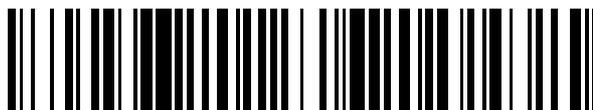


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 530 742**

51 Int. Cl.:

G02B 21/14 (2006.01)

G02B 21/00 (2006.01)

A61B 3/10 (2006.01)

G01J 3/51 (2006.01)

G01J 3/28 (2006.01)

H04N 5/353 (2011.01)

G01J 3/02 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **18.05.2012 E 12168589 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **19.11.2014 EP 2527901**

54 Título: **Dispositivo de imágenes confocales que utiliza iluminación modulada espacialmente con detección de obturador de persiana electrónico**

30 Prioridad:

19.05.2011 US 201161488145 P
14.06.2011 US 201161496666 P
22.11.2011 US 201113302814

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
05.03.2015

73 Titular/es:

AEON IMAGING, LLC (100.0%)
501 S. Madison Street, Suite 103
Bloomington, IN 47403, US

72 Inventor/es:

MULLER, MATTHEW STEFAN

74 Agente/Representante:

LAZCANO GAINZA, Jesús

ES 2 530 742 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

Dispositivo de imágenes confocales que utiliza iluminación modulada espacialmente con detección de obturador de persiana electrónico

Antecedentes de la invención

5 Las imágenes confocales constituyen una técnica de imágenes bien conocida en la cual la luz dispersa a partir de un objetivo es filtrada espacialmente antes de ser detectada. El filtrado espacial puede reducir artefactos de imagen tales como dispersiones y reflexiones no deseadas bien sea del objetivo o de los componentes dentro del dispositivo de imágenes, y puede proveer un contraste de imagen mejorado, así como características aisladas de interés. Los dispositivos de imagen confocal han sido diseñados e implementados para una amplia variedad de aplicaciones en imágenes de microscopía, campo oscuro, fluorescencia, sensibles a polarización, ópticas no lineales, interferométricas y oftálmicas.

Un microscopio confocal conocido es conocido en la US 2006/0017001 A1.

15 En un sistema de imágenes confocales de barrido por láser, la luz de iluminación es enfocada en un punto o línea y barrida a través del objetivo para obtener una imagen del campo de visión completo. La luz dispersada desde el objetivo es reconcentrada típicamente utilizando el mismo elemento de barrido y dirigida a través de una apertura hasta un detector fotosensible. Al sincronizar el barrido con el tiempo de exposición del detector, puede construirse una imagen bidimensional del objetivo. La inserción de una apertura en un plano conjugado al objetivo restringe la cantidad de luz fuera de foco que puede alcanzar el detector. Los sistemas de imágenes confocales con barrido por láser han sido adaptados para imágenes de retina en oftalmoscopios de láser de barrido, y para imágenes interferométricas tridimensionales en dispositivos de tomografía por coherencia óptica.

20 La patente de los Estados Unidos No 7,831,106 propone el uso de un sistema de imagen confocal por barrido con láser sin reconcentración. En este diseño, se crea una apertura confocal mediante un medio de detección de obturador de persiana electrónico sobre un sensor de disposición de píxeles bidimensional. Durante cada marco, el obturador de persiana barre progresivamente en una dimensión a través de una región de sensor activo con una anchura de obturador relacionada con el tiempo de exposición del marco total. En cada posición de obturador, los valores de píxel a lo largo de la longitud del obturador son obtenidos integrando la carga acumulada a través solamente de la anchura del obturador. La luz incidente sobre el sensor por fuera de la anchura del obturador de persiana no es capturada.

30 El obturador de persiana electrónico es una forma fundamentalmente diferente de detección frente a un obturador global, que integra carga a través del área activa completa durante el tiempo de exposición. Los sensores de un dispositivo acoplado de carga (CCD) son un ejemplo de un sensor de obturador global; muchos sensores de semiconductores de óxidos metálicos complementarios (CMOS) utilizan tecnología de obturador de persiana, aunque también están ahora disponibles con obturadores globales. En las aplicaciones de imágenes no confocales, los sensores de obturador de persiana son utilizados comúnmente en lugar de un sensor de obturador global debido al bajo costo de la tecnología CMOS. En estos casos, un obturador de persiana es considerado en general un detrimento al rendimiento en imágenes puesto que el movimiento del objetivo en la misma o en dirección opuesta al obturador de persiana aparecerá distorsionado. Varios grupos de investigación han investigado técnicas de postprocesamiento para reducir el movimiento borroso y otras distorsiones en cámaras no confocales que utilizan sensores de obturador de persiana.

40 El diseño del sistema de imágenes confocales propuesto por la patente de los Estados Unidos No 7,831,106 barre una línea de iluminación a través del objetivo en sincronismo con la detección del obturador de persiana de un sensor colocado en un plano objetivo conjugado. Esta metodología permite que la anchura de la apertura sea ajustada electrónicamente en tiempo real, y permite que un operador ajuste el balance entre las cantidades de luz detectada y la filtración espacial confocal para un objetivo dado. Adicionalmente, la temporización relativa entre la posición del obturador y el ángulo de barrido puede ser ajustada electrónicamente en tiempo real con el fin de ejecutar imágenes en campo oscuro. Cuando la frecuencia o los componentes de polarización de la luz están espacialmente separados, el obturador de persiana también puede ser utilizado para filtrar la frecuencia o polarización de la luz dispersada desde el objetivo.

45 El uso del obturador de persiana electrónico como apertura confocal permite ajustes a la posición de la apertura y a la anchura en incrementos de píxeles. En comparación con aperturas mecánica, el uso del obturador de persiana como apertura confocal es una metodología efectiva en costes que permite ajustes rápidos, cuantificables, exactos y confiables. Sin embargo, la patente de los Estados Unidos No 7,831,106 requiere la formación de una rendija que es barrida a través del campo de visión del objetivo. Con un escáner sencillo, la iluminación simultánea de un objetivo con una segunda rendija desplazada espacialmente o con otros patrones más complejos, requiere rutas de iluminación adicionales para el escáner. Estas rutas de iluminación son difíciles de alinear con alta precisión y cada una permite solamente unas pocas configuraciones de geometría de iluminación adicionales. Un método de imágenes confocales y un dispositivo que

adicionalmente provee ajustes en tiempo real flexibles y precisos controlados electrónicamente a la geometría de iluminación utilizando una ruta de iluminación común y que sea compacta, robusta, confiable y efectiva en costes sería apreciada.

5 En un sistema de imágenes confocales con microscopio de arreglo programable (PAM), el patrón de iluminación incidente sobre el objetivo es ajustable utilizando un modulador de luz espacial, tal como un arreglo de microespejos digital o una pantalla de cristal líquido. En esta configuración, una imagen confocal es construida a partir de múltiples marcos que son adquiridos mientras que el objetivo es iluminado con una serie de patrones de red de puntos alternantes o pseudoaleatorios. La luz que retorna del objetivo es filtrada espacialmente mediante el modulador de luz espacial y el obturador global CCD; solamente los píxeles de sensor conjugados a los píxeles que están "sobre" el arreglo de microespejos se utilizan para construir la imagen final. Se ha reportado que un sistema de imágenes de espejo por contraste de láser con un modulador de luz espacial y un sensor CMOS mide cambios en el flujo sanguíneo. Este sistema utiliza una rata de marco modulador de luz espacial que es muchas veces más lenta que la del sensor. Esto evita que el modulador de luz espacial proyecte rápidamente una secuencia de líneas de iluminación estrechas que podrían superponerse continuamente con el obturador de persiana durante un marco individual. Adicionalmente, tal como se reporta, este sistema no utiliza el obturador de persiana del sensor CMOS como una apertura confocal; el sensor de CMOS podría ser sustituido por un obturador global CCD y alcanzar sustancialmente el mismo rendimiento.

20 Se han implementado sistemas PAM para microscopía fluorescente usando dos detectores de arreglo de píxeles para recolectarlos ambos en la luz en foco y fuera de foco que se dispersa desde un objetivo. En estos sistemas, la orientación "fuera de" y "sobre" de los elementos del arreglo de microespejos se utiliza para dirigir la luz dispersada desde el objetivo a cada uno de los dos detectores. Un PAM basado en fluorescencia también ha sido implementado en el cual la luz dispersada es filtrada espacialmente con un cable de fibra óptica y medida utilizando un espectrómetro para imágenes hiperespectrales y de tiempo de vida de la fluorescencia.

25 La capacidad de los moduladores de luz espacial para cambiar rápidamente el patrón de modulación utilizado para iluminar un objeto los hace bien adecuados para aplicaciones de iluminación con luz estructurada, tales como profilometría de medición en fase y microscopía de proyección periférica, en las cuales una serie de imágenes tomadas con periferias de iluminación periódicas pueden ser utilizadas para llevar a cabo la filtración espacial. En estos sistemas, la imagen confocal se logra con un sensor CCD de obturador global. El uso de un modulador de luz espacial es particularmente atractivo debido a su capacidad para cambiar la frecuencia y forma de la iluminación con luz estructurada en tiempo real. Aunque los moduladores de luz espacial son incapaces de barrer de manera continua un haz de luz a través de una muestra pueden simular el efecto proyectando rápidamente una serie de patrones de modulación.

30 El uso de un arreglo de microespejos digital en un sistema PAM ha atraído interés debido a su bajo coste, flexibilidad en el patrón de iluminación, alta velocidad de espejo y resolución de píxeles siempre creciente. Sin embargo, el uso de una serie de patrones de iluminación para construir una imagen confocal requiere la adquisición de marcos múltiples, tiempo durante el cual el sistema de imágenes es altamente sensible a artefactos en movimiento. La patente de los Estados Unidos No 5,923,466 aborda esta dificultad proponiendo un sistema de paso dual, en el cual la luz que retorna al objetivo es dirigida de regreso a través del modulador de luz espacial antes de ser detectada. Esta metodología es similar a los diseños de barrido con láser discutidos más arriba. Mientras que los diseños de paso dual han demostrado ser efectivos para la imagen confocal, típicamente requieren un elemento de separación de haces entre el componente de barrido y la fuente para dirigir el retorno de la luz desde el objetivo al detector. En un sistema modulador de luz espacial de paso dual confocal, la adición de un elemento de separación de haces y el diseño óptico del camino de detección asociado evita el uso de una fuente de iluminación completamente integrada y de un dispositivo de microespejos, tal como sucede con los proyectores de luz digitales. Por lo tanto, se apreciaría un método y dispositivo para imágenes confocales que permita el uso de moduladores de luz espacial efectivos en costos y robustos que estén integrados con la fuente de iluminación, tal como sucede con los proyectores de luz digitales compactos y de peso liviano actualmente disponibles, que pueden ser sostenidos en la mano.

45 Un método y dispositivo para imágenes confocales que adicionalmente eliminen la necesidad de construir una imagen confocal utilizando marcos de sensor múltiples, como en la microscopía de proyección periférica, también serían apreciados.

50 Las patentes de los Estados Unidos Nos 5,867,251 y 7,755,832 proponen la implementación de un segundo modulador de luz espacial, guiado en tándem con el primero, para actuar como una segunda apertura y para restringir el retorno de luces del objetivo que alcanza el detector. Esta metodología da como resultado un sistema complejo que requiere un alineamiento y control de tiempos preciso de los moduladores de luz espacial; tal sistema, hasta donde los presentes inventores saben, no ha sido reducido a la práctica ni reportado en la literatura. Se apreciaría un método del dispositivo que provee un control de apertura flexible, efectivo en costes y robusto en un sistema PAM.

55 Los sistemas basados en tomografía de coherencia óptica (OCT) ejecutan imágenes analizando la interferencia entre la luz de banda ancha que retorna de un objetivo y la luz reflejada en un brazo de referencia con un retardo de ruta conocido. La implementación más conocida usa un interferómetro Michelson, y determina la intensidad de retrodispersión con respecto a

la profundidad de la muestra en un punto transverso sobre la muestra en un momento dado. Una imagen tridimensional es construida por barrido por rastreo del haz a través de la muestra. Numerosas revisiones amplias del progreso y desarrollo de los sistemas basados en OCT y sus aplicaciones pueden encontrarse en la literatura.

5 Los sistemas OCT pertenecen en sentido amplio a dos clases: OCT de dominio de tiempo y OCT de dominio de frecuencia. La clase de OCT de dominio de frecuencia es separada adicionalmente en OCT de dominio espectral (SD-OCT) y OCT de fuente de barrido (SS-OCT) como arquitecturas de diseño. Las OCT de dominio espectral y de fuente de barrido son denominadas comúnmente también como OCT de dominio de Fourier e imágenes de dominio de frecuencia óptica, respectivamente, por los experimentados en la técnica.

10 En el caso de la OCT de dominio en tiempo, el retardo en el camino de referencia es graduado mecánicamente de forma común a través del rango de profundidad completo de la muestra. En cada posición del brazo de referencia, la intensidad de la interferencia es registrada mediante un fotodetector, produciendo el perfil de profundidad de dispersión para el rango del brazo de referencia de movimiento. Esta velocidad a la cual el retardo en el camino de referencia puede ser barrido mecánicamente limita de manera típica la tasa de adquisición. Aunque el OCT de dominio por tiempo puede proveer rápidamente imágenes *en face* del objetivo en una posición de profundidad individual, la OCT de dominio por tiempo sufre de sensibilidad más pobre en comparación con la clase sistemas de OCT de dominio por frecuencia.

15 En los sistemas SS-OCT, la fuente de iluminación es un láser sintonizable con un ancho de banda instantáneo estrecho. Se construye un barrido axial barriendo la frecuencia del láser a través de su ancho de banda de ganancia a la vez que se mide la intensidad de la señal de interferencia.

20 En los sistemas SD-OCT, el brazo de referencia permanece fijo, y la luz de los brazos de referencia y de muestra son medidas con un espectrómetro, que comprende comúnmente una rejilla fija y un sensor de barrido en línea. Se aplica una transformada de Fourier inversa en el postprocesamiento para reconstruir el perfil de profundidad de dispersión, alcanzando la misma resolución axial obtenida con los sistemas OCT de dominio por tiempo. El sensor de barrido en línea electrónico provee una tasa de barrido más rápida que las tasas de barrido de espejo mecánico alcanzadas en TD-OCT. Además, al esparcir el espectro de imágenes a través de muchos píxeles, se reduce el ruido, permitiendo una mayor sensibilidad con respecto a TD-OCT. Sin embargo, el uso de un sensor individual en SD-OCT hace que estos sistemas sean susceptibles a ruido de intensidad aleatoria que los sistemas de OCT de fuente de barrido y dominio por tiempo que utilizan un par de fotodetectores para la detección balanceada.

25 Cada uno de los sistemas OCT anteriores usan típicamente una fuente de ancho de banda amplia que alcanza una alta resolución de profundidad y un par de escáneres galvanométricos para barrer por rastreo rápidamente un punto sobre el objetivo. Los moduladores de luz espacial, tal como los arreglos de microespejos digitales, han sido utilizados en aplicaciones de OCT basadas en catéter en donde su pequeño tamaño es una ventaja. En estos sistemas, la luz que regresa del objetivo es reconcentrada antes de la detección.

30 La cantidad de luz del brazo de referencia usada en un sistema OCT se ajusta típicamente utilizando un reflector parcial u otro atenuador variable dependiendo del objetivo que está siendo convertido en imágenes. Para maximizar el rango dinámico del sistema, se incrementa la potencia del brazo de referencia hasta que la luz detectada en todos los puntos sobre el objetivo esté justo por debajo de la saturación. Cuando hay diferencias en la intensidad de la luz que regresa a través del campo de visión del objetivo, el suelo de ruido del sistema de imágenes puede ser limitado por el rango dinámico del convertidor análogo a digital del sensor, más que el límite de sensibilidad causado bien sea por el ruido de disparo u oscuro.

35 Se ha reportado que los sistemas SD-OCT paralelos de barrido de línea usan un detector bidimensional e iluminan el objetivo con una línea. En estos sistemas, la luz que regresa del objetivo es reconcentrada y enviada a través de una apertura lineal para rechazar la luz por fuera del volumen focal de iluminación. Durante la detección, un eje de los dos sensores dimensionales representa la frecuencia del interferograma, mientras que el otro es el posicionamiento lateral a lo largo del objetivo. Una ventaja de los sistemas SD-OCT en paralelo es la adquisición simultánea de los barridos de profundidad y laterales durante la exposición de cada marco, permitiendo un incremento en la velocidad de formación de imágenes.

40 Se apreciaría un método y dispositivo para imágenes OCT que permite el uso de una fuente de iluminación integrada con un modulador de luz espacial combinado con medios de obturación de persiana cofocales de la detección. Específicamente, el uso de una fuente integrada y un modulador de luz espacial, tal como un proyector de luz digital compacto y de peso liviano, que puede ser manejado con la mano, sería más compacto y efectivo en costes que los diseños de OCT existentes. Se apreciarían la modificación de patrón de modulación de iluminación para reducir las diferencias en la intensidad del retorno de luz a través del campo de visión del objetivo, y por lo tanto el incremento del rango dinámico de la imagen.

Los sistemas de imágenes ópticas adaptativos (AO) tratan de corregir las aberraciones en la luz detectada para producir una resolución más alta e imágenes de contraste superior. Los AO han sido usados extensamente en imágenes biomédicas, microscopía y para imágenes de estructuras en el fondo ocular en animales y humanos. Los sistemas de imágenes AO miden y corrigen típicamente las aberraciones del frente de onda en la luz que retorna del objetivo. Las aberraciones de frente de onda se miden utilizando un detector de frente de onda en un plano de Fourier conjugado, tal como un sensor Shack-Hartmann, el cual consiste de un dispositivo de lenticillos y un detector de arreglo de píxeles bidimensional con obturador global. La retroalimentación desde el detector del frente de onda Shack-Hartmann se utiliza para guiar uno o más controladores de frente de onda, típicamente espejos deformables o moduladores de luz espacial de cristal líquido. Un sistema AO de oftalmoscopio con láser de barrido que utiliza un conjunto de bajos y altos de espejos deformables para ajustes gruesos y finos de frente de onda a lo largo de un campo de visión amplio ha sido demostrado con seguimiento de retina.

Para minimizar las aberraciones no deseadas, los sistemas AO oftálmicos requieren típicamente una gran cantidad de espacio, con planos de pupila conjugados separados requeridos para el escáner horizontal, escáner vertical, detector de frente de onda y controlador de frente de onda. Hasta donde el presente inventor sabe, todos los sistemas AO de láser de barrido oftálmicos tienen una reconcentración llevada a cabo antes de la detección y modificación del frente de onda. Se apreciaría un dispositivo de imágenes AO más compacto que utiliza moduladores de luz espacial efectivos en costes y robustos que están integrados con la fuente de iluminación, tal como los proyectores de luz digital compactos y de peso liviano actualmente disponibles, que pueden ser manejados con la mano. Se apreciarían un método y dispositivo para imágenes de AO que pudiera iluminar localizaciones del objetivo seleccionadas adecuado para obtener mediciones de detección del frente de onda exactas, aberraciones ópticas correctas y convertir en imágenes aquellas localizaciones objetivo que de otra manera retornarían un contraste de imagen más pobre, un foco de imagen, o menos luz filtrada espacialmente. Se apreciaría un método y dispositivo para imágenes de AO que utilizan las propiedades de filtración espacial de un sensor de obturador de persiana efectivo en costes para detectar cambios en el frente de onda.

Los sistemas de imágenes de apertura sintética óptica toman múltiples mediciones de un objetivo desde variados ángulos de detección e interfieren el frente de onda que retorna con un haz de referencia para ganar amplitud de información de fase de la luz que retorna desde el objetivo. Introduciendo el haz de referencia en un ángulo fuera de eje grande con respecto al ángulo de luz que retorna desde el objetivo, el contenido de frecuencia espacial es desplazado hacia abajo, permitiendo una resolución, profundidad de foco, campo de visión y distancia de trabajo potenciados. Una metodología similar, con detección en el plano de Fourier del objetivo, ha mostrado restricciones relajadas sobre el campo de visión alcanzable mediante un número dado de píxeles en la disposición del detector. Otra metodología reportada registra una serie de hologramas después de filtrar espacialmente la luz que retorna desde el objetivo en el plano de Fourier.

Una aplicación de la imagen por apertura sintética ha sido el uso en microscopía, en donde la técnica permite imágenes de alta resolución con una óptica de apertura numérica inferior. Se apreciarían un dispositivo y método para iluminar un objetivo con un rango específico o conjunto de ángulos bajo control por software en tiempo real. Se apreciarían un dispositivo y método que filtren espacialmente la luz que retorna del objetivo de acuerdo con un ángulo específico, y que permiten un ajuste y control del ángulo de detección flexible, reproducible y exacta, con respecto al ángulo de iluminación. Se apreciarían un dispositivo y método que lleve a cabo imágenes retinales con apertura sintética como una alternativa más efectiva en costes y compacta a las imágenes con óptica adaptativa.

La presente invención prevé mejorar y resolver algunas de estas deficiencias dentro de la técnica relevante.

40 Resumen de la invención

La presente invención se relaciona con un dispositivo de imágenes confocales y un método que utiliza un modulador de luz espacial para iluminar un objetivo con un patrón de iluminación, junto con un sensor de arreglo de píxeles bidimensional con funcionalidad de obturador de persiana para filtrar espacialmente la luz que retorna desde el objetivo. Al menos una señal de temporización controla la relación espacial-temporal entre la apertura confocal creada por el obturador de persiana y el patrón de modulación provisto por el modulador de luz espacial. En realizaciones específicas, el dispositivo de imágenes comprende una fuente de luz, un detector de arreglo de píxeles que tiene una funcionalidad de obturador de persiana, un modulador de luz espacial configurado para producir uno o más patrones de modulación durante una exposición en marco del detector de arreglo de píxeles, y al menos una señal de temporización configurada para controlar una relación espacial-temporal entre un obturador de persiana del detector de arreglo de píxeles y el o los patrones de modulación provistos por el modulador de luz espacial.

De acuerdo con una realización, un proyector de luz digital compacto y de peso liviano, el cual puede ser manejado con la mano se utiliza como fuente integrada y un modulador de luz espacial, que permite que el sistema de imágenes sea más pequeño en tamaño, inferior en costes (en comparación con los dispositivos de imágenes confocales por láser de barrido existentes), así como más fácil de alinear, calibrar y controlar. Otras realizaciones incluyen adaptaciones de diseño

conocidas comúnmente para los experimentados en la técnica para llevar a cabo imágenes basadas en fluorescencia, sensibilidad polarización, campo oscuro, contraste periférico, proyección periférica, apertura sintética, holográfica, por difracción, de Fourier, espectroscópica e interferométrica, en configuraciones de microscopios y oftalmoscopios

5 De acuerdo con realizaciones ilustrativas específicas, se lleva a cabo un método para imágenes digitales iluminando un modificador de luz espacial con una o más fuentes de luz de tal forma que el modificador de luz espacial iluminado produce uno o más patrones de modulación durante una exposición de un marco de un detector de arreglo de píxeles que tiene una funcionalidad de obturador de persiana. El o los patrones adicionales resultantes se detectan sobre un objetivo y la luz del objetivo es dirigida al detector de arreglo de píxeles. Se usa al menos una señal de temporización para controlar una relación espacial-temporal entre un obturador de persiana del detector de arreglo de píxeles y el uno o más patrones de modulación provistos por el modificador de luz espacial.

15 En una realización de la presente invención, la fuente de iluminación y el modificador de luz espacial producen una serie de líneas paralelas al obturador de persiana en sucesión rápida a través del campo de visión del objetivo, y la temporización de patrón de iluminación coincide con la del obturador de persiana en un plano de imagen conjugado. Esta realización utiliza la apertura confocal del obturador de persiana para permitir que la luz sea retrodispersada directamente desde el volumen focal del objetivo para ser detectada por el sensor. La luz que alcanza el sensor pero que es retornada desde fuera del volumen focal objetivo, o reflejada por los componentes dentro del sistema de imágenes, es reducida en intensidad o eliminada de la imagen.

20 De acuerdo con otra realización de la presente invención, la fuente de iluminación y el modificador de luz espacial producen una serie de líneas paralelas al obturador de persiana en sucesión rápida a través del campo de visión del objetivo, y la temporización del patrón de iluminación es coincidente con la del obturador de persiana en un plano de imagen conjugado. En esta realización, el objetivo es convertido en imágenes en modo de transmisión (esto es, la luz pasa a través del objetivo), con el sensor posicionado para recolectar la luz dispersa que avanza desde el objetivo. La luz que alcanza el sensor, pero es regresada desde el exterior del volumen focal objetivo, es reducida en intensidad o eliminada de la imagen.

25 De acuerdo con aún otra realización de la presente invención, la fuente de iluminación y el modificador de luz espacial producen una serie de líneas paralelas al obturador de persiana en sucesión rápida a través del campo de visión del objetivo, y la temporización del patrón de iluminación con respecto al obturador de persiana en un plano de imagen conjugado son fijadas en un valor conocido. En esta realización, la apertura confocal del obturador de persiana detecta luz dispersada de manera múltiple desde el objetivo, llevando a cabo la denominada formación de imágenes por campo oscuro. En una realización, las ratas de marco del sensor y del modificador de luz espacial son fijados en frecuencia para proveer una serie de exposiciones de marco con características de temporización variadas para repetir de acuerdo con una frecuencia de latido. En esta realización, la señal de temporización sincroniza el inicio de la exposición y los marcos de iluminación al menos una vez por periodo de latido. Los marcos son postprocesados para potenciar el contraste de imágenes o para determinar las propiedades de dispersión del objetivo.

35 En todavía otra realización ilustrativa de la presente invención, la fuente de iluminación y el modificador de luz espacial producen una serie de líneas paralelas al obturador de persiana en sucesión rápida a través del campo de visión del objetivo, y la temporización del patrón de iluminación coincide con la del obturador de persiana en un plano de imagen conjugada. La geometría del patrón de iluminación dentro de la anchura del obturador de persiana varía de un marco al siguiente. Se adquiere una serie de marcos y se procesan para modificar la función de transferencia de filtración espacial del dispositivo de imagen confocal.

40 De acuerdo con aún otra realización, la fuente de iluminación y el modificador de luz espacial producen una serie de líneas paralelas al obturador de persiana en sucesión rápida a través del campo de visión, y la temporización del patrón de iluminación es coincidente con la del obturador de persiana en un plano de imagen conjugado. La anchura de las líneas de iluminación varía de un marco al siguiente. Se adquiere una serie de marcos y se procesan para determinar las propiedades de dispersión del objetivo.

45 De acuerdo con otra realización, la fuente de iluminación y el modificador de luz espacial producen una serie de líneas paralelas al obturador de persiana en rápida sucesión a través del campo de visión del objetivo. La anchura del obturador de persiana confocal varía de un marco al siguiente. Se adquiere una serie de marcos y se procesan para determinar las propiedades de la luz que retorna desde el objetivo o para modificar la función de transferencia de la filtración espacial del dispositivo de imagen confocal. En una realización relacionada, la anchura del obturador de persiana confocal varía junto con uno o más de: una fijación de temporización entre el obturador de persiana y el patrón de iluminación, o un cambio en la forma del patrón de iluminación. Se adquiere una serie de marcos y se procesa para determinar las propiedades de la luz que retorna desde el objetivo o para modificar la función de transferencia de filtración espacial del dispositivo de imágenes confocal.

En otra realización ilustrativa, la fuente de iluminación y el modulador de luz espacial producen una serie de líneas paralelas al obturador de persiana en sucesión rápida a través del campo de visión de un objetivo. Los marcos de imagen adquiridos son postprocesados para proveer ajustes en tiempo real a la forma de patrón de iluminación para compensar las aberraciones del lente en el sistema de imágenes. Puede aplicarse un medio de control si cualquiera entre las anchuras de la línea de iluminación variables, curvatura de la línea de iluminación, y velocidades variables de la progresión a través del campo de visión alcanzan mejor sincronización de temporización y calidad de imagen confocal.

En todavía otra realización ilustrativa, la fuente de iluminación y el modulador de luz espacial están integrados en un proyector de luz digital, el cual es impulsado utilizado una tarjeta de vídeo de un ordenador personal, portátil, tableta, ordenador de tablero sencillo, dispositivo móvil u otro generador de pantalla. En esta realización, la tarjeta de vídeo o el generador de pantalla proveen la señal de temporización para coordinar el patrón de iluminación con la posición del obturador de persiana. La señal de temporización desde la tarjeta de vídeo o el generador es procesada de tal manera que pueda guiar el disparador externo del sensor y crear una relación de temporización sustancialmente controlada entre un vídeo y un marco de exposición del sensor. Realizaciones relacionadas para establecer sincronización de temporización y estabilidad de imagen marco a marco incluyen el uso de: La señal de salida estroboscópica desde un modulador de luz espacial, la señal de salida estroboscópica desde el sensor, una señal disparadora utilizada para guiar el modulador de luz espacial, o una señal de reloj maestro derivada de una fuente de temporización separada.

De acuerdo con otra realización, el modulador de luz espacial opera a una rata de marco más rápida que el sensor. Esta realización permite cambios al patrón de iluminación durante cada marco de exposición del sensor, tal como la longitud de onda de iluminación, intensidad de la iluminación, forma del patrón, y temporización del patrón. Tales modificaciones intramarca pueden ser prefijadas por el operador y en respuesta a imágenes adquiridas previamente por el sensor. Tales modificaciones intramarca pueden ser llevadas a cabo para reducir la cantidad de exposición de la luz a regiones específicas del objetivo para evitar el daño o fotoblanqueado, o para ajustar la variación en la cantidad de luz retornada a través del campo de visión del objetivo.

De acuerdo con otra realización, se provee el patrón de iluminación mediante un proyector de luz digital que es operado en modo de salida de iluminación estructurada. Un ejemplo de un modo tal convierte un rango amplio de valores de color o de escala de grises a una velocidad más baja a un número más limitado de valores a una salida más rápida, tal como un canal de RGB de 8 bit a 60 Hz hasta una salida monocromática de 1 bit a 1400 Hz, lo cual puede permitir una línea instantánea más estrecha sobre el objetivo para una rata de marco de sensor dada, dependiendo de la resolución del arreglo de microespejos, tamaño de campo, y magnificación del sistema de imágenes. Otros modos de salida de iluminación de luz estructurada incluyen el uso de patrones de iluminación prefijados, o patrones de iluminación cargados en la memoria del proyector de luz digital, con el fin de incrementar la rata de marco de iluminación.

En aún otra realización, el modulador de luz espacial opera a una rata de marco más rápida que el sensor. En esta realización, la fuente de iluminación y el modulador de luz espacial están integrados en un proyector de luz digital capaz de operar en un modo de iluminación estructurado. Durante cada marco de entrada de vídeo, el proyector de luz digital está configurado para proyectar una serie de líneas paralelas al obturador de persiana en sucesión rápida. El rango de líneas de iluminación producido por cada marco de vídeo disminuye para cubrir solamente un subconjunto del campo de visión. En esta realización, el rango de iluminación puede ser más pequeño que el campo de visión hasta en la relación del vídeo hasta la rata del marco sensor. Un rango de iluminación más estrecho puede permitir una línea instantánea más estrecha sobre el objetivo, dependiendo de la resolución del arreglo de microespejos, tamaño de campo, magnificación y rata de marco del sistema de imágenes y del modulador de luz espacial. En esta realización, la señal de temporización coincide con la posición del obturador de persiana con el patrón de modulación conjugado, y puede ser derivado de uno o más vídeo marcos durante cada marco de sensor. En una realización relacionada, el rango de subconjunto de iluminación provisto por cada marco de vídeo utilizado para guiar el proyector de luz digital es duplicado y proyectado simultáneamente a través del campo de visión. Dado que el rango de iluminación es suficientemente más grande que la anchura del obturador de persiana confocal, el retorno de luz desde los rangos de iluminación indeseados será filtrado espacialmente y contribuirá mínimamente a la imagen adquirida.

De acuerdo con una realización, la fuente de iluminación y modulador de luz espacial producen una serie de líneas paralelas al obturador de persiana en sucesión rápida a través del campo de visión del objetivo. La luz retornada desde el objetivo es separada espacialmente de acuerdo con su polarización utilizando un material anisotrópico colocado en el camino de detección, el cual se define como el camino óptico entre el objetivo y el sensor. En esta realización, la separación espacial de la polarización de la luz retornada desde el objetivo es producida sustancialmente de forma perpendicular en el obturador de persiana de tal manera que la filtración espacial provista por el obturador de persiana actúa como un filtro de polarización. Variando la característica de temporización entre el patrón de iluminación y el obturador de persiana, el sensor puede detectar selectivamente luz desde las polarizaciones horizontal y vertical. En una realización relacionada, se inserta un divisor de haces polarizador en el camino de detección, el cual se define como el camino óptico entre el objetivo y el sensor. Se inserta un segundo detector de arreglo de píxeles que tiene funcionalidad de obturador de persiana de tal

manera que la luz polarizada horizontal y vertical que regresa desde el objetivo puede ser detectada independientemente de manera simultánea. En esta realización, no es necesario un material anisotrópico. En otra realización relacionada, se insertan un polarizador y una placa de onda en el camino de iluminación, el cual se define como el camino óptico entre la fuente de iluminación y el objetivo, para llevar a cabo la generación de imágenes sensibles a la polarización. En esta realización, se adquiere una serie de marcos que miden la polarización horizontal y vertical en estados de polarización de iluminación variados. Los marcos son postprocesados para determinar birrefringencia, diatenuación y propiedades de dispersión del objetivo.

De acuerdo con aún otra realización ilustrativa, la fuente de iluminación y el modulador de luz espacial producen una serie de líneas paralelas al obturador de persiana en sucesión rápida a través del campo de visión del objetivo. La luz retornada desde el objetivo es separada espacialmente de acuerdo con su frecuencia utilizando una rejilla dispersora o un prisma colocado en el camino de detección, definido como el camino óptico entre el objetivo y el sensor. En esta realización, la separación espacial de la frecuencia de luz dispersada se produce de manera sustancialmente perpendicular al obturador de persiana de tal manera que la filtración espacial provista por el obturador de persiana actúa como un filtro de paso de banda. Variando la característica de temporización entre el patrón de iluminación y el obturador de persiana, la frecuencia central del filtro de paso de banda puede ser ajustada. Variando la anchura del obturador de persiana, la magnificación óptica, o la cantidad de dispersión agregada al camino de detección, la anchura del filtro de frecuencia puede ser ajustada. Variando la forma de patrón de iluminación, la función de transferencia de filtro puede ser ajustada tanto en frecuencia central como en ancho de banda. En esta realización, puede adquirirse una serie de marcos con características de temporización o formas de patrón de iluminación variadas para llevar a cabo la espectroscopia o la formación de imágenes con longitudes de onda múltiples. En una realización relacionada, el elemento de dispersión está configurado para detectar la luz que retorna desde el objetivo que no está a la misma frecuencia que la luz utilizada para la iluminación. En esta realización, puede agregarse un filtro óptico al camino de detección para evitar que la luz en la frecuencia de iluminación sea detectada. En otra realización relacionada, se usan múltiples fuentes para proveer iluminación a diversas longitudes de onda para proveer una caracterización espectroscópica del objetivo. En aún otra realización relacionada, una porción de la luz que retorna del objetivo es dirigida a un elemento de dispersión y a un detector de arreglo de píxeles. La luz remanente que retorna desde el objetivo es dirigida a un segundo detector de arreglo de píxeles para llevar a cabo simultáneamente la generación de imágenes confocales del objetivo. En todavía otra realización ilustrativa, el sistema está configurado para tomografía de coherencia óptica con dominio espectral (SD-OCT). En esta realización, se utiliza un interferómetro de Michelson para dirigir una porción de la luz que viaja desde el modulador de luz espacial hacia el objetivo a través de un camino de referencia de longitud óptica conocida. La luz dirigida a través del camino de referencia es combinada con la luz que retorna del objetivo y es separada espacialmente de acuerdo con su frecuencia utilizando una rejilla dispersora o un prisma colocado en el camino de detección. En esta realización, la luz es dispersada sustancialmente a lo largo de la longitud del obturador de persiana. La fuente de iluminación y el modulador de luz espacial producen una serie de puntos en sucesión rápida a través del campo de visión del objetivo. La temporización del patrón de iluminación es coincidente con la del obturador de persiana en un plano de imagen conjugado. Esta realización utiliza la apertura confocal del obturador de persiana para medir el espectro interferométrico de la luz que es retrodispersada directamente desde el volumen focal del objetivo. Cada marco sensor recolecta lo que se denomina comúnmente como un barrido OCTB. En cada marco, el patrón de iluminación puede ser ajustado para llevar a cabo un barrido B en otra localización del objetivo y por lo tanto construir una imagen SD-OCT tridimensional. En una realización relacionada, se registran múltiples barridos OCTB simultáneamente iluminando múltiples regiones del objetivo en paralelo al obturador de persiana en el mismo momento. En esta realización, los puntos de iluminación son separados suficientemente en el campo de visión cuyos efectos de entrecruzamiento son suficientemente pequeños para permitir la generación de imágenes OCT. En una realización relacionada, los interferogramas espectrales superpuestos de múltiples barridos OCT B simultáneos son sometidos a desconvolución en postprocesamiento. En otra realización relacionada, el objetivo es iluminado utilizando múltiples fuentes de iluminación con diferentes espectros de potencia. Las fuentes pueden iluminar la misma región del objetivo a sustancialmente el mismo tiempo con el fin de modificar el espectro detectado del interferograma y, por extensión, la función de esparcimiento de punto OCT y resolución de profundidad. Las fuentes pueden iluminar diferentes regiones del objetivo a sustancialmente el mismo tiempo con el fin de llevar a cabo múltiples barridos B simultáneamente.

De acuerdo con otra realización de ilustración, el diseño óptico SD-OCT es suplementado mediante la adición de un material anisotrópico al camino de detección para separar espacialmente la luz de acuerdo con su polarización en una dirección perpendicular al obturador de persiana. Variando la característica de temporización entre el patrón de iluminación y el obturador de persiana, el espectro interferométrico de la luz es medido selectivamente en polarizaciones horizontal o vertical. Cuando se agrega una nueva placa al brazo de referencia, un componente de polarización puede ser retardado en un cuarto de onda con respecto al otro, permitiendo la detección de la cuadratura de la señal interferométrica. La detección de la cuadratura puede ser utilizada para resolver una señal OCT compleja y producir barridos axiales de rango de profundidad completo. En una realización relacionada, se insertan un polarizador y una placa de onda en el camino de iluminación para llevar a cabo SD-OCT sensible a la polarización.

En una realización de ilustración, la colocación del objetivo, sensor y modulador de luz espacial se configura mediante imágenes en plano de Fourier. En esta realización, el sensor es conjugado al modulador de luz espacial y la fuente de iluminación, la cual produce una serie de líneas paralelas al obturador de persiana en sucesión rápida. El objetivo es colocado en un plano de Fourier con respecto al sensor y la modulador de luz espacial. El objetivo puede ser trasladado o rotado a través del volumen focal de iluminación. La filtración espacial provista por el obturador de persiana sirve para seleccionar el ángulo de luz dispersada desde el objetivo. En esta realización, el uso de una fuente de iluminación espacialmente coherente con filtración espacial suficiente puede proveer sustancialmente la detección de ondas de plano dispersadas desde el objetivo. Variando las características de temporización entre el patrón de iluminación y el obturador de persiana, puede medirse el ángulo de dispersión detectado para un ángulo dado de iluminación, proveyendo una caracterización de dispersión o de difracción del objetivo. En una realización relacionada, una imagen del objetivo es reconstruida a partir del patrón de difracción detectado por el sensor. En una realización relacionada, la fuente de iluminación y el modulador de luz espacial producen múltiples líneas paralelas al obturador de persiana en sucesión rápida. Cada línea ilumina el objetivo desde un ángulo diferente, el cual puede ser diferente del ángulo de retorno de la luz que es detectado utilizando el obturador de persiana. En otra realización relacionada, la fuente de iluminación y el modulador de luz espacial producen líneas múltiples, cada una a una diferente longitud de onda del centro de iluminación, en paralelo al obturador de persiana en sucesión rápida. Se utiliza un sensor CMOS a color con funcionalidad de obturador de persiana para detectar un ángulo de luz que retorna desde el objetivo para cada uno de los ángulos de iluminación. En esta realización, los espectros de iluminación se superponen sustancialmente con las funciones de respuesta del filtro para los píxeles del sensor CMOS a color. La detección de un ángulo especificado de luz que retorna desde el objetivo en respuesta a uno o más ángulos de iluminación especificados permite que el usuario lleve a cabo la generación de imágenes por contraste de interferencia diferencial, holografía digital, en generación de imágenes con apertura sintética e imágenes en contraste de fases.

En todavía otra realización, el diseño óptico con plano de Fourier es suplementado mediante la adición de un interferómetro de Michelson o de Mach-Zehnder para combinar luz desde un camino de referencia con luz filtrada angularmente retornada desde el objetivo. Puede agregarse un prisma de cola de milano al camino de referencia para invertir el ángulo de la luz con respecto al ángulo de iluminación. Variando la característica de temporización entre el patrón de iluminación y el obturador de persiana, pueden medirse diferentes frecuencias espaciales de la interferencia entre la luz retrodispersada y la de referencia. La luz es recolectada a una variedad de geometrías de dispersión angular e iluminación para llevar a cabo la interferometría, holografía digital, generación de imágenes con apertura sintética e imágenes con contraste de fases. En una realización relacionada, el diseño óptico con plano de Fourier es adaptado para generación de imágenes oftálmicas con apertura sintética. Esta realización puede ser utilizada para general imágenes a una resolución más alta de la que es obtenible normalmente con la apertura numérica limitada por la anatomía del ojo vivo.

De acuerdo con aún otra realización de ilustración, el diseño óptico del plano de Fourier es suplementado agregando un camino de referencia y un elemento de dispersión para llevar a cabo SD-OCT. En esta realización, la selectividad angular de luz dispersada provista por el obturador de persiana permite la adquisición de una serie de barridos angulares B, los cuales puede ser utilizados para reconstruir una imagen tridimensional de alto contraste utilizando técnicas comunes en generación de imágenes de tomografía computarizada. La selectividad angular de la luz que retorna del objetivo provista por el obturador de persiana provee adicionalmente la caracterización de las propiedades de dispersión del objetivo. Monitorizando los cambios de dispersión con el tiempo, esta realización puede ser utilizada para medir la velocidad de porciones en movimiento del objetivo.

De acuerdo con todavía otra realización ilustrativa, la colocación del objetivo, sensor y modulador de luz espacial está configurado para imágenes en plano de Fourier. En esta realización, el objetivo esta conjugado al modulador de luz espacial y el modulador de luz espacial produce una serie de líneas paralelas al obturador de persiana en sucesión rápida. El sensor es colocado cerca del plano de Fourier, de tal manera que el obturador de persiana detecta una serie de líneas colimadas sincronizadas a la salida del modulador de luz espacial. En esta configuración, el obturador de persiana es fijado para detectar predominantemente la transformada de Fourier de luz dispersada desde el volumen focal de iluminación. En una realización relacionada, el diseño óptico es suplementado agregando un interferómetro de Michelson o de Mach-Zehnder para combinar la luz desde un camino de referencia con la luz retrodispersada desde el objetivo. En esta realización, la luz del brazo de referencia es incidente sobre el sensor en un ángulo con respecto a la luz retrodispersada desde el objetivo para llevar a cabo la holografía digital.

De acuerdo con una realización ilustrativa, el diseño óptico es suplementado agregando uno o más lentes para el propósito de generar imágenes de una retina humana o animal. En esta realización de imágenes oftálmicas, el modulador de luz espacial produce una serie de líneas paralelas al obturador de persiana en sucesión rápida a través del campo de visión de la retina. El sensor es colocado en un plano conjugado a la retina. En esta realización, el plano de Fourier también se denomina un plano de pupila y se hace conjugado a la pupila del sujeto de quien se están generando imágenes. Se coloca una apertura fijada en un plano de pupila conjugado entre el modulador de luz espacial y el objetivo para limitar la iluminación a una porción específica de la pupila. La luz dispersada desde la retina también es filtrada espacialmente con

una apertura colocada en un plano de pupila conjugado entre el ojo y el sensor. La filtración espacial en el plano de pupila conjugado sirve para separar la luz de iluminación de la luz de generación de imagen y por lo tanto reduce las reflexiones y dispersión no deseadas del segmento anterior del ojo. Para los experimentados en la técnica, este método de separación de la pupila de iluminación de la pupila de generación de imágenes es conocido como el principio de Gullstrand. En esta realización, la geometría de la iluminación de las pupilas de formación de imágenes puede tomar cualquier forma fijada por las aperturas. Las geometrías de apertura usadas comúnmente en la técnica para separar la iluminación de la pupila de generación de imágenes incluyen: geometrías circulares, geometrías anulares o en forma de anillo, y geometrías de pupila con separación de lado a lado. En realizaciones relacionadas, la forma y las características de temporización del obturador de persiana y del patrón de iluminación provistas por el modulador de luz espacial pueden ser alteradas para llevar a cabo generación de imágenes en campo oscuro en el ojo. También pueden adquirirse múltiples marcos y postprocesarse para potenciar el contraste de la imagen o determinar propiedades de dispersión del objetivo, como se discutió previamente. Otras realizaciones incluyen el uso de un elemento dispersivo para llevar a cabo generación de imágenes por espectroscopia o fluorescencia, o un elemento anisotrópico para llevar a cabo polarimetría, en el ojo. Aún otras realizaciones incluyen el uso de un interferómetro de Michelson con un camino de referencia y una rejilla dispersora para llevar a cabo la generación de imágenes SD-OCT de la retina. En esta realización, la luz de generación de imágenes puede ser enviada a dos sensores con obturadores de persiana para SD-OCT y generación de imágenes confocales estándar simultáneos. El registro de las imágenes confocales estándar puede ser utilizado para compensar el movimiento del ojo durante la adquisición de un conjunto de imágenes SD-OCT tridimensionales.

De acuerdo con otra realización ilustrativa, se utilizan fuentes múltiples para iluminar el modulador de luz espacial y el objetivo en diversas longitudes de onda para potenciar el contraste o visibilidad de la imagen, dependiendo de las características de emisión de luz del objetivo. En esta realización, el modulador de luz espacial y las fuentes de iluminación pueden estar integradas en un proyector de luz digital con canales de rojo, verde y azul separados. En una realización relacionada, una o más fuentes de iluminación incorporadas dentro del proyector de luz digital pueden ser trocado con una fuente de luz externa con características de potencia, polarización, coherencia, modo de operación longitudinal o trasverso o de frecuencia más deseables para el objetivo del cual se están generando imágenes. En esta realización, los parámetros de operación de las fuentes de iluminación, tales como la corriente de guía, frecuencia, fase, anchura de pulso, y ciclo debido pueden ser precisadas por el operador, o ajustadas en respuesta a los datos de imágenes adquiridos. En una realización relacionada adaptada para generación de imágenes oftálmicas, se utiliza una o más fuentes de iluminación para generación de imágenes, mientras que al menos se utiliza otra para dirigir la mirada del sujeto, o para estimular una porción de la retina para la prueba de la función visual. El registro de las imágenes confocales estándar puede ser utilizado para compensar el movimiento del ojo durante la prueba de función visual.

De acuerdo con una realización ilustrativa, se utiliza un segundo modulador de luz espacial en conjunción con el primero para controlar la amplitud y fase de la luz que alcanza el objetivo. En esta realización, el primer modulador de luz espacial es un arreglo de microespejos digital y el segundo es un arreglo de elementos de cristal líquido. El arreglo de cristal líquido es colocado en un plano de Fourier con respecto al arreglo de microespejos. La luz de la fuente de iluminación es polarizada de acuerdo con el eje de la birrefringencia inducida en el arreglo de cristal líquido. La fuente de iluminación es dirigida sobre el arreglo de microespejos, lo cual crea un patrón de modulación de la iluminación que es dirigido a través del arreglo de cristal líquido antes de alcanzar el objetivo. Los elementos de cristal líquido comparten la misma relación de temporización que el arreglo de microespejos y el obturador de persiana. Ajustando la birrefringencia inducida aplicada a los píxeles de cristal líquido, la luz de iluminación experimenta un retardo de fase, alterando el frente de onda del haz de iluminación. En esta realización, pueden utilizarse imágenes como retroalimentación para ajustar el retardo de fase, o un usuario puede especificar un retardo de fase deseado. Ajustando el frente de onda del haz de iluminación en conjunción con el patrón de iluminación provisto por el arreglo de microespejos, el tamaño del punto o la anchura de línea en el objetivo pueden ser optimizados a través del campo de visión de acuerdo con la forma del objetivo, distancia desde el dispositivo, foco, o aberraciones causadas por componentes ópticos dentro del dispositivo. En una realización relacionada, se agrega un modulador de luz espacial a un plano de Fourier en el camino de detección, el cual se define como el camino de luz tomado desde el objetivo hasta el detector. El modulador de luz espacial puede ser utilizado para ajustar el frente de onda desde la luz retrodispersada del objetivo para optimizar el tamaño de punto o anchura de línea a través del campo de visión en el sensor. El modulador de luz espacial también puede ser utilizado para inducir pasos de fase para la luz retrodispersada desde el objetivo para llevar a cabo tomografía de difracción.

En una realización de la presente invención, la fuente de iluminación y el modulador de luz espacial producen una serie de líneas paralelas al obturador de persiana en sucesión rápida a través del campo de visión del objetivo. La temporización del patrón de iluminación es coincidente con la del obturador de persiana en un plano de imagen conjugado. En esta realización, un controlador de frente de onda tal como un espejo deformable, es colocado en un plano de Fourier con respecto al modulador de luz espacial, objetivo y sensor, y está localizado en el camino de detección, el cual está definido por el camino óptico entre el objetivo y el sensor. Ajustando el controlador de frente de onda, el frente de onda de la luz para generación de imágenes es modificado para corregir aberraciones causadas por el sistema de imágenes o para ajustar el foco y por lo tanto mejorar las características de contraste y calidad de imagen. En una realización relacionada, se agrega

5 un divisor de haces al camino de detección para dirigir una porción de luz que retorna del objetivo a un detector de frente de onda, tal como un sensor de frente de onda Shack-Hartman. El detector de frente de onda mide una porción de la luz que retorna del objetivo para proveer retroalimentación al controlador de frente de onda. En una realización relacionada, los datos de la imagen se procesan y utilizan como retroalimentación para modificar el frente de onda usando el controlador de frente de onda. En una realización relacionada, un usuario especifica un frente de onda deseado en un software que es aplicado al controlador del frente de onda, con datos de imagen o un detector de frente de onda que provee retroalimentación al controlador de frente de onda.

10 De acuerdo con una realización de la presente invención, se provee un dispositivo de generación de imágenes digital que comprende un proyector de luz digital que opera en un modo de iluminación de luz estructurada que es capaz de convertir una pluralidad de valores de brillantez en color o en escala de grises que tiene una primera rata de marco hasta un número limitado de valores de brillantez que tiene una segunda rata de marco que excede la primera rata de marco, un detector de arreglo de píxeles que tiene una funcionalidad de obturador de persiana y al menos una señal de temporización configurada para controlar una relación espacial-temporal entre un obturador de persiana del detector de arreglo de píxeles y uno o más patrones de iluminación provistos por el proyector de luz digital.

15 El proyector de luz digital actúa como una fuente de luz integrada y un modulador de luz espacial.

20 El modo de iluminación de luz estructurada permite la proyección de patrones sobre el objetivo a muchas veces la velocidad de una pantalla de vídeo normal. Por ejemplo, a la vez que las pantallas de vídeo de proyectores normales tienen 3 canales de color con 8 bits de brillantez funcionando cada una a 60 Hz, un proyector que opera en modo de iluminación de luz estructurada es capaz de transformar los 3 canales y 8 bits en un canal, 1 bit de salida que opera 24 veces más rápido. En una realización preferida, el modo de iluminación estructurado permite que el proyector sea capaz de proyectar patrones de iluminación a una rata que excede 1 kHz.

Breve descripción de los dibujos

25 Los aspectos del método anterior de la presente invención y la forma de obtenerlos será más evidente y la invención en si misma será entendida mejor con referencia a la siguiente descripción de las realizaciones de la invención tomada en conjunción con los dibujos acompañantes, en donde:

La Figura 1 es un diagrama específico de un dispositivo de imágenes confocales con barrido de líneas simulado de acuerdo con enseñanzas de la presente invención;

La Figura 2 es un diagrama esquemático de un oftalmoscopio confocal con barrido de líneas simulado de acuerdo con las enseñanzas de la presente invención;

30 La Figura 3 es un diagrama esquemático de un dispositivo de imágenes espectral confocal con barrido de líneas simulado de acuerdo con las enseñanzas de la presente invención;

La Figura 4 es un diagrama esquemático de un dispositivo de imágenes sensible a la polarización confocal con barrido de líneas simulado de acuerdo con las enseñanzas de la presente invención;

35 La Figura 5 es un diagrama esquemático de un dispositivo de imágenes de tomografía con coherencia óptica de dominio espectral con barrido de puntos simulado de acuerdo con las enseñanzas de la presente invención;

La Figura 6 es un diagrama esquemático de un dispositivo de imágenes confocales con óptica adaptativa con barrido de líneas simulado de acuerdo con las enseñanzas de la presente invención;

40 La Figura 7 es un diagrama específico de un dispositivo de imágenes confocales que utiliza modulación del luz espacial para ajustar la fase y la amplitud de la iluminación y la luz generadora de imágenes de acuerdo con las enseñanzas de la presente invención;

La Figura 8 es un diagrama esquemático de un dispositivo de imágenes con plano de Fourier confocal con filtración espacial dependiente del ángulo de acuerdo con las enseñanzas de la presente invención;

La Figura 9 representa un obturador de persiana intramarco y posición de iluminación para generación de imágenes confocales de acuerdo con enseñanzas de la presente invención;

45 La Figura 10 representa un obturador de persiana intramarco y posición de iluminación para imágenes en campo oscuro de acuerdo con enseñanzas de la presente invención;

La Figura 11 represente un obturador de persiana intramarco y posición de iluminación para la filtración espacial de componentes de polarización no espectrales de la luz generadora de imágenes de acuerdo con enseñanzas de la presente invención;

5 La Figura 12 representa un obturador de persiana intramarco y posición de iluminación para generación de imágenes de tomografía con coherencia óptica con dominio espectral de acuerdo con enseñanzas de la presente invención; y

La Figura 13 representa un obturador de persiana intramarco y posición de iluminación de banda múltiple para generación de imágenes confocales de acuerdo con enseñanzas de la presente invención.

Descripción detallada

10 Las realizaciones de la presente invención descritas más abajo no pretenden ser exhaustivas o limitar la invención a las formas precisas divulgadas en la siguiente descripción detallada. En vez de ello, las realizaciones son escogidas y descritas de tal manera que otras personas experimentadas en la técnica puedan apreciar y entender los principios y prácticas de la presente invención.

15 La Figura 1 muestra una realización de la presente invención para llevar a cabo la generación de imágenes confocales de un objetivo. De acuerdo con esta realización, un modulador de luz espacial y una fuente de iluminación 10 producen una serie de líneas paralelas a un obturador de persiana en un sensor 80 de arreglo de píxeles bidimensional (2D). Las líneas son proyectadas en sucesión rápida a través del campo de visión del objetivo 40 para estimular el barrido de líneas. En esta realización ilustrativa, el modulador de luz espacial integrado y la fuente de iluminación 10 es un proyector de luz digital compacto y de peso liviano (DLP), el cual puede ser manejado con la mano. Se usa un lente 12 para colimar la salida de DLP y fijar el plano focal del objetivo 40 para que sea conjugado con el arreglo de microespejos usado en el DLP. Un divisor de haces 50 dirige una porción de la luz retrodispersada desde el objetivo 40 hacia el sensor 80. Un sistema de relé óptico, que incluye lentes 52 y 78, ajusta la magnificación entre el objetivo 40 y el sensor 80 de tal manera que el campo de iluminación de visión coincide aproximadamente con la región de píxeles activos de interés sobre el sensor 80. El sistema de relé óptico también sirve para fijar el plano focal del sensor 80 para que sea conjugado con el objetivo 40, y el arreglo de microespejos de la fuente de iluminación 10 DLP. Un punto de apertura 60 es colocado opcionalmente en el plano de Fourier del sensor 80 para reducir que dispersión, reflexiones o luz no deseadas desde el agente circundante alcancen el sensor 80. De acuerdo con ciertos aspectos de esta realización, una señal de salida de vídeo que guía la fuente de iluminación 10 DLP es filtrada y usada para activar externamente el sensor 80 para establecer una relación espacial-temporal sustancialmente fija entre una banda de iluminación y el obturador 90 de persiana. Los ajustes de cualquiera de los retardos de activación del sensor, fila o columna de inicio, anchura del obturador, o de la posición y anchura de la banda DLP permitirán un alineamiento preciso espacial-temporal basado en software entre la banda de iluminación y la posición del obturador de persiana. Debe entenderse y apreciarse por los experimentados en la técnica que estos atributos pueden ser ajustados mediante una variedad de métodos de control en tiempo real para ejecutar a cabo la calibración, o una variedad de otras realizaciones, tal como se describe aquí. Como tales, las presentes enseñanzas no pretenden ser limitantes aquí.

35 La Figura 2 representa una realización ilustrativa para llevar a cabo la generación de imágenes confocales de un ojo vivo 42 de acuerdo con las enseñanzas de la presente invención. Aquí, el modulador de luz espacial y la fuente 10 de iluminación integrados producen una serie de líneas paralelas al obturador de persiana sobre un sensor 80 de arreglo de píxeles bidimensional. La iluminación es dirigida a través del lente 38 y la pupila 39 del ojo 42 y enfocada a una serie de líneas proyectadas en sucesión rápida a través del campo de visión del objetivo 40 de la retina para simular un barrido de líneas. De acuerdo con ciertos aspectos de esta realización, el modulador de luz espacial y la fuente 10 de iluminación integrados es un proyector de luz digital compacto y de peso liviano (DLP), el cual puede ser manejado con la mano. Un sistema de relé óptico, que incluye lentes 12, 14, 22, ajusta la magnificación del plano de Fourier (también denominado como "el plano de pupila" de acuerdo con esta realización ilustrativa). Una detención 20 de apertura es colocada en el plano de la pupila para fijar una geometría de pupila de entrada. La geometría de pupila de salida es fijada mediante un punto 60 de apertura en un plano de pupila conjugado. Las detenciones 20 y 60 de apertura se utilizan juntas para separar espacialmente la luz que entra a la pupila 39 de la luz que sale de la pupila 39 con el propósito de reducir dispersión y reflexiones no deseadas de los lentes y el segmento anterior del ojo. La distancia entre los lentes 22 y 32 es ajustada para fijar el plano focal de la retina 40 para que esté conjugada con el arreglo de microespejos de la fuente 10 de iluminación DLP. De acuerdo con ciertos aspectos de esta realización, la distancia entre los lentes 22 y 32 es ajustada a la vez que se mantiene una distancia constante entre los lentes 22 y 52 de tal manera que el sensor 80 está en un plano conjugado al arreglo de microespejos de la fuente 10 de iluminación DLP independientemente de la longitud óptica del ojo. Un divisor de haces 50 dirige una porción de la luz de retorno desde el objetivo de retina 40 a través del sensor 80. Un sistema de relé óptico, que incluye lentes 52 y 78, ajusta la magnificación entre el objetivo de retina 40 y sensor 80 de tal manera que el campo de iluminación de visión coincida aproximadamente con la región de píxeles activos de interés sobre el sensor 80. El sistema de relé óptico también sirve para fijar el plano focal del sensor 80 para que esté conjugado con el arreglo de microespejos de la fuente 10 de

iluminación DLP. De acuerdo con ciertos aspectos de esta realización ilustrativa, una señal de salida de vídeo que guía la fuente 10 de iluminación DLP es filtrada y utilizada para activar externamente el sensor 80 para establecer una relación espacial-temporal sustancialmente fijada entre la banda de iluminación y el obturador 90 de persiana. Los ajustes a cualquiera de retardo de activación del sensor, fila o columna de inicio, anchura de obturador, o la posición y anchura de la banda DLP permiten un alineamiento espacial-temporal basado en software preciso entre la banda de iluminación y la posición del obturador de persiana. Debería ser entendido y apreciado por las personas de experiencia en la técnica que estos atributos pueden ser ajustados mediante una variedad de métodos de control en tiempo real para llevar a cabo calibración, o una variedad de otras realizaciones, tal como se describe aquí.

La Figura 3 representa una realización ilustrativa de acuerdo con ciertos aspectos de la presente invención en los cuales se lleva a cabo la generación de imágenes confocal, filtrada espectralmente de un objetivo. De acuerdo con esta realización, el modulador de luz espacial y la fuente 10 de iluminación integrados producen una serie de líneas paralelas al obturador de persiana en un sensor 80 de arreglo de píxeles bidimensional. Las líneas son proyectadas en sucesión rápida a través del campo de visión del objetivo 40 para simular un barrido de líneas. De acuerdo con ciertos aspectos de esta realización, el modulador de luz espacial y la fuente 10 de iluminación integrados son un proyector de luz digital de peso liviano y compacto (DLP) el cual puede ser manejado con la mano. Un lente 12 se utiliza para colimar la salida de DLP y fijar el plano focal de objetivo para estar conjugado con el arreglo de microespejos utilizado en el DLP. Un divisor de haces 50 dirige una porción de la luz de retorno del objetivo 40 hacia el sensor 80. Un sistema de relé óptico, que incluye lentes 52 y 78 ajusta la magnificación entre el objetivo 40 y el sensor 80 de tal manera que el campo de iluminación de visión coincide aproximadamente con la región de píxeles activa de interés sobre el sensor 80. El sistema de relé óptico también sirve para fijar el plano focal del sensor 80 para que esté conjugado con el objetivo 40, y el arreglo de microespejos de la fuente 10 de iluminación DLP. Un elemento de dispersión, tal como una rejilla 62, es colocado en el plano Fourier del sensor 80 para dispersar el contenido espectral de la luz que retorna del objetivo 40. El elemento de dispersión 62 está alineado de tal manera que la dispersión ocurre sustancialmente perpendicular al obturador de persiana. De acuerdo con esta realización ilustrativa, una señal de salida de vídeo que guía a la fuente 10 de iluminación DLP es filtrada y utilizada para activar externamente el sensor 80 para establecer una relación espacial-temporal sustancialmente fijada entre una banda de iluminación y un obturador 90 de persiana. Ajustes a cualquiera de retardo de activación de sensor, fila o columna de inicio, anchura de obturador o posición y anchura de la banda DLP permiten un alineamiento espacial y un temporal preciso basado en software entre la banda de iluminación y la posición del obturador de persiana. Debe entenderse y ser apreciado por aquellos de experiencia en la técnica que estos atributos pueden ser ajustados mediante una variedad de métodos de control en tiempo real para llevar a cabo calibración, o una variedad de otras realizaciones, tal como se describe aquí.

La Figura 4 está dirigida a otra realización ilustrativa para llevar a cabo la generación de imágenes confocales, sensibles a polarización, de un objetivo de acuerdo con ciertos aspectos de la presente invención. De acuerdo con esta realización ilustrativa, el modulador de luz espacial y la fuente 10 de iluminación integrados producen una serie de líneas paralelas al obturador de persiana en un sensor 80 de arreglo de píxeles bidimensional. Las líneas son proyectadas en sucesión rápida a través del campo de visión del objetivo 40 para simular barrido de líneas. De acuerdo con ciertos aspectos de esta realización, el modulador de luz espacial y la fuente 10 de iluminación integrados es un proyector de luz digital compacto y de peso liviano (DLP), el cual puede ser manejado con la mano. Se utiliza un lente 12 para colimar la salida de DLP y fijar el plano focal del objetivo 40 para que esté conjugado con el arreglo de microespejos usado en el DLP. Un polarizador 16 filtra la iluminación de tal manera que es polarizada linealmente, y se fija un material birrefringente, tal como una placa 34 de cuarto de onda para rotar la polarización de la luz de iluminación y la luz que retorna del objetivo 40 en un cuarto de onda. Un divisor de haces 50 dirige una porción de la luz que retorna del objetivo 40 hacia el sensor 80. Un sistema de relé óptico, que incluye lentes 52 y 78, ajusta la magnificación entre el objetivo 40 y el sensor 80 de tal manera que el campo de iluminación de visión coincide aproximadamente con la región de píxeles activos de interés sobre el sensor 80. El sistema de relé óptico también sirve para fijar el plano focal de sensor 80 para que esté conjugado con el objetivo 40, y el arreglo de microespejos del sistema 10 de iluminación DLP. Una detención de apertura 60 es colocada opcionalmente en el plano Fourier del sensor 80 para reducir dispersión, reflexiones o luz del ambiente circundante que alcanzan el sensor 80. Un elemento 76 de desplazamiento del haz birrefringente separa la luz que retorna del objetivo de acuerdo con su polarización. En esta realización, el haz es desplazado en una dirección perpendicular al obturador de persiana de tal manera que los componentes de polarización de la luz que retorna del objetivo pueden ser convertidos en imágenes independientemente ajustando las características de temporización entre el obturador de persiana y el patrón de iluminación. El polarizador 16 puede ser sometido a rotación desde un marco al siguiente para ajustar la polarización de iluminación. De acuerdo con ciertos aspectos de esta realización ilustrativa, una señal de salida de vídeo que guía la fuente 10 de iluminación DLP es filtrada y utilizada para activar externamente el sensor 80 con el fin de establecer una relación espacial y un temporal sustancialmente fijada entre la banda de iluminación y el obturador 90 de persiana. Ajustes a cualquiera de retardo de activación del sensor, fila o columna de inicio, anchura del obturador o la posición y anchura de la banda DLP permiten un alineamiento espacial-temporal preciso basado en software entre la banda de iluminación y la posición del obturador de persiana. Debe entenderse y ser apreciado por aquellos experimentados en la técnica que estos atributos pueden ser

ajustados mediante una variedad de métodos de control en tiempo real para llevar a cabo calibración, o una variedad de otras realizaciones, tal como se describe aquí.

Yendo ahora a la Figura 5, se muestra una realización ilustrativa para llevar a cabo en generación de imágenes de tomografía con coherencia óptica con dominio espectral confocal (SD-OCT) de un objetivo de acuerdo con ciertos aspectos de la presente invención. El modulador de luz espacial y la fuente 10 de iluminación integrados producen una serie de puntos en rápida sucesión a través del campo de visión del objetivo 40 para simular barrido de puntos. El eje rápido del barrido de puntos simulado es alineado sustancialmente perpendicular al obturador de persiana y un sensor 80 de arreglo de píxeles bidimensional. De acuerdo con esta realización ilustrativa, el modulador de luz espacial y la fuente 10 de iluminación integrados es un proyector de luz digital compacto y de peso ligero (DLP) el cual puede ser manejado con la mano. Se usa un lente 12 para colimar la salida de DLP y fijar el plano focal del objetivo 40 para que esté conjugado con el arreglo de microespejos usado en el DLP. Se usa un divisor de haces 50 para crear un interferómetro de Michelson, mediante el cual una porción de la luz de iluminación es dirigida al objetivo 40 y a un camino de referencia con el retardo de camino óptico conocido. Un atenuador óptico, tal como un filtro de densidad neutra, 46 ajusta la intensidad del brazo de referencia, y un espejo 48 envía la luz de regreso al divisor de haces 50, el cual combina una porción de luz que retorna del objetivo 40 con una porción de la luz reflejada del espejo 48 del brazo de referencia y la dirige hacia el sensor 80. Un sistema de retardo óptico, que incluye lentes 52 y 78, ajusta la magnificación entre el objetivo 40 y el sensor 80 de tal manera que el campo de iluminación de visión coincida aproximadamente con la región de píxeles activa de interés en el sensor 80. El sistema de relé óptico también sirve para fijar el plano focal al sensor 80 para que esté conjugado con el objetivo 40, y el arreglo de microespejos de la fuente 10 de iluminación DLP. Un elemento de dispersión, tal como una rejilla 62 es colocado en el plano Fourier del sensor 80 para dispersar el contenido espectral de la luz combinada que retorna del objetivo 40 y del brazo de referencia. El elemento 62 de dispersión es alineado de tal manera que ocurre dispersión sustancialmente paralela al obturador de persiana, permitiendo que el interferograma espectral sea medido en cada punto de iluminación. De acuerdo con ciertos aspectos de esta realización ilustrativa, una señal de salida de vídeo que guía la fuente 10 de iluminación DLP es filtrada y utilizada para activar externamente el sensor 80 para establecer una relación espacial-temporal sustancialmente fijada entre la banda de iluminación y el obturador 90 de persiana. Ajustes al cualquiera de retardo de activación del sensor, inicio de fila o columna, anchura de obturador, o la posición y anchura de la banda DLP permiten un alineamiento espacial-temporal preciso basado en software entre la banda de iluminación y la posición del obturador de persiana. Debe entenderse y ser apreciado por las personas de experiencia en la técnica que estos atributos pueden ser ajustados mediante una variedad de métodos en tiempo real para llevar a cabo calibración, o una variedad de otras realizaciones, tal como se describe aquí.

La Figura 6 está dirigida a otra realización ilustrativa para llevar a cabo la generación de imágenes de óptica adaptativa confocal de un objetivo de acuerdo con las enseñanzas de la presente invención. En esta realización, el modulador de luz espacial y la fuente 10 de iluminación integrados producen una serie de líneas paralelas al obturador de persiana sobre un sensor 80 de arreglo de píxeles bidimensional. Las líneas son proyectadas en sucesión rápida a través del campo de visión del objetivo 40 para simular barrido de líneas. De acuerdo con esta realización ilustrativa, el modulador espacial de luz y la fuente 10 de iluminación integrados es un proyector de luz digital de peso ligero y compacto (DLP), el cual puede ser manejado con la mano. Se usa un lente 12 para colimar la salida de DLP y fijar el plano focal del objetivo 40 para que esté conjugado con el arreglo de microespejos usado en el DLP. Un divisor de haces 50 dirige una porción de la luz que retorna del objetivo 40 hacia el sensor 80. Un sistema de relé óptico, que incluye lentes 52 y 78, ajusta la magnificación entre el objetivo 40 y el sensor 80 de tal manera que el campo de iluminación de visión coincida aproximadamente con la región de píxeles activa de interés del sensor 80. El sistema de relé óptico también sirve para fijar el plano focal del sensor 80 de manera que esté conjugado con el objetivo 40, y el arreglo de microespejos de la fuente 10 de iluminación DLP. Un controlador 64 donde el frente de onda de espejo deformable es colocado en el plano Fourier del sensor 80 para ajustar el frente de onda de la luz que retorna del objetivo 40. De acuerdo con esta implementación ilustrativa de la invención, una o más porciones de la imagen adquirida son procesadas y usadas para proveer retroalimentación al controlador 64 del frente de onda. Además, una señal de salida de vídeo que guía la fuente 10 de iluminación DLP es filtrada y usada para activar externamente el sensor 80 para establecer una relación espacial-temporal sustancialmente fijada entre la banda de iluminación y el obturador 90 de persiana. Ajustes a cualquiera de retardo de activación del sensor, fila o columna, anchura del obturador o posición y anchura de la banda DLP permiten un alineamiento espacial-temporal preciso basado en software entre la banda de iluminación y la posición del obturador de persiana. Debe entenderse y ser apreciado por aquellos de experiencia en la técnica que estos atributos pueden ser ajustados mediante una variedad de métodos de control en tiempo real para llevar a cabo calibración, o una variedad de otras realizaciones, tal como se describe aquí.

La Figura 7 muestra una realización ilustrativa en la cual se lleva a cabo la generación de imágenes confocales de un objetivo utilizando moduladores de luz espacial para controlar la fase de la iluminación y la luz de generación de imágenes de acuerdo con las enseñanzas de la presente invención. El modulador de luz espacial y la fuente 10 de iluminación integrados producen una serie de líneas paralelas al obturador de persiana sobre un sensor 80 de arreglo de píxeles bidimensional. Las líneas son proyectadas en sucesión rápida a través del campo de visión del objetivo 40 para simular un barrido de líneas. De acuerdo con esta realización ilustrativa, el modulador de luz espacial integrado y la fuente 10 de

iluminación es un proyector de luz digital compacto y de peso ligero (DLP), el cual puede ser manejado con la mano. Segundo y tercer moduladores de luz espacial 21 y 66 son arreglos de elementos de cristal líquido colocados en planos de Fourier conjugados al arreglo de microespejos DLP. Un sistema de relé óptico, que incluye lentes 12 y 14, ajusta la magnificación del plano de Fourier, y se usa un polarizador 16 para filtrar la luz de iluminación al eje de polarización que es retardado por el arreglo 21 de cristal líquido. Los elementos del arreglo 21 de cristal líquido son guiados de acuerdo con el patrón de modulación espacio-temporal producido por la fuente 10 de iluminación DLP. Se utiliza un lente 22 para colimar la luz de iluminación y fijar el plano 40 focal del objetivo para ser conjugado al arreglo de microespejos usado en la fuente 10 de iluminación DLP. Se utiliza un material birrefringente 34 para rotar la polarización de la iluminación y la luz que retorna del objetivo de tal manera que es polarizado linealmente en 90°C desde el plano de polarización en el arreglo 21 de cristal líquido. Un divisor de haces 51 polarizador dirige la luz que retorna del objetivo 40 hacia el sensor 80. Un sistema de relé óptico, que incluye lentes 52 y 78, ajusta la magnificación entre el objetivo 40 y el sensor 80 de tal manera que el campo de iluminación de visión coincide aproximadamente con la región de píxeles activa de interés en el sensor 80. El sistema de relé óptico también sirve para fijar el plano focal del sensor 80 para que esté conjugado con el objetivo 40, y el arreglo de microespejos de la fuente 10 de iluminación DLP. De acuerdo con ciertos aspectos de la presente invención, el segundo arreglo 66 de cristal líquido ajusta la fase de la luz que retorna desde el objetivo de tal manera que los elementos del arreglo de cristal líquido son guiados de acuerdo con la posición espacio-temporal del obturador de persiana 80. De acuerdo con esta implementación ilustrativa específica de la presente invención, la imagen adquirida es utilizada para proveer retroalimentación a los arreglos 21 y 66 de cristal líquido. Un usuario puede, de acuerdo con ciertos aspectos de la presente realización de la invención, fijar también explícitamente la iluminación y los mapas de fase de imágenes para los arreglos 21 y 66 de cristal líquido a través del software. De acuerdo con ciertos aspectos de esta realización ilustrativa una señal de salida de vídeo que guía la fuente 10 de iluminación DLP es filtrada y utilizada para activar externamente el sensor 80 para establecer una relación espacial-temporal sustancialmente fijada entre la banda de iluminación y el obturador 90 de persiana. Ajustes a cualquiera de retardo de activación del sensor, fila o columna de inicio, anchura del obturador o la posición y anchura de la banda DLP permiten un alineamiento espacial-temporal preciso basado en software entre la banda de iluminación y la posición del obturador de persiana. Debe entenderse y ser apreciado por aquellos de experiencia en la técnica que estos atributos pueden ser ajustados mediante una variedad de métodos de control en tiempo real para llevar a cabo calibración o una variedad de otras realizaciones, tal como se describe aquí.

De acuerdo con otro aspecto de la presente invención, la Figura 8 representa una realización ilustrativa en la cual se lleva a cabo la generación de imágenes confocales dependientes de ángulos de un objetivo.

Aquí, el modulador de luz espacial y la fuente 10 de iluminación integrados producen una serie de líneas paralelas al obturador de persiana en un sensor 80 de arreglo de píxeles bidimensional. Las líneas son proyectadas en sucesión rápida para simular el barrido de líneas. De acuerdo con ciertos aspectos de esta realización, el modulador de luz espacial y la fuente 10 de iluminación integrados son un proyector de luz digital compacto y de peso ligero (DLP), el cual puede ser manejado con la mano. Se usa un lente 12 para colimar la salida de DLP y un lente 32 se utiliza para fijar el plano focal del objetivo 40 para que esté en un plano Fourier del arreglo de microespejos utilizado en el DLP. Se utiliza un divisor de haces 50 para dirigir una porción de la luz que retorna del objetivo 40 hacia el sensor 80. Un sistema de relé óptico, que incluye el lente 52 y 78, ajusta la magnificación entre el patrón de iluminación producido por la fuente 10 de iluminación DLP y la región de píxeles activos de interés en el sensor 80. El sistema de relé óptico también sirve para fijar el plano 80 focal del sensor de forma que esté en un plano Fourier con respecto al objetivo 40, y en un plano conjugado al arreglo de microespejos de la fuente 10 de iluminación DLP. Se coloca opcionalmente una detección 60 de apertura en el plano de Fourier del sensor 80 para reducir dispersión, reflexiones o luz del ambiente circundante indeseadas que alcancen el sensor 80.

De acuerdo con una realización ilustrativa, una filtración espacial provista por el obturador de persiana detecta un rango angular de luz que retorna desde el objetivo 40. Específicamente, el objetivo 40 puede ser trasladado en una etapa a regiones múltiples de imágenes de interés y la señal de salida de vídeo que guía la fuente de iluminación 10 DLP es filtrada y usada para activar externamente el sensor 80 con el fin de establecer una relación espacial-temporal sustancialmente fijada entre la banda de iluminación y el obturador 90 de persiana. Los ajustes a cualquiera de retardo de activación del sensor, inicio de la posición del obturador de persiana, anchura de obturador, y banda de anchura de DLP permiten un alineamiento espacial-temporal preciso basado en software entre la banda de iluminación y la posición del obturador de persiana. Debe entenderse y ser apreciado por los experimentados en la técnica que estos atributos pueden ser ajustados mediante una variedad de métodos de control en tiempo real para llevar a cabo calibración, o una variedad de otras realizaciones, tal como se describe aquí.

La Figura 9 es un esquema representativo de la relación espacial entre el patrón de modulación en un objetivo 92 y el obturador 100 de persiana sobre el sensor en un plano focal conjugado en un instante en el tiempo. Mientras que la anchura 94 de banda de iluminación y la anchura 102 de obturador no son necesariamente iguales, de acuerdo con ciertos aspectos de la invención, están superpuestos sustancialmente para la generación de imágenes confocales estándar (véase Figura 1, para el diseño óptico de una realización de generación de imágenes confocales estándar). En este diagrama esquemático,

el obturador 100 de persiana se mueve de izquierda a derecha a través de la región del sensor de interés durante una exposición marco en sincronización con la banda de iluminación provista por el modulador de luz espacial en un objetivo 92. El patrón de rejilla es solo para referencia, y debe entenderse y ser apreciado aquí que es bastante posible que el número de píxeles en el modulador de luz espacial no coincidirá exactamente con el número de píxeles de un arreglo de sensor bidimensional.

La Figura 10 es otro esquema representativo de la relación espacial entre el patrón de modulación en un objetivo 92 y un obturador de persiana sobre el sensor en un plano focal conjugado 100 en un instante en el tiempo. La anchura 94 de la banda de iluminación de la anchura 102 del obturador no son necesariamente iguales. En realizaciones de generación de imágenes en campo oscuro, el patrón de modulación de banda en un objetivo 92 es caracterizado espacialmente a partir del obturador de persiana en un plano 100 conjugado. En este diagrama esquemático, el obturador 100 de persiana se mueve de izquierda a derecha a través de la región del sensor de interés durante una exposición en marco de sincronización con la banda de iluminación provista por el modulador de luz espacial en el objetivo 92. La característica 104 espacial puede ser ajustada utilizando el retardo de temporización entre el modulador de luz espacial y el obturador de persiana o ajustando el patrón de modulación o la región de píxeles de interés en el sensor como se describe aquí. El patrón de rejilla es para referencia solamente y debe entenderse y ser apreciado aquí que es bastante posible que el número de píxeles en el modulador de luz espacial no coincidirá exactamente con el número de píxeles en un arreglo de sensor bidimensional.

La Figura 11 es un esquema representativo de la relación espacial entre el patrón de modulación en un objetivo 92 y un obturador 100 de persiana sobre el sensor en un plano focal conjugado en un instante en el tiempo. En este diagrama esquemático, el obturador 100 de persiana se mueve de izquierda a derecha a través de la región del sensor de interés durante una exposición marco en sincronización con la banda de iluminación provista por el modulador de luz espacial en un objetivo 92. Este esquema ilustra la separación espacial de los componentes espectrales o de polarización de la luz que retorna desde el objetivo (véanse Figuras 3 y 4, respectivamente). De acuerdo con estas realizaciones ilustrativas, una porción de la luz de retorno es dispersada o desplazada en una dirección perpendicular al obturador 106 de persiana. El obturador de persiana actúa como un filtro espacial; ajustando la anchura 102 del obturador, la característica espacial 104 o el retardo de temporización entre el patrón de modulación en un objetivo 92 y el obturador 100 de persiana, el usuario puede filtrar la luz que retorna de acuerdo con su polarización o composición espectral. El patrón de rejilla es para referencia solamente, y debe entenderse y ser apreciado aquí que es bastante posible que el número de píxeles en el modulador de luz espacial no coincidirá exactamente con el número de píxeles en un arreglo de sensor bidimensional.

La Figura 12 es un esquema representativo de la relación espacial entre el patrón de modulación y un objetivo 92 y el obturador 100 de persiana sobre el sensor en un plano focal conjugado en un instante en el tiempo. Este esquema ilustrativo se aplica a diversas realizaciones utilizando tomografía de coherencia óptica con dominio espectral (SD-OCT) (véase Figura 5, por ejemplo). De acuerdo con realizaciones ilustrativas de SD-OCT de la presente invención, el modulador de luz espacial provee una iluminación similar a un punto en un instante en el tiempo. En este diagrama esquemático, el obturador 100 de persiana se mueve de izquierda a derecha a través de la región de sensor de interés durante una exposición marco en sincronización con la banda de iluminación provista por el modulador de luz espacial en un objetivo 92. Cada marco recolecta un barrido OCT B. El contenido espectral del interferograma es dispersado en una dirección paralela al obturador 100 de persiana mostrada por la región de escotilla cruzada. La anchura 102 del obturador está configurada para filtrar espacialmente luz dispersa indeseada proveniente de fuera del área 94 focal de iluminación. La altura del interferograma 108 dispersado, mostrado por la región de escotilla cruzada, típicamente no llena la longitud completa del obturador de persiana 100, mostrado en negro. Esta disposición permite que los barridos B sean registrados en diferentes posiciones sobre el objetivo cambiando el patrón de modulación en el plano de objetivo 92. El patrón de rejilla es para referencia solamente, y debería entenderse y ser apreciado aquí que es bastante posible que el número de píxeles en el modulador de luz espacial no coincidirá exactamente con el número de píxeles en un arreglo de sensor bidimensional.

La Figura 13 es un esquema representativo de la relación espacial entre el patrón de modulación en un objetivo 92 y el obturador 100 de persiana sobre el sensor en un plano focal conjugado en un instante en el tiempo. Este esquema se aplica a realizaciones ilustrativas que utilizan generación de imágenes en campo oscuro y generación de imágenes en plano de Fourier resuelto angularmente (véase Figura 8, por ejemplo) de acuerdo con las enseñanzas de la presente invención. En estas realizaciones ilustrativas, el obturador de persiana es separado de la iluminación. Además, en realizaciones de generación de imágenes en campo oscuro, el uso de dos bandas con compensaciones 104 espaciales iguales a cada lado de la posición 100 del obturador de persiana provee incluso iluminación del objetivo. En las realizaciones de generación de imágenes en plano de Fourier, la iluminación del objetivo en dos ángulos y medición en un ángulo de retorno sencillo, provee información sensible a la fase acerca del objetivo que puede ser utilizada para reconstruir su topografía o rango de profundidad. En este diagrama esquemático, el obturador 100 de persiana se mueve de izquierda a derecha a través de la región de sensor de interés durante una exposición marco en sincronización con las posiciones 96 y 97 de la banda de iluminación provistas por el modulador de luz espacial en un objetivo 92. La separación 104 espacial, las anchuras 94 y 95 de banda, la anchura 102 de obturador y las posiciones 96 y 97 de banda pueden ser todas ajustadas a través del software en tiempo real para construir una imagen. El patrón de rejilla es para referencia solamente y debe entenderse y ser

apreciado aquí que es bastante posible que el número de píxeles en el modulador de luz espacial no coincidirá exactamente con el número de píxeles en un arreglo de sensor bidimensional.

5 Mientras que se ha discutido aquí anteriormente en una realización de ejemplo que incorpora los principios de la presente invención, la presente invención está limitada a las realizaciones divulgadas. En vez de esto, esta aplicación pretende cubrir cualquier variación, uso o adaptación de la invención utilizando sus principios generales. Adicionalmente, esta aplicación pretende cubrir todo aquello que se aparte de la presente divulgación tal como lo que cae dentro del conocimiento o práctica habitual en el arte a la cual esta invención es pertinente y que cae dentro de los límites de las reivindicaciones anexas.

Reivindicaciones

1. Un dispositivo de generación de imágenes digital, que comprende:
 - 5 un proyector de luz digital que incluye un arreglo de microespejos, siendo el proyector de luz digital operable en un modo de iluminación de luz estructurada que es capaz de convertir una pluralidad de valores de brillo de color o escala de grises que tienen una primera rata de marco hasta un número limitado de valores de brillantez que tienen una segunda rata de marco que excede la primera rata de marco;
 - un detector de arreglo de píxeles que tiene una funcionalidad de obturador de persiana; y
 - 10 al menos una señal de temporización configurada para controlar una relación espacial-temporal entre un obturador de persiana del detector de arreglo de píxeles y uno o más patrones de iluminación provistos por el proyector de luz digital en la segunda rata de marco.
2. El dispositivo de la reivindicación 1, en donde el detector de arreglo de píxeles es un sensor de semiconductor complementario de óxido metálico ("CMOS").
3. El dispositivo de cualquier reivindicación precedente, que comprende adicionalmente uno o más proyectores de luz adicionales.
- 15 4. El dispositivo de cualquier reivindicación precedente, en donde el obturador de persiana del detector de arreglo de píxeles está configurado para llevar a cabo al menos una de las siguientes funciones de filtración:
 - a) una filtración espacial de al menos una luz que retorna de un objetivo y luz que pasa a través del objetivo;
 - b) filtrar al menos uno del ángulo de luz que retorna del objetivo y el ángulo de luz que pasa a través del objetivo;
 - 20 c) filtrar espacialmente los componentes de polarización separados de al menos una luz que retorna del objetivo y de la luz que pasa a través del objetivo; y
 - d) filtrar componentes de frecuencia separados espacialmente de al menos una luz que retorna del objetivo y de luz que pasa a través del objetivo.
5. El dispositivo de la reivindicación 4, que comprende adicionalmente un material anisotrópico configurado para separar espacialmente los componentes de polarización de luz que retorna del objetivo.
- 25 6. El dispositivo de la reivindicación 4, que comprende adicionalmente un componente de dispersión configurado para separar espacialmente los componentes de frecuencia de la luz que retorna del objetivo.
7. El dispositivo de cualquiera de las reivindicaciones 4 a 6, que comprende adicionalmente uno o más detectores de arreglo de píxeles adicionales teniendo cada uno una funcionalidad de obturador de persiana, en donde el uno o más detectores de arreglo de píxeles tiene cada uno un obturador de persiana configurado para llevar a cabo una o más de las funciones de filtración.
- 30 8. El dispositivo de cualquier reivindicación precedente, que comprende adicionalmente un controlador de fuente de onda configurado para modificar un frente de onda de luz que retorna desde el objetivo.
9. El dispositivo de cualquier reivindicación precedente, que comprende adicionalmente una o más aperturas o filtros configurados para restringir al menos parcialmente la luz que viaja desde el proyector de luz a un objetivo o la luz que viaja desde el objetivo al detector de arreglo de píxeles.
- 35 10. Un método para generación de imágenes digitales, comprendiendo el método las etapas de:
 - 40 operar un proyector de luz digital en un modo de iluminación con luz estructurada para producir uno o más patrones de iluminación durante una exposición marco de un detector de arreglo de píxeles que tiene una funcionalidad de obturador de persiana, en donde el proyector digital de luz incluye un arreglo de microespejos, y en donde el modo de iluminación con luz estructurada es capaz de convertir una pluralidad de valores de brillantez de color o de escala de grises que tiene una primera rata de marco a un número limitado de valores de brillantez que tiene una segunda rata de marco que excede la primera rata de marco;

detectar luz desde el uno o más patrones de iluminación producidos sobre un objetivo;

dirigir luz desde el objetivo al detector de arreglo de píxeles que tiene funcionalidad de obturador de persiana; y

utilizar al menos una señal de temporización para controlar una relación espacial-temporal entre un obturador de persiana del detector de arreglo de píxeles y el uno o más patrones de iluminación provistos por el proyector de luz digital en la segunda rata de marco.

5

11. El método de la reivindicación 10, que comprende adicionalmente usar el obturador de persiana del detector de arreglo de píxeles para llevar a cabo al menos una de las siguientes funciones de filtración:

a) filtración espacial de al menos una de la luz que retorna del objetivo y la luz que pasa a través del objetivo;

b) filtrar al menos uno del ángulo de luz que retorna del objetivo y el ángulo de luz que pasa a través del objetivo;

10

c) filtrar espacialmente los componentes de polarización separados de al menos uno de la luz que retorna del objetivo y la luz que pasa a través del objetivo; y

d) filtrar espacialmente componentes de frecuencia separados de al menos una de la luz que retorna del objetivo y la luz que pasa a través del objetivo.

15

12. El método de la reivindicación 11, que comprende adicionalmente utilizar un material anisotrópico para separar espacialmente los componentes de polarización de luz que retornan del objetivo.

13. El método de la reivindicación 11, que comprende adicionalmente utilizar un componente de dispersión para separar espacialmente los componentes de frecuencia de la luz que retorna del objetivo.

20

14. El método de la reivindicación 11, que comprende adicionalmente utilizar uno o más detectores de arreglo de píxeles adicionales teniendo cada uno funcionalidad de obturador de persiana para llevar a cabo una o más de las funciones de filtración.

15. El método de cualquiera de las reivindicaciones 10 a 14, en donde la etapa de dirigir el uno o más patrones de iluminación producidos sobre el objetivo comprende establecer una relación conocida entre un patrón de iluminación y el ángulo de luz dirigida sobre el objetivo.

25

16. El método de cualquiera de las reivindicaciones 10 a 15, en donde la etapa de dirigir la luz desde el objetivo al detector de arreglo de píxeles comprende dirigir la luz desde el objetivo a un sensor semiconductor complementario de óxido metálico ("CMOS") con funcionalidad de obturador de persiana.

17. El método de cualquiera de las reivindicaciones 10 a 16, en donde una porción de la luz que es dirigida desde el proyector de luz digital al objetivo es dirigida a un camino de referencia de longitud de camino óptica conocida.

30

18. El método de la reivindicación 17, en donde una porción de luz del camino de referencia es dirigida al detector de arreglo de píxeles.

19. El método de cualquiera de las reivindicaciones 10 a 18, que comprende adicionalmente utilizar un controlador de frente de onda para modificar un frente de onda de luz que retorna desde el objetivo.

20. El método de la reivindicación 19, en donde una porción de luz dirigida desde el objetivo al detector de arreglo de píxeles es dirigida a un detector de frente de onda.

35

21. El método de la reivindicación 20, que comprende adicionalmente utilizar datos del frente de onda obtenidos por el detector de frente de onda para modificar el frente de onda de luz que retorna del objetivo utilizando el controlador de frente de onda.

22. El método de cualquiera de las reivindicaciones 10 a 21, que comprende adicionalmente utilizar datos de imágenes obtenidos por el detector de arreglo de píxeles para ajustar uno o más de los siguientes:

40

(a) un patrón de iluminación producido por el proyector de luz digital;

(b) sincronización de temporización entre el patrón de iluminación y el obturador de persiana del detector de arreglo de píxeles;

(c) parámetros de operación del detector de arreglo de píxeles, siendo seleccionados los parámetros de operación entre tasa de marco, ganancia, anchura de obturador de persiana y región de píxeles de interés; y

5 (d) parámetros de operación de una o más fuentes de luz, siendo seleccionados los parámetros de operación de guía de corriente, guía de frecuencia, guía de fase, guía de anchura de pulso y ciclo debido.

Título: Dispositivo de Imágenes Confocales
que Utiliza Iluminación Modulada
Espacialmente con Detección de Obturador
de Persiana Electrónica
Inventor: Matthew Stefan Muller
No. de Serie: Pendiente de ser asignado
Expediente Fiscal No.: AEM01-40003
1/13

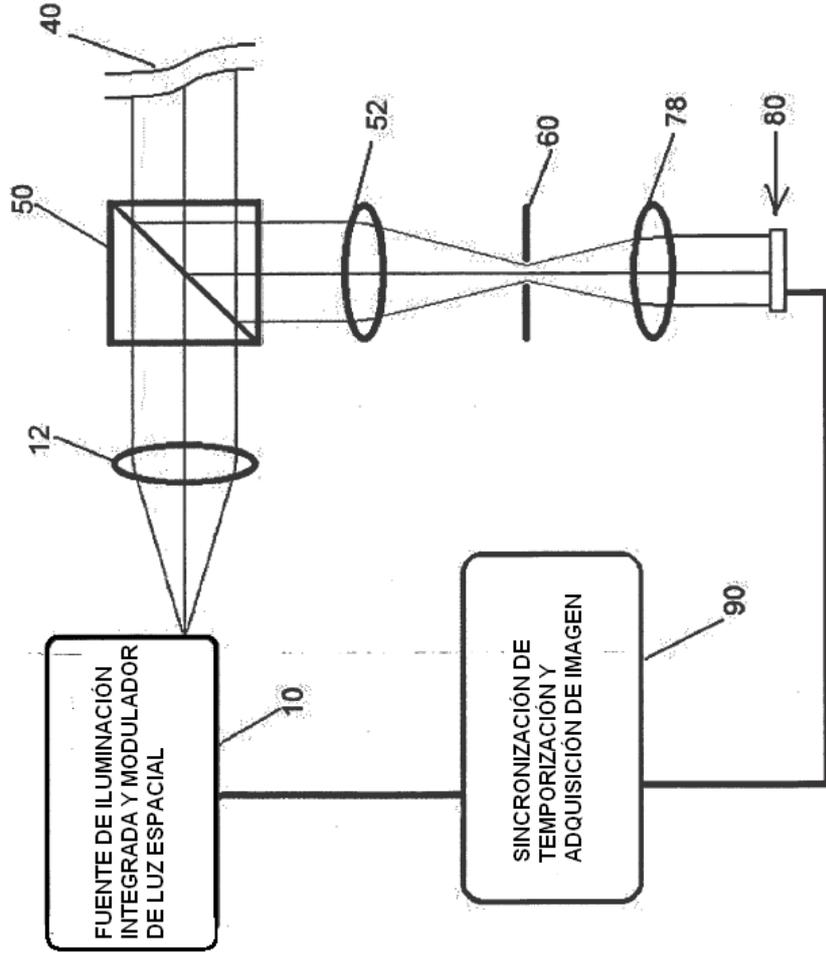


Fig. 1

Título: Dispositivo de Imágenes Confocales
que Utiliza Iluminación Modulada
Espacialmente con Detección de Obturador
de Persiana Electrónico
Inventor: Matthew Stefan Muller
No. de Serie: Pendiente de ser asignado
Expediente Fiscal No.: AEN01-40003
2/13

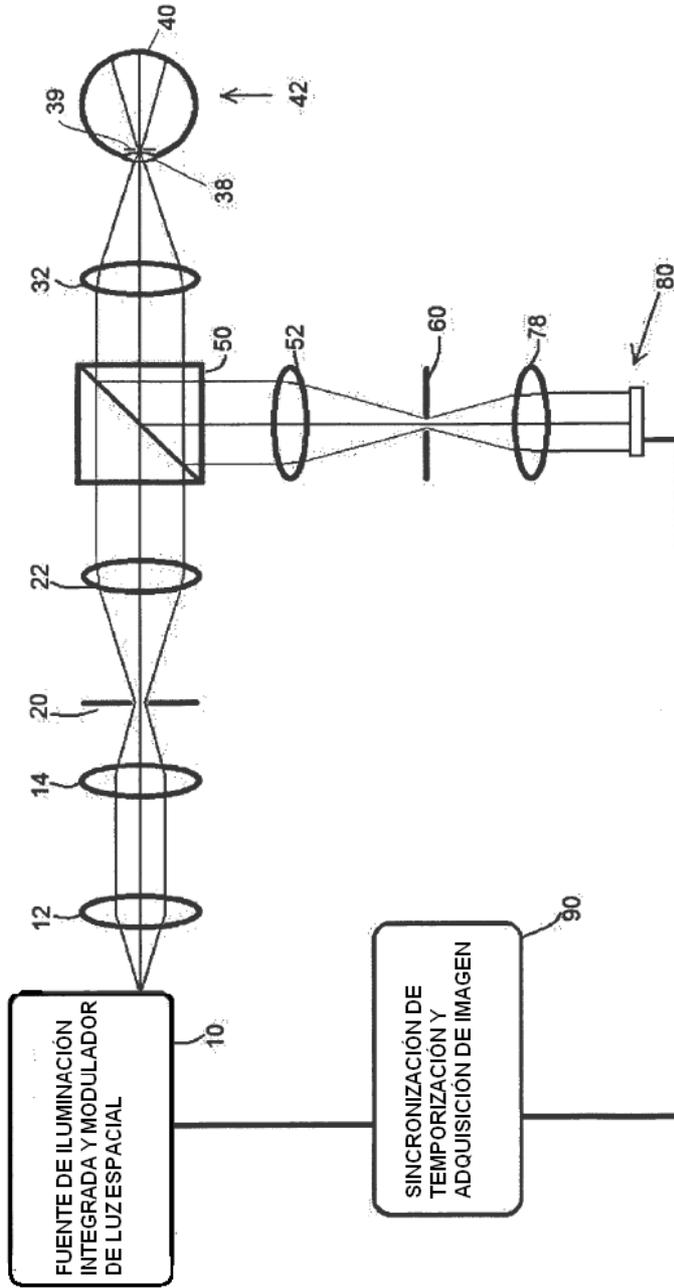


Fig. 2

Título: Dispositivo de Imágenes Confocales
que Utiliza Iluminación Modulada
Espacialmente con Detección de Obturador
de Píxel Electrónico
Inventor: Matthew Stefan Muller
No. de Serie: Pendiente de ser asignado
Expediente Fiscal No.: AEN01-0003
3/13

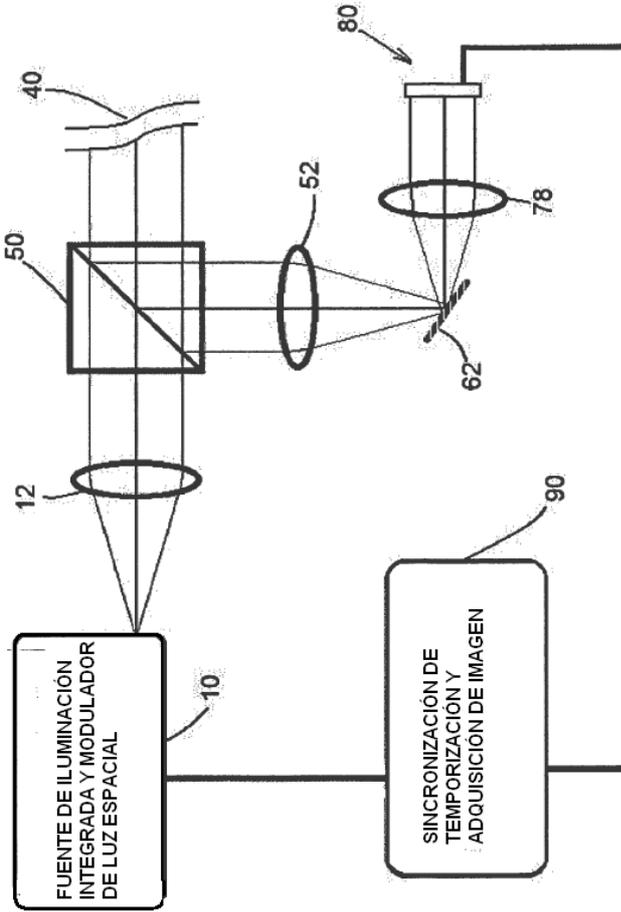


Fig. 3

Título: Dispositivo de Imágenes Confocales
que Utiliza Iluminación Modulada
Espacialmente con Detección de Obstrador
de Persiana Electrónico
Inventor: Matthew Stefan Muller
No. de Serie: Pendiente de ser asignado
Expediente Fiscal No.: AEN01-40003
4/13

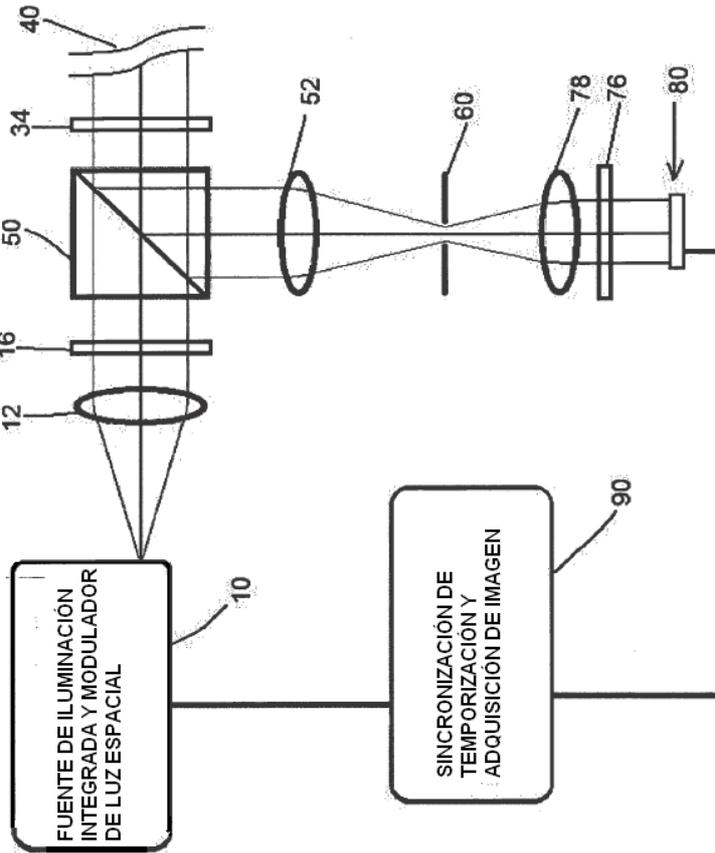


Fig. 4

Título: Dispositivo de Imágenes Confocales
que Utiliza Iluminación Modulada
Especialmente con Detección de Obstrador
de Persiana Electrónico
Inventor: Matthew Stefan Muller
No. de Serie: Pendiente de ser asignado
Expediente Fiscal No.: AEN01-40003
5/13

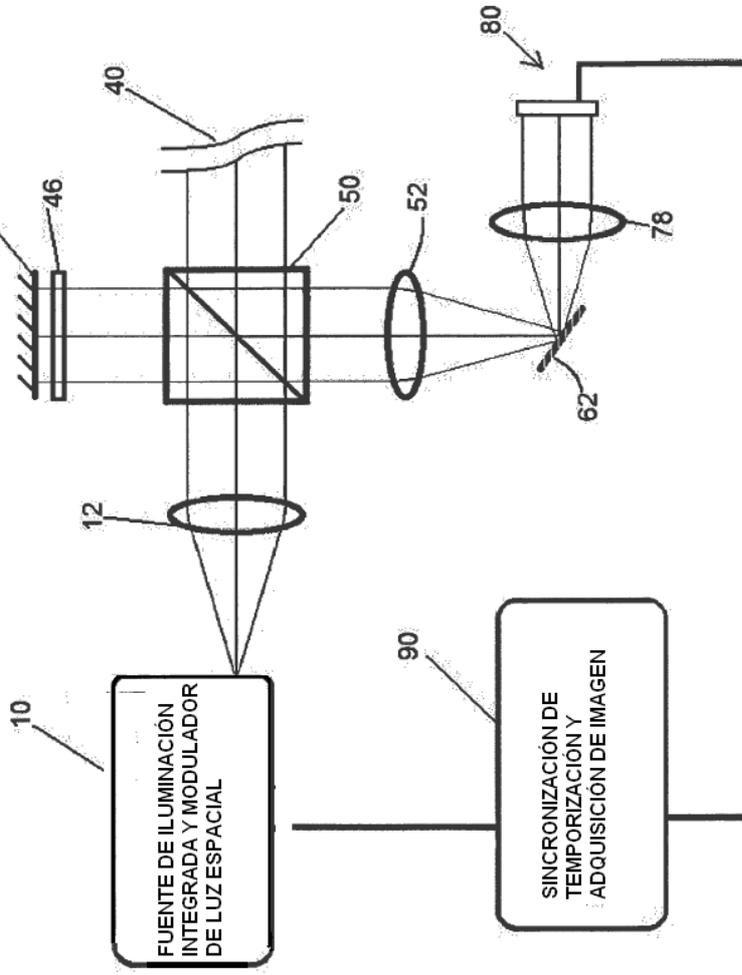


Fig. 5

Título: Dispositivo de Imágenes Confocales
que Utiliza Iluminación Modulada
Espacialmente con Detección de Obturador
de Persiana Electrónico
Inventor: Matthew Stefan Muller
No. de Serie: Pendiente de ser asignado
Expediente Fiscal No.: AEN01-40003
6/13

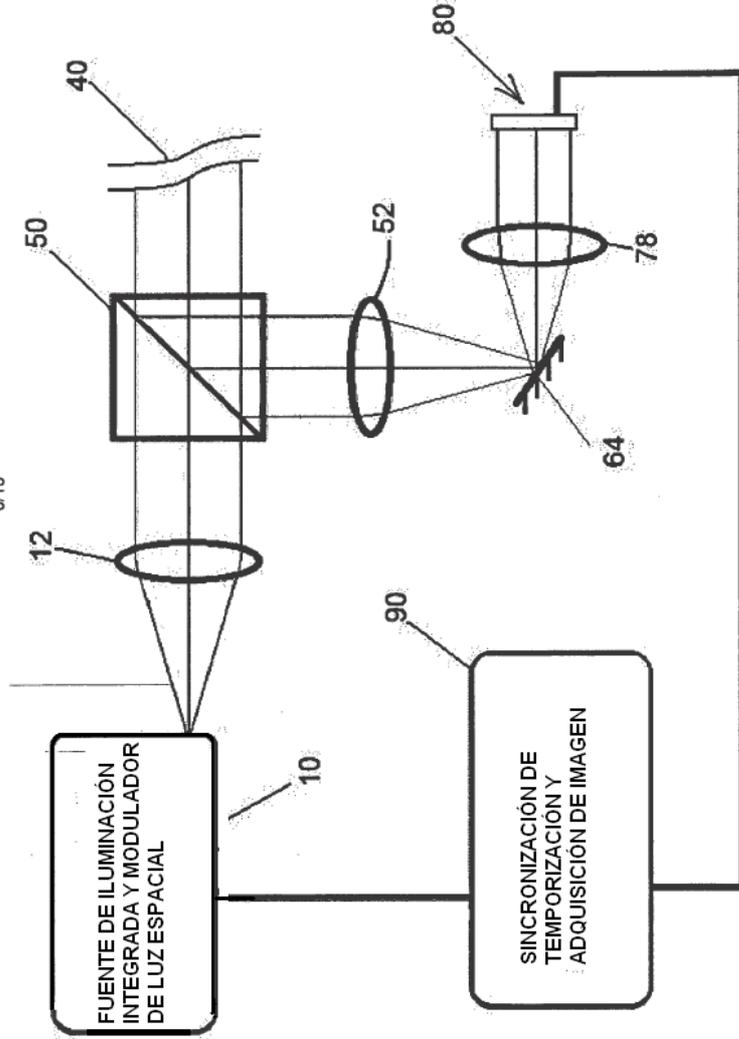


Fig. 6

Título: Dispositivo de Imágenes Confocales
que Utiliza Iluminación Modulada
Espacialmente con Detección de Obstruador
de Persiana Electrónico
Inventor: Matthew Stefan Muller
No. de Serie: Pendiente de ser asignado
Expediente Fiscal No.: AEN01-40003
7/13

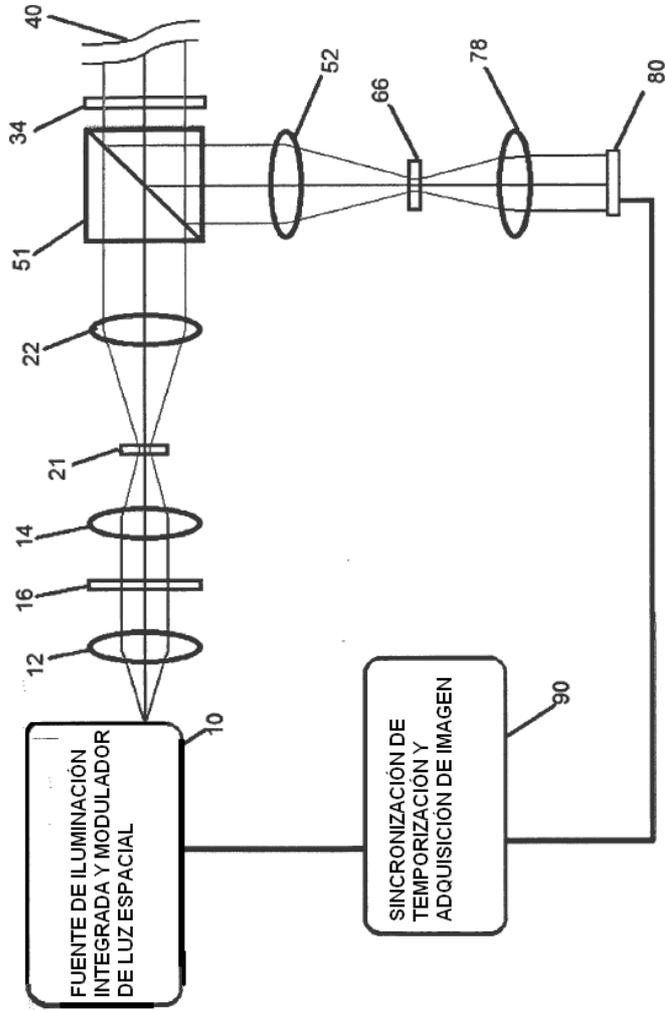


Fig. 7

Título: Dispositivo de Imágenes Confocales
que Utiliza Iluminación Modulada
Espacialmente con Detección de Obstruador
de Persiana Electrónico
Inventor: Matthew Stefan Muller
No. de Serie: Pendiente de ser asignado
Expediente Fiscal No.: AEN01_40003
8/13

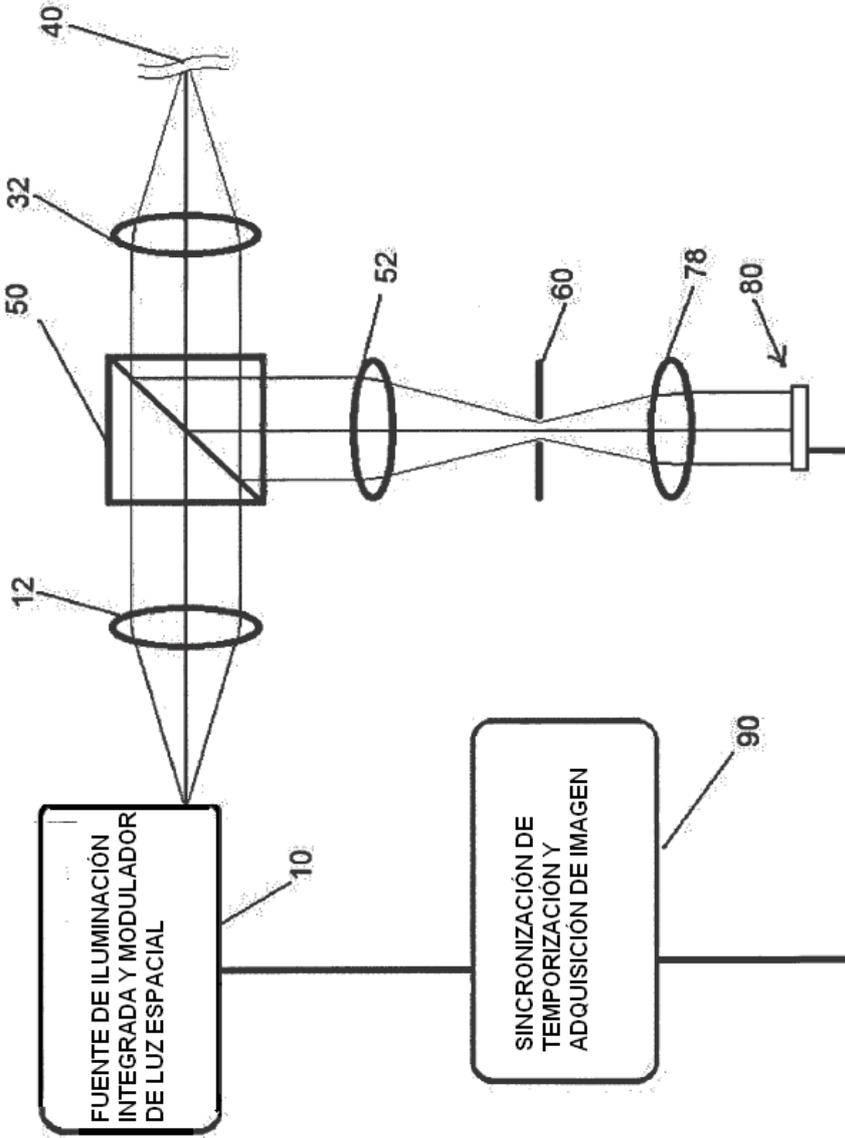


Fig. 8

Título: Dispositivo de Imágenes Confocales
que Utiliza Iluminación Modulada
Espacialmente con Detección de Obstruidor
de Persiana Electrónico
Inventor: Matthew Stefan Muller
No. de Serie: Pendiente de ser asignado
Expediente Fiscal No.: AEN01-40003
9/13

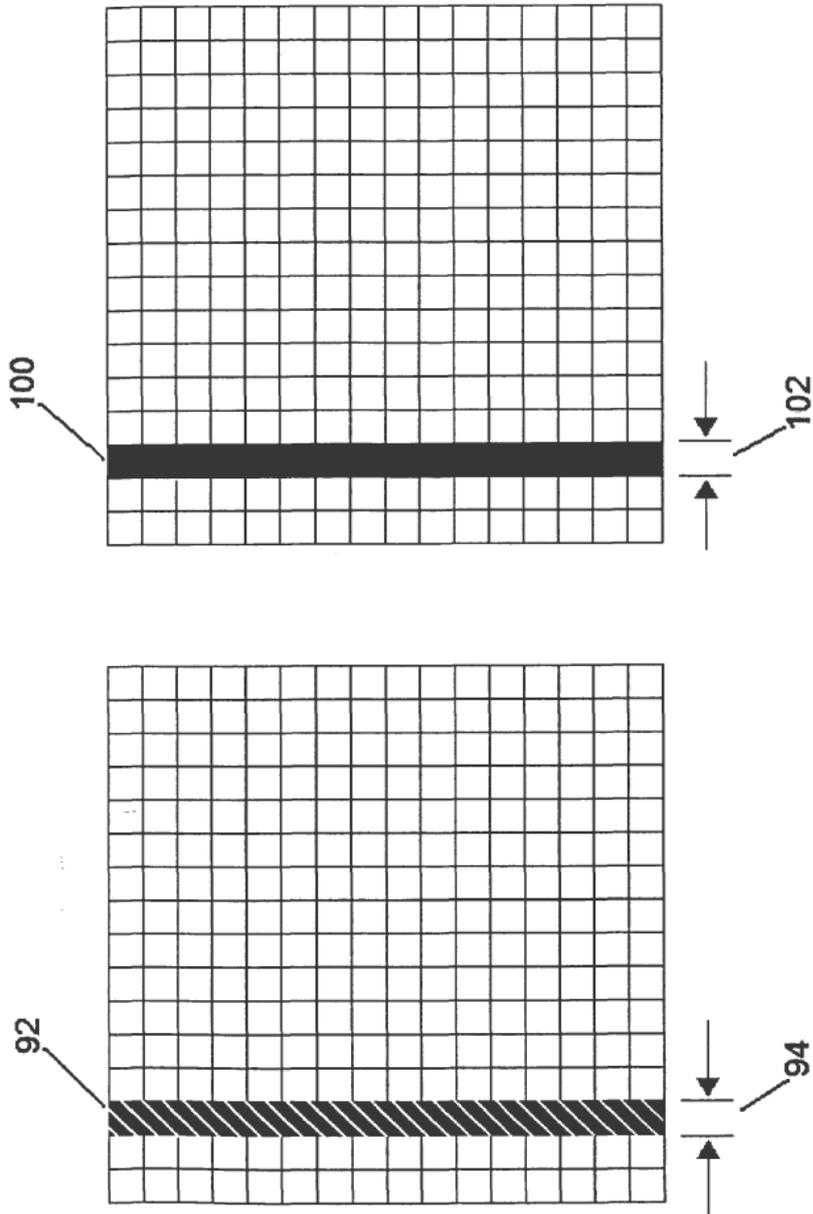


Fig. 9

Título: Dispositivo de Imágenes Confocales
que Utiliza Iluminación Modulada
Espacialmente con Detección de Obturador
de Persiana Electrónico
Inventor: Matthew Stefan Muller
No. de Serie: Pendiente de ser asignado
Expediente Fiscal No.: AEN01-40003
10/13

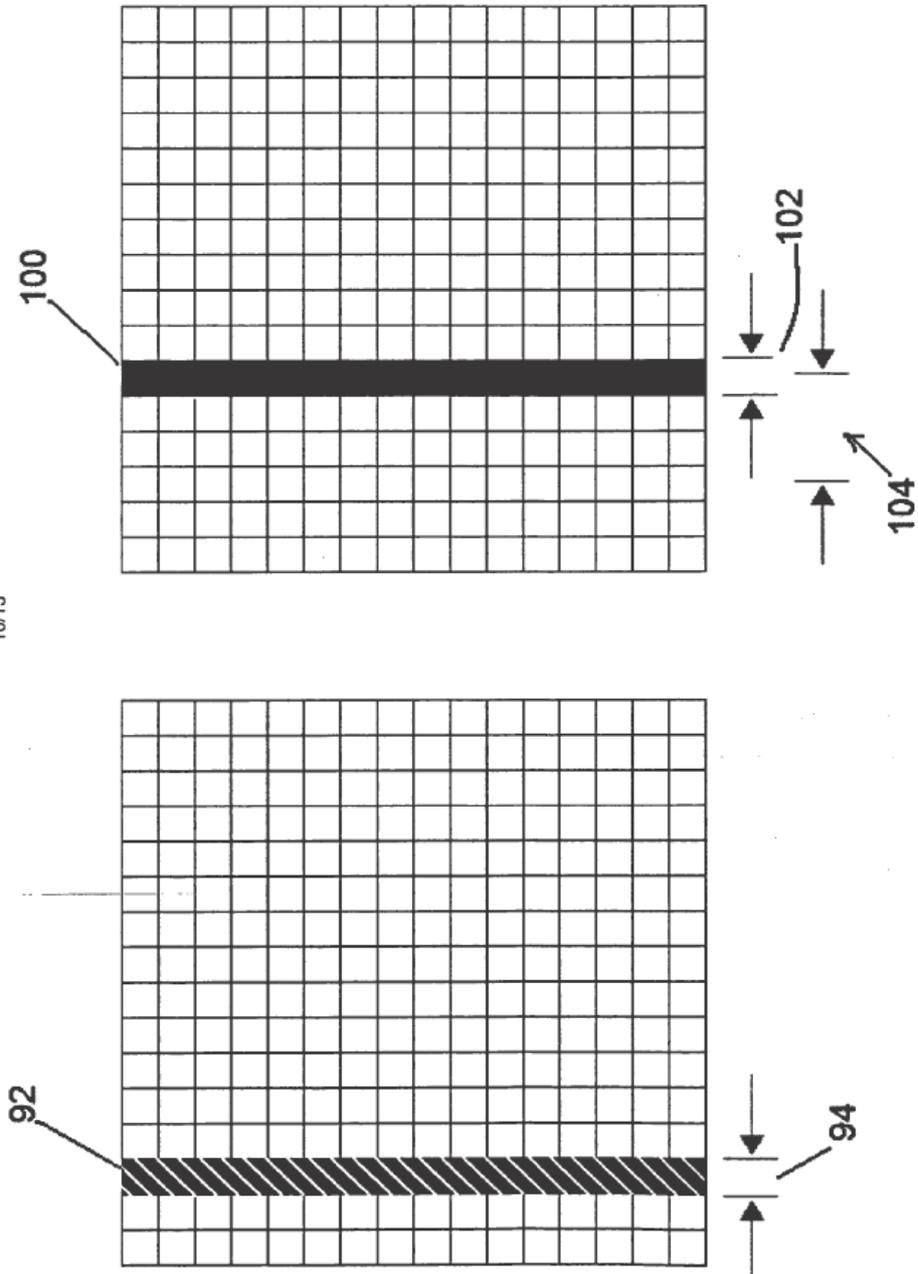


Fig. 10

Título: Dispositivo de Imágenes Confocales
que Utiliza Iluminación Modulada
Espacialmente con Detección de Obturador
de Persiana Electrónico
Inventor: Matthew Stefan Müller
No. de Serie: Pendiente de ser asignado
Expediente Fiscal No.: AEN01-40003
11/13

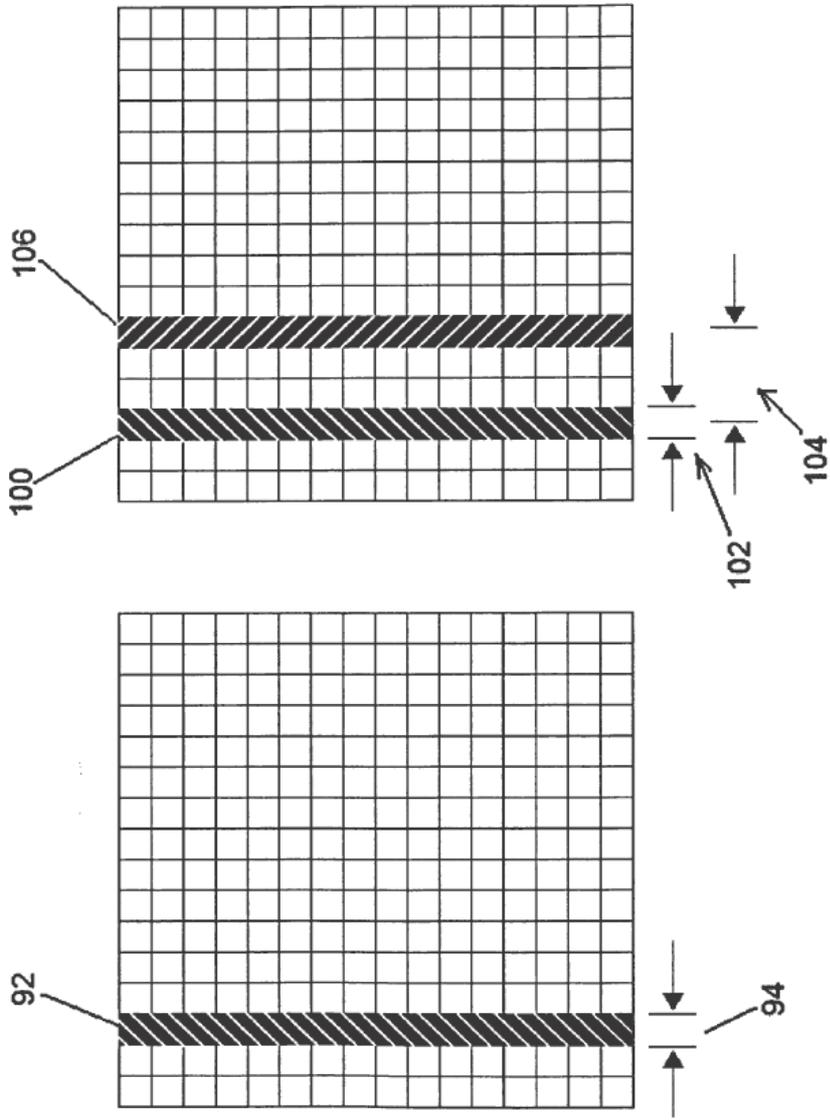


Fig. 11

Título: Dispositivo de Imágenes Confocales
que Utiliza Iluminación Modulada
Espacialmente con Detección de Obturador
de Persiana Electrónico
Inventor: Matthew Stefan Müller
No. de Serie: Pendiente de ser asignado
Expediente Fiscal No.: AEN01-40003
12/13

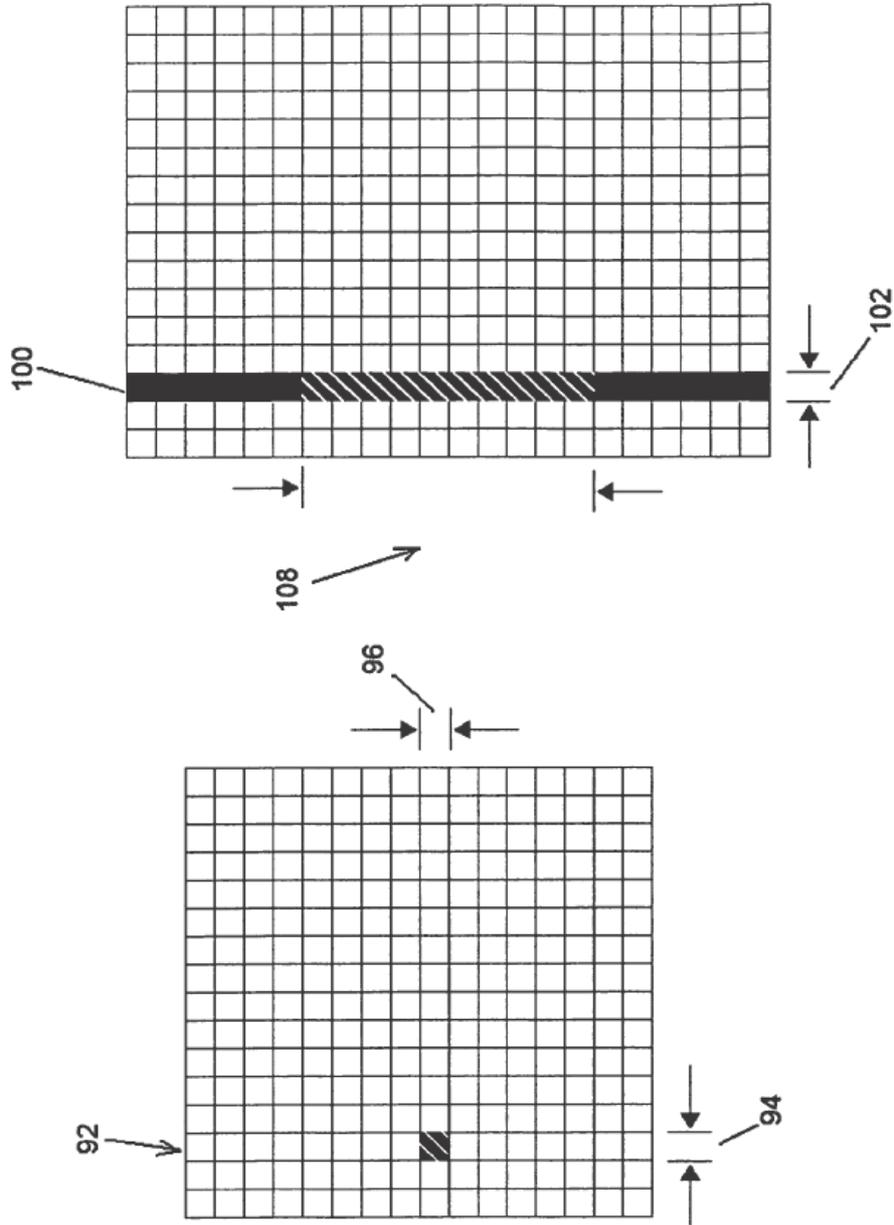


Fig. 12

Título: Dispositivo de Imágenes Confocales
que Utiliza Iluminación Modulada
Espacialmente con Detección de Obturador
de Persiana Electrónico
Inventor: Matthew Stefan Muller
No. de Serie: Pendiente de ser asignado
Expediente Fiscal No.: AEN01-40003
13/13

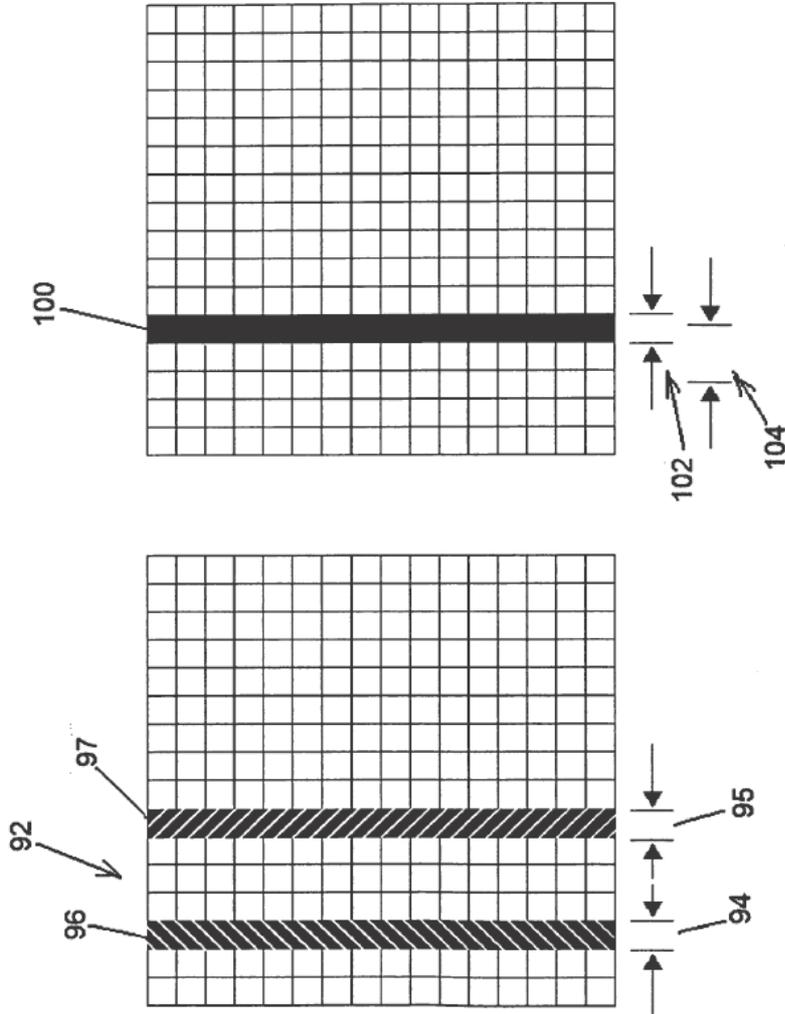


Fig. 13