

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 673 952**

51 Int. Cl.:

A61B 5/00 (2006.01)

A61B 3/10 (2006.01)

A61B 3/00 (2006.01)

G01B 9/02 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **21.07.2009 PCT/US2009/051263**

87 Fecha y número de publicación internacional: **28.01.2010 WO10011656**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **21.07.2009 E 09800879 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **04.04.2018 EP 2317923**

54 Título: **Formación de imágenes de rango ampliado**

30 Prioridad:

21.07.2008 US 135613 P

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

26.06.2018

73 Titular/es:

**OPTOVUE, INC (100.0%)
45531 Northport Loop West
Fremont, CA 94538, US**

72 Inventor/es:

**KO, TONY;
ZHAO, YONGHUA y
HUANG, DAVID**

74 Agente/Representante:

TOMAS GIL, Tesifonte Enrique

ES 2 673 952 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

Formación de imágenes de rango ampliado

5 Referencia cruzada a aplicaciones relacionadas

[0001] Esta aplicación se refiere y reivindica prioridad a la Solicitud de Patente Provisional de EE.UU. nº 61/135,613 presentada el 21 de julio de 2008.

10 Antecedentes

1. Campo de la invención:

15 [0002] La presente divulgación está dirigida a sistemas para la formación de imágenes biomédicas y determinación de distancias, y más específicamente a métodos y sistemas asociados a la formación de imágenes de tomografía de coherencia óptica (TCO) e interferometría de baja coherencia (LCI).

2. Discusión de la técnica relacionada

20 [0003] La tomografía de coherencia óptica (TCO) es una modalidad de formación de imágenes bidimensional basada en principios de interferometría de baja coherencia (LCI). La TCO se ha usado para la formación de imágenes no invasivas de la retina del ojo humano durante muchos años. Se ha mostrado también gran interés en el uso de la TCO para formar imágenes de la cámara anterior así como para realizar mediciones de la longitud axial del ojo para la planificación quirúrgica de refracción, cataratas y glaucoma. Ver D. Huang, Y. Li y S. Radhakrishnan, "Optical coherence tomography of the anterior segment of the eye," Ophthalmology Clin. N. Am. 17,1-6 (2004).

30 [0004] Sin embargo, formar imágenes de toda la cámara anterior del ojo sigue siendo un desafío debido a la limitada profundidad de escaneo de las técnicas normales de TCO. La profundidad de la cámara anterior es muy larga comparada con la de la retina. La profundidad media de la córnea al cristalino es aproximadamente 3,5 mm. Normalmente, la profundidad de escaneo TCO del segmento anterior debería ser alrededor de 5- 6 mm. Si se necesita formar una imagen de la cápsula posterior del cristalino, la profundidad de la imagen debería ser al menos de 9 a 10 mm. Si se debe medir toda la longitud del ojo, la profundidad de escaneo debería ser de más 30 mm. Al realizar mediciones de la longitud axial del ojo, se utilizan normalmente sólo dos mediciones de interferometrías de baja coherencia (LCI) adquiridas de las superficies anterior y posterior del ojo. Sin embargo, es probable que el ojo se mueva en la dirección axial entre las dos mediciones en las dos superficies, disminuyendo así la exactitud de las mediciones de la longitud del ojo.

40 [0005] Por lo tanto, existe la necesidad de un método que pueda adquirir simultáneamente múltiples imágenes TCO que abarquen múltiples alcances axiales para realizar imágenes y/o mediciones sobre grandes alcances de escaneo.

Resumen

45 [0006] La presente invención se define en las reivindicaciones independientes Conforme a la presente invención un generador de imágenes puede incluir una fuente de luz; un brazo de muestra que recibe luz de la fuente de luz, dirige la luz a una muestra, y captura luz que retorna de la muestra; una fuente de modulación que proporciona diferentes modulaciones correspondientes a distintas profundidades de formación de imágenes en la muestra; un sistema de detección para recibir la luz capturada de la muestra con las diferentes modulaciones; y un procesador que recibe señales del sistema de detección y separa una pluralidad de imágenes correspondientes a las distintas profundidades de imagen en la muestra.

55 [0007] En algunas formas de realización la fuente de modulación incluye un brazo de referencia con una pluralidad de caminos de referencia. En algunas formas de realización cada camino de referencia incluye un espejo y un modulador acoplado al espejo, y en el que una longitud de camino del camino de referencia se relaciona con la profundidad de imagen de una de la pluralidad de imágenes. En algunas formas de realización el generador de imágenes puede incluir además un divisor/acoplador acoplado a la fuente de luz, el brazo de muestra, el brazo de referencia y el sistema de detección, en el que el divisor/acoplador proporciona luz al brazo de muestra y al brazo de referencia, recibe luz del brazo de muestra y del brazo de referencia, y proporciona luz combinada del brazo de muestra y del brazo de referencia al sistema de detección.

60 [0008] En algunas formas de realización la fuente de modulación incluye un interferómetro acoplado entre la fuente de luz y un acoplador de luz, proporcionando luz el acoplador de luz al brazo de muestra del interferómetro y al sistema de detección del brazo de muestra. En algunas formas de realización el acoplador de luz puede ser un divisor/acoplador. En algunas formas de realización el acoplador de luz puede ser un circulador.

[0009] En algunas formas de realización el sistema modulador incluye un interferómetro, e incluyendo además un divisor/acoplador que recibe luz de la fuente de luz, proporciona la luz al brazo de muestra y al interferómetro, combina luz recibida del brazo de muestra y del interferómetro, y proporciona luz al sistema de detección.

5 [0010] En algunas formas de realización la fuente de modulación incluye un primer reflector y un segundo reflector, y además incluye un divisor/acoplador acoplado para recibir luz de la fuente de luz y proporcionar luz al primer reflector y al segundo reflector de la fuente de modulación, recibiendo también el divisor/acoplador luz del primer reflector y del segundo reflector y proporcionar luz combinada; y un acoplador de luz acoplado para recibir la luz combinada del divisor/acoplador, acoplar luz al brazo de muestra, y dirigir la luz recibida del brazo de muestra al sistema de detección. El procesador ejecuta instrucciones para adquirir un conjunto de datos combinado con el generador de imágenes TCO teniendo una pluralidad de imágenes; realizar una transformada en el conjunto de datos combinado para formar una distribución de frecuencias; separar espectralmente la distribución de frecuencias en una pluralidad de datos separados basada en una frecuencia de modulación de cada pluralidad de datos separados; y realizar operaciones matemáticas en cada pluralidad de datos separados para generar imágenes separadas.

[0011] Se sigue discutiendo abajo de éstas y otras formas de realización con respecto a las siguientes figuras.

Figuras

20 [0012]

La figura 1 muestra un equipo convencional de TCO.

25 La figura 2A muestra un ejemplo de resultados de formación de imágenes que se pueden conseguir con el equipo convencional de TCO mostrado en la figura 1.

Las figuras 2B y 2C muestran un ejemplo de resultados de formación de imágenes que se pueden conseguir utilizando algunas formas de realización de un equipo de TCO según la presente invención.

30 La figura 3 muestra un sistema de TCO según algunas formas de realización de la presente invención.

Las figuras 4A y 4B muestran formas de realización de mecanismos de escaneo de fase que se pueden utilizar en algunas formas de realización de la presente invención.

35 Las figuras 5A y 5B ilustran una forma de realización de un procedimiento de tratamiento de señal que se puede utilizar en algunas formas de realización de la presente invención.

40 Las figuras 6A y 6B muestran la utilización ejemplar de algunas formas de realización de la presente invención para ampliar el rango de la formación de imágenes dentro del tejido humano.

La figura 7 ilustra otro sistema de TCO según algunas formas de realización de la presente invención.

45 La figura 8 ilustra un diagrama de flujo para adquirir imágenes según algunas formas de realización de la presente invención.

Las figuras 9A, 9B y 9C ilustran otras formas de realización de la invención.

50 La figura 10 ilustra una forma de realización de un interferómetro que se puede utilizar en algunas formas de realización de la invención.

[0013] En las figuras, elementos que tienen la misma designación tienen la misma función o similar.

Descripción detallada

55 [0014] Ha estado emergiendo una nueva rama de la tecnología TCO basada en los principios de TCO de dominio de Fourier (TCO-DF) o de dominio espectral. Ver M. Wojtkowski, R. Leitgeb, A. Kowalczyk, T. Bajraszewski, y A. F. Fercher, "In vivo human retinal imaging by Fourier domain optical coherence tomography," J. Biomed. Opt. 7, 457-463 (2002). La TCO-DF proporciona mejoras significativas en la relación señal/ruido y en velocidad sobre sistemas anteriores de TCO de dominio de tiempo. Ver R. Leitgeb, C. K. Hitzenberger, y A. F. Fercher, "Performance of fourier domain vs. time domain optical coherence tomography," Opt. Express 11, 889-894 (2003); J. F. De Boer, B. Cense, B. H. Park, M. C. Pierce, G. J. Tearney, y B. E. Bouma, "Improved signal-to-noise ratio in spectral-domain compared with time-domain optical coherence tomography," Opt. Lett. 28, 2067-2069 (2003); y M. A. Choma, M. V. Sarunic, C. H. Yang, y J. A. Izatt, "Sensitivity advantage of swept source and Fourier domain optical coherence tomography," Opt. Express 11, 2183-2189 (2003). Sin embargo, el rendimiento de la relación señal/ruido en TCO-DF se reduce con la profundidad de escaneo en aumento, que limita normalmente el alcance de escaneo en TCO-DF a alrededor de 2 a 3 milímetros. Para aumentar el alcance de la

profundidad de escaneo se pueden introducir métodos de desplazamiento de fase para conseguir una TCO-DF de rango completo. Una TCO-DF compleja de rango completo utiliza métodos de desplazamiento de fase para resolver la ambigüedad entre las diferencias de camino óptico negativo y positivo con respecto al espejo de referencia para recuperar el rango completo útil de formación de imágenes. Ver M. Wojtkowski, A. Kowalczyk, R. Leitgeb, y A. F. Fercher, "Full range complex spectral optical coherence tomography technique in eye imaging," Opt. Lett. 27, 1415-1417 (2002). Se han introducido también muchos otros mecanismos de desplazamiento de fase y algoritmos para realizar una TCO-DF compleja de rango completo. Ver, p. ej., Y. Yasuno, S. Makita, T. Endo, G. Aoki, M. Itoh, y T. Yatagai, "Simultaneous B-M-mode scanning method for real-time full-range Fourier domain optical coherence tomography," Appl. Opt. 45, 1861-1865 (2006) ("Yasuno"); R. K. Wang, "In vivo full range complex Fourier domain optical coherence tomography," Appl. Phys. Lett. 90, 054103 (2007) ("Wang"); y B. Baumann, M. Pircher, E. Götzinger, y C. K. Hitzenberger, "Full range complex spectral domain optical coherence tomography without additional phase shifters," Opt. Express 15, 13375-13387 (2007) ("Baumann"). Se han introducido interferómetros Mach-Zehnder y cascadas de interferómetros Mach-Zehnder con longitudes de camino respectivas entre sus dos brazos para obtener codificación de frecuencia para la reflectometría de dominio de coherencia óptica (OCDR) y TCO. Ver WO 02/071042 A2 (IZATT JOSEPH A [US]; ROLLINS ANDREW M [US]) 12 de septiembre de 2002 (2002-09-12). Además, también se ha divulgado el uso de una OCDR para hacer mediciones ópticas. Ver WO 03/007811 A2 (SCIMED LIFE SYSTEMS INC [US] 30 de enero de 2003 (2003-01-30). Sin embargo, estos métodos sólo pueden aumentar una cantidad limitada el alcance de profundidad de escaneo de la TCO-DF, por ejemplo alrededor de 4 a 6 milímetros.

[0015] La figura 1 ilustra un equipo convencional de TCO 100 para la adquisición simultánea de imágenes. El equipo de TCO 100 puede ser o bien de una variedad de TCO de dominio de tiempo o de dominio de Fourier. Ver B. Grajciar, M. Pircher, C. K. Hitzenberger, O. Findl, y A. F. Fercher, "High sensitive measurement of the human axial eye length in vivo with Fourier domain low coherence interferometry," Opt. Express 16, 2405-2414 (2008). El equipo de TCO 100 también puede aplicarse a una TCO de dominio de Fourier tanto basada en una fuente de barrido como basada en un espectrómetro. Como se muestra en la figura 1, el equipo de TCO 100 incluye una fuente de luz 101 acoplada para proporcionar luz a un divisor/acoplador 103. El divisor/acoplador 103 proporciona luz a un brazo de muestra 113 y a un brazo de referencia 112. La fuente de luz 101 puede ser cualquier fuente de luz que sea adecuada para la formación de imágenes TCO. Una fuente de luz adecuada que se puede utilizar en la TCO de dominio de tiempo o en la TCO de dominio de Fourier incluye una fuente de luz de ancho de banda como un diodo superluminiscente, pero no es limitativo. Una fuente de luz adecuada que se puede utilizar en una versión de fuente de barrido de una TCO de dominio de Fourier incluye una fuente láser sintonizable, pero no es limitativo. En algunas formas de realización la fuente de luz 101 puede generar longitudes de onda o diferentes anchos de banda para formar imágenes a diferente penetración de tejido y/o resolución axial. El divisor/acoplador 103 recibe luz de una fuente óptica 101 y manda la energía dentro tanto del brazo de muestra 113 como del brazo de referencia 112. Como se muestra en la figura 1, el brazo de muestra 113 puede incluir varias lentes colimadoras 109 y lentes de focalización 110. Adicionalmente, el brazo de muestra 113 incluye un mecanismo de escaneado de haz 116 para dirigir el haz para realizar un escaneado de haz transversal en dos o tres dimensiones y una formación de imágenes de una muestra 111. Para conseguir una formación de imágenes simultánea, el brazo de referencia 112 incluye un divisor/acoplador adicional 104 que separa el haz de luz recibido desde el divisor/acoplador 103 en dos o más caminos del brazo de referencia, camino de referencia 114 y camino de referencia 115. El camino de referencia 114 incluye lentes colimadoras 105 y espejo 107. El camino de referencia 115 incluye lentes colimadoras 106 y espejo 108. Las lentes colimadoras 105 y 106 en los caminos de referencia 114 y 115, respectivamente, coliman el haz a partir de una fibra óptica acoplada al divisor/acoplador 104 y focalizan el haz de vuelta dentro de la fibra óptica después de que se refleje desde los espejos de referencia 107 y 108, respectivamente.

[0016] Los espejos de referencia 107 y 108 se pueden utilizar para realizar escaneos profundos en la TCO de dominio de tiempo, o pueden quedar estacionarios en un proceso de TCO de dominio de Fourier. La posición de espejos de referencia 107 y 108 se puede ajustar para reflejar la diferente región de interés de escaneado axial. En el ejemplo mostrado en la figura 1, el espejo de referencia 107 se ajusta para corresponder al segmento anterior del ojo mientras que el espejo de referencia 108 se ajusta para corresponder al segmento posterior del ojo. Por lo tanto, como se muestra en la figura 1, se pueden obtener imágenes simultáneas de los segmentos anterior y posterior del ojo humano.

[0017] El retorno de los haces desde el brazo de muestra 113 y el brazo de referencia 112 se combinan en el divisor/acoplador 103 y se transmiten al sistema de detección 102. El sistema de detección 102 puede ser un espectrómetro en una TCO de dominio de Fourier basada en un espectrómetro o un sistema de detección de fotodiodos en una TCO de dominio de Fourier basada en una fuente de barrido. Luego la señal detectada puede enviarse a un procesador 117, que es normalmente un sistema informático con suficiente capacidad de almacenamiento de datos para contener los datos de imagen recibidos.

[0018] Como se muestra en la figura 1, para adquirir imágenes TCO abarcando diferentes alcances axiales se usan simultáneamente dos espejos de referencia (espejos de referencia 107 y 108) con diferentes longitudes de brazo de referencia. Cada brazo de referencia corresponde a una posición de profundidad diferente en la muestra y ambas imágenes TCO se detectan simultáneamente mediante un único sistema de detección 102. Sin

embargo, en la técnica ilustrada en la figura 1 cualquier superposición de las imágenes TCO evitará la interpretación de las imágenes sumadas ya que todas las imágenes se detectan simultáneamente y no hay información sobre cómo separar las contribuciones de cada uno de los espejos de referencia 107 y 108. Por lo tanto, este método se limita a dos espejos de referencia y sólo puede usarse para formar imágenes de muestras muy simples con imágenes que no se superponen o usarse para adquirir mediciones TCO en una sola línea (mediciones LCI) con señales que tampoco se superponen.

[0019] La figura 2A ilustra el resultado normal obtenido con un equipo TCO 100 mostrado en la figura 1. Dado que se usan dos brazos de referencia, los brazos de referencia 114 y 115, en el sistema representado en la figura 1 el sistema de detección 102 simultáneamente detectará y adquirirá señales que llegan de dos regiones de interés de escaneado axial diferentes. La figura 2A ilustra imágenes de los segmentos anterior y posterior del ojo humano, como se ilustra por el posicionamiento de espejos 107 y 108 de la figura 1. Sin embargo, como se muestra en la figura 2A, el inconveniente de esta técnica es que las señales detectadas simultáneamente no se pueden distinguir entre sí y ambas aparecerán como imágenes superpuestas en la imagen visualizada. Las imágenes superpuestas mostradas en la figura 2A disminuyen la interpretabilidad de la imagen resultante y evitan mediciones inequívocas entre las señales que surgen de dos regiones de interés de escaneado axial diferentes.

[0020] Las figuras 2B y 2C ilustran imágenes separadas de la porción posterior y anterior del ojo, respectivamente. Las figuras 2B y 2C ilustran los resultados obtenidos por algunas formas de realización de la presente invención. Algunas formas de realización de la presente invención proporcionan una forma de distinguir las señales adquiridas simultáneamente y son capaces de separar las señales que surgen de dos regiones de interés de escaneado axial en dos imágenes independientes. Como se ha mencionado anteriormente, la separación de las imágenes elimina los problemas de interpretabilidad que surgen de la superposición de imágenes. Adicionalmente, algunas formas de realización de la presente invención permiten la adquisición simultánea de imágenes, que permiten imágenes precisas que surgen de dos regiones de interés de escaneado axial diferentes.

[0021] Algunos sistemas de formación de imágenes TCO, como se describe por ejemplo en la patente de EE.UU. N° 7,400,410, incluyen dos generadores de imágenes TCO separados operando en longitudes de onda ópticas diferentes, que se pueden combinar para recibir simultáneamente imágenes separadas a partir de una única muestra. Aunque esta técnica permite la separación de dos imágenes adquiridas simultáneamente, cada una de las cuales puede configurarse para medir imágenes de profundidades distintas, también requiere dos generadores de imágenes TCO separados. Los generadores de imágenes TCO múltiples pueden aumentar significativamente la complejidad y el coste del sistema de formación de imágenes.

[0022] La separación de imágenes como se muestra en la figura 2B se puede lograr sustituyendo un interruptor para divisor de haces/acoplador 104 en la figura 1. Sin embargo, incluso si se utiliza un dispositivo de conmutación óptico de alta velocidad, las dos imágenes separadas no serán simultáneas. Las imágenes simultáneas sólo se pueden aproximar si la velocidad de conmutación del dispositivo de conmutación óptico comienza a aproximarse a cero. Sin embargo, si las señales no se adquieren simultáneamente, luego no se registran una a la otra y por lo tanto las imágenes son menos valiosas.

[0023] Conforme a algunas formas de realización de la presente invención, se presenta un método que puede adquirir simultáneamente múltiples imágenes TCO que abarcan múltiples alcances axiales. Bajo esas circunstancias, se puede conseguir un registro preciso en las dimensiones tanto axial como transversal a través de todas las imágenes TCO y se puede realizar una formación de imágenes de gran profundidad de escaneo o mediciones morfométricas precisas a través de grandes distancias. En algunas formas de realización de la presente invención el sistema de detección sólo lee las imágenes una vez y las imágenes resultantes se pueden registrar con precisión en las dimensiones tanto axial como transversal. Además, algunas formas de realización según la presente invención pueden estar asociadas con un escáner óptico que se usa para la medición de la anatomía ocular no invasiva, un sistema de formación de imágenes ópticas para la formación de imágenes de la cámara anterior, y/o un sistema de formación de imágenes ópticas para la formación de imágenes del segmento posterior.

[0024] La figura 3 ilustra un generador de imágenes 300 según algunas formas de realización de la presente invención. El generador de imágenes 300 incluye una fuente de luz 302 que se puede elegir apropiadamente para un procedimiento de TCO de dominio de Fourier bien basado en una fuente de barrido o en un espectrómetro. Como tal, la fuente de luz 302 puede comprender cualquier fuente de luz adecuada para la formación de imágenes TCO. Una fuente de luz adecuada para una TCO de dominio de Fourier puede incluir una fuente de luz de ancho de banda como un diodo superluminiscente, pero no es limitativo. Una fuente de luz adecuada para conseguir la TCO de dominio de Fourier en versión de fuente de barrido puede incluir una fuente láser sintonizable, pero no es limitativo. En varias formas de realización la fuente de luz 302 puede producir radiación en longitudes de onda diferentes o con anchos de banda diferentes para realizar formación de imágenes a diferente penetración de tejido y/o resolución axial.

[0025] Como se muestra en la figura 3, la luz de una fuente de luz 302 se dirige a un acoplador de luz 310, que envía energía de la fuente de luz 302 dentro de un brazo de muestra 320 y un brazo de referencia 330. El acoplador de luz 310 de la figura 3 puede ser un divisor/acoplador que recibe luz de una fuente de luz 302 y la dirige tanto al brazo de muestra 320 como al brazo de referencia 330, y recibe luz del brazo de muestra 320 y del brazo de referencia 330 y dirige el haz de luz combinado al sistema de detección 340. El brazo de muestra 320 puede incluir elementos ópticos incluyendo elementos ópticos colimadores 321, escaneado de haz 322 y elementos ópticos de focalización 324. El mecanismo de escaneado de haz 322 puede dirigir un haz de luz recibido del acoplador de luz 310 para realizar un escaneado de haz transversal en dos o tres dimensiones y una formación de imágenes de muestra 360. En algunas formas de realización los elementos ópticos colimadores 321 pueden incluir adicionalmente controladores de polarización, que se pueden utilizar en algunas formas de realización para detectar de forma más precisa datos que resultan en una imagen. Entonces el brazo de muestra 320 proporciona la luz retrodispersada de la muestra 360 para iluminar el acoplador 310.

[0026] El brazo de referencia 330 recibe luz de la fuente de luz 302 a través del acoplador de luz 310 y proporciona luz de referencia para iluminar el acoplador 310. La luz de referencia del brazo de referencia 330 se combina con luz retrodispersada del brazo de muestra 320 para producir interferencia espectral que se puede detectar mediante un sistema de detección 340.

[0027] Como se muestra en la figura 3, el brazo de referencia 330 puede incluir un controlador de polarización 331 para ayudar a maximizar el contraste de la franja de interferencia detectado mediante el sistema de detección 340. El brazo de referencia puede tener uno o más divisores/acopladores 332 para separar adicionalmente el haz de referencia en dos o más caminos de referencia para detección simultánea. Los caminos de referencia 336-1 a 336-N se muestran específicamente en la figura 3, donde N puede ser cualquier número de brazos de referencia. En general, el número de caminos de referencia separados N será el número de profundidades de imágenes de interés separadas.

[0028] Cada uno de los caminos de referencia 336-1 a 336-N incluye varios elementos ópticos 333-1 a 333-N así como espejos de referencia 334-1 a 334-N, respectivamente, para reflejar la energía de la fuente de luz 302 para proporcionar la luz de referencia. Los elementos ópticos 333-1 a 333-N en el brazo de referencia 330 se pueden usar para colimar los haces del divisor/acoplador 332 y acoplar los haces de vuelta dentro del divisor/acoplador 332 cuando se reflejan de vuelta desde los espejos de referencia 334-1 a 334-N, respectivamente. En algunas formas de realización el divisor/acoplador 332 se puede acoplar a los elementos ópticos 333-1 a 333-N con fibra óptica. Los elementos ópticos 333-1 a 333-N pueden incluir varias lentes colimadoras adecuadas para este propósito, pero no es limitativo.

[0029] Como se ha informado, por ejemplo, en Yasuno, Wang, y Baumann, se introduce una frecuencia portadora dentro de los espectrogramas espaciales introduciendo una fase de modulación constante en el brazo de referencia y/o de muestra a través del escaneo transversal. Dicha modulación se utiliza normalmente para duplicar el rango de la formación de imágenes convencional de un único generador de imágenes TCO de un brazo de referencia.

[0030] Conforme a algunas formas de realización de la invención haces de referencia que retornan de diferentes caminos de referencia incluyen información codificada utilizando modulaciones diferentes dentro de cada uno de los caminos de referencia 336-1 a 336-N. Los espejos 334-1 a 334-N pueden ser estacionarios o se pueden modular mediante moduladores 335-1 a 335-N, respectivamente. La modulación de espejos de referencia 334-1 a 334-N durante el escaneado transversal de la muestra puede ser equivalente a la modulación de frecuencia de la señal detectada en el sistema de detección 340. Como se ha discutido anteriormente, es por lo tanto posible codificar información en los haces de referencia que retornan de los diferentes caminos de referencia usando diferentes modulaciones de fase en cada uno de los espejos de referencia 334-1 a 334-N.

[0031] Varios métodos se pueden alistar en los moduladores 335-1 a 335-N para introducir una modulación de fase constante dentro del haz de luz reflejado de cada uno de los espejos 334-1 a 334-N, respectivamente. En varias formas de realización los moduladores 335-1 a 335-N pueden ser una plataforma de la traslación piezoeléctrica lineal sobre la que se montan espejos 334 -1 a 334-N, respectivamente. La plataforma de traslación piezoeléctrica se puede configurar para mover espejos 334-1 a 334-N a alguna velocidad constante a través de un escaneo transversal en la dirección x o y (escaneo B). En algunas formas de realización, la modulación de fase se puede conseguir en el mecanismo de escaneado 322 del brazo de muestra introduciendo un desplazamiento desde el punto del pivote del escáner 321, como se ha discutido en Baumann. En algunas formas de realización una línea de retardo de fase con base reticular se puede colocar en un brazo de referencia 330 de manera que el retardo de grupo óptico puede ser cercano a cero y sólo se consigue modulación de fase. Otra forma de realización ejemplar se muestra en las figuras 4A y 4B, que también puede conseguir modulación de fase con retardo de grupo de casi cero.

[0032] Los haces que retornan del brazo de muestra 320 y del brazo de referencia 330 se puede combinar en el acoplador 310 y enviar al sistema de detección 340. El sistema de detección 340 incluye un de detección 342 y componentes ópticos 341. El de detección 342 puede ser un espectrómetro en una TCO de dominio de Fourier

basada en un espectrómetro o un sistema de detección de fotodiodos en una TCO de dominio de Fourier basada en una fuente de barrido. Los componentes ópticos 341 pueden incluir elementos ópticos apropiados para focalizar el haz del acoplador de luz 310 sobre el de detección 342. La señal detectada se envía a un procesador 350, que es normalmente un software operativo de ordenador, para analizar las señales recibidas del de detección 342, almacenar los datos y presentar los resultados de una forma apropiada. Ya que la modulación de fase en el brazo de referencia se puede sincronizar al escaneado transversal realizado en el brazo de muestra, en algunas formas de realización el procesador 350 también puede enviar señales de control y de sincronización al brazo de muestra 320, al brazo de referencia 330, y al sistema de detección 340 (líneas discontinuas).

[0033] Las figuras 4A y 4B ilustran formas de realización ejemplares de un equipo de modulación 401 y 402, respectivamente, adecuado para conseguir una modulación de fase constante en el brazo de referencia. Cada uno de los equipos 401 y 402 se puede utilizar en lugar de una pareja de un espejo 334-j y un modulador 335-j, donde el espejo 334-j es un espejo arbitrario de 334-1 a 334-N y un modulador 335-j es un modulador arbitrario correspondiente de 335-1 a 335-N, y corresponde al espejo y al modulador en el camino de referencia 336-j.

[0034] El equipo 401 mostrado en la figura 4A ilustra una configuración de doble paso utilizando un escáner de galvanómetro 420 para conseguir una modulación de fase constante en el brazo de referencia 330. En el equipo 401 el haz de entrada puede entrar dentro de los elementos ópticos de colimadores 400 y pasar a través de un sistema de lentes 410 que focaliza el haz en un espejo montado sobre un escáner de galvanómetro 420. El haz golpea el espejo del galvanómetro en un desplazamiento desde el punto del pivote que introducirá una modulación de fase cuando se rota el espejo del galvanómetro del escáner del galvanómetro 420. En el galvanómetro 420 el espejo del galvanómetro se monta en el plano focal de la lente 410 y refleja el haz de vuelta a través de la lente 410 para alcanzar finalmente un retroreflector 430, que puede ser un espejo. El haz que retorna del reflector 430 pasa a través de la lente 410, golpea el espejo del galvanómetro del escáner del galvanómetro 420 nuevamente, y retorna a la entrada a través de la lente 410 y los elementos ópticos colimadores 400. Debido a que el espejo del galvanómetro del escáner del galvanómetro 420 se ubica en el plano focal posterior de la lente 410, el haz reflejado de vuelta del reflector 430 retornará a la entrada de los elementos ópticos colimadores 400 siguiendo la trayectoria incidente, que es una configuración de doble paso.

[0035] El equipo 402 mostrado en la figura 4B ilustra otra forma de realización ejemplar de un equipo adecuado para conseguir una modulación de fase constante. En el equipo 402 el haz de entrada puede introducirse en los elementos ópticos colimadores 400 y pasa a través de un sistema de modulación de fase 440 que puede cambiar la longitud del camino óptico del haz de referencia. Una forma de realización ejemplar del sistema de modulación de fase 440 es una ventana óptica montada sobre un escáner de galvanómetro insertado en el camino del haz de referencia. Cuando el galvanómetro se rota, la ventana óptica cambia de ángulo con respecto al haz de referencia y se cambia la longitud del camino óptico. El paso del haz a través del sistema de modulación de fase continúa hasta alcanzar un retroreflector 450, que puede ser un espejo. El haz de retorno desde el reflector 450 puede regresar a través del sistema de modulación de fase 440 antes de retornar a los elementos ópticos colimadores 400 nuevamente para acoplarse fuera del equipo 402.

[0036] Las figuras 5A y 5B ilustran una forma de realización ejemplar de la técnica de procesamiento de señal 550 que se puede ejecutar mediante un procesador 350 para distinguir las imágenes adquiridas simultáneamente. La figura 5A ilustra los conjuntos de datos resultantes mientras que la figura 5B ilustra un diagrama de flujo del procedimiento de procesamiento de datos que se puede ejecutar en un procesador 350. Usando una modulación de fase diferente en cada uno de los caminos de brazo de referencia 336-1 a 336-N, se puede inducir una frecuencia portadora diferente dentro de los espectrogramas espaciales correspondientes a cada camino de brazo de referencia 336-1 a 336-N. Además, disponiendo diferentes longitudes de camino en cada uno de los caminos de brazo de referencia 336-1 a 336-N, se pueden obtener una pluralidad de imágenes correspondientes a diferentes profundidades en la muestra 360.

[0037] Para el propósito ilustrativo de las figuras 5A y 5B, se asume que una modulación de fase constante se aplica al modulador 335-1 de manera que la frecuencia portadora tiene una frecuencia espacial de u_1 en el espacio de Fourier transversal. Además, se asume que una modulación de fase constante se aplica a moduladores 335-2 de manera que la frecuencia portadora tiene una frecuencia espacial de u_2 en el espacio de Fourier transversal. Si u_1 está suficientemente separado de u_2 en el espacio de Fourier transversal, será posible distinguir señales que se adquieren simultáneamente como se ilustra en la figura 5A. Aunque sólo los caminos de referencia 336-1 y 336-2 se ilustran aquí, un experto en la técnica reconocerá fácilmente como extender esto a cualquier número de caminos de referencia 336-1 a 336-N para separar las imágenes de cada uno de los caminos de referencia 336-1 a 336-N.

[0038] En el paso 562 de la figura 5B se adquiere un conjunto de datos combinado 500, como se muestra en la figura 5A. Los espectrogramas espaciales distintos de aquéllos de caminos de brazos de referencia 336-1 a 336-N se detectan simultáneamente mediante el de detección 342 y se almacenan en un conjunto de datos de imágenes combinado 500. El conjunto de datos de imágenes combinado 500 contiene los datos de imágenes de todos los caminos del brazo de referencia 336-1 a 336-N, de los que los datos de los caminos de los brazos de referencia 336-1 y 336-2 se ilustran aquí. El conjunto de datos detectados puede ser un conjunto de datos

bidimensional que tiene una dimensión en la frecuencia espacial k (o puede estar en la longitud de onda λ antes de la conversión a k). Otra dimensión estará en la posición transversal x o y dependiendo del modelo de escaneado y la definición de la coordenada. En algunas formas de realización, esta segunda dimensión puede ser también simplemente adquisición de tiempo cuando ningún escaneado transversal se realiza en el brazo de muestra. En una TCO-DF convencional una transformada de Fourier inversa se realiza a lo largo de la dimensión k para cada posición transversal x o y , que produce las señales TCO para cada posición transversal.

[0039] Procesando las imágenes adquiridas simultáneamente almacenadas en un conjunto de datos combinado 500, se realiza una transformada de Fourier 501 a lo largo de la dimensión transversal (x o y) para cada valor en la dimensión k . Debido a las frecuencias portadoras u_1 y u_2 introducidas por los moduladores 335-1 a 335-N respectivamente, el contenido de frecuencia asociado a los espejos de referencia 334-1 a 334-N respectivamente se centrará en diferentes frecuencias portadoras en el espacio de Fourier transversal, como se muestra en la distribución de frecuencias 503 de la figura 5A. Como se muestra en la distribución de frecuencias 503, el contenido de frecuencia 511 centrado en la frecuencia portadora $\pm u_1$ contiene información sobre los espectrogramas espaciales del espejo del brazo de referencia 334-1. El contenido de frecuencia 512 centrado en la frecuencia portadora $\pm u_2$ contiene información sobre los espectrogramas espaciales del espejo del brazo de referencia 334-2. En general, cada uno de los brazos de referencia 336-1 a 336-N se centra en una frecuencia diferente u_1 a u_N en la distribución de frecuencias 503. Si u_1 está suficientemente separado de u_2 en el espacio de Fourier transversal, la información de distintos espejos de referencia se selecciona en el paso de selección de espectro 564 usando filtros de frecuencia. En algunas formas de realización, para realizar una TCO-DF compleja de rango completo, sólo se seleccionan los espectros en el espacio de Fourier positivo (es decir, aplicando una función Heaviside antes de la selección del espectro) como se ilustra mediante los filtros 505 y 507. Como se ilustra en la figura 5A, el contenido de frecuencia 511 se puede separar del contenido de frecuencia 512.

[0040] Aplicando una transformada de Fourier inversa 509 a un espectro filtrado 511, se puede generar un conjunto de datos complejos 521. Aplicando una transformada de Fourier inversa 513 a un espectro filtrado 512, se puede generar un conjunto de datos complejos 522. En general, una transformada de Fourier inversa se puede aplicar a cada uno de los espectros separados formados en la selección del espectro 564. Como se ha discutido anteriormente, un conjunto de datos complejos como los conjuntos de datos complejos 521 y 522 pueden entonces generarse para cada uno de los caminos de referencia 336-1 a 336-N.

[0041] El conjunto de datos complejos 521 mostrado en la figura 5A corresponde al espectrograma espacial del espejo de referencia 334-1 y el conjunto de datos complejos 522 corresponde al espectrograma espacial del espejo de referencia 334-2. A través de la selección apropiada de modulaciones de fase sobre los moduladores 335-1 y 335-2, es posible por lo tanto distinguir simultáneamente señales adquiridas.

[0042] El paso final en el proceso para generar imágenes TCO mostradas en la forma de realización mostrada en las figuras 5A y 5B es realizar una transformada de Fourier inversa a lo largo de la dimensión k para cada posición transversal x o y como en la TCO-DF convencional. Como se muestra en las figuras 5A y 5B, una transformada de Fourier inversa 515 se realiza en el conjunto de datos complejos 521 para formar una imagen de rango completo 531. De forma similar, una transformada de Fourier inversa 517 se realiza sobre el conjunto de datos complejos 522 para formar una imagen de rango completo 532. Debido a que los conjuntos de datos complejos 521 y 522 incluyen tanto información real como imaginaria, la compleja imagen de espejo conjugada no estará presente y se puede utilizar el rango completo de formación de imágenes ($+z$ a $-z$) del sistema TCO-DF. Como se muestra en la figura 5A, la imagen TCO de rango completo 531 corresponde a la imagen adquirida del espejo de referencia 334-1 y la imagen TCO de rango completo 532 corresponde a la imagen adquirida del espejo de referencia 334-2. Seleccionando retrasos de caminos ópticos apropiados en los caminos de referencia que contienen los espejos de referencia 334-1 y 334-2, es entonces posible adquirir simultáneamente imágenes de diferentes regiones de interés de escaneado axial en la muestra. En general, se puede conseguir una imagen de rango completo para cada uno de los caminos de referencia 336-1 a 336-N.

[0043] Aunque las figuras 5A y 5B muestran un ejemplo para dos caminos de referencia 336-1 y 336-2, como se ha discutido anteriormente se puede utilizar cualquier número de camino de referencia 336-1 a 336-N. El proceso 550 ilustrado en las figuras 5A y 5B se puede aplicar generalmente a múltiples espejos de referencia de manera que se detecten simultáneamente múltiples espectrogramas espaciales. En tanto que se pueden seleccionar suficientes frecuencias portadoras de manera que no hay superposición de los contenidos de frecuencia en el espacio de Fourier transversal, todas las señales detectadas simultáneamente se pueden distinguir entre sí.

[0044] En algunas formas de realización, una de las frecuencias portadoras (u_1 por ejemplo) puede ser cero de manera que ninguna modulación de fase se realice en ese camino de brazo de referencia (es decir, un espejo estacionario). Este caso será el mismo que una TCO-DF convencional y no estará disponible el rango completo de formación de imágenes ($+z$ a $-z$). Sin embargo, para formar imágenes de muestras finas como la retina, es a menudo suficiente la mitad del rango completo de formación de imagen (espacio z positivo o z negativo). Siempre y cuando la segunda frecuencia portadora (u_2 por ejemplo) esté suficientemente separada de u_1 (cero en este caso) en el espacio de Fourier transversal, será posible distinguir señales que se adquieran simultáneamente de dos diferentes regiones de interés de escaneado axial.

[0045] Las figuras 6A y 6B ilustran ejemplos de utilización de formas de realización de la presente invención para ampliar el rango de la formación de imagen dentro de una muestra como el ojo humano. Debido a que las imágenes se pueden adquirir simultáneamente, se puede conseguir un registro preciso a través de las dimensiones tanto axial como transversal. Por lo tanto es posible ampliar el rango de formación de imágenes a través de una calibración precisa de las diferencias de longitud de camino en los caminos de referencia 336-1 a 336-N. La figura 6A muestra un rango ampliado de formación de imágenes en el segmento anterior de un ojo humano 600. Como se muestra en la figura 6A, se puede realizar el rango de escaneo 602. El máximo rango de formación de imágenes de una TCO-DF compleja de rango completo es normalmente alrededor de 6 mm, lo que no es suficiente para formar imágenes de toda la cámara anterior incluyendo la cápsula posterior de la lente. El ejemplo mostrado en la figura 6A muestra que los caminos ópticos de dos espejos de referencia se pueden ajustar de manera que un espejo de referencia, por ejemplo el espejo de referencia 334-1, forma imagen de una parte frontal 604 de la cámara anterior mientras que un segundo espejo de referencia, por ejemplo el espejo de referencia 334-2, forma imagen de una parte posterior 606 de la cámara anterior. La región de formación de imágenes 602 corresponde a cajas rectangulares con líneas diagonales.

[0046] Usando técnicas del estado de la técnica convencional, las imágenes adquiridas simultáneamente se superpondrían y reproducirían la imagen resultante de forma ininterpretable, como se muestra en la imagen 610 en la figura 6A. En algunas formas de realización de la presente invención, las imágenes adquiridas desde las dos regiones de interés separadas de escaneo axial se pueden distinguir y combinar juntas para formar una imagen 620 que dobla eficazmente el rango de formación de imágenes del sistema alrededor de 12 mm, suficiente para cubrir toda la cámara anterior del ojo 600.

[0047] La figura 6B muestra un ejemplo de utilización de algunas formas de realización de la presente invención para realizar una formación de imágenes simultánea en muy diferentes regiones de interés de escaneo axial. Como se muestra en la figura 6B, las regiones de formación de imágenes 650 y 652 son de interés en el ojo 600. El camino óptico en dos espejos de referencia se puede ajustar de manera que un espejo de referencia, por ejemplo el espejo de referencia 334-1, forma imagen de la parte delantera de la cámara anterior mientras que el segundo espejo de referencia, por ejemplo el espejo de referencia 334-2, forma imagen de la retina en el segmento posterior del ojo. Las regiones de formación de imágenes 650 y 652 corresponden a cajas rectangulares con líneas diagonales. Usando técnicas del estado de la técnica convencional, las imágenes adquiridas simultáneamente se superpondrían y reproducirían la imagen resultante de forma ininterpretable, como se muestra en la imagen 660 en la figura 6B. La imagen 670 ilustra imágenes separadas 672 y 674 adquiridas desde las dos regiones de interés separadas de escaneo axial. Debido a que la diferencia de camino óptico entre los dos espejos de referencia 334-1 y 334-2 se puede medir con precisión, la distancia de separación entre las dos imágenes 672 y 674 se puede determinar y las imágenes se pueden colocar en su relación anatómica correcta en el contexto de toda la muestra de formación de imágenes, como el ojo humano 600. Además, ya que las dos imágenes se adquieren simultáneamente, mediciones morfométricas como la distancia desde la superficie anterior del ojo hasta la superficie posterior del ojo se puede determinar con precisión.

[0048] Como se ha discutido anteriormente, se puede obtener cualquier número de imágenes separadas. Las figuras 6A y 6B ilustran la separación de dos imágenes de dos caminos de referencia. En algunas formas de realización, los ejemplos mostrados en las figuras 6A y 6B se pueden combinar a través del uso de tres espejos de referencia para una adquisición simultánea. Es por lo tanto posible realizar la formación de imágenes de toda la cámara anterior con alrededor de 12 mm de rango de formación de imágenes como se muestra en la figura 6A mientras se adquiere simultáneamente una imagen de la retina en el segmento posterior para mediciones morfométricas como se muestra en la figura 6B.

[0049] La figura 7 ilustra un generador de imágenes TCO 700 según algunas formas de realización de la presente invención. El generador de imágenes TCO 700 representa un interferómetro de baja coherencia de doble haz. En algunas formas de realización el generador de imágenes TCO 700 es insensible al movimiento de la muestra. En algunas formas de realización el generador de imágenes TCO 700 puede ser adecuado para interferometría de baja coherencia (LCI) de dominio de Fourier basada tanto en una fuente de barrido como en un espectrómetro. En general, el generador de imágenes TCO 700 incluye una fuente de luz 702, un interferómetro 730, un brazo de muestra 720, un sistema de detección 740 y un procesador 750. La fuente de luz 700 puede incluir cualquier fuente de luz adecuada para la formación de imágenes de LCI o TCO. Una fuente de luz adecuada para TCO de dominio de Fourier puede incluir una fuente de luz de ancho de banda como un diodo superluminiscente, pero no es limitativo. Una fuente de luz adecuada para conseguir la versión de fuente de barrido de TCO de dominio de Fourier puede incluir una fuente láser sintonizable, pero no es limitativo. En algunas formas de realización la fuente de luz 702 puede contener longitudes de onda diferentes o anchos de banda diferentes para formar imágenes a diferente penetración de tejido y/o resolución axial.

[0050] Como se muestra en la figura 7, el interferómetro 730 puede incluir superficies reflectoras 731 y 732 separadas por una distancia ajustable. Los caminos ópticos relativos de las superficies reflectoras 731 y 732 corresponden a la separación en profundidad de las imágenes adquiridas Una o ambas superficies reflectoras se

pueden modular durante la adquisición de datos mediante moduladores 735 y 736 para proporcionar una modulación de fase constante a la señal detectada durante la adquisición. Los sistemas de lente 733 y 734 acoplan luz dentro y fuera del interferómetro 730. La luz del interferómetro 730 se proporciona para iluminar el acoplador 710, que dirige luz dentro del brazo de muestra 720 y dirige luz recibida del brazo de muestra 720 al sistema de detección 740. En algunas formas de realización el acoplador de luz 710 puede ser un circulador óptico. En algunas formas de realización el acoplador de luz 710 puede ser un divisor/acoplador. El brazo de muestra 720 puede incluir varios elementos ópticos colimadores 721, un mecanismo de escaneado de haz 722 y elementos ópticos de focalización 724. El mecanismo de escaneado de haz 722 puede dirigir el haz para realizar un escaneado de haz transversal de dos o tres dimensiones y una formación de imágenes de una muestra 760, o puede permanecer estacionario para mediciones axiales.

[0051] La distancia d entre las dos superficies reflectoras 731 y 732 se puede ajustar para que coincida con la longitud axial del ojo. En tal caso, la señal de interferometría de baja coherencia que retorna tanto de la córnea como de la retina se puede presentar al sistema de detección 740. El sistema de detección 740, como se muestra en la figura 7, puede incluir elementos ópticos 741 y un detector 742. El detector 742 puede ser un espectrómetro en una TCO de dominio de Fourier basada en un espectrómetro o un sistema fotodetector (por ejemplo, un sistema de detección de fotodiodos) en una TCO de dominio de Fourier basada en una fuente de barrido. Se pueden emplear elementos ópticos o componentes ópticos 741 apropiados para focalizar el haz en el de detección 742. El de detección 742 proporciona una señal al procesador 750 en respuesta al haz. El procesador 750, que puede ser un sistema informático, almacena la señal como datos de imágenes y puede procesar los datos de imágenes como se describen previamente. Ya que la modulación de fase en el brazo de referencia necesita sincronizarse con la adquisición, el ordenador también puede enviar señales de control y sincronización al brazo de muestra, al brazo de referencia, y/o al sistema de detección (líneas discontinuas).

[0052] En algunas formas de realización, una o ambas superficies reflectoras 731 y 732 del interferómetro 730 se pueden modular respectivamente mediante moduladores 735 y 736 durante la adquisición de datos para proporcionar una modulación de fase constante. Es por lo tanto posible codificar una modulación de fase a la señal que retorna desde la longitud del camino óptico más largo del brazo de muestra (por ejemplo, la retina). Esto permitirá la separación de las señales que retornan desde diferentes longitudes de camino en la muestra (por ejemplo, la córnea y la retina). Se pueden alistar varios métodos en los moduladores 735 y 736 para introducir una modulación de fase constante para superficies reflectoras 731 y 732. Otra forma de realización ejemplar se muestra en las figuras 4A y 4B, que se pueden usar para conseguir una modulación de fase constante durante la adquisición de datos.

[0053] La figura 8 ilustra un proceso 800 para suministrar imágenes en un generador de imágenes TCO según algunas formas de realización de la presente invención. Como se muestra en la figura 8, en primer lugar una muestra, como la muestra 360 mostrada en la figura 3 o la muestra 760 mostrada en la figura 7, se alinea con un generador de imágenes TCO en el paso 802 de modo que la fuerza de la señal se puede optimizar. Después del alineamiento, en el paso 804 se inicia la adquisición de datos. En el paso 806 se adquiere una línea de datos para un escaneo de la línea A. En el paso 808 se realiza una modulación de desplazamiento de fase para la próxima línea de datos. Las modulaciones de desplazamiento de fase se detectan, por ejemplo, en el sistema de detección 340 de la forma de realización mostrada en la figura 3 o en el sistema de detección 740 de la forma de realización mostrada en la figura 4. En el paso 810 se cambia la posición transversal. Se puede lograr cambiar la posición transversal por ejemplo mediante un mecanismo de escaneo 322 en la forma de realización mostrada en la figura 3 o un mecanismo de escaneo 722 en la forma de realización mostrada en la figura 7. En el paso 812, si el escaneo completo no está completado todavía, entonces el proceso 800 retorna al paso 806. Si el escaneo completo ha sido completado, entonces el proceso 800 entra en el procesamiento de imágenes 814. El procesamiento de imágenes 814 puede, por ejemplo, ejecutar el proceso 550 ilustrado en las figuras 5A y 5B.

[0054] La figura 9A ilustra un generador de imágenes TCO 700 donde el acoplador de luz 710 se implementa como circulador 910. El circulador 910 recibe luz del interferómetro 730 y la proporciona al brazo de muestra 720 y recibe luz del brazo de muestra 720 y la proporciona al sistema de detección 740. Una ventaja del circulador 910 sobre un divisor/acoplador como acoplador de luz 710 es el porcentaje más alto de luz acoplado dentro del brazo de muestra 720 y del sistema de detección 740.

[0055] La figura 9B ilustra un generador de imágenes 920 que representa otra forma de realización de un generador de imágenes según algunas formas de realización de la presente invención. El generador de imágenes 920 incluye fuente de luz 702, sistema de detección 740, procesador 750, y brazo de muestra 720 como se ha discutido con respecto al generador de imágenes 700 de la figura 7. La luz de la fuente de luz 702 se acopla dentro del brazo de muestra 720 y el interferómetro 930 a través del divisor/acoplador 925. La luz recibida en el divisor/acoplador 925 del brazo de muestra 720 y el interferómetro 930 se combinan y se acoplan dentro del sistema de detección 740. Como se muestra en la figura 9B el interferómetro 930 incluye reflectores 931 y 932, cada uno de los cuales se puede acoplar a un modulador 935 y 936, respectivamente. Como se discutió con respecto a la figura 7, la distancia entre los reflectores 931 y 932 corresponde a la diferencia en profundidad entre imágenes en la muestra 760. Los sistemas de lente 933 y 934 acoplan y focalizan luz a través del

interferómetro 930. Como se muestra en la figura 9B, el reflector 931 puede ser parcialmente reflectante y el reflector 932 puede ser completamente reflectante.

5 [0056] La figura 9C muestra un generador de imágenes 950 que ilustra otra forma de realización según la presente invención. Como se muestra en la figura 9C, luz de la fuente 702 se acopla dentro del divisor/acoplador 957 que transmite luz a los reflectores 951 y 952. Los reflectores 951 y 952 también pueden incluir elementos ópticos de acoplamiento para recibir luz del divisor/acoplador 957 y acoplar luz de vuelta dentro del divisor/acoplador 957. Como se muestra en la figura 9C, los reflectores 951 y 952 se pueden acoplar a los
10 moduladores 955 y 956, respectivamente. Aunque sólo se muestran dos reflectores en la figura 9C, los reflectores 951 y 952, se pueden utilizar divisores adicionales para añadir tantos reflectores, proporcionando cada uno un haz modulado diferente correspondiente a una profundidad de imagen diferente, como se desee, que es similar a la forma de realización mostrada en la figura 3.

15 [0057] La luz recibida de los reflectores 951 y 952 se combina en divisor/acoplador 957 y se acopla dentro del acoplador de luz 959. El acoplador de luz 959 puede ser un divisor/acoplador o un circulador como el circulador 910 mostrado en la figura 9A. Como se muestra en la figura 9C, la luz de acoplador de luz 959 se acopla dentro del brazo de muestra 720. La luz recibida del brazo de muestra 720 se recibe en el acoplador de luz 959 y se transmite al sistema de detección 740. Como antes, el procesador 750 se puede acoplar para controlar aspectos del generador de imágenes 950.

20 [0058] Las figuras 7 y 9A ilustran un interferómetro 730 que incluye dos espejos parcialmente reflectantes 731 y 732. La figura 9B ilustra un interferómetro 930 que incluye un espejo parcialmente reflectante 931 y un espejo completamente reflectante 932. La figura 10 ilustra un interferómetro 1000 que se puede utilizar en lugar del interferómetro 930 de la figura 9B o del interferómetro 730 de las figuras 7 o 9A.

25 [0059] Como se muestra en la figura 10, la luz entra en el interferómetro 1000 en el circulador 1010. En algunas formas de realización, un divisor/acoplador se puede sustituir por un circulador 1010. La luz del circulador 1010 entra en el divisor de haces 1020, donde se divide y se acopla dentro de los reflectores 1030 y 1050. Como se ha discutido anteriormente, los reflectores 1030 y 1050 pueden incluir elementos ópticos de acoplamiento. Además,
30 los reflectores 1030 y 1050 se acoplan a los moduladores 1040 y 1060, respectivamente. La diferencia en la longitud de camino utilizando el reflector 1030 y el reflector 1050 corresponde a la diferente profundidad de imagen adquirida.

35 [0060] En cada una de las formas de realización la luz se puede acoplar de un componente a otro de cualquier forma, por ejemplo con fibra óptica. Además, algunos ejemplos de realización pueden incluir elementos ópticos de focalización o de acoplamiento en varias posiciones, según sea necesario.

40 [0061] Con el fin de explicar, se ha discutido anteriormente de algunas formas de realización de la invención. Un experto en la técnica puede reconocer varias alternativas de las formas de realización divulgadas. Tales alternativas están destinadas a estar dentro del ámbito de esta divulgación. Además, estas formas de realización no están destinadas a ser limitantes en el ámbito de la invención. Por lo tanto, la invención está limitada sólo por las reivindicaciones siguientes.

REIVINDICACIONES

1. Generador de imágenes TCO (300, 700, 920, 950) que comprende:

5 una fuente de luz (302, 702);

un brazo de muestra (320, 720) adaptado para recibir luz de la fuente de luz (302, 702), dirigir la luz una muestra (360, 760), y capturar la luz que retorna de la muestra (360, 760);

10 una fuente de modulación (330, 730, 930, 1000) adaptada para proporcionar simultáneamente diferentes modulaciones de fase constante correspondientes a distintas profundidades de formación de imágenes en la muestra (360, 760);

un sistema de detección (340, 740) para recibir la luz capturada desde la muestra (360, 760) con las diferentes modulaciones proporcionadas por la fuente de modulación (730, 930, 1000);

15 y

un procesador (350, 750) que recibe señales del sistema de detección (340, 740) y ejecuta instrucciones para:

obtener simultáneamente una pluralidad de espectrogramas espaciales desde la fuente de modulación (730, 930, 1000), correspondiendo la pluralidad de espectrogramas espaciales a

20 las distintas profundidades de formación de imágenes en la muestra (360, 760);

combinar la pluralidad obtenida simultáneamente de espectrogramas espaciales dentro de un conjunto de datos combinado (500), teniendo el conjunto de datos combinado (500) una dimensión de frecuencia espacial;

realizar una transformada en el conjunto de datos combinado (500) para determinar el contenido de frecuencia en el conjunto de datos combinado, incluyendo el contenido de frecuencia una pluralidad de distribuciones (503) a lo largo de una dimensión de frecuencia

25 portadora en el conjunto de datos transformado;

filtrar la pluralidad de distribuciones (503) en una pluralidad de espectros (511, 512) basada en una frecuencia portadora de cada uno de la pluralidad de espectros; y

30 realizar operaciones matemáticas (509, 513, 515, 517) en cada uno de la pluralidad de espectros filtrados para formar una pluralidad de imágenes de rango completo (532) correspondientes a las distintas profundidades de formación de imágenes en la muestra.

2. Generador de imágenes TCO (300) según la reivindicación 1 donde la fuente de modulación incluye un brazo de referencia (330) que incluye:

35 una pluralidad de caminos de referencia (336-1, 336-N) que se modulan para tener frecuencias portadoras diferentes correspondientes a las distintas profundidades de formación de imágenes en la muestra; y

40 un primer divisor/acoplador (332) que forma la pluralidad de caminos de referencia.

3. Generador de imágenes TCO (300) según la reivindicación 2 donde cada camino de referencia (336-1 a 336-N) incluye elementos ópticos (333-1 a 333-N) acoplados a un espejo (334-1 a 334-N) y a un modulador (335-1 a 335-N), y donde una longitud de camino de cada camino de referencia se correlaciona con una profundidad de imagen de una de la pluralidad de imágenes.

4. Generador de imágenes TCO (300) según la reivindicación 2 que incluye además un segundo divisor/acoplador (310) acoplado a la fuente de luz (302), al brazo de muestra (320), al brazo de referencia (330) y al sistema de detección (340), donde el segundo divisor/acoplador (310) se adapta para proporcionar luz al brazo de muestra (320) y al brazo de referencia (330), recibir luz del brazo de muestra (320) y del brazo de referencia (330), y proporcionar luz combinada desde el brazo de muestra (320) y el brazo de referencia (330) al sistema de detección (340).

5. Generador de imágenes TCO (700) según la reivindicación 1 donde la fuente de modulación incluye un interferómetro (730, 1000) acoplado entre la fuente de luz (702) y un acoplador de luz (710, 910), adaptado el acoplador de luz (710, 910) para proporcionar luz al brazo de muestra (720) desde el interferómetro (730, 1000) y al sistema de detección (740) desde el brazo de muestra (720), y donde el interferómetro (730, 1000) incluye:

60 una primera superficie reflectora (731,1030) y un primer modulador (735, 1040) configurados para proporcionar una modulación de fase constante a la primera superficie reflectora (731, 1030), y una segunda superficie reflectora (732, 1050) y un segundo modulador (736, 1060) configurados para proporcionar una modulación de fase constante a la segunda superficie reflectora (732, 1050), segunda superficie reflectora (732, 1050) que está separada de la primera superficie reflectora (731, 1030) por una distancia,

65

donde la primera superficie reflectora (731, 1030) y la segunda superficie reflectora (732, 1050) se adaptan para transmitir luz parcialmente y la distancia entre la primera superficie reflectora (731, 1030) y la segunda superficie reflectora (732, 1050) corresponde a distintas profundidades de imagen en la muestra.

5

6. Generador de imágenes TCO (700) según la reivindicación 5 donde el acoplador de luz (710, 910) es un divisor/acoplador.

10

7. Generador de imágenes TCO (700) según la reivindicación 5 donde el acoplador de luz (710, 910) es un circulador (910, 1010).

15

8. Generador de imágenes TCO (700) según la reivindicación 5 donde el interferómetro (1000) incluye un divisor de haces (1020) que está adaptado para dirigir luz a la primera superficie reflectora (1030) y a la segunda superficie reflectora (1050).

20

9. Generador de imágenes TCO (920) según la reivindicación 1 donde la fuente de modulación incluye un interferómetro (930, 1000), y donde el generador de imágenes TCO (920) incluye además un divisor/acoplador (925) adaptado para recibir luz de la fuente de luz (702), proporcionar la luz al brazo de muestra (720) y al interferómetro (930, 1000), combinar luz recibida del brazo de muestra (720) y del interferómetro (930, 1000), y proporcionar luz al sistema de detección (740).

25

10. Generador de imágenes TCO (920) según la reivindicación 9 donde el interferómetro (930, 1000) incluye una primera superficie reflectora (931,1030) y una segunda superficie reflectora (932, 1050), y donde la primera superficie reflectora (931, 1030) y la segunda superficie reflectora (932, 1050) se adaptan para reflejar la luz parcialmente, estando la segunda superficie reflectora (932, 1050) separada de la primera superficie reflectora (931, 1030) por una distancia correspondiente a las distintas profundidades de formación de imágenes en la muestra (760).

30

11. Generador de imágenes TCO (920) según la reivindicación 10 donde el interferómetro (1000) incluye un divisor de haces (1020) acoplado a la primera superficie reflectora (1030) y a la segunda superficie reflectora (1050) y adaptado para dirigir luz a la primera superficie reflectora (1030) y a la segunda superficie reflectora (1050).

35

12. Generador de imágenes TCO (950) según la reivindicación 1 incluyendo además:

40

un divisor/acoplador (957) acoplado para recibir luz de la fuente de luz (702) y proporcionar luz a una primera superficie reflectora (951) y a una segunda superficie reflectora (952), y acoplado para recibir luz de la primera superficie reflectora (951) y de la segunda superficie reflectora (952) y proporcionar luz combinada, donde un acoplador de luz (959) se acopla para recibir la luz combinada del divisor/acoplador (957), acoplar luz al brazo de muestra (720), y dirigir luz recibida del brazo de muestra (720) al sistema de detección (740).

45

13. Generador de imágenes TCO (950) según la reivindicación 12 donde el acoplador de luz (959) es un circulador.

50

14. Generador de imágenes TCO (950) según la reivindicación 12 donde el acoplador de luz (959) es un divisor/acoplador.

55

15. Generador de imágenes TCO (300, 700, 920, 950) según la reivindicación 1 donde el procesador (350, 750) se adapta para proporcionar señales de control a la fuente de modulación (730, 930, 1000) y al brazo de muestra (320, 720).

60

16. Generador de imágenes TCO (300, 700, 920, 950) según la reivindicación 1 donde la fuente de luz (302, 702) incluye una fuente de banda ancha y el sistema de detección incluye un espectrómetro.

65

17. Generador de imágenes TCO (300, 700, 920, 950) según la reivindicación 1 donde la fuente de luz (302, 702) incluye una fuente láser de barrido y el sistema de detección incluye un sistema de detección de fotodiodos.

18. Método de separar simultáneamente imágenes obtenidas en un generador de imágenes TCO que comprende:

obtener simultáneamente una pluralidad de espectrogramas espaciales utilizando el generador de imágenes TCO (300, 700, 920, 950), correspondiendo la pluralidad de espectrogramas espaciales a distintas profundidades de formación de imágenes en una muestra (360, 760), cada uno de los espectrogramas espaciales obtenidos mediante un camino de referencia que tiene una modulación de

fase constante que corresponde a la profundidad de formación de imágenes del camino de referencia; ejecutando con un procesador:

5 combinar la pluralidad de espectrogramas espaciales obtenida simultáneamente en un conjunto de datos combinado (500), teniendo el conjunto de datos combinado (500) una dimensión de frecuencia espacial;
realizar una transformada en el conjunto de datos combinado para determinar el contenido de frecuencia en el conjunto de datos combinado, incluyendo el contenido de frecuencia una pluralidad de distribuciones (503) a lo largo de una dimensión de frecuencia portadora en el conjunto de datos transformado;
10 filtrar la pluralidad de distribuciones (503) en una pluralidad de espectros (511, 512) basada en una frecuencia portadora de cada uno de la pluralidad de espectros; y
realizar operaciones matemáticas (509, 513, 515, 517) en cada uno de la pluralidad de espectros filtrados (511, 512) para formar una pluralidad de imágenes de rango completo (532) correspondientes a las distintas profundidades de imagen en la muestra.
15

19. Método según la reivindicación 18 donde la transformada es una transformada de Fourier (509, 513, 515, 517).

20 **20. Método según la reivindicación 18 donde realizar operaciones matemáticas incluye**

realizar una transformada de Fourier inversa (509, 513) en una dirección transversal sobre los espectros filtrados;
y
realizar una transformada de Fourier inversa (515, 517) a lo largo de una dimensión de frecuencia sobre los espectros filtrados.
25

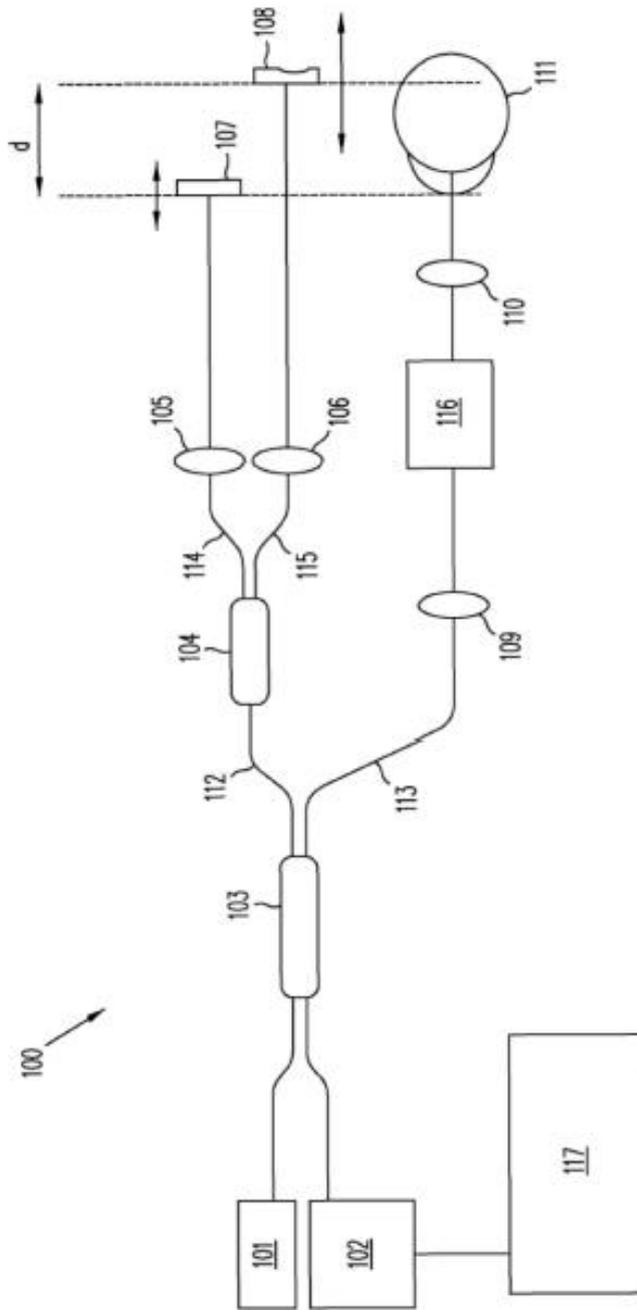


FIG. 1
(Técnica anterior)

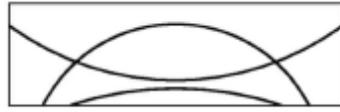


FIG. 2A
(Técnica anterior)



FIG. 2B



FIG. 2C

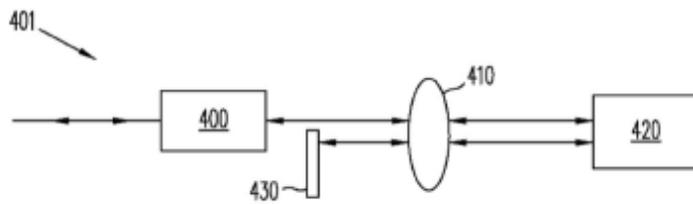


FIG. 4A

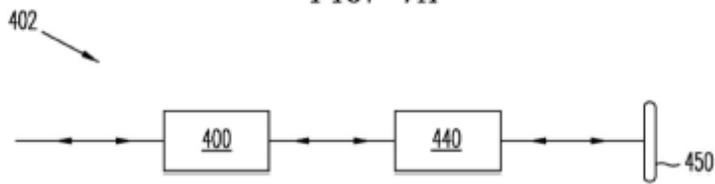


FIG. 4B

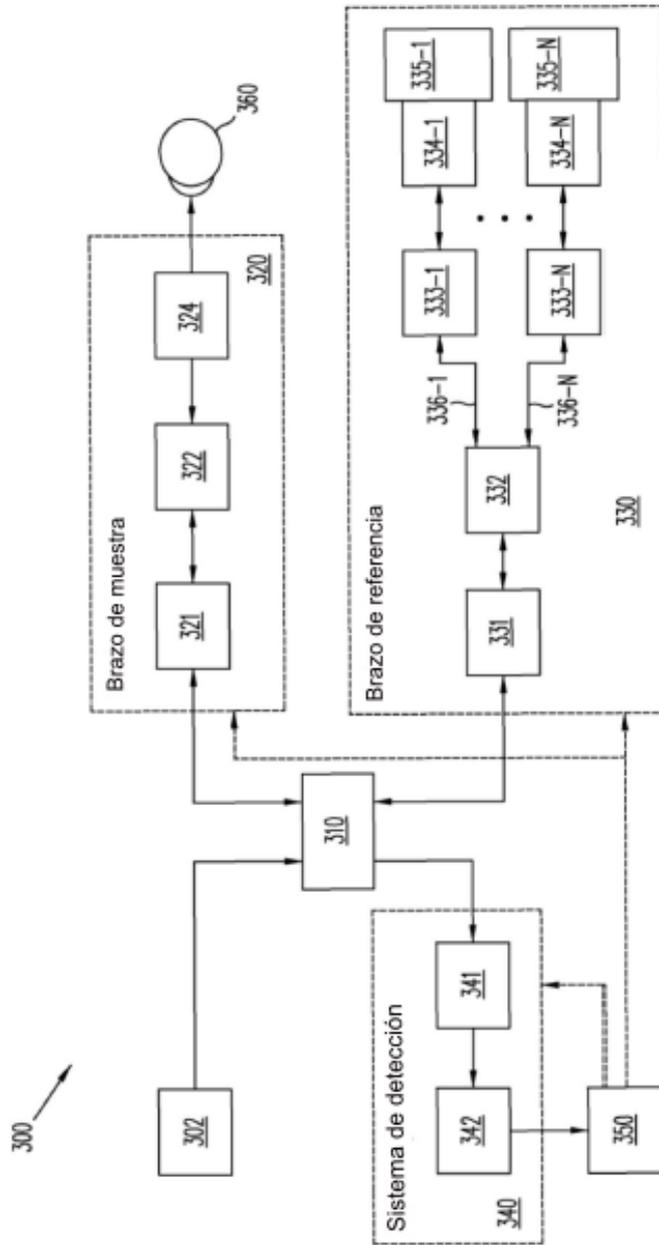


FIG. 3

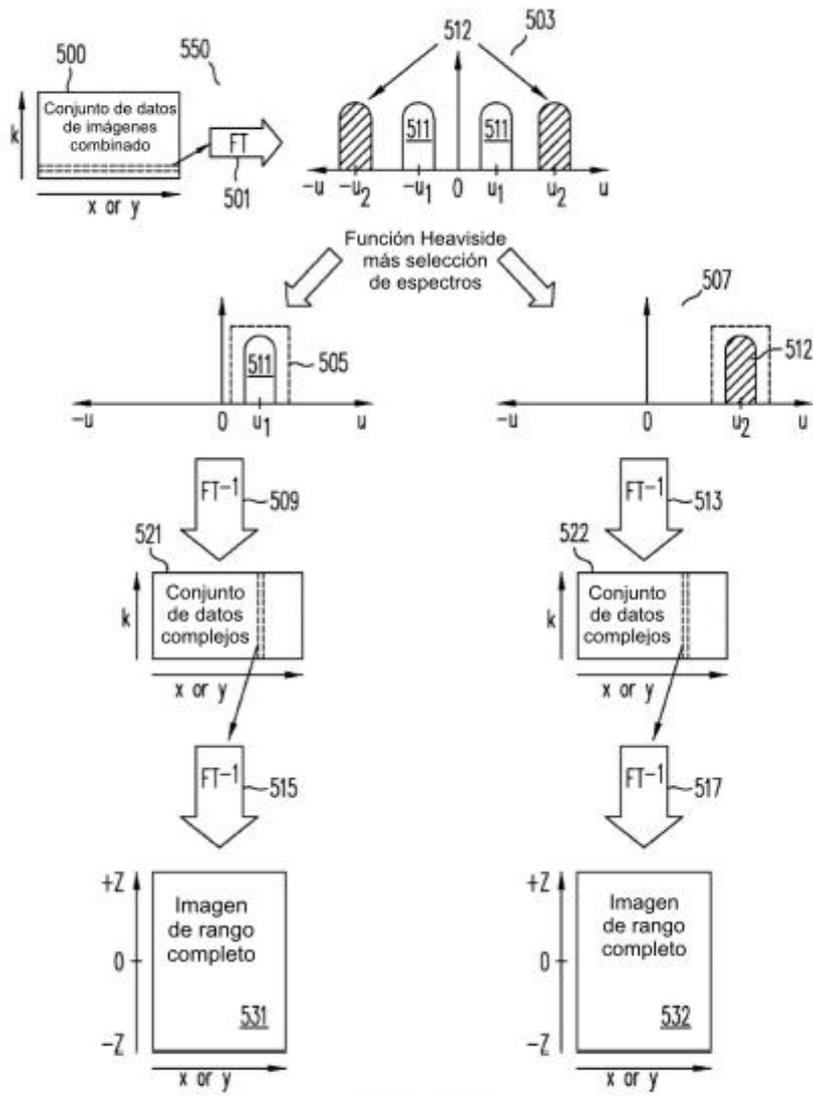


FIG. 5A

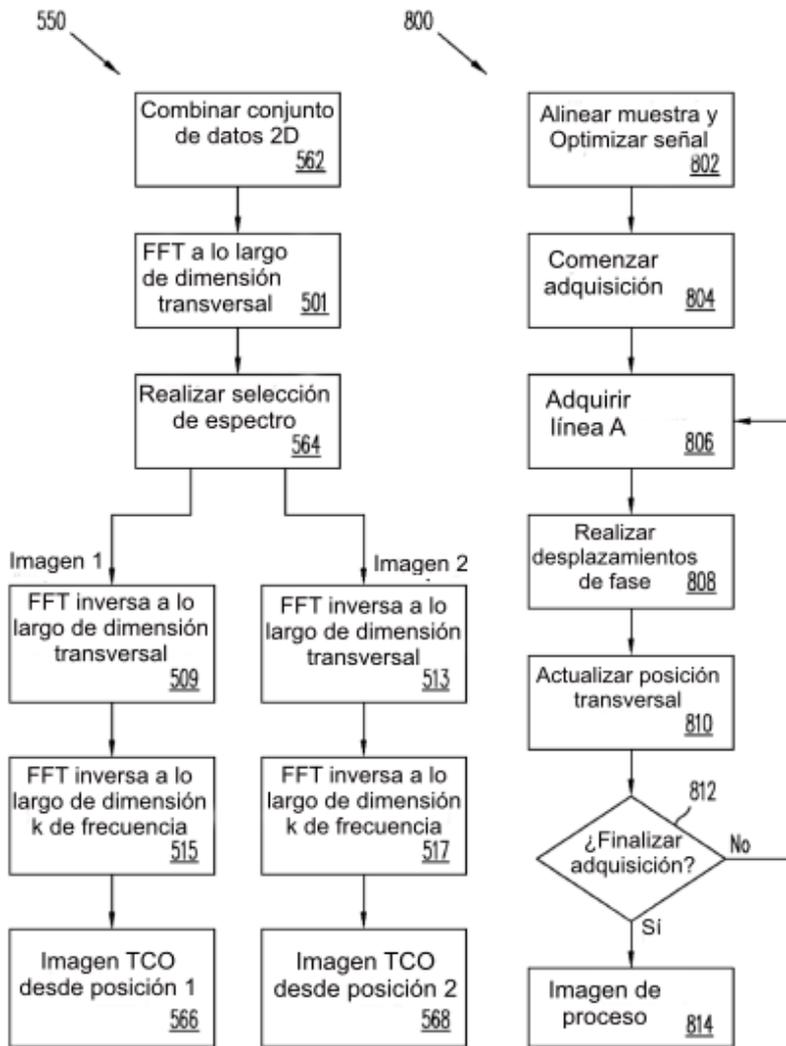


FIG. 5B

FIG. 8

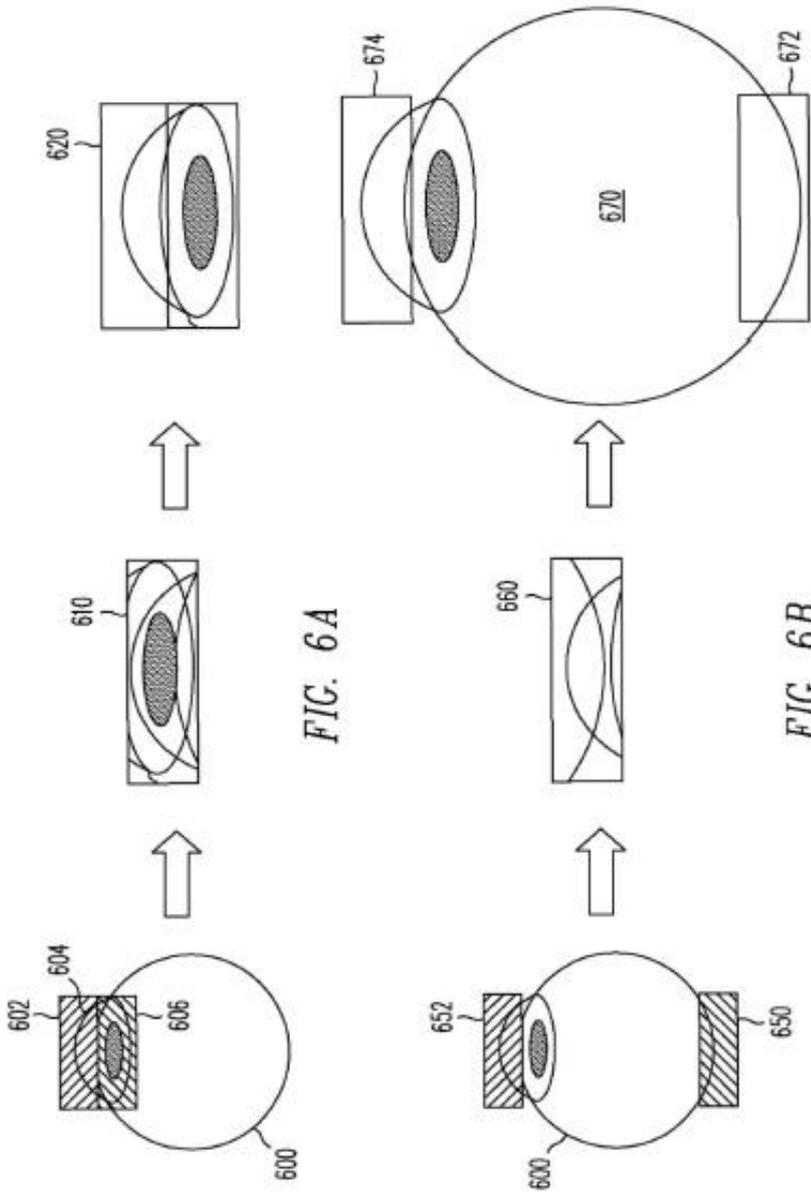


FIG. 6A

FIG. 6B

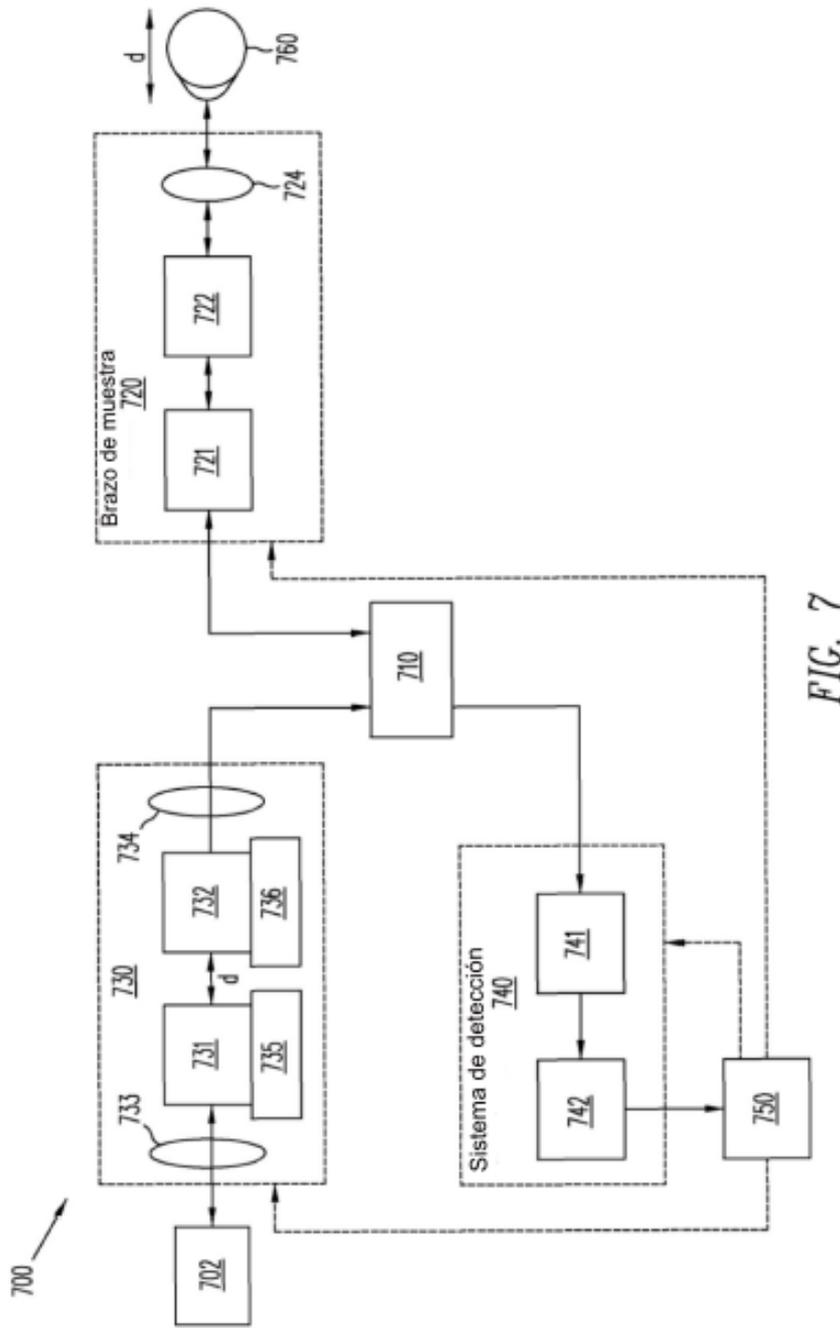


FIG. 7

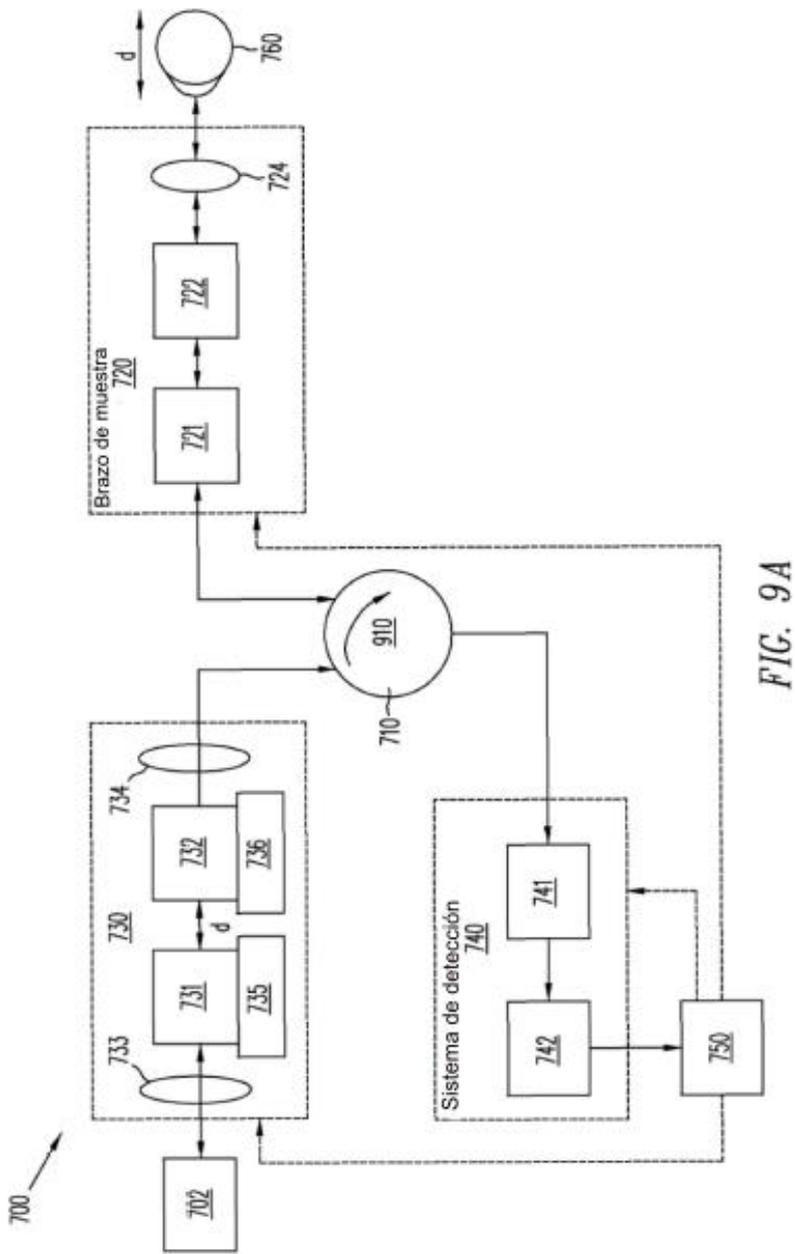


FIG. 9A

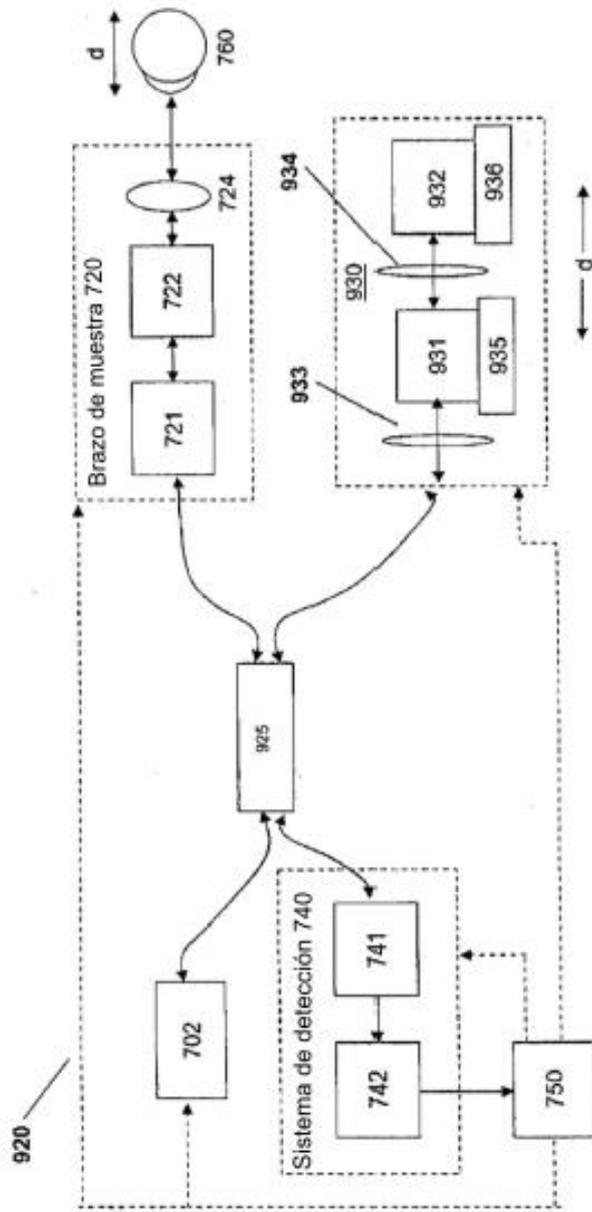


Figura 9B

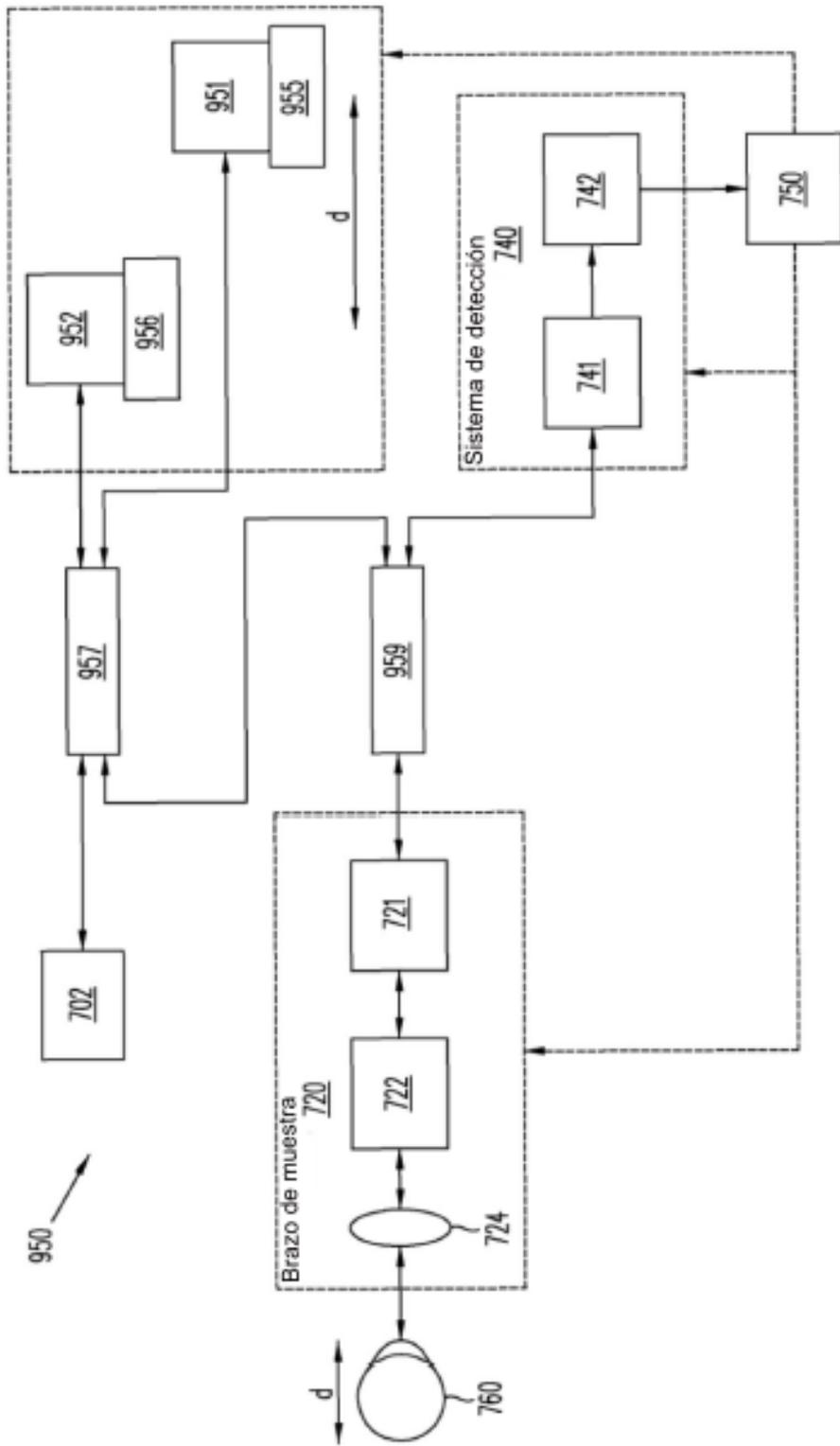


FIG. 9C

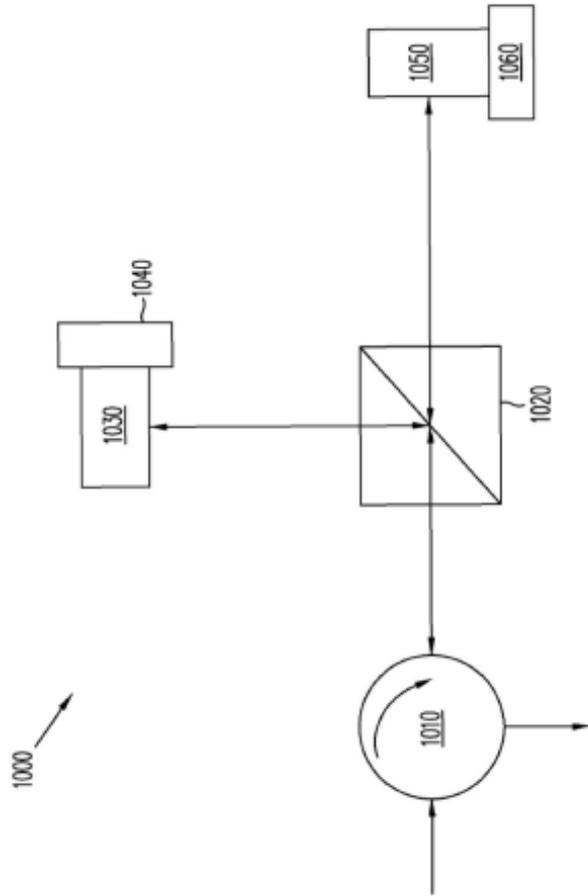


FIG. 10