTERNATIONAL SOCIETY FOR OPTICAL ENGINEERING 1999 SOCIETY OF PHOTO-OPTICAL INSTRUMENTATION ENGINEERS*, BELLINGHAM, WA, EE. UU., vol. 3598, 1999, páginas 56 - 60, divulga un dispositivo compacto para una reflectometría óptica en el dominio de la frecuencia (OFDR, *optical frequency domain reflectometry*) que comprende un interferómetro de Michelson y un filtro afinable de Fabry-Pérot de fibra para una exploración de longitud de onda rápida.

55 KINOSHITA M ET AL: "OPTICAL FREQUENCY-DOMAIN IMAGING MICROPROFILOMETRY WITH A FREQUENCY-TUNABLE LIQUID CRYSTAL FABRY-PÉROT ETALON DEVICE", *APPLIED OPTICS*, OSA, OPTICAL SOCIETY OF AMERICA, WASHINGTON, DC, EE. UU., divulga un microscopio óptico de interferencia en el dominio de la frecuencia con un interferómetro de Fabry-Pérot de cristal líquido como un dispositivo de exploración de frecuencia óptica.

60 Sumario de la invención

65 La presente invención de acuerdo con las reivindicaciones adjuntas se dirige a un sistema de formación de imagen de coherencia óptica en el dominio de la frecuencia que tiene una fuente óptica, un detector óptico y una trayectoria de transmisión óptica entre la fuente óptica y el detector óptico. La fuente óptica puede ser una fuente de banda ancha o de baja coherencia o una fuente de láser de barrido y la trayectoria de transmisión óptica incluye un filtro óptico periódico.

En otras formas de realización, el detector óptico es una pluralidad de detectores ópticos y la trayectoria de transmisión óptica incluye una máscara espacial que se sitúa en las proximidades de los detectores ópticos. La pluralidad de detectores ópticos pueden ser un espectrómetro y la máscara espacial se puede situar en el espectrómetro. El espectrómetro puede ser un espectrómetro afinable.

5 En algunas formas de realización adicionales, la fuente óptica es una fuente de banda ancha y la trayectoria de transmisión óptica incluye un divisor óptico que tiene un primer lado que incluye un puerto que está acoplado con una rama de fuente y un puerto que está acoplado con una rama de detector y un segundo lado que tiene un puerto que está acoplado con una rama de referencia y un puerto que está acoplado con una rama de muestra. La trayectoria de transmisión óptica incluye adicionalmente un filtro óptico periódico. El filtro óptico periódico se puede situar en la rama de detector entre el divisor óptico y el detector óptico. El detector óptico puede ser un primer espectrómetro y un segundo espectrómetro y el filtro óptico periódico pueden tener una primera salida que está acoplada con el primer espectrómetro y una segunda salida que está acoplada con el segundo espectrómetro. El filtro óptico periódico puede ser un intercalador que tiene una finura de dos o de más de dos. El filtro óptico periódico puede tener un rango espectral libre que coincide sustancialmente con una separación de píxeles del primer y el segundo espectrómetro.

20 En otras formas de realización, el detector óptico es un espectrómetro y el sistema incluye adicionalmente un dispositivo de conmutación óptica en la rama de detector que acopla de forma selectiva una pluralidad de salidas del filtro óptico periódico con el espectrómetro. El filtro óptico periódico puede ser un intercalador que tiene una finura de dos y la pluralidad de salidas del filtro periódico pueden ser una primera salida de peine y una segunda salida de peine, teniendo cada una unas anchuras de pico sustancialmente iguales y la segunda salida de peine puede estar desplazada con respecto a la primera salida de peine aproximadamente la mitad de un rango espectral libre del filtro óptico periódico.

25 En algunas formas de realización adicionales más, el filtro óptico periódico es una pluralidad en cascada de filtros ópticos y el detector óptico es un primer espectrómetro y un segundo espectrómetro. Los filtros ópticos periódicos en cascada tienen una primera salida que está acoplada con el primer espectrómetro y una segunda salida que está acoplada con el segundo espectrómetro. La primera salida puede ser un primer conjunto de salidas de entre uno de los filtros ópticos periódicos en cascada y la segunda salida puede ser un segundo conjunto de salidas a partir de otro de los filtros ópticos periódicos en cascada. El sistema puede incluir adicionalmente un primer dispositivo de conmutación óptica que acopla el primer conjunto de salidas con el primer espectrómetro y un segundo dispositivo de conmutación óptica que acopla el segundo conjunto de salidas con el segundo espectrómetro. Los filtros periódicos en cascada se pueden configurar para generar el primer y el segundo conjunto de salidas mediante la división de una señal óptica que se introduce en una pluralidad de peines que son periódicos y están desplazados uno con respecto a otro. El primer y el segundo espectrómetro pueden tener una separación de píxeles sustancialmente igual al rango espectral libre más grande de los filtros ópticos periódicos en cascada. Los filtros ópticos periódicos en cascada pueden incluir al menos una salida que no está acoplada con el primer o el segundo espectrómetro y una caída progresiva de imagen del sistema se puede determinar sobre la base de una anchura de filtro del más estrecho de los filtros ópticos periódicos y una caída progresiva del sistema se puede determinar sobre la base de un intervalo óptico mínimo entre los píxeles del detector óptico.

45 En otras formas de realización, el filtro óptico periódico es un filtro óptico periódico afinable que tiene un espectro de peine de longitud de onda de salida seleccionable. El filtro óptico periódico afinable puede tener un rango espectral libre y/o una finura seleccionable. El filtro óptico periódico afinable puede tener una tasa de afinado que se selecciona sobre la base de una tasa de imagen deseada para el sistema. El filtro óptico periódico afinable puede tener un número de etapas en una exploración que se selecciona para proporcionar una resolución y/o caída progresiva deseada.

50 En algunas formas de realización adicionales, el filtro óptico periódico se sitúa en la rama de fuente entre el divisor óptico y la fuente óptica.

55 En otras formas de realización más, el sistema incluye adicionalmente un segundo filtro óptico periódico. El primer filtro óptico periódico se sitúa en la rama de referencia o la rama de muestra y el segundo filtro óptico periódico se sitúa en una rama diferente del sistema. Los filtros ópticos periódicos pueden ser unos intercaladores que tienen sustancialmente el mismo rango espectral libre (FSR, *free spectral range*) y una finura de al menos dos y los filtros ópticos periódicos pueden estar desplazados aproximadamente un cuarto del FSR. Uno o ambos de los filtros ópticos periódicos pueden ser un filtro óptico periódico afinable.

60 En otras formas de realización, la fuente óptica es una pluralidad de fuentes ópticas afinables y el detector óptico es una pluralidad de detectores ópticos, unos de los cuales están ópticamente acoplados con unas respectivas de las fuentes ópticas afinables por medio de la trayectoria de transmisión óptica. La trayectoria de transmisión óptica puede incluir un multiplexor óptico que acopla la pluralidad de fuentes ópticas afinables con una rama de fuente del sistema y un desmultiplexor óptico que acopla la pluralidad de detectores ópticos con una rama de detector del sistema. Un filtro óptico periódico se puede proporcionar en la rama de fuente, la rama de detector, una rama de muestra del sistema y / o una rama de referencia del sistema.

En algunas formas de realización adicionales más, la fuente óptica incluye fuentes de diodos superluminescentes y los detectores ópticos son espectrómetros, unos de los cuales están ópticamente acoplados con un intervalo de longitudes de onda seleccionado que es emitido por las fuentes de diodos superluminescentes. La trayectoria de transmisión óptica puede incluir un multiplexor óptico que acopla las fuentes de diodos superluminescentes con una rama de fuente del sistema y un desmultiplexor óptico que acopla los espectrómetros con una rama de detector del sistema. Un filtro óptico periódico se puede proporcionar en la rama de fuente, la rama de detector, una rama de muestra del sistema y / o una rama de referencia del sistema.

En otras formas de realización, la fuente óptica incluye una pluralidad de fuentes ópticas y el detector óptico incluye una pluralidad de detectores ópticos. La trayectoria de transmisión óptica incluye un divisor óptico que tiene un primer lado que incluye un puerto que está acoplado con una rama de fuente y un segundo lado que tiene un puerto que está acoplado con una rama de referencia y un puerto que está acoplado con una rama de muestra y un multiplexor / desmultiplexor óptico que acopla la pluralidad de fuentes ópticas y detectores ópticos con la rama de fuente. La pluralidad de fuentes ópticas y detectores ópticos puede ser una pluralidad de pares de fuente óptica y de detector y la trayectoria de transmisión óptica puede incluir adicionalmente una pluralidad de circuladores que acoplan unos respectivos de los pares de fuente óptica y de detector con el multiplexor / desmultiplexor óptico.

En algunas formas de realización adicionales, la fuente óptica es una fuente de banda ancha y el detector óptico es un espectrómetro. La trayectoria de transmisión óptica incluye un divisor óptico que tiene un primer lado que incluye un puerto que está acoplado con el espectrómetro y un segundo lado que tiene un puerto que está acoplado con una rama de referencia y un puerto que está acoplado con una rama de muestra y una disposición de filtros ópticos periódicos que acopla la rama de muestra y la rama de referencia con la fuente de banda ancha. El divisor óptico puede ser un primer divisor óptico y la disposición de filtros ópticos periódicos puede incluir un primer filtro óptico periódico que está acoplado con la rama de referencia y un segundo filtro óptico periódico que está acoplado con la rama de muestra. Se puede proporcionar un segundo divisor óptico que tiene un primer lado que incluye un puerto que está acoplado con la fuente de banda ancha y un segundo lado que incluye un puerto que está acoplado con el primer filtro óptico periódico y un segundo puerto que está acoplado con el segundo filtro óptico periódico. El primer filtro óptico periódico y el primer divisor óptico se pueden acoplar con la rama de referencia mediante un primer circulador y el segundo filtro óptico periódico y el primer divisor óptico se pueden acoplar con la rama de muestra mediante un segundo circulador.

El sistema de formación de imagen de coherencia óptica incluye un divisor óptico, una fuente óptica y un detector óptico. En algunas formas de realización el divisor óptico tiene un primer lado que incluye un puerto que está acoplado con una rama de fuente y un puerto que está acoplado con una rama de detector y un segundo lado que tiene un puerto que está acoplado con una rama de referencia y un puerto que está acoplado con una rama de muestra. La fuente óptica está acoplada con la rama de fuente y genera una salida de peine que tiene una separación y un ancho de línea asociados. El detector óptico está acoplado con la rama de detector. El detector óptico tiene una separación y un ancho de banda que se seleccionan sobre la base de la separación y el ancho de línea asociadas de la fuente óptica para reducir un ancho de línea eficaz del sistema de formación de imagen.

Breve descripción de los dibujos

La figura 1 es un diagrama de bloques esquemático que ilustra un motor (sistema) óptico de acuerdo con algunas formas de realización de la presente invención.

La figura 2 es un diagrama de bloques esquemático que ilustra un motor (sistema) óptico de acuerdo con otras formas de realización de la presente invención.

La figura 3 es un diagrama de bloques esquemático que ilustra un motor (sistema) óptico de acuerdo con otras formas de realización de la presente invención.

La figura 4 es un diagrama de bloques esquemático que ilustra un motor (sistema) óptico de acuerdo con algunas formas de realización adicionales de la presente invención.

La figura 5A es un diagrama de bloques esquemático que ilustra un motor (sistema) óptico de acuerdo con otras formas de realización de la presente invención.

La figura 5B es un diagrama de bloques esquemático que ilustra un motor (sistema) óptico de acuerdo con algunos ejemplos adicionales de la presente divulgación.

La figura 6 es un diagrama de bloques esquemático de un motor (sistema) óptico de acuerdo con algunas formas de realización de la presente invención.

La figura 7 es un diagrama de bloques esquemático de un motor (sistema) óptico de acuerdo con algunas formas de realización adicionales de la presente invención.

La figura 8 es un diagrama de bloques esquemático de un motor (sistema) óptico de acuerdo con otras formas de realización de la presente invención.

La figura 9 es un diagrama de bloques esquemático de un motor (sistema) óptico de acuerdo con algunos ejemplos adicionales de la presente divulgación.

La figura 10 es un diagrama de bloques esquemático de un motor (sistema) óptico de acuerdo con algunos ejemplos adicionales de la presente divulgación.

La figura 11 es un diagrama de bloques esquemático de un motor (sistema) óptico de acuerdo con algunas formas de realización adicionales de la presente invención.

La figura 12 es un diagrama de bloques esquemático de un motor (sistema) óptico de acuerdo con algunas formas de realización adicionales de la presente invención.

La figura 13 es un diagrama de bloques esquemático de un motor (sistema) óptico de acuerdo con algunos ejemplos adicionales de la presente divulgación.

5 La figura 14 es un diagrama de bloques esquemático de un motor (sistema) óptico de acuerdo con algunas formas de realización adicionales de la presente invención.

Descripción detallada de la invención

10 A continuación se describirán algunas formas de realización a modo de ejemplo específicas de la invención con referencia a los dibujos adjuntos. No obstante, la presente invención se puede materializar en muchas formas diferentes y no se debería interpretar como limitada a las formas de realización que se exponen en el presente documento; más bien, estas formas de realización se proporcionan de tal modo que la presente divulgación sea minuciosa y completa, y que transmita plenamente el alcance de la invención a los expertos en la materia. No se
15 tiene por objeto que la terminología que se usa en la descripción detallada de las formas de realización a modo de ejemplo particulares que se ilustran en los dibujos adjuntos sea limitante de la invención. En los dibujos, números semejantes se refieren a elementos semejantes.

20 Tal como se usan en el presente documento, se tiene por objeto que las formas singulares “un”, “una” y “el / la” incluyan asimismo las formas pluralidades, a menos que se indique de forma expresa lo contrario. Se entenderá adicionalmente que las expresiones “incluye”, “comprende”, “incluyendo / que incluye” y / o “comprendiendo / que comprende”, cuando se usan en la presente memoria descriptiva, especifican la presencia de características, números enteros, etapas, operaciones, elementos y / o componentes, expuestos, pero no excluyen la presencia o la
25 adición de otras una o más características, números enteros, etapas, operaciones, elementos, componentes y / o grupos de los mismos. Se entenderá que, cuando se hace referencia a un elemento como que está “conectado” o “acoplado” a otro elemento, este puede estar conectado o acoplado directamente con el otro elemento o se pueden encontrar presentes elementos intermedios. Además, “conectado” o “acoplado”, tal como se usa en el presente documento, puede incluir conectado o acoplado de forma inalámbrica. Tal como se usa en el presente documento, la expresión “y / o” incluye cualesquiera y todas las combinaciones de uno o más de los elementos enumerados
30 asociados.

A menos que se defina lo contrario, todas las expresiones (incluyendo las expresiones técnicas y científicas) que se usan en el presente documento tienen el mismo significado que es habitualmente entendido por un experto en la materia a la que pertenece la presente invención. Se entenderá adicionalmente que las expresiones, tales como las
35 que se definen en los diccionarios de uso común, se deberían interpretar como que tienen un significado que sea consistente con su significado en el contexto de la técnica relevante y de la presente memoria descriptiva y no se interpretarán en un sentido idealizado o excesivamente formal a menos que se defina de este modo de forma expresa en el presente documento.

40 Algunos ejemplos de la presente divulgación proporcionan unos motores (sistemas) ópticos para OCT que emplean uno o más dispositivos de filtrado óptico que pueden aumentar la resolución de imagen, aumentar la profundidad de imagen y / o reducir la caída progresiva de imagen. Los filtros pueden desempeñar varias funciones que incluyen: asegurar que cada detector individual ve una muestra de fuente gestionada por ancho de línea en cualquier momento dado; seleccionar qué porción del espectro es vista por un espectrómetro; y conformar el ancho de banda
45 que es visto por cada píxel en el interior de cualquiera de los espectrómetros. Las ventajas de la adición de un filtrado en algunos ejemplos pueden incluir una calidad de imagen intrínsecamente superior, un desempeño mejorado con unas partes menos costosas, una caída progresiva mejorada mediante el estrechamiento del ancho de línea muestreado eficaz, unos sistemas de una resolución más alta que son posibilitados por múltiples fuentes que abarcan unas longitudes de onda más largas y una velocidad de formación de imagen más alta sobre la base de las ventajas adicionales de la adquisición de datos en paralelo, lo que puede posibilitar unos intervalos de exploración más cortos para fuentes de barrido o múltiples espectrómetros, cada uno de los cuales adquiere datos.

50 En algunos ejemplos de la presente divulgación se añade un filtro óptico a un motor de OCT que, por lo demás, es convencional. Los filtros ópticos son unos dispositivos que pasan de forma selectiva la luz sobre la base de las propiedades físicas de la luz, incluyendo la longitud de onda, el modo de onda y / o la polarización. Los ejemplos de filtros ópticos incluyen filtros de película delgada, rejillas de Bragg de fibra, filtros dicróicos, filtros de guía de ondas dispuesta en matriz, filtros de Fabry Pérot, rejillas de difracción escalonadas, intercaladores, rejillas de difracción en bruto y otros. Estos dispositivos se encuentran comercialmente disponibles de numerosas empresas, incluyendo grandes proveedores ópticos, tales como JDSU y Bookham.
60

Los filtros ópticos se pueden agrupar en varias categorías que incluyen: tipo 1, filtros que tienen una entrada y dos salidas que separan una banda de longitudes de onda; tipo 2, filtros que tienen una entrada y múltiples salidas que separan bandas de longitudes de onda; y tipo 3, filtros que tienen una entrada y dos salidas que separan las longitudes de onda de una forma periódica. El tipo 1 incluye filtros de película delgada, filtros dicróicos y rejillas de Bragg de fibra (con circuladores). En general, estos filtros son útiles para añadir o retirar una longitud de onda particular con respecto a un grupo de longitudes de onda. Al disponer en cascada estos filtros, múltiples longitudes
65

de onda se pueden combinar o dividirse a pesar de que la pérdida de inserción puede limitar el desempeño de la cascada.

Los filtros de tipo 2 incluyen guías de ondas dispuestas en matriz (AWG, *arrayed waveguide*), rejillas de difracción escalonadas, y rejillas de difracción en bruto. En general, estos filtros dividen la luz de entrada en muchos grupos de longitud de onda, teniendo cada grupo su propio puerto de salida. En general, estos filtros son útiles para combinar o dividir muchas longitudes de onda con unos recuentos de puertos de hasta 80 disponibles en la actualidad, y se han notificado unos recuentos de puertos de hasta 1080. Los espectrómetros usan este mismo principio con una rejilla de difracción en bruto que ensancha el espectro a lo largo de una matriz de fotodiodos en lugar de una matriz de puertos de salida.

Los filtros de tipo 3 son unos filtros periódicos que pasan longitudes de onda separadas de manera uniforme fuera de un puerto y cualquier otra luz fuera del otro puerto. Los ejemplos incluyen filtros de Fabry Péro e intercaladores. Es posible construir estos dispositivos con un amplio intervalo de separación de longitud de onda y finuras. Por lo general, los intercaladores disponibles en la industria de las telecomunicaciones tienen una finura de 2 y una periodicidad que varía de 200 GHz a 25 GHz en la ventana de telecomunicaciones de 1550 nm (de 0,2 nm a 1,6 nm).

En algunas formas de realización de la presente invención también se incluyen dispositivos de conmutación óptica (o conmutadores ópticos). Se pueden usar numerosas implementaciones de tecnología para los conmutadores ópticos, incluyendo, pero sin limitarse a, conmutadores mecánicos basados en prismas o espejos móviles, conmutadores de espejo a base de sistemas micro-electro-mecánicos (MEMS, *micro-electro-mechanical system*), conmutadores de fibras móviles, conmutadores de reflexión interna total frustrada (FTIR, *frustrated total internal reflection*), conmutadores basados en el cambio de fase, tales como moduladores de niobato de litio y conmutadores basados en efectos térmicos. Los parámetros relevantes de los conmutadores pueden incluir la pérdida de inserción del conmutador y el tiempo de conmutación.

A continuación se describirán algunas formas de realización de la presente invención con referencia a los diagramas de bloques esquemáticos de las figuras 1 - 14. Haciendo referencia en primer lugar a las formas de realización de la figura 1, se proporciona un filtro óptico periódico (POF, *periodic optical filter*) 108 en la rama (trayectoria) de detector 103 para dividir el espectro en dos peines que tienen su separación y su anchura asociadas controladas por medio de las características del POF 108. Si se usa un intercalador típico con una finura de 2 como el POF 108, entonces hay dos peines de salida que tienen unas anchuras de pico sustancialmente iguales y están desplazados la mitad del rango espectral libre del POF 108. Uno de los peines de longitudes de onda pasa al espectrómetro 109 y el peine desplazado de longitudes de onda pasa al espectrómetro 110. Se pueden usar otros POF que pasan menos de la mitad del ancho de banda total a una salida del POF y más de la mitad del ancho de banda total a la otra salida del POF.

En las formas de realización de la figura 1 también se muestra una fuente de baja coherencia 100 que proporciona la fuente óptica a la rama de fuente 102 a un divisor (acoplador) de haces de polarización 101. No obstante, se entenderá que, en algunos ejemplos, se puede usar una fuente de peine como la fuente 100 y se puede omitir el filtro óptico periódico 108. El divisor 101 proporciona la luz de la fuente óptica en sentido descendente por una rama de referencia 104 a la referencia 106, tal como un espejo, y la rama de muestra 105 a la muestra 107, que se ilustra de forma esquemática como un ojo humano en la figura 1. La rama de detector 103 acopla el filtro óptico periódico 108 con el divisor 101.

En algunas formas de realización, los espectrómetros 109 y 110 pueden ser idénticos, pero no es necesario que lo sean. En algunas formas de realización, los píxeles en el interior de los espectrómetros solo son iluminados por la mitad de las longitudes de onda que verían los mismos sin el POF. Dicho de otra forma, el rango espectral libre (FSR, *free spectral range*) del POF 108 coincide con o casi coincide con la separación de píxeles, por ejemplo, el intervalo de muestreo, en los espectrómetros 109 y 110.

En general, el diseño más común de los espectrómetros da como resultado unos píxeles que están separados de manera uniforme en cuanto a la longitud de onda, mientras que los POF típicos están separados de manera uniforme en cuanto a la frecuencia. Esto puede ser ventajoso dado que, por lo general, los datos fuera del espectrómetro se vuelven a muestrear de una separación de longitud de onda a una separación de frecuencia antes de un procesamiento adicional por el motor de OCT. No obstante, se entenderá que, en algunas formas de realización, el POF 108 está separado de manera uniforme en cuanto a la longitud de onda y los espectrómetros 109 y 110 están separados de manera uniforme en cuanto a la frecuencia, por ejemplo, mediante la modulación en frecuencia de la separación de píxeles o mediante el uso de una óptica de corrección adicional en el interior del espectrómetro.

Esta iluminación parcial de cada píxel puede reducir el ancho de línea de adquisición eficaz del píxel, lo que puede disminuir la caída progresiva. En algunas formas de realización de la presente invención en donde se usa un intercalador para el POF 108, se puede iluminar la mitad de cada píxel en el espectrómetro y la caída progresiva se puede reducir en un factor de 2, independientemente de si son usados uno o dos espectrómetros. Si se usan ambos

espectrómetros, el intervalo de muestreo se reduce en la práctica a la mitad, lo que también puede doblar la profundidad de la formación de imagen total en la muestra.

5 Las formas de realización que se ilustran en la figura 2 usan, de forma similar, un POF 108 pero, en lugar de dos espectrómetros 109, 110, se usan un único espectrómetro 111 y un dispositivo de conmutación óptica 120. Esto puede tener las mismas ventajas de la configuración que se muestra en la figura 1 ya que la caída progresiva se puede reducir en un factor de 2 y la profundidad se puede aumentar en un factor de 2, pero puede hacer esto al tiempo que solo se usa un espectrómetro. En las implementaciones típicas, el espectrómetro 111 puede representar una porción significativa del coste del sistema y los dispositivos de conmutación óptica 120 pueden ser más baratos.

10 El dispositivo de conmutación óptica 120 se puede seleccionar de tal modo que el mismo conmute lo bastante rápido como para que el espectrómetro 111 pueda seguir midiendo el doble de espectros en un momento dado y de tal modo que el dispositivo de conmutación óptica 120 tiene una relación de extinción suficiente para que la luz que se filtra a su través a partir de la entrada opuesta no sea una fuente de ruido significativa para el espectrómetro 111.

15 Las formas de realización que se ilustran en la figura 3 incluyen aspectos de ambas formas de realización que se han descrito anteriormente con referencia a las figuras 1 y 2. En las formas de realización de la figura 3, se usan múltiples POF 130, 131 y 132 junto con una combinación de un espectrómetro o espectrómetros 135 y 136 y, de forma opcional, también pueden incluir uno o más dispositivos de conmutación óptica 133 y 134. Se usa al menos un espectrómetro en las formas de realización de la figura 3, pero el número de dispositivos de conmutación óptica puede variar de ninguno a una pluralidad. Los POF en cascada 130, 131 y 132 dividen el espectro en múltiples peines, en donde unos de los peines son periódicos y están desplazados con respecto a los otros peines. En algunas formas de realización, el POF 130 tiene un FSR que es la mitad del FSR de los POF 131 y 132, y teniendo la totalidad de los POF una finura de 2. Tales formas de realización pueden dividir el espectro entrante en cuatro espectros, con la separación para cada espectro igual al FSR de los POF 131 y 132 y unas anchuras de pico que se determinan por medio de los POF 131 y 132. La ordenación de los POF puede variar en algunas formas de realización con un filtro con cada rango espectral libre presente en cada trayectoria.

20

25

Una vez que las longitudes de onda se han dividido en múltiples peines, las mismas pasan a los espectrómetros 135 y 136 o a través de los dispositivos de conmutación óptica 133 y 134 a los espectrómetros 135 y 136. En algunas formas de realización, los espectrómetros 135 y 136 tienen una separación de píxeles igual al rango espectral libre más grande de los POF. Obsérvese que el dispositivo de conmutación óptica 133 y 134 puede tener más de dos entradas y una salida, por ejemplo, se podría usar un dispositivo de conmutación óptica $M \times N$ para conectar M salidas de los POF con N espectrómetros. En otras formas de realización, los dispositivos de conmutación óptica no se incluyen y las salidas de los POF 130, 131, 132 se conectan directamente con el espectrómetro o espectrómetros 135, 136.

30

35

Puede que no se use la totalidad de las salidas del o los POF y la caída progresiva de imagen se puede determinar por medio de la anchura de filtro del POF más estrecho y la profundidad de imagen se puede establecer mediante el intervalo de muestreo eficaz, que depende del número de espectrómetros. En algunas formas de realización, se proporciona un sistema mejorable en donde uno o más POF y uno o más espectrómetros y uno o más dispositivos de conmutación óptica se instalan el primer día y, a medida que cambian los requisitos del usuario, se pueden añadir POF, dispositivos de conmutación óptica y/o espectrómetros adicionales en cualquiera que sea la configuración que se seleccione para una aplicación particular.

40

45 Las formas de realización de la figura 4 son similares a las que se describen con referencia a la figura 1 con la adición de un POF afinable 137. Un POF afinable es uno en el que el espectro de peine de longitud de onda en una salida particular se puede desplazar en cuanto a la frecuencia por medio de algún método de control. Se podrían usar múltiples espectrómetros, pero algunas formas de realización solo incluyen un espectrómetro 109 tal como se muestra en la figura 4. El POF 137 puede ser un intercalador, una cavidad de Fabry Pérot u otro POF y puede ser afinable por diversos medios, incluyendo medios mecánicos, eléctricos u ópticos. Además, para desplazar los espectros, el rango espectral libre y la finura de la cavidad se pueden desplazar en algunas formas de realización.

50

En algunas formas de realización el POF 137 está configurado para afinarse lo bastante rápido como para permitir que el espectrómetro 109 adquiera espectros a una tasa suficiente para soportar la tasa de imagen deseada para el motor óptico. En algunas formas de realización, el POF afinable 137 puede obtener los mismos resultados que las combinaciones previamente descritas de POF, conmutadores ópticos y espectrómetro, pero puede permitir una flexibilidad adicional. En general, el uso de un POF afinable implica una compensación recíproca entre el número de espectrómetros y el tiempo para adquirir una imagen. Dicho de otra forma, se puede lograr el mismo resultado con un espectrómetro que con múltiples espectrómetros, pero puede que se requiera un tiempo más prolongado para recoger los espectros completos. Las formas de realización de la figura 4 pueden ser más sencillas de ajustar a escala a una finura de POF más alta que solo un espectrómetro y no se puede usar conmutador óptico alguno. También se puede proporcionar un control en tiempo real de la compensación recíproca de la tasa de adquisición de imágenes frente a la resolución de imagen.

55

60

65 Al variar (aumentar) el número de etapas en la exploración de POF, se puede aumentar la resolución y reducirse la caída progresiva. Si se desea un tiempo de exploración rápido, se puede reducir el número de etapas en la

exploración de POF. Este enfoque también se puede usar junto con las arquitecturas que se describen para las formas de realización de las figuras 1 - 10, para proporcionar sistemas en donde uno o más POF son afinables y el número de espectrómetros de puede variar de 1 a muchos y el número de conmutadores ópticos de puede variar de 0 a muchos.

5 Haciendo referencia a continuación a las formas de realización de la figura 5A, un POF 142 se sitúa en la rama de fuente 140, 141 a partir de la fuente de baja coherencia 100. Esta ubicación puede proporcionar ventajas similares a las que se describen con referencia a las formas de realización de la figura 4 pero, debido a que el POF 142 se encuentra antes que el divisor 101, se puede reducir la potencia incidente sobre la rama de referencia 104 y la rama de muestra 105. En las formas de realización de la figura 4, todas las longitudes de onda pueden ser incidentes sobre la referencia 106 y la muestra 107 en todo momento, incluso si solo una fracción de la longitud de onda puede pasar a través del POF 137 y entrar en el espectrómetro 109 en cualquier momento dado. En los casos en los que hay una limitación a cuánta potencia debería ser incidente sobre la muestra 107, tal como sobre el ojo humano para una exploración de retina, se desperdicia la potencia que no pasa a través del POF 137 hasta el espectrómetro 109. Para las formas de realización de la figura 5A, toda la potencia que vuelve desde la muestra 107 a través del divisor 101 y sobre la trayectoria de espectrómetro (rama de detector) 103 puede entrar en el espectrómetro 143. Se entenderá adicionalmente que el POF 142 de la figura 5 puede ser un POF afinable o fijo.

20 Una variante de la figura 5A se ilustra en la figura 5B, en donde una fuente de peine 145 toma el lugar de la fuente de baja coherencia 100 con el filtro óptico periódico 142 que se muestra en la figura 5A. Los ejemplos de la figura 5B pueden proporcionar sustancialmente las mismas ventajas que la figura 5A al tiempo que se usa un conjunto diferente de fuentes. Las fuentes de peine 145 proporcionan un conjunto de longitudes de onda 1 a N, en donde hay una separación entre cada conjunto de longitudes de onda y un ancho de línea que está asociado con cada longitud de onda. En algunos ejemplos, la separación entre las longitudes de onda puede ser constante en cuanto a la longitud de onda, constante en cuanto a número de onda o frecuencia, modularse en frecuencia en cuanto a la longitud de onda o número de onda, y / o puede tener alguna otra separación. Hay una diversidad de formas de construir fuentes de peine, incluyendo, pero sin limitarse a, láseres de múltiples modos o de múltiples líneas, fuentes de banda ancha con una realimentación y / o filtrado interno, y / u otros dispositivos ópticos no lineales.

30 Haciendo referencia a continuación a las formas de realización de la figura 6, el filtrado y la afinabilidad que se han descrito anteriormente pueden ser movidos en el interior de un espectrómetro 150. Esto puede proporcionar la misma funcionalidad que, por ejemplo, las formas de realización de la figura 3, pero puede hacerlo al tiempo que se reduce el número de dispositivos en y el coste del sistema de formación de imagen de OCT. El espectrómetro 150 puede incluir una fuente de entrada 154, alguna entrada u óptica de colimación 155, un dispositivo de dispersión 156 y una matriz de fotodiodos 151.

40 Tal como se muestra en las formas de realización de la figura 6, se añade un filtrado al espectrómetro 150 en la forma de una máscara espacial 152, que limita la luz 153 que cae sobre los píxeles de la matriz de fotodiodos 151. La máscara 152 se puede configurar de tal modo que la misma es periódica en cuanto a la longitud de onda y / o se modula en frecuencia de tal modo que la misma es periódica en cuanto a la frecuencia. El tamaño de los orificios en la máscara espacial 152 se puede especificar para controlar el porcentaje de cada píxel que se ilumina. Esto se puede usar para controlar la tasa de caída progresiva de la imagen.

45 Además, el espectrómetro de las formas de realización de la figura 6 también se puede implementar como un espectrómetro afinable, por ejemplo, al mover la óptica de colimación 155, el elemento de difracción 156, la máscara espacial 152, y / o el fotodiodo 151. Se pueden proporcionar otras formas de realización afinables, incluyendo añadir una óptica adicional, tal como unos prismas o espejos móviles, y / o variar el índice de refracción eficaz en el espectrómetro 150 mediante el cambio de la temperatura y / o presión del gas en el interior del espectrómetro.

50 Algunas formas de realización adicionales se ilustran en el diagrama de bloques esquemático de la figura 7. Tal como se muestra en las formas de realización de la figura 7, se usan al menos dos POF 160 y 165 en unas ramas 103 y 104 diferentes que están acopladas con el divisor 101. Al menos uno de los POF 165 se encuentra o bien en la rama de referencia 104 (tal como se muestra en la figura 7) o bien en la rama de muestra 105 del interferómetro (motor óptico) y el segundo POF 160 se puede encontrar en cualquiera de las otras tres ramas 102, 103 y 105 que no es ocupada por el POF 165. Mediante el desplazamiento de los dos POF 160 y 165 uno en relación con otro, el ancho de banda eficaz del peine se puede reducir por debajo del ancho de banda de uno cualquiera de los POF 160 y 165. A modo de ejemplo, dos intercaladores (POF) con el mismo FSR y finuras de 2 podrían estar desplazados un cuarto del FSR para lograr una anchura de filtro eficaz que es la mitad de la anchura de uno cualquiera de los intercaladores. Puede obtenerse esto como resultado en donde solo tengan lugar interferencias en el espectrómetro 161 para las longitudes de onda que se encuentran presentes tanto en la rama de referencia 104 como en la rama de muestra 105 del interferómetro.

65 Mediante la combinación de la configuración de la figura 7 con el uso de unos POF afinables, se puede proporcionar un dispositivo en donde la finura eficaz se controla fácilmente. A pesar de que los ejemplos de la figura 9 que se analizan en lo sucesivo abordan en general esta característica, puede que sea más difícil construir un POF en donde la finura sea ajustable que construir un POF en donde el peine de salida sea afinable en cuanto a la longitud de

onda. Mediante el afinado del peine de salida de ambos POF 165 y 160 en las formas de realización de la figura 7, se pueden controlar la ubicación y la anchura en cuanto a la longitud de onda de la luz sobre cada fotodiodo del espectrómetro 161. Esto puede permitir el control de la tasa de caída progresiva de la imagen y la profundidad de imagen. La compensación recíproca se puede encontrar en la cantidad de potencia sobre los fotodiodos en el espectrómetro 161 y el tiempo que se requiere para acumular datos suficientes para una imagen.

En las formas de realización de la figura 7 también se muestran de forma esquemática unos dispositivos adicionales opcionales 162 y 164 que se pueden conectar a unos puertos adicionales de los POF 160, 165, de forma respectiva. Puede que estos puertos adicionales no estén conectados a nada, pero se encuentra disponible información en la luz sobre estos puertos adicionales. En ese sentido, por ejemplo, un espectrómetro 162 adicional se podría acoplar con el POF 160 y un dispositivo de supervisión de potencia o de otro espectro 164 se podría acoplar con el POF 165.

En la figura 7 también se muestran una gráfica de línea de puntos y una gráfica de línea continua. La línea continua representa una forma de banda de paso para el primer POF 165 y la línea de puntos representa la forma de banda de paso para el segundo POF 160 de acuerdo con algunas formas de realización. La banda de paso combinada (o el solapamiento) puede dar unos picos más estrechos que uno cualquiera de los POF por sí mismo. Tales líneas más estrechas pueden ser deseables, no obstante, en general el coste y la complejidad de un POF aumenta con la estrechez de las líneas. Por lo tanto, un diseño de dos POF puede proporcionar unas líneas más estrechas a un coste más bajo. Asimismo, si uno o ambos POF son afinables, entonces en algunas formas de realización el solapamiento se puede ajustar de una forma que se determina sobre la base de la aplicación particular del motor óptico.

Algunas formas de realización adicionales se ilustran en el diagrama de bloques esquemático de la figura 8. En las formas de realización de la figura 8, se usa solo un paso de cada POF 171 y 177. Tal como se muestra en la figura 8, los POF 171 y 177 se usan junto con los circuladores 172 y 175 de tal modo que la luz a partir de la fuente de baja coherencia 100 a través del primer acoplador - divisor 101 pasa a través de los POF 171 y 177 y la luz que vuelve desde la referencia 106 y la muestra 107 no pasa de nuevo a través de los POF 171 y 177 en la vuelta, sino que es desviada por los circuladores 172 y 175 hacia el segundo acoplador - divisor 180 sobre las conexiones ópticas 176 y 179 y, por lo tanto, hacia el espectrómetro 170. Esto puede ser deseable si los POF 171 y 177 tienen una pérdida de inserción alta, en particular en comparación con los circuladores 172 y 175. En las formas de realización de la figura 8 también se pueden usar diversos aspectos de afinabilidad a lo largo de un intervalo de longitudes de onda presentes en las formas de realización de la figura 7.

En las formas de realización de la figura 8 también se muestran de forma esquemática unos dispositivos adicionales opcionales 173 y 178 que se pueden conectar a unos puertos adicionales de los POF 171 y 177, de forma respectiva. Puede que estos puertos adicionales no estén conectados a nada, pero se encuentra disponible información en la luz sobre estos puertos adicionales.

Los ejemplos de la figura 9 incluyen uno o más multiplexores y desmultiplexores ópticos como los filtros ópticos. Múltiples fuentes 200, 201 y 202 son multiplexadas por el multiplexor óptico 206 sobre una única fibra en la rama de fuente 102 del motor óptico (interferómetro) para proporcionar una superfuente y, entonces, son desmultiplexadas por el desmultiplexor óptico 207 en la rama de detector 103 sobre múltiples detectores 203, 204 y 205. El multiplexor 206 podría ser una guía de ondas dispuesta en matriz (AWG, *arrayed waveguide*), filtros de película delgada concatenados, rejillas de Bragg de fibra, acopladores de potencia, y / o similares. El desmultiplexor 207, en algunos ejemplos, tiene alguna capacidad de discriminación de longitud de onda en lugar de usar un divisor simple.

Las fuentes pueden ser láseres afinables con detectores (tal como se muestra en la figura 9) y / o fuentes de diodos superluminescentes en combinación con espectrómetros en el lado de detección. No es necesario que coincida el número de fuentes (o bien de barrido o bien de banda ancha) y detectores (individuales o en espectrómetros) a pesar de que, en algunos ejemplos, cualquier detector, ya sea individual, se encuentre en una matriz y / o sea parte de un espectrómetro, ve luz o bien solo a partir de una fuente o bien solo a una longitud de onda.

Tal como se ha hecho notar anteriormente, el ensanchamiento de longitud de onda eficaz que es visto por un detector puede determinar la tasa de caída progresiva de imagen. El ensanchamiento de longitud de onda eficaz se puede establecer mediante la fuente (láser de fuente de barrido de banda estrecha) o mediante un filtrado en el sistema. Con este enfoque, también se puede usar cualquiera de las configuraciones de POF anteriores. Se pueden añadir unos POF en la rama de fuente 102, la rama de referencia 104, la rama de muestra 105, la rama de detector 103, o cualquier combinación de las mismas. Cualesquiera y todos los POF podrían ser afinables, así como las fuentes dadas por 200, 201 y 202 y los detectores 203, 204 y 205.

Tal como se ilustra en la figura 10, algunos ejemplos adicionales son similares a la descripción de los ejemplos de la figura 9 en lo que antecede, pero con el uso de un conjunto de circuladores 218, 219 y 220 y un multiplexor / desmultiplexor óptico 216 en lugar del multiplexor y el desmultiplexor óptico 206 y 207. Cada circulador 218, 219 y 220 está acoplado con una fuente asociada 210, 212 y 214 y un detector 211, 213 y 215 asociado. Esta diferencia puede proporcionar flexibilidad en la selección del diseño sobre la base del coste de los circuladores

frente a los multiplexores o desmultiplexores ópticos y los requisitos potenciales de que el multiplexor y el desmultiplexor sean idénticos.

5 En los ejemplos de la figura 10 también se muestra de forma esquemática un dispositivo adicional opcional 217 que se puede conectar a un puerto adicional del divisor / acoplador 101. Puede que este puerto adicional no esté conectado a nada, pero se encuentra disponible información en la luz sobre este puerto adicional.

10 En la figura 11 se muestran algunas formas de realización adicionales, formas de realización que son similares a las formas de realización de la figura 5A, pero se usa una fuente de láser de barrido 300 con uno o más fotodiodos 320 en lugar de usar una fuente de banda ancha o de baja coherencia 100 con un espectrómetro 143 tal como se muestra en la figura 5A. Las formas de realización de la figura 11 pueden proporcionar sustancialmente las mismas ventajas que las formas de realización de la figura 5A, tales como controlar el ancho de línea eficaz y reducir al mínimo la potencia óptica sobre la muestra al tiempo que se proporciona un nuevo conjunto de fuentes que se pueden usar en la implementación del sistema. Mediante el uso del POF 310, el ancho de línea del láser se puede ensanchar hasta aproximadamente el rango espectral libre (FSR, *free spectral range*) (separación) del POF 310 mientras que el sistema puede seguir teniendo las características de ancho de línea eficaz del ancho de línea del POF 310.

20 Las formas de realización de la figura 12 son similares a las formas de realización de la figura 11. No obstante, la figura 12 usa una fuente de láser de barrido 300, pero con un POF 311 en la rama de detector 103 en lugar de en la rama de fuente 141. El POF 311 se puede conectar a uno o más fotodiodos 320, 321. Las formas de realización de la figura 12 pueden tener sustancialmente las mismas ventajas que las formas de realización de la figura 11 ya que el ancho de línea eficaz de la fuente se puede controlar al tiempo que también se ofrece la capacidad de aumentar la profundidad de la formación de imagen mediante la adquisición de luz a partir de más de un puerto del POF 311.

25 La figura 13 ilustra algunos ejemplos adicionales en donde múltiples SLD 400, 401 son multiplexados conjuntamente mediante un multiplexor 420 para crear una fuente que puede tener unas características potenciadas, por ejemplo, un ancho de banda total más ancho. De forma similar, se pueden usar uno o más espectrómetros 410, 411 en la rama de detector conectados entre sí por un desmultiplexor 421. En los ejemplos de la figura 13, el multiplexor 420 y el desmultiplexor 421 pueden combinar y separar la luz a partir de diversos puertos sobre la base de la longitud de onda y / o pueden simplemente ser unos acopladores que mezclan la luz conjuntamente sobre la base de la potencia y / u otros dispositivos para combinar y separar la luz. El multiplexor 420 y el desmultiplexor 421 también pueden tener propiedades de un POF en donde un ancho de línea eficaz se modifica para uno o más del detector o detectores en el espectrómetro o espectrómetros 410, 411. En algunos ejemplos, puede haber uno o más POF separados en la rama de fuente 102 y / o la rama de referencia 104 y / o la rama de muestra 105 y / o la rama de detector 103.

40 Algunas formas de realización adicionales más de la presente invención se ilustran en la figura 14, en donde uno o más subsistemas de fuente 500, 501 se conectan a una rama de fuente 102, que puede que incluya, o no, un multiplexor o multiplexores ópticos 520 y unos POF 530. Puede que la rama de referencia 104 y la rama de muestra 105 incluyan, o no, unos POF 532 y 533. La rama de detector 103 se ilustra como que incluye uno o más subsistema o subsistemas de detector 510, 511 y también puede que incluya, o no, un desmultiplexor o desmultiplexores ópticos 521 y / o unos POF 531. Los subsistemas de fuente 500, 501 generan luz y pueden incluir SLD, fuentes de láser de barrido, fuentes de peine, otras fuentes de luz, y / o una mezcla de diversas fuentes de luz. De forma similar, los subsistemas de detector 510, 511 detectan la luz y pueden incluir fotodiodos individuales, un fotodiodo o fotodiodos con filtros, espectrómetros, otros dispositivos de detección de luz y / o mezclas de diversas implementaciones de detector. En algunas formas de realización, un requisito de diseño del sistema es que haya adquisiciones a partir de uno o más detectores que se pueden mapear uno en relación con otro en cuanto a la longitud de onda (o número de onda). Este mapeo puede ser alguna combinación de tiempo y longitud de onda, tal como la lectura de una línea de datos a partir de un espectrómetro o una serie temporal de datos a partir de un detector, pero puede ser cualquier combinación o implementación de tal modo que haya un mapeo definido y el sistema pueda muestrear la luz a partir de unas longitudes de onda o unas separaciones de longitud de onda conocidas en unas separaciones temporales o unos instantes conocidos.

55 En algunas formas de realización de la presente invención, los motores (sistemas) ópticos incluyen una fuente óptica, una pluralidad de detectores ópticos, una pluralidad de interferómetros y dos o más filtros ópticos. Uno o más de los filtros ópticos POF que es periódico en cuanto a la frecuencia. Se pueden encontrar unos POF en la rama de espectrómetro y se pueden incluir dos o más espectrómetros. Se pueden encontrar unos POF en la rama de espectrómetro y se pueden incluir uno o más elemento o elementos de conmutación óptica y uno o más espectrómetros. Se pueden encontrar unos POF en la rama de fuente. Uno o más de los POF pueden ser afinables.

60 En algunas formas de realización de la presente invención, uno o más POF se encuentran en la rama de referencia y uno o más POF se encuentran en la rama de muestra y unos circuladores se encuentran entre los POF y la referencia o la muestra. En tales formas de realización, la luz solo recorre el POF una vez y va hacia el espectrómetro a través del circulador y otro combinador. El espectrómetro puede ser un espectrómetro afinable.

65

5 En algunas formas de realización, el POF se proporciona como una máscara subpíxel que se puede usar en combinación con un espectrómetro afinable. El espectrómetro puede tener píxeles con modulación de frecuencia. Los píxeles se pueden modular en frecuencia al tener una anchura creciente. Los píxeles se pueden modular en frecuencia al tener una anchura constante y una separación creciente. Se pueden incluir dos o más POF que pueden estar desplazados en cuanto a la frecuencia. Uno o más POF se pueden encontrar en la rama de referencia y uno o más POF se pueden encontrar en la rama de muestra. Uno o más de los POF pueden ser afinables.

10 En algunas formas de realización, un POF se encuentra en la rama de muestra y un POF se encuentra en la rama de espectrómetro. Un POF se puede encontrar en la rama de referencia y un POF se puede encontrar en la rama de espectrómetro. Uno o más de los POF pueden ser afinables.

15 En algunas formas de realización de la presente invención, los motores (sistemas) ópticos incluyen dos o más fuentes ópticas, una pluralidad de dispositivos de multiplexación para las fuentes, una pluralidad de detectores ópticos, una pluralidad de interferómetros, y una pluralidad de filtros ópticos. Las fuentes pueden ser láseres y uno o más de los láseres pueden ser afinables. Los dispositivos de multiplexación se pueden configurar para proporcionar una multiplexación de potencia, una multiplexación de polarización y / o una multiplexación dependiente de la longitud de onda.

20 En algunas formas de realización, los filtros se encuentran en la rama de detector. Los filtros pueden incluir guías de ondas dispuestas en matriz (AWG, *arrayed waveguide*), filtros de película delgada, rejillas de difracción en escalón y / o rejillas de Bragg de fibra. Las fuentes pueden ser diodos superluminescentes (SLD, *superluminescent diode*) que pueden ser afinables.

25 Se entenderá que, con un sistema de FD-OCT, el sistema de detector conoce en general qué separaciones de longitud de onda está examinando el mismo, de tal modo que este puede generar un conjunto de valores de intensidad como una función de la longitud de onda. Entonces, esta información se puede alimentar a una FFT para generar la imagen de profundidad. En ese sentido, en general la caída progresiva en tales sistemas de formación de imagen se determina por medio del ancho de línea (ancho de banda) eficaz de la luz que es vista por el sistema de detector cuando se toma una medición de la amplitud. Los enfoques previos para obtener un ancho de línea eficaz deseado incluían el uso de una fuente de barrido en donde el ancho de línea de la fuente se vuelve el ancho de línea eficaz y el uso de un espectrómetro en donde el ancho de línea que es visto por un único detector en la matriz se vuelve el ancho de línea eficaz. Tal como se ha descrito en lo que antecede, diversos ejemplos de la presente divulgación proporcionan una diversidad de enfoques diferentes para establecer el ancho de línea eficaz. Algunos ejemplos de la presente divulgación pueden proporcionar un ancho de línea eficaz más estrecho (de menos caída progresiva) que los enfoques previamente conocidos.

35 Además, en algunas formas de realización, también puede haber otras ventajas en el uso de combinaciones de fuentes y detectores para crear un subsistema de fuente y un subsistema de detector que pueden tener un desempeño mejor, incluyendo: (1) una potencia de salida más alta, (2) unas tasas de barrido más rápidas, (3) unos anchos de banda totales más grandes, y / o (4) unos costes de construcción más baratos. En ese sentido, algunas formas de realización de la presente invención pueden proporcionar un desempeño mejor en relación con la cuestión de la caída progresiva al tiempo que se permite la construcción comercial de tales sistemas de FD-OCT. Tal como se ha descrito en lo que antecede, algunos ejemplos implican el uso de filtros ópticos y / o combinaciones de fuentes y / o detectores para proporcionar sistemas de formación de imagen que pueden incluir un subsistema de fuente, un subsistema de detector, una rama de referencia y una rama de muestra que están conectados a un interferómetro en donde el diseño del subsistema de fuente y el subsistema de detector producen un ancho de línea eficaz más estrecho que los enfoques previamente conocidos.

40 En algunos ejemplos, una selección de fuente en lugar de un diseño de trayectoria de transmisión óptica puede proporcionar tal estrechamiento en el ancho de línea eficaz, por ejemplo, a través del uso de una fuente de peine. Una fuente de peine con un espectrómetro puede proporcionar un sistema de estado sólido sin barrido alguno al tiempo que, no obstante, se proporciona una caída progresiva mejor debido a que el ancho de línea de la fuente de peine se puede usar para establecer la caída progresiva en lugar de, o además de, el ancho de línea de un píxel en el espectrómetro.

55 En los dibujos y en la memoria descriptiva, se han divulgado algunas formas de realización ilustrativas típicas de la invención y, a pesar de que se emplean expresiones específicas, las mismas se usan solo en un sentido genérico y descriptivo y no para fines de limitación, exponiéndose el alcance de la invención en las siguientes reivindicaciones.

REIVINDICACIONES

1. Un sistema de formación de imagen de tomografía de coherencia óptica en el dominio de la frecuencia, comprendiendo el sistema:

5 una rama de fuente (102, 140, 141) que incluye una fuente óptica (100, 145, 210, 212, 214, 300, 320, 500, 501) que emite a lo largo de un ancho de banda total que define parcialmente una resolución axial del sistema; un divisor óptico (101) que recibe luz a partir de la rama de fuente (102, 140, 141) y dirige una primera porción de la luz a partir de la rama de fuente (102, 140, 141) hacia una rama de referencia (104) y una segunda porción de luz a partir de la rama de fuente (102, 140, 141) hacia una rama de muestra (105);
 10 un acoplador óptico (101) que recibe luz a partir de la rama de referencia (104) y a partir de la rama de muestra (105); y
 una rama de detector (103) que comprende al menos un detector óptico (203, 204, 205, 218, 219, 220, 510, 511), en donde el acoplador óptico dirige una porción de la luz que se recibe a partir de la rama de referencia (104) y la rama de muestra (105) hacia la rama de detector (103), recibiendo luz la rama de detector (103) a partir del acoplador óptico y dirigiendo la luz a partir del acoplador óptico hacia el al menos un detector óptico (203, 204, 205, 218, 219, 220, 510, 511),
 15 en donde al menos una de la rama de fuente (102, 140, 141), la rama de referencia (104), la rama de muestra (105) o la rama de detector (103) comprende un filtro óptico periódico (108, 130, 131, 132, 137, 142, 160, 165, 171, 177, 310, 311, 530, 531, 532, 533) que tiene una finura de más de dos, y en donde el filtro óptico periódico está dispuesto con el fin de crear una pluralidad de elementos espectrales espectralmente separados dentro del ancho de banda total de la fuente óptica;
 en donde el al menos un detector óptico (203, 204, 205, 218, 219, 220, 510, 511) está configurado para muestrear la pluralidad de elementos espectrales que se crean dentro del ancho de banda total de la fuente óptica (100, 145, 210, 212, 214, 300, 320, 500, 501);
 20 en donde el filtro óptico periódico (108, 130, 131, 132, 137, 142, 160, 165, 171, 177, 310, 311, 530, 531, 532, 533) y el al menos un detector óptico (203, 204, 205, 218, 219, 220, 510, 511) están dispuestos de tal modo que el ancho de banda de los elementos espectrales que son muestreados por el al menos un detector óptico (203, 204, 205, 218, 219, 220, 510, 511) es menos de o igual a la mitad de la separación espectral entre cada elemento espectral muestreado
 25 y en donde la separación espectral entre cada elemento espectral muestreado define parcialmente una profundidad de imagen del sistema y el ancho de banda que está asociado con cada elemento espectral muestreado define parcialmente una profundidad de imagen del sistema.

35 2. El sistema de la reivindicación 1, en donde la rama de detector comprende un espectrómetro (109, 110, 111, 135, 136, 143, 150, 161, 162, 170, 410, 411) que incluye una pluralidad de detectores ópticos.

3. El sistema de la reivindicación 2, en donde la fuente óptica (100, 145, 210, 212, 214, 300, 320, 500, 501) comprende una fuente de banda ancha.

40 4. El sistema de la reivindicación 3, en donde el espectrómetro (109, 110, 111, 135, 136, 143, 150, 161, 162, 170, 410, 411) comprende un elemento de dispersión que dispersa el ancho de banda de la fuente óptica (100, 145, 210, 212, 214, 300, 320, 500, 501) sobre una pluralidad de detectores ópticos (203, 204, 205, 218, 219, 220, 510, 511), en donde la orientación espacial de la pluralidad de detectores ópticos (203, 204, 205, 218, 219, 220, 510, 511) está separada de manera sustancialmente uniforme con respecto a la frecuencia de la fuente óptica dispersada (100, 145, 210, 212, 214, 300, 320, 500, 501).

5. El sistema de la reivindicación 2, en donde el espectrómetro comprende una máscara espacial en las proximidades de los detectores ópticos.

50 6. El sistema de la reivindicación 1, en donde la fuente óptica comprende una fuente de barrido.

7. El sistema de la reivindicación 6, en donde al menos una de la rama de fuente, la rama de referencia, la rama de muestra y la rama de detector comprende un filtro óptico periódico.

55

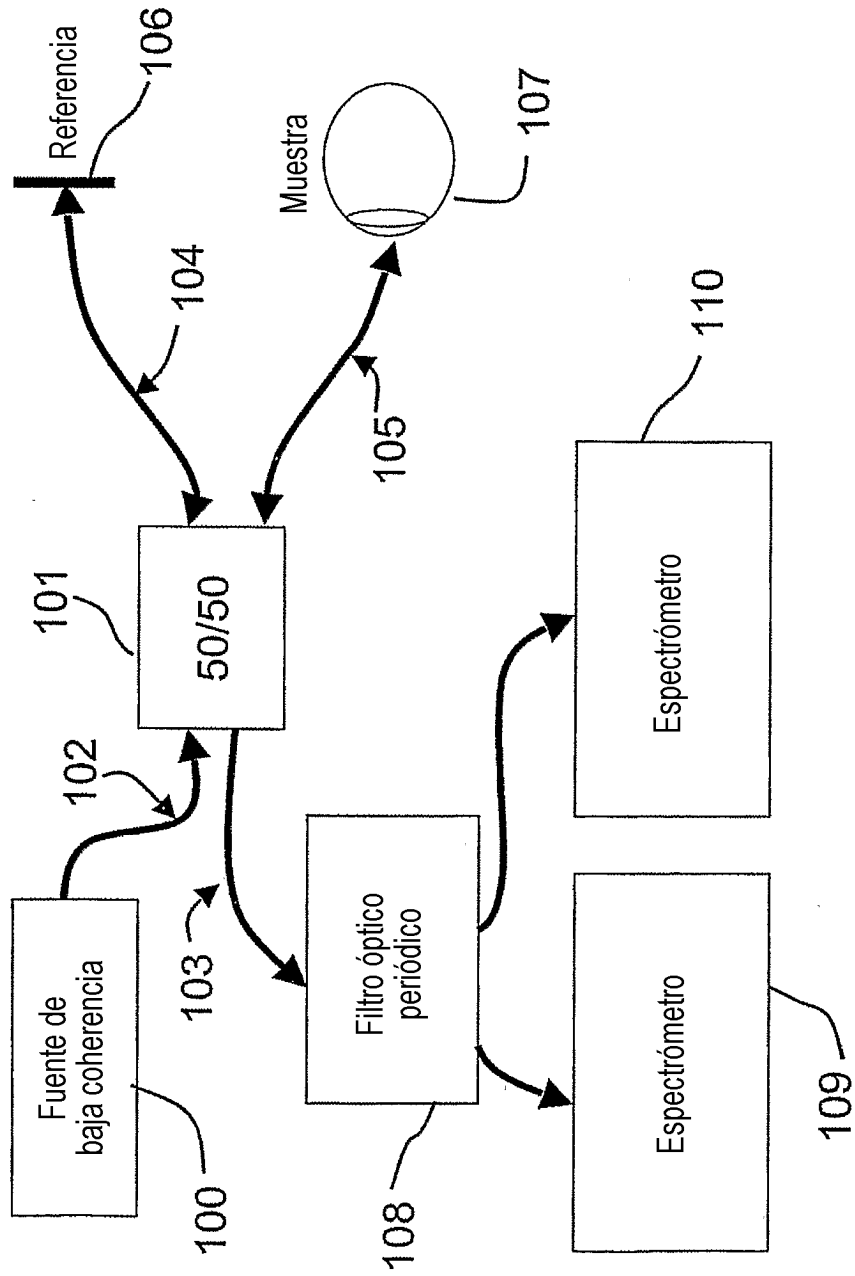


FIG. 1

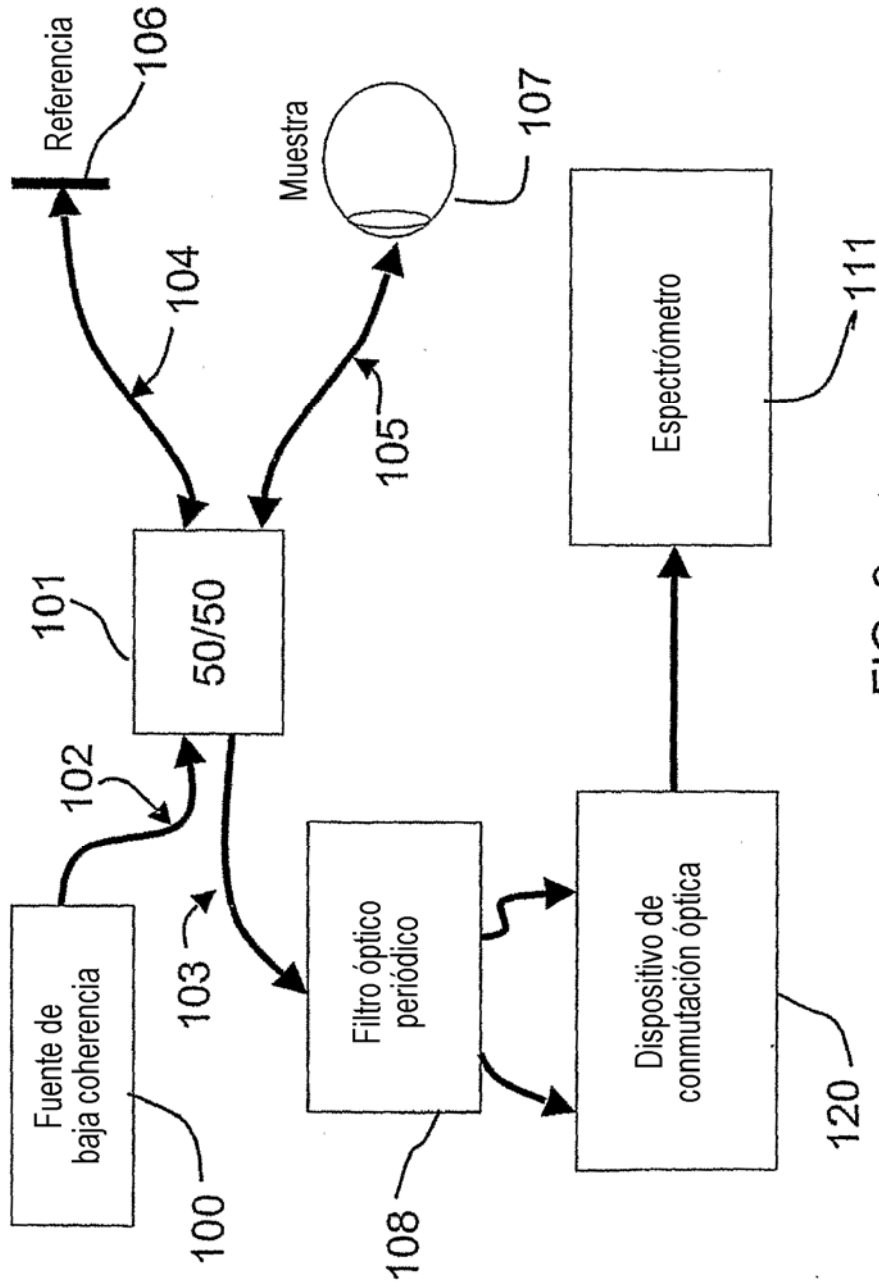


FIG. 2

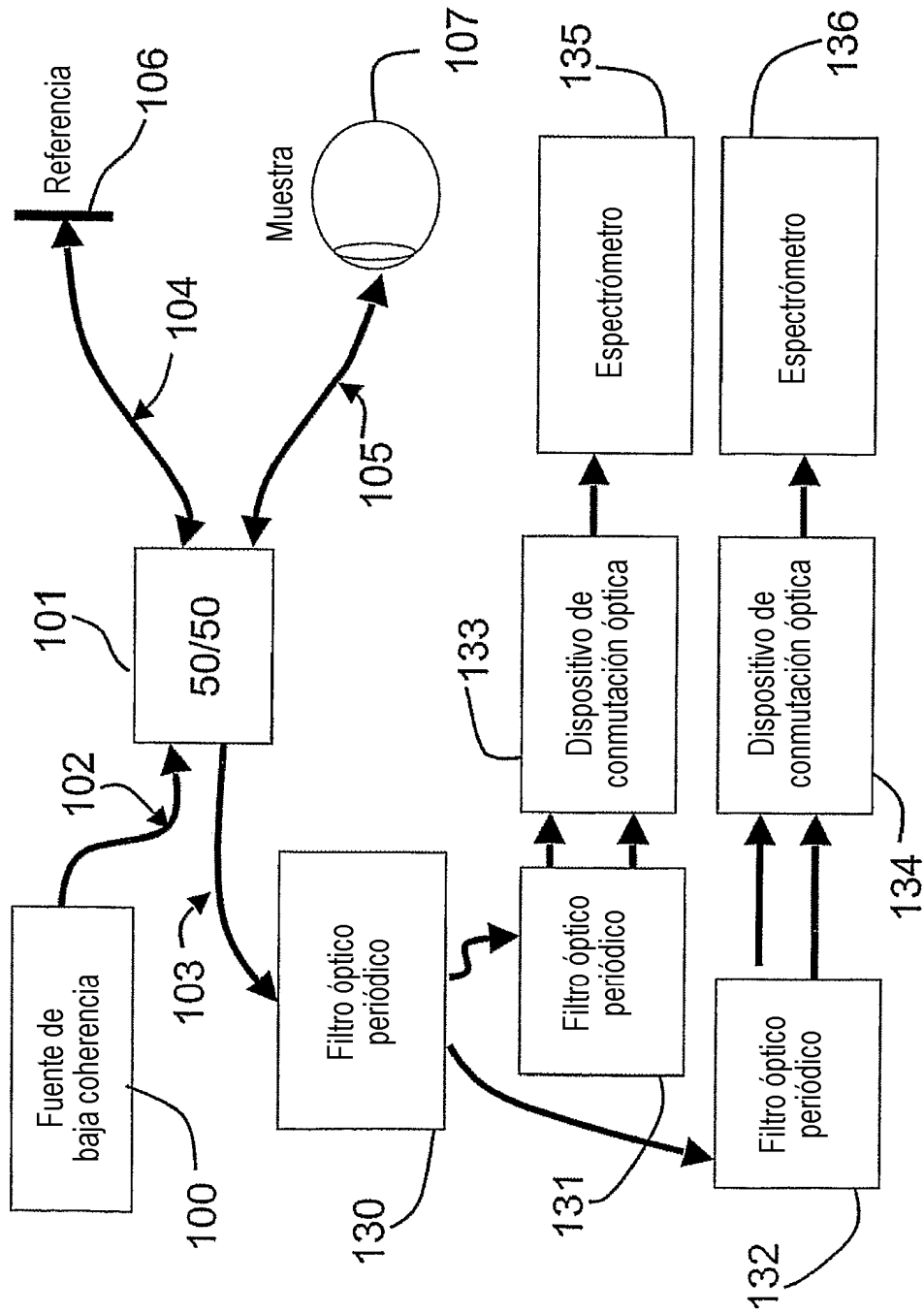


FIG. 3

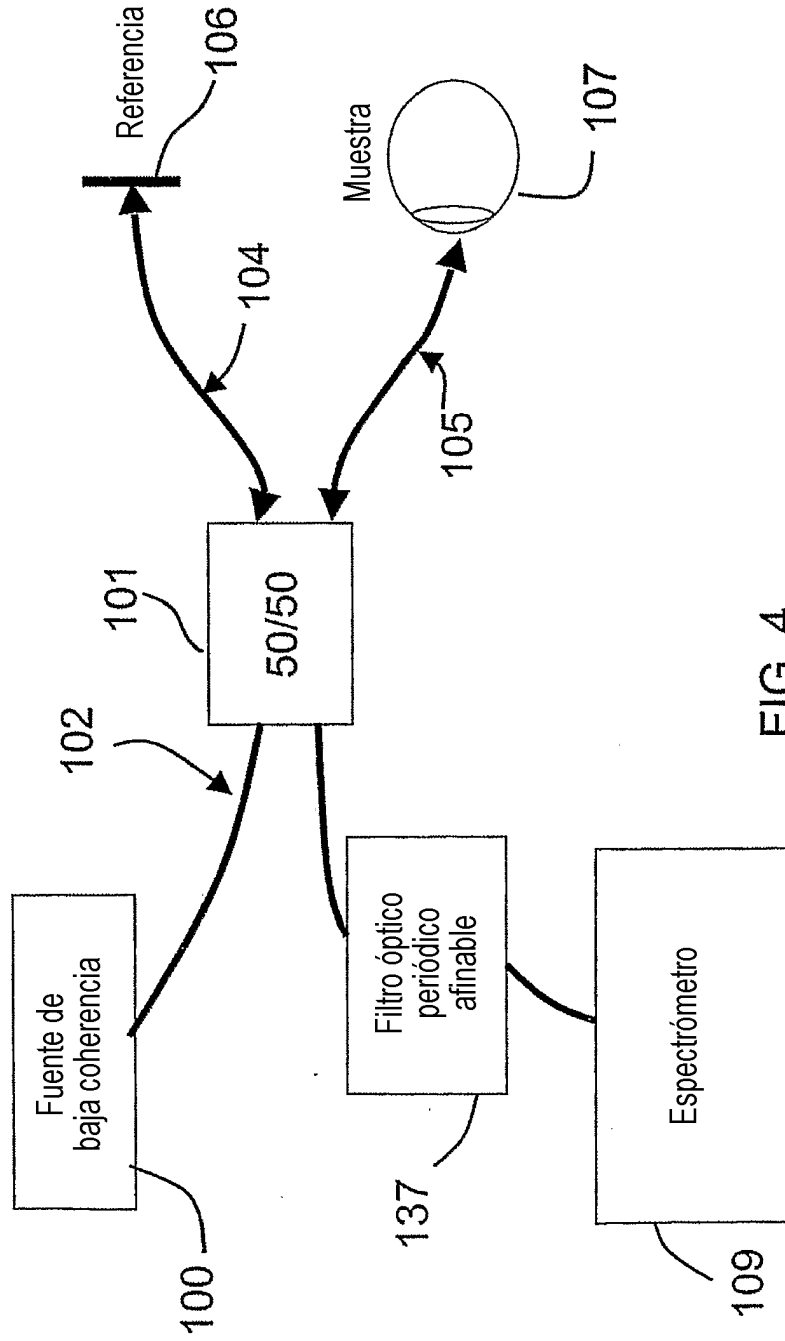


FIG. 4

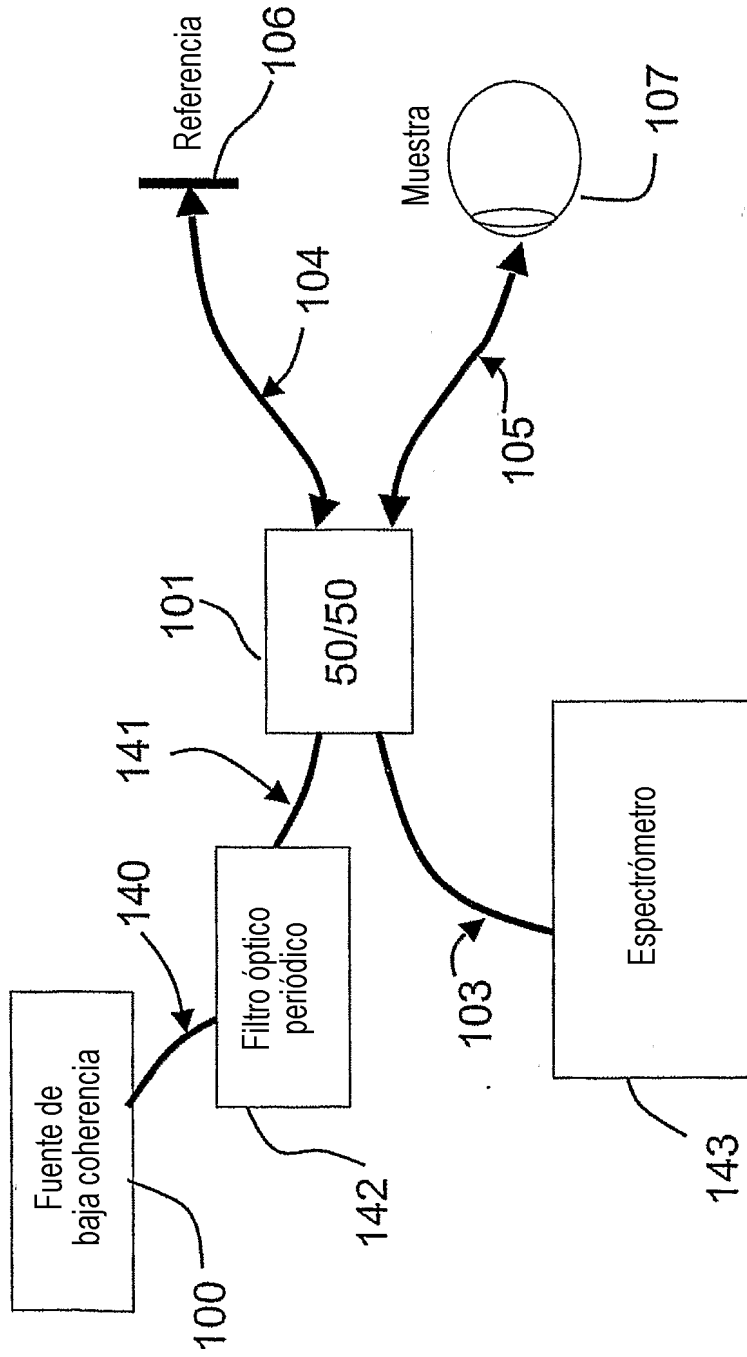


FIG. 5A

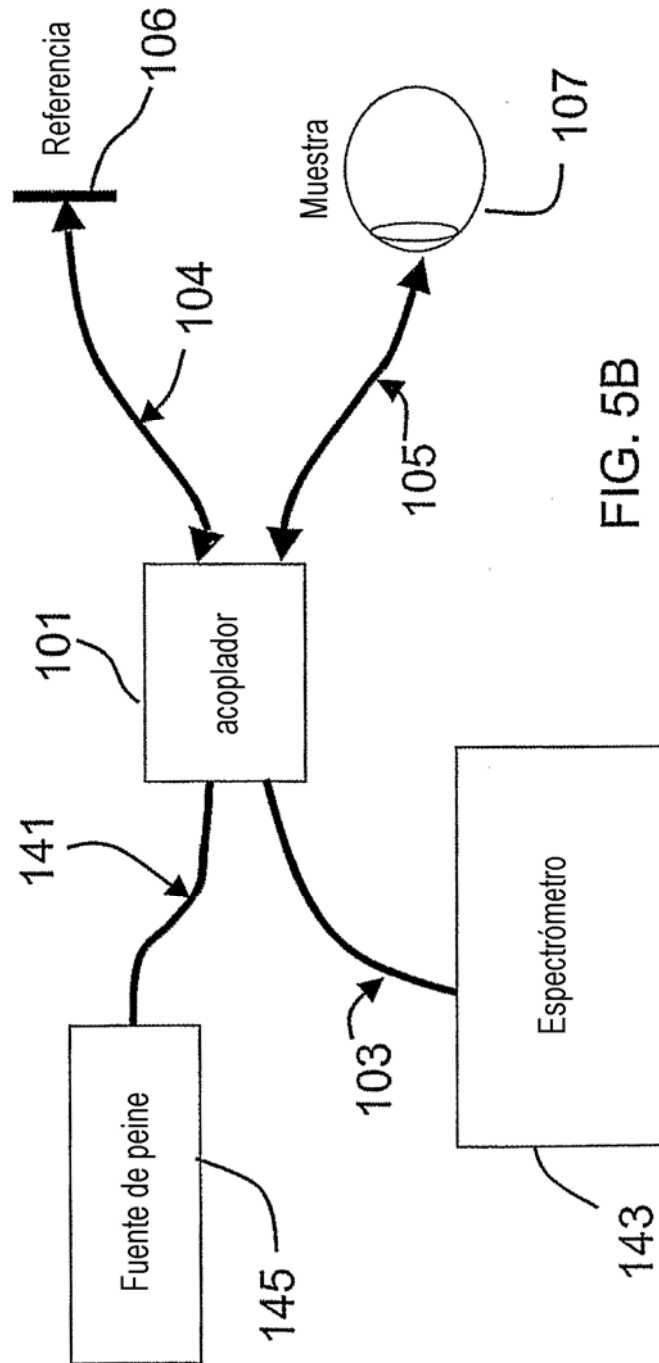


FIG. 5B

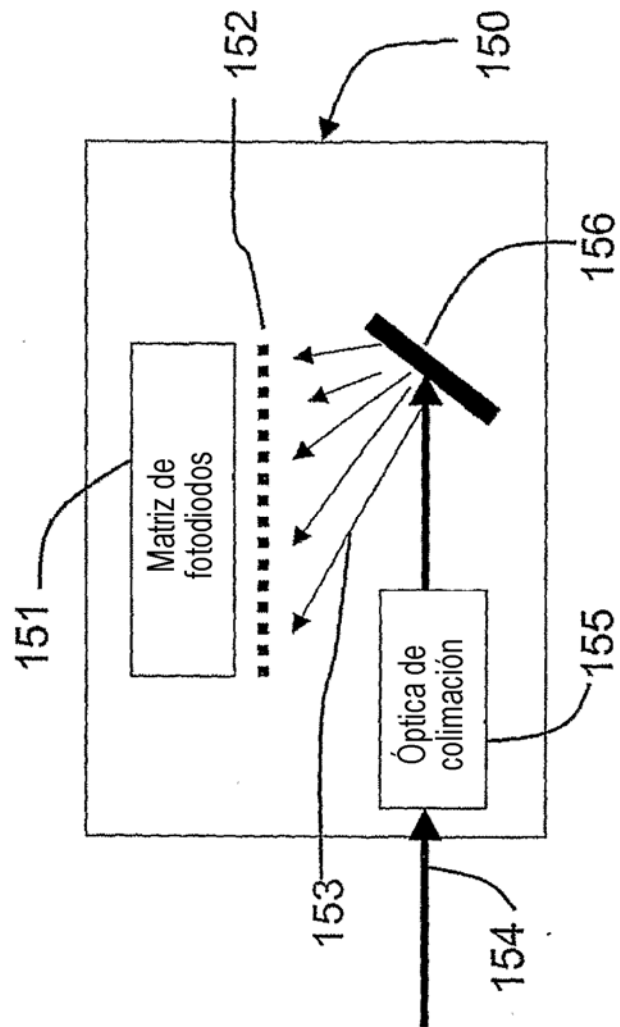


FIG. 6

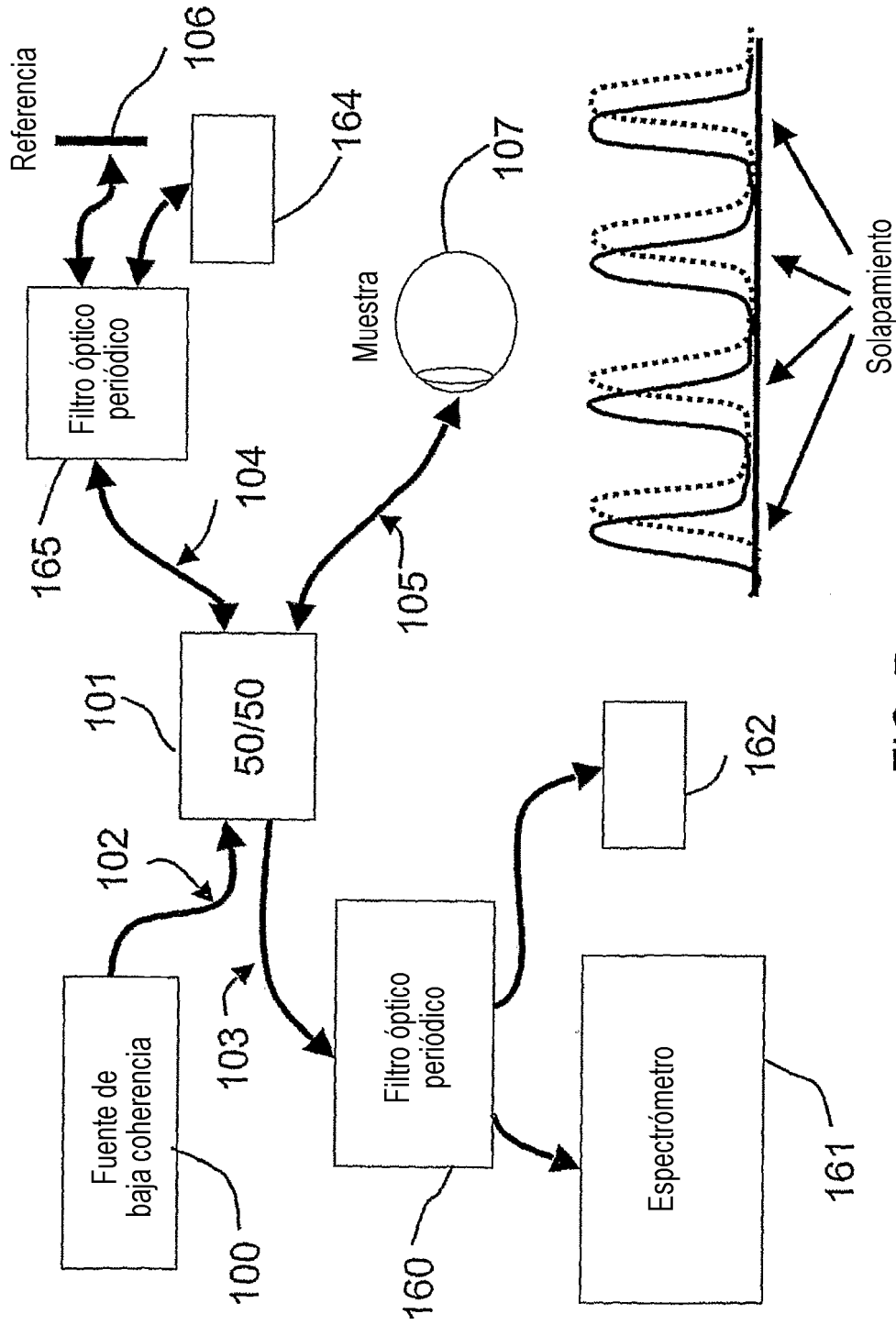


FIG. 7

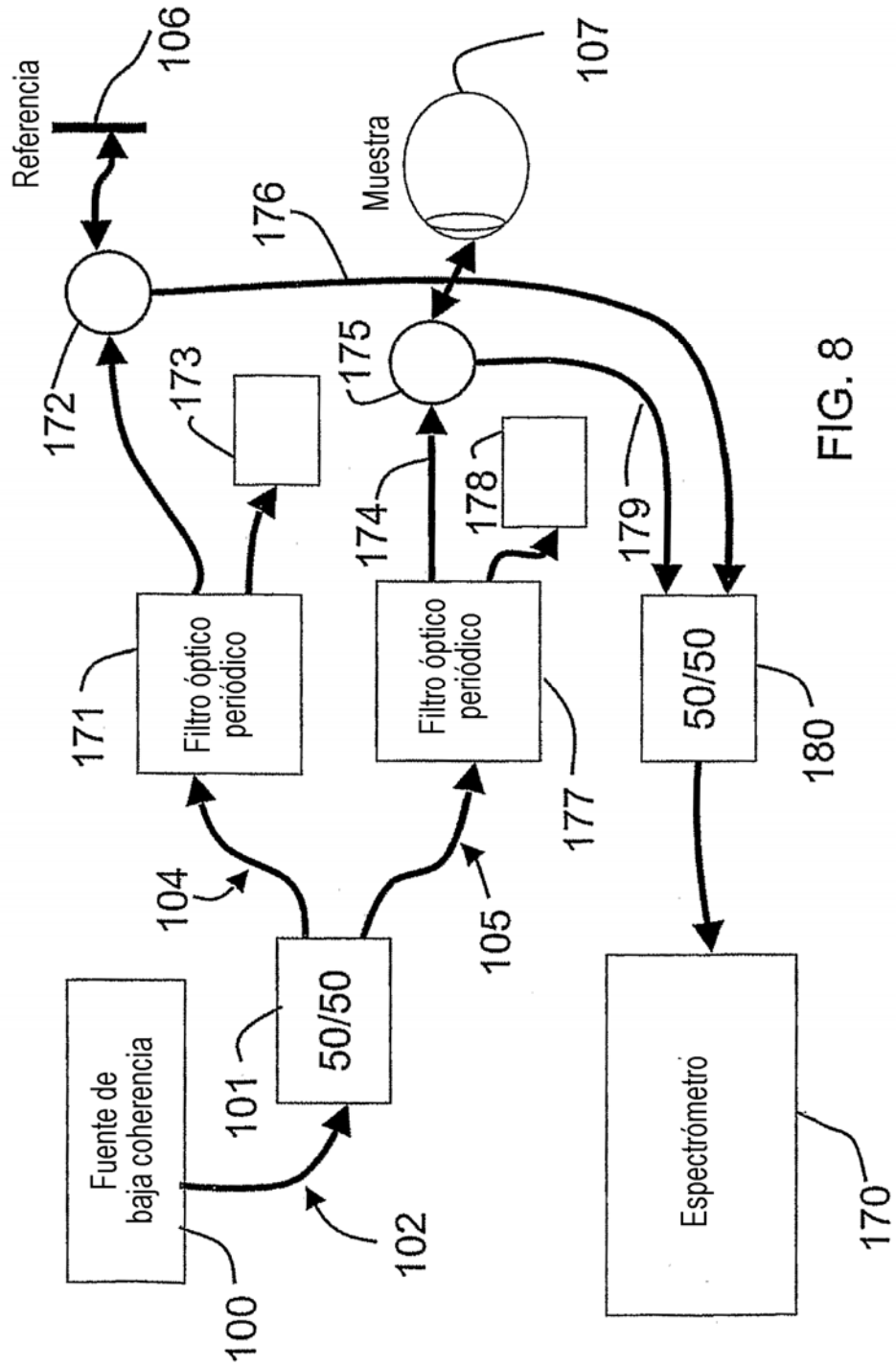


FIG. 8

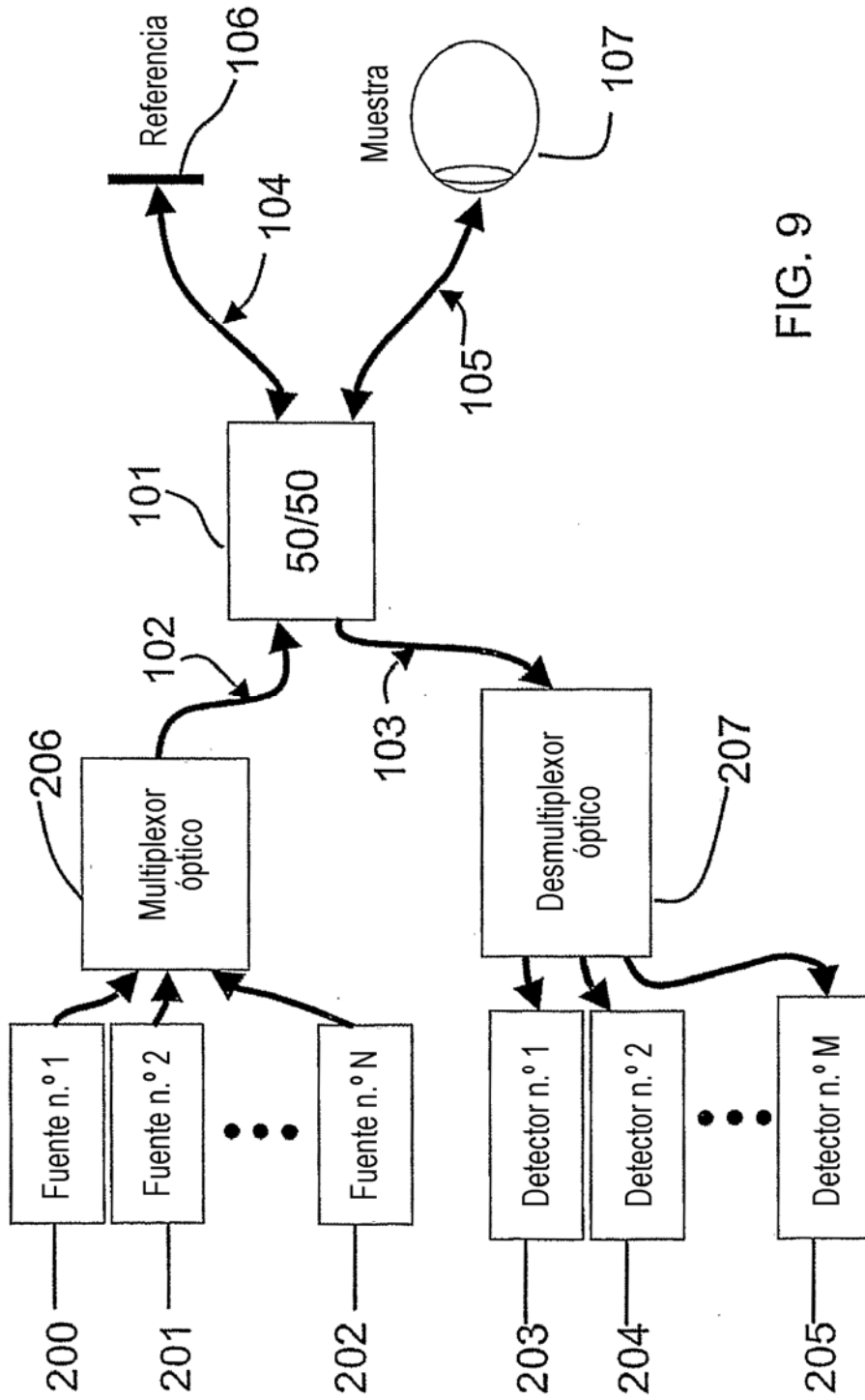


FIG. 9

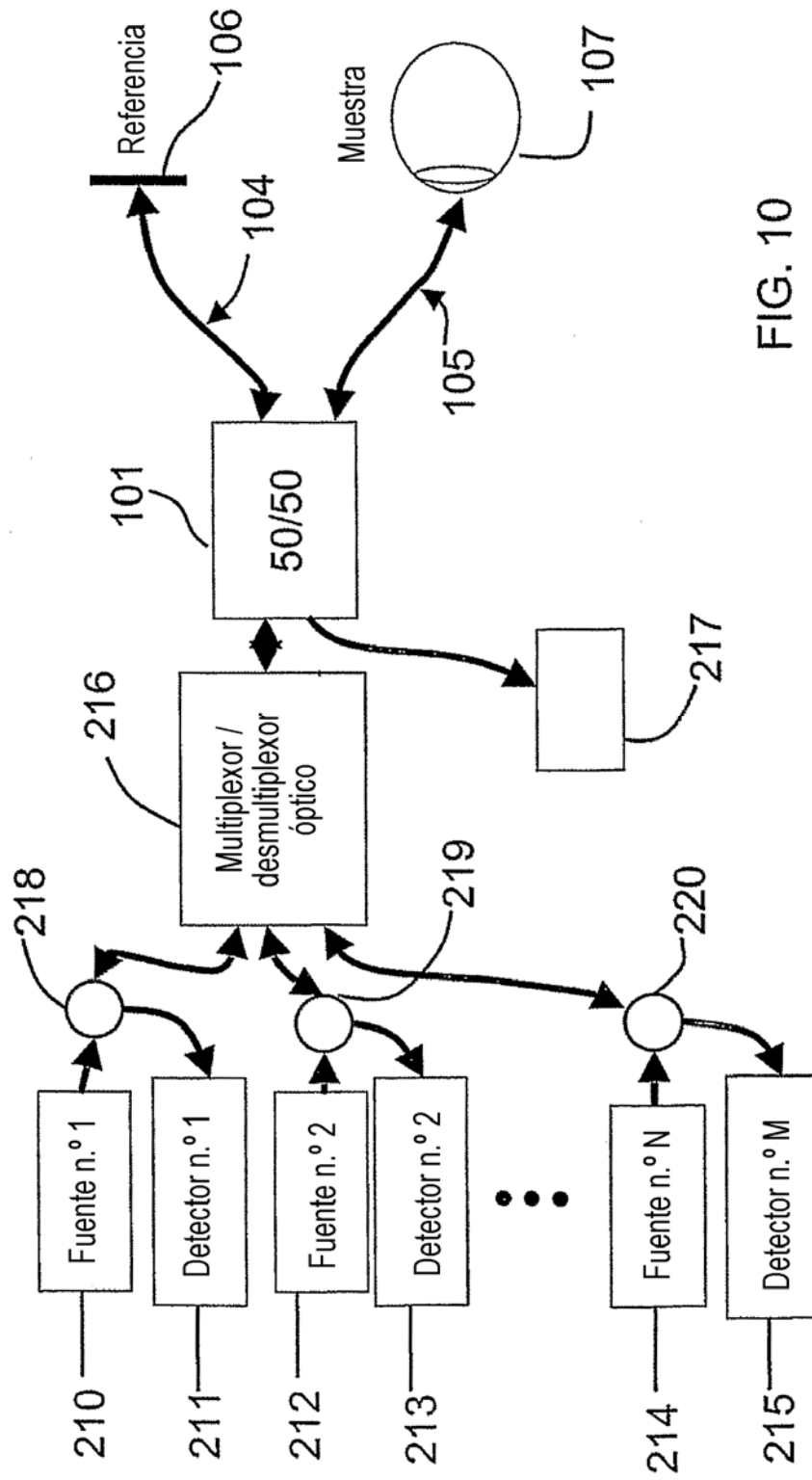


FIG. 10

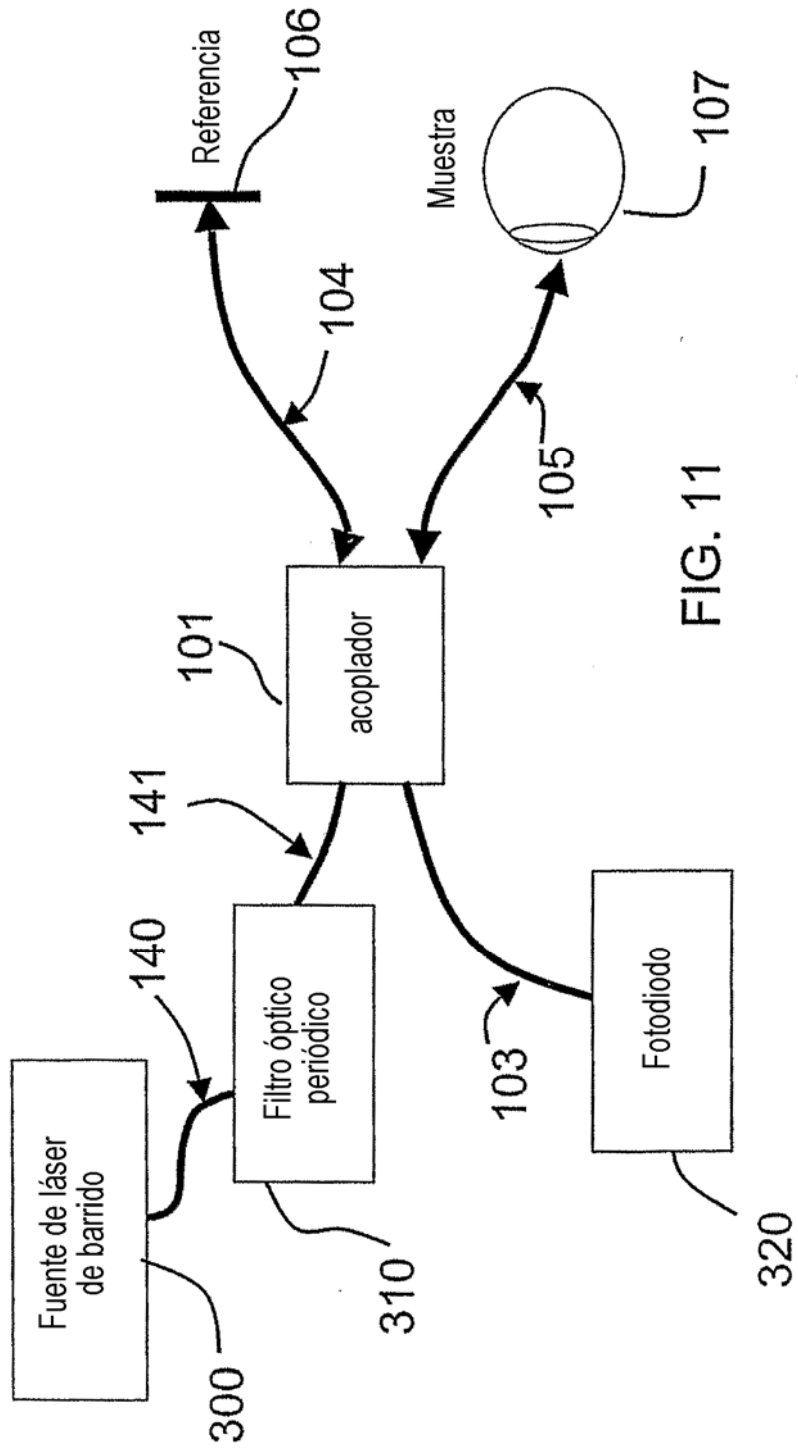


FIG. 11

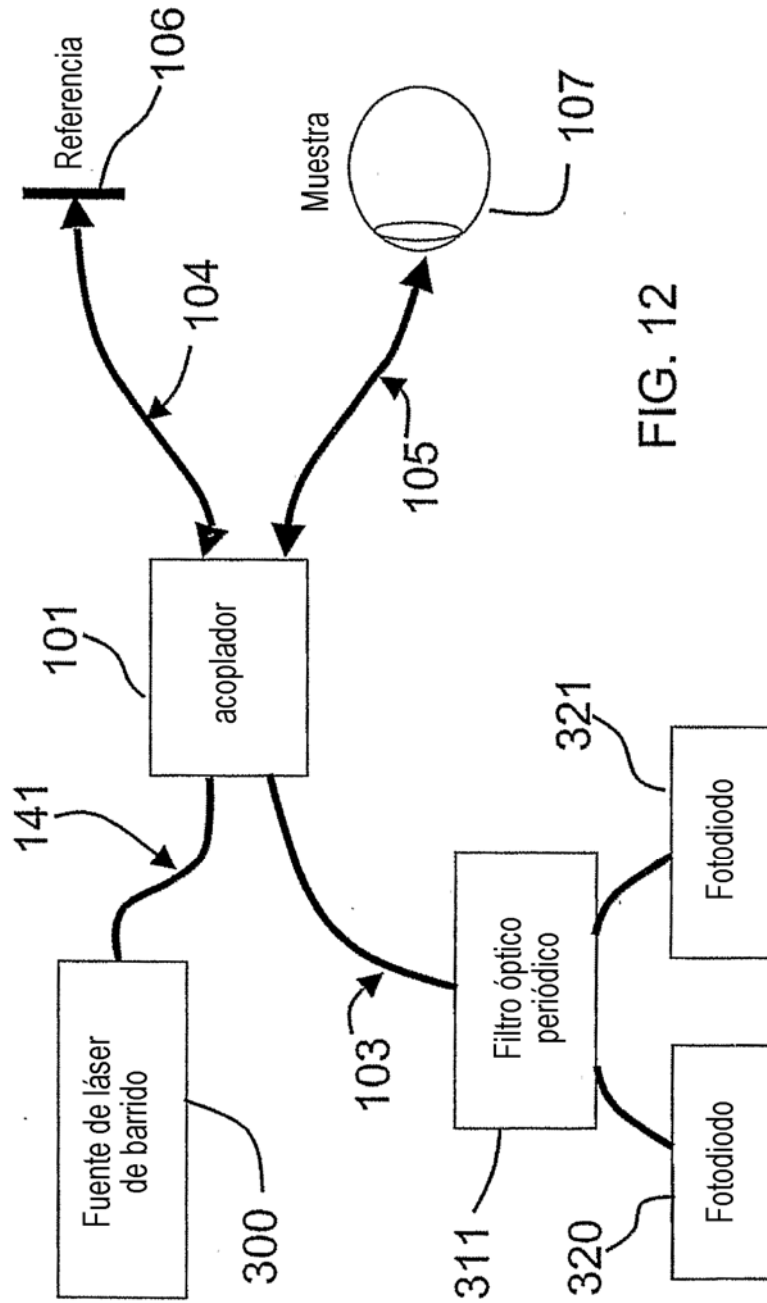


FIG. 12

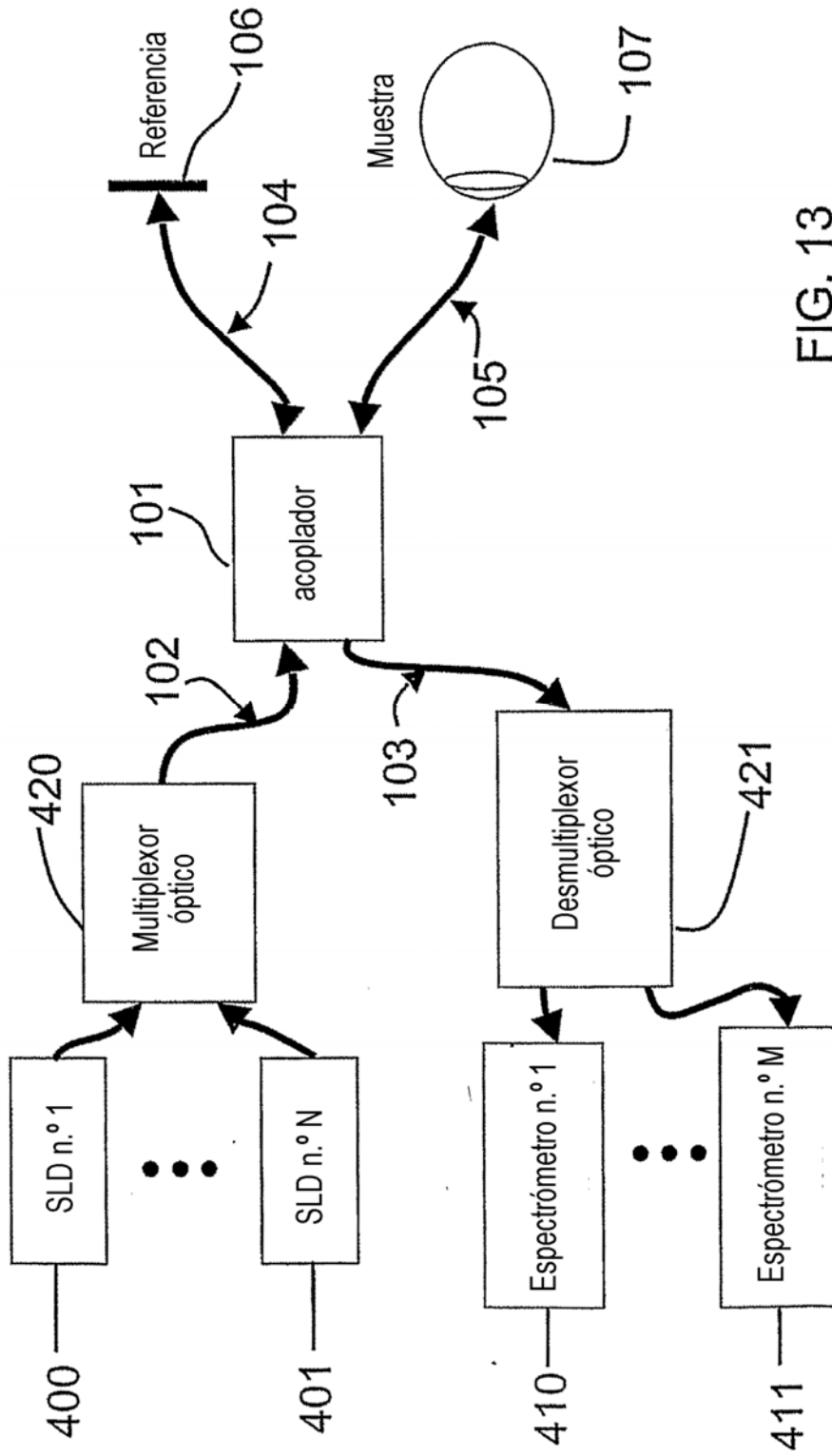


FIG. 13

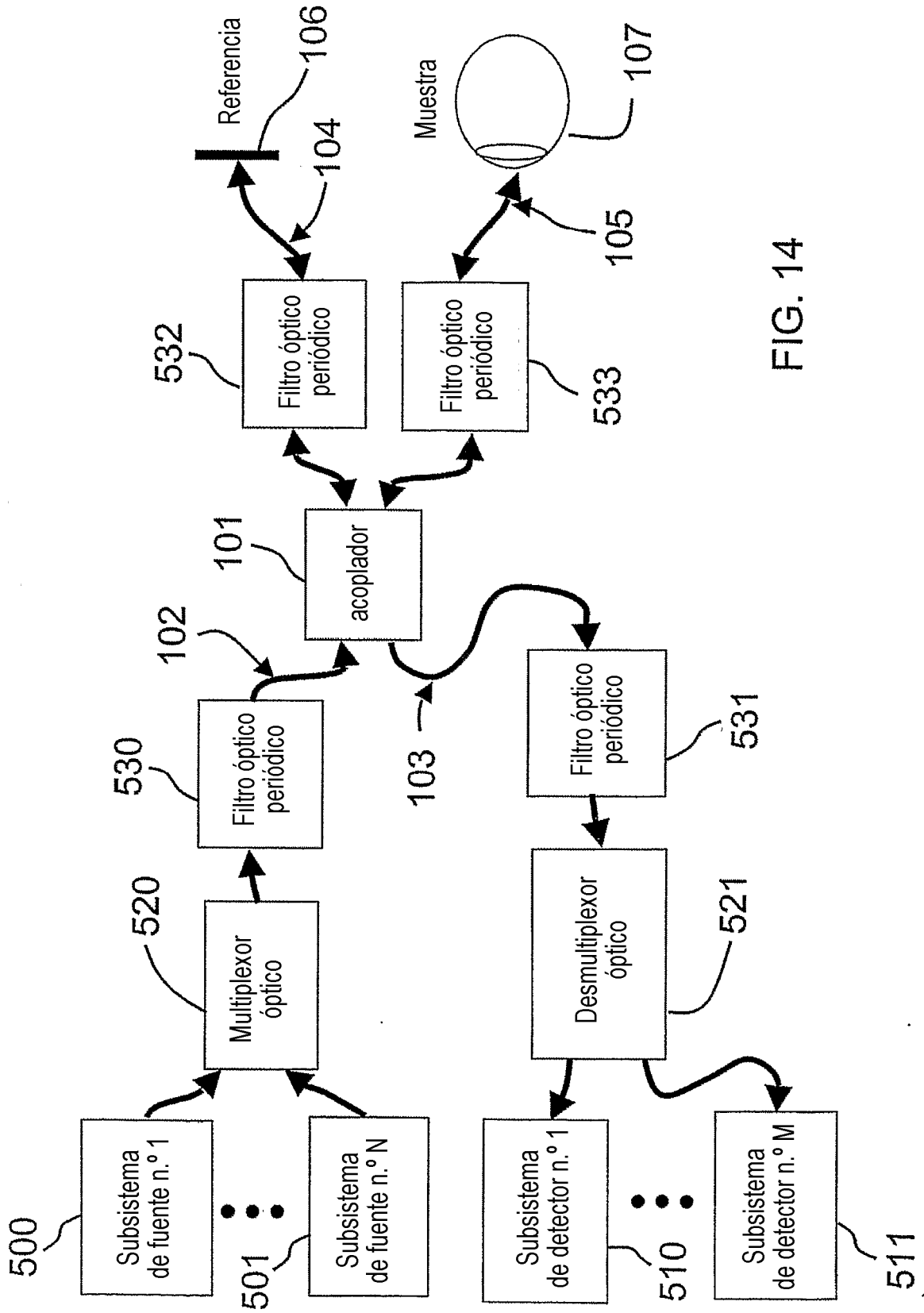


FIG. 14