(19) OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

(11) Número de publicación: **2 653 961**

(51) Int. Cl.:

G02B 26/10 (2006.01)
A61F 9/008 (2006.01)
G02B 27/00 (2006.01)

(12) TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA T3

(86) Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **15.03.2013** **PCT/EP2013/055379**

(87) Fecha y número de publicación internacional: **18.09.2014** **WO14139582**

(96) Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **15.03.2013** **E 13709909 (9)**

(97) Fecha y número de publicación de la concesión europea: **08.11.2017** **EP 2812747**

(54) Título: **Sistema y método para escanear un haz de luz de pulsos ultracortos**

(45) Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
09.02.2018

(73) Titular/es:

WAVELIGHT GMBH (100.0%)
Am Wolfsmantel 5
91058 Erlangen, DE

(72) Inventor/es:

VOGLER, KLAUS;
GORSCHBOTH, CLAUDIA y
DONITZKY, CHRISTOF

(74) Agente/Representante:

LEHMANN NOVO, María Isabel

ES 2 653 961 T3

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

DESCRIPCIÓN

Sistema y método para escanear un haz de luz de pulsos ultracortos

La presente exposición pertenece a sistemas y métodos para escanear un haz de luz de pulsos ultracortos.

Para pulsos ultracortos de radiación electromagnética, la dispersión de material puede causar distorsión indeseada de los pulsos cuando se propagan a través del vidrio u otros materiales ópticos en un sistema óptico. La cantidad de distorsión depende del ancho de banda espectral del pulso y resulta particularmente significativa cuando la duración del pulso es reducida a valores del orden de dos dígitos de femtosegundo o más corta. Los efectos adversos de dispersión de material incluyen la diferencia de tiempo de propagación (PTD), o retardo de grupo (GD), y dispersión de velocidad de grupo (GVD). La GVD está comprendida de diferentes órdenes de dispersión a través del material óptico. La dispersión de retardo de grupo (GDD) es el segundo orden de dispersión y provoca un ensanchamiento temporal de un pulso que se propaga a través de un material óptico. Órdenes mayores incluyen la dispersión de tercer orden (TOD) y la dispersión de cuarto orden (FOD). Una descripción más detallada de los efectos de la PTD y de la GVD puede ser encontrada en el documento US 2011/0058241.

La longitud de trayecto atravesada en una lente por un rayo puede depender de la distancia radial desde un eje óptico de la lente. Por ejemplo, una lente convergente tiene mayor grosor en una parte central y menor grosor en una parte periférica de la lente. En una lente divergente, la longitud de trayecto es mayor en una parte periférica de la lente y resulta menor hacia el centro de la lente. Dependiendo de la posición radial con relación al eje óptico de la lente, un rayo que se propaga a través de la lente puede así experimentar una cantidad de dispersión diferente.

La longitud de trayecto atravesada por un rayo en una lente puede también depender del ángulo de propagación del rayo en el material de la lente con respecto al eje óptico de la lente. El ángulo con el que atraviesa un rayo la lente depende del ángulo de incidencia del rayo sobre la lente. Los rayos que son incidentes sobre la lente en la misma posición, pero con diferentes ángulos de incidencia, experimentan así diferentes longitudes de trayecto en la lente. El ángulo de incidencia puede variar cuando un haz que propaga pulsos de la luz es escaneado a través de un plano que es ortogonal a la dirección de propagación del haz. Diferentes ángulos de incidencia pueden así representar diferentes ángulos de escaneo. Por tanto, dependiendo del ángulo de escaneo, un rayo que se propaga a través de la lente puede experimentar una cantidad de dispersión diferente. En particular, el rayo puede experimentar diferentes cantidades de GD para diferentes valores del ángulo de escaneo.

Los espejos dispersivos son útiles para reducir la GDD introducida por un sistema óptico. Con este propósito, el espejo dispersivo puede ser diseñado para introducir una señal de frecuencia variable pulsada ("chirp") negativa, que compensa al menos parcialmente una señal de frecuencia variable pulsada positiva (ensanchamiento temporal) introducida por el sistema óptico para un pulso que se desplaza a través del sistema óptico. El documento US 2011/0058241 A1 describe espejos multicapa de señal de frecuencia variable pulsada con valores de GDD que varían con el ángulo de incidencia.

El documento "Adaptive-optics ultrahigh-resolution optical coherence tomography" por Hermann B y col., publicado en Optics Letters 29(18) en 2004, describe un sistema óptico adaptativo compacto de bucle cerrado, basado en un sensor de frente de onda Shack-Hartmann en tiempo real que opera a 30 Hz y un espejo deformable de membrana activadora 37 que está conectado con un sistema UHR OCT. Cuando se consigue un nivel de corrección, las imágenes de OCT son obtenidas bajo una configuración de espejo estático.

En el documento WO 2011/069 516 A1, se ha descrito un dispositivo para cirugía oftálmica con láser con un sistema óptico de formación de imágenes para proyectar un haz láser de tratamiento sobre un punto focal y un medio de medición de temperatura para medir una temperatura asignada al sistema de formación de imágenes. Considerando la temperatura cuando se ajusta el punto focal del haz láser de tratamiento mediante un dispositivo de control, se cancelan los cambios de una longitud focal efectiva y de una distancia óptica efectiva de un aplicador causados por variaciones de temperatura.

El documento "Broadband spectral phase control with a tapered deformable mirror in a 4-f pulse shaper" por Yasuyuki Ozeki y col., publicado en Lasers and Electro-Optics, IEEE en 2007, describe un conformador de pulso de 4-f con un espejo deformable cónico. El espectro de un pulso incidente es dispersado espacialmente por un prisma y un espejo cóncavo, y a continuación cada componente espectral a una frecuencia de ω es reflejado en una posición diferente x en el espejo deformable.

A partir del documento "Pulse compression by use of deformable mirrors" por Zeek y col., publicado en Optics Letters 27(7) en 1999, se conoce un espejo deformable micro-mecanizado (MMDM), que utiliza una fuerza electrostática en lugar de una fuerza mecánica para deformar una superficie reflectante.

El documento "Ultrabroadband pulse shaping with a push-pull deformable mirror" por Bonora y col., publicado en Optics Express 18(22) en 2010 describe la conformación de un pulso de banda ultra-ancha con un espejo deformable "push-pull".

La presente exposición proporciona un sistema óptico de escaneo que comprende: una fuente óptica que proporciona un

haz de luz pulsada de duración de pulso ultracorta; un deflector para desviar el haz a través de un ángulo de escaneo; un sistema de lentes que incluye un objetivo de focalización para focalizar el haz desviado; un dispositivo compensador de dispersión para reducir la distorsión relacionada con la dispersión de un pulso del haz por el sistema de lentes, incluyendo el dispositivo compensador de dispersión un espejo dispersivo, deformable y un dispositivo activador para el espejo; y un controlador para controlar el dispositivo activador para cambiar una forma del espejo de acuerdo con el ángulo de escaneo.

Cambiar la forma del espejo dispersivo, deformable puede ser efectivo para introducir, o alterar, un retardo relativo entre paquetes de ondas incidentes en diferentes posiciones del espejo. De este modo, el desplazamiento temporal relativo entre paquetes de ondas incidentes en diferentes posiciones del espejo puede ser ajustado y las variaciones de la distribución espacial del retardo de grupo (GD) en función del ángulo de escaneo del sistema de lentes pueden ser compensadas al menos parcialmente. Cambiar la forma del espejo dispersivo, deformable puede incluir mover hacia atrás o hacia delante una o más partes de superficie reflectante del espejo con relación a una o más partes distintas de superficie reflectante del espejo.

En ciertas realizaciones, el espejo dispersivo, deformable tiene una estructura multicapa que proporciona una característica de dispersión que varía con la posición sobre una superficie reflectante del espejo. Por ejemplo, la estructura multicapa del espejo dispersivo, deformable puede introducir al menos una GD no uniforme, una GDD no uniforme, y una TOD no uniforme a través de la superficie reflectante. Una GD no uniforme del espejo puede ser útil para compensar las variaciones de GD en función de diferentes valores de desplazamiento radial desde un eje óptico del sistema de lentes. De manera similar, una GDD y TOD no uniformes del espejo pueden ser útiles para compensar variaciones de GDD y TOD, respectivamente, en función de diferentes valores de desplazamiento radial desde el eje óptico del sistema de lentes. Las variaciones espaciales de la GD, GDD o TOD pueden ser particularmente prominentes en ópticas de gran abertura cuando son utilizadas, por ejemplo, en sistemas láser de femtosegundo diseñados para cirugía oftálmica.

En ciertas realizaciones, el dispositivo compensador de dispersión incluye además un compensador de volumen que tiene una característica de dispersión espacialmente uniforme para compensar un volumen de al menos uno de un retardo de grupo y de una dispersión de retardo de grupo introducidos por el sistema de lentes.

En ciertas realizaciones, la fuente óptica es una fuente de láser y la luz tiene una longitud de onda central adecuada para crear incisiones en el tejido ocular humano.

La presente exposición proporciona también un método de escaneo que comprende: proporcionar un haz de luz pulsada de duración del pulso ultracorta; desviar el haz a través de un ángulo de escaneo; focalizar el haz desviado con un objetivo de focalización; proporcionar un espejo deformable; y controlar una forma del espejo deformable de acuerdo con el ángulo de escaneo para compensar al menos parcialmente variaciones de la distribución espacial de un retardo de grupo del objetivo de focalización en función de diferentes ángulos de escaneo.

Ha de observarse que en ciertas realizaciones de la presente exposición del espejo dispersivo, deformable puede ser reemplazado por un espejo no dispersivo, deformable. En tales realizaciones, el espejo deformable puede aún ser utilizado para ajustar la longitud de un espacio de aire entre el espejo y un miembro óptico subsiguiente (por ejemplo lente) localmente, es decir individualmente para diferentes posiciones espaciales, basado en el ángulo de escaneo del haz de luz. De este modo, pueden acomodarse variaciones de la distribución espacial del retardo del grupo del sistema óptico, cuyas variaciones pueden llegar con diferentes ángulos de escaneo. Aún el espejo deformable no introduce dispersión de velocidad del grupo para pulsos incidentes sobre el espejo en estas realizaciones.

A continuación se describirán realizaciones de la presente exposición a modo de ejemplo en mayor detalle con referencia a los dibujos adjuntos, en los que:

La fig. 1 ilustra un ejemplo de un sistema óptico de escaneo que es útil para crear incisiones en un ojo humano, de acuerdo con una realización;

La fig. 2 ilustra detalles de un dispositivo compensador de dispersión de acuerdo con una realización; y

La fig. 3 ilustra operaciones de un método de escaneo de acuerdo con una realización.

Con referencia ahora a los dibujos, se han mostrado en detalle realizaciones ejemplares del sistema y métodos descritos. La siguiente descripción no está destinada en ningún modo a ser exhaustiva o a limitar o restringir de otro modo los dibujos adjuntos a las realizaciones específicas mostradas en los dibujos y descritas en este documento. Aunque los dibujos representan posibles realizaciones, los dibujos no están necesariamente a escala y ciertas características pueden estar simplificadas, exageradas, retiradas, o parcialmente seccionadas para ilustrar mejor las realizaciones. Además ciertos dibujos pueden ser en forma esquemática.

La fig. 1 ilustra una realización ejemplar de un sistema óptico 10 de escaneo que puede escanear y focalizar un haz de impulsos ultracortos de luz láser. En la realización ilustrada, el sistema óptico 10 de escaneo incluye un dispositivo láser y un ordenador de control. El dispositivo láser puede crear incisiones en una córnea, un cristalino humano, u otras

estructuras del tejido de un ojo humano utilizando la luz láser. Como se ha utilizado aquí, ultracorta pretende significar una duración de pulso de menos de 100, 80, 50, o 20 femtosegundos (fs). En ciertas realizaciones, la duración del pulso es del orden de un sólo dígito de femtosegundo (es decir menor de 10 fs) o en el rango del attosegundo (as).

En el ejemplo ilustrado de la fig. 1, el sistema óptico 10 de escaneo realiza cirugía con láser sobre un ojo humano 12. El sistema óptico 10 de escaneo incluye un dispositivo láser 14, un adaptador 16 de paciente, un ordenador de control 18, y una memoria 20, que puede ser acoplada como se ha mostrado. El dispositivo láser 14 incluye una fuente láser 22, un dispositivo 24 de expansión de haz, un dispositivo compensador 25 de dispersión, un escáner 26, uno o más espejos ópticos 28, y un objetivo de focalización 30 acoplado como se ha mostrado. El adaptador 16 de paciente incluye un elemento de contacto 32 y un manguito del soporte 34, que pueden ser acoplados como se ha mostrado. La memoria 20 almacena un programa de control 36.

La fuente láser 22 genera un haz láser 38 con pulsos ultracortos. El punto focal del haz láser 38 puede crear una rotura óptica inducida por láser (LIOB) en tejidos tales como la córnea u otras estructuras de tejido del ojo 12. El haz láser 38 puede tener cualquier longitud de onda adecuada, tal como una longitud del orden de 300-1900 nanometros (nm), por ejemplo una longitud de onda del orden de 300-650, 650-1050, 1050-1250, 1100-1500 nm, o 1500-1900 nm. El haz láser 38 puede tener también un volumen de foco relativamente pequeño, por ejemplo 5 micrones (μm) o menos de diámetro.

El dispositivo 24 de expansión del haz, el dispositivo compensador 25 de dispersión, el escáner transversal 26, los espejos ópticos 28, y el objetivo de focalización 30 están en el trayecto del haz del haz láser 38.

El dispositivo 24 de expansión del haz está configurado para expandir la anchura o diámetro del haz láser 38. Un ejemplo del dispositivo 24 de expansión del haz es un telescopio afocal del tipo de Galileo.

El escáner 26 está configurado para controlar transversalmente el punto focal del haz láser 38. "Transversal" se refiere a una dirección en ángulo recto a la dirección de propagación del haz láser 38, y "longitudinal" se refiere a la dirección de propagación del haz. El plano transversal puede ser designado como un plano x-y, y la dirección longitudinal puede ser designada como la dirección z. El escáner 26 puede desviar transversalmente el haz láser 38 de cualquier manera adecuada. Por ejemplo, el escáner 26 puede incluir un par de espejos de escáner accionados galvanométricamente que pueden ser inclinados alrededor de ejes perpendiculares entre sí. Como otro ejemplo, el escáner 26 puede incluir un cristal electro-óptico que puede orientar electro-ópticamente el haz láser 38.

El dispositivo láser 14 puede también dirigir el haz láser 38 longitudinalmente para desplazar el punto focal del haz 38 en la dirección z. Para el escaneo longitudinal, el dispositivo láser 14 pueden incluir una lente ajustable longitudinalmente, una lente de potencia refractiva variable, o un espejo deformable que puede controlar la posición z del foco del haz. En ciertas realizaciones, el dispositivo 24 de expansión del haz incluye un conjunto de lentes compuesto de dos o más lentes, en donde una de las lentes del dispositivo 24 de expansión de haz está dispuesta para ser ajustable longitudinalmente o tiene una potencia refractiva variable. En otras realizaciones, el escáner 26 incluye un miembro de escaneo longitudinal tal como, por ejemplo, un espejo deformable.

Uno o más espejos ópticos 28 dirigen el haz láser 38 hacia el objetivo de focalización 30. Por ejemplo, un espejo óptico 28 puede ser un espejo de desviación inamovible o un espejo de desviación móvil. Como alternativa, un elemento óptico que puede refractar y/o difractar el haz láser 38 puede estar previsto en lugar de un espejo óptico 28.

El objetivo de focalización 30 focaliza el haz láser 38 sobre un área objetivo del ojo 12. El objetivo de focalización 30 puede ser acoplado por separado al adaptador 16 de paciente. El objetivo de focalización 30 puede ser cualquier dispositivo óptico adecuado, tal como un objetivo F-Theta. En ciertas realizaciones, el objetivo de focalización 30 es un dispositivo de múltiples lentes compuesto de una pluralidad de lentes refractivas.

El adaptador 16 de paciente conecta con la córnea del ojo 12. El manguito 34 se acopla al objetivo de focalización 30 y retiene el elemento de contacto 32. El elemento de contacto 32 es transparente o traslúcido a la luz láser y tiene una cara de tope 40 que conecta con la córnea y puede nivelar una parte de la córnea. En ciertas realizaciones, la cara de tope 40 es plana y forma un área plana en la córnea. La cara de tope 40 puede estar en un plano x-y, de modo que el área plana esté también en un plano x-y. En otras realizaciones, la cara de tope 40 necesita no ser plana, por ejemplo, puede ser convexa o cóncava.

El ordenador de control 18 controla componentes controlables del dispositivo láser 14 tales como, por ejemplo, la fuente láser 22, el dispositivo 24 de expansión de haz, el dispositivo compensador 25 de dispersión, el escáner 26, y opcionalmente al menos uno de varios espejos ópticos 28, de acuerdo con el programa de control 36. El programa de control 36 contiene código de ordenador que instruye a los componentes controlables para focalizar la radiación láser pulsada en una región del ojo 12 para foto-disrumpir al menos una parte de la región.

Los componentes de escaneado del sistema óptico 10 de escaneado pueden dirigir el haz láser 38 para formar incisiones de cualquier geometría adecuada. Cualquier parte del tejido del ojo 12 puede ser foto-disrumpida. El sistema óptico 10 puede foto-disrumpir una capa de tejido moviendo el foco del haz láser 38 a lo largo de un trayecto de escaneo dado. Cuando el haz láser 38 se desplaza a lo largo del trayecto de escaneo, los pulsos de luz láser crean foto-disrupciones en el tejido del ojo 12. La yuxtaposición de una pluralidad de foto-disrupciones permite crear una incisión de

cualquier geometría deseada en el ojo 12.

El dispositivo compensador 25 de dispersión está dispuesto de tal modo que los pulsos propagados por el haz láser 38 se desplazan a través del dispositivo compensador 25 de dispersión. El dispositivo compensador 25 de dispersión añade cantidades de retardo de grupo y de dispersión de velocidad de grupo a los pulsos que atraviesan el dispositivo compensador 25 de dispersión. Más específicamente, el dispositivo compensador 25 de dispersión introduce cantidades apropiadas de GD y GDD que compensan parcial o totalmente las cantidades introducidas en el resto del dispositivo láser 14 para los pulsos. El dispositivo compensador 25 de dispersión puede añadir adicionalmente cantidades apropiadas de TOD. Cuando salen desde el dispositivo láser 14, los pulsos láser tienen así una cantidad mínima de distorsión relacionada con la dispersión.

En ciertas realizaciones, el dispositivo compensador 25 de dispersión puede tener un único compensador que añade toda la cantidad de dispersión proporcionada por el dispositivo compensador 25 de dispersión. En otras realizaciones, el dispositivo compensador 25 de dispersión puede incluir dos o más compensadores que añaden cantidades separadas de dispersión. En un ejemplo, el dispositivo compensador 25 de dispersión tiene un compensador de volumen y un compensador residual. El compensador de volumen introduce un volumen de la dispersión que es requerida para reducir la distorsión relacionada con la dispersión de los impulsos en la salida del dispositivo láser 14 a un mínimo. La dispersión introducida por el compensador de volumen es espacialmente uniforme, es decir es la misma para todas las posiciones de incidencia de un paquete de ondas del haz láser 38 sobre el compensador de volumen. El compensador residual introduce cantidades residuales de dispersión. La dispersión añadida por el compensador residual es espacialmente no uniforme, es decir es diferente para posiciones diferentes de incidencia de un paquete de ondas del haz láser 38 sobre el compensador residual. En ciertas realizaciones, la dispersión añadida por el compensador residual tiene una simetría de rotación y varía en una dirección radial con respecto a un eje de la simetría.

Se hace referencia a continuación adicionalmente a la fig. 2 que ilustra una realización ejemplar del dispositivo compensador 25 de dispersión. Como se ha mostrado en la fig. 2, el dispositivo compensador 25 de dispersión comprende un espejo 42 dispersivo (con señal de frecuencia pulsada "chirped"), deformable, un dispositivo activador 44, y un compensador de volumen 46. El espejo 42 dispersivo, deformable tiene una superficie reflectante 48 formada por una estructura multicapa de una pluralidad de capas dieléctricas delgadas que tienen índices de refracción que son diferentes de capa a capa. El dispositivo activador 44 está conectado con el ordenador de control 18 y permite mover hacia atrás y hacia delante partes seleccionadas de la superficie reflectante 48 con relación a otras partes de superficie, para cambiar con ello la forma de la superficie reflectante 48. En realizaciones ejemplares, el dispositivo activador 44 puede incluir una pluralidad de miembros de accionamiento controlables individualmente, en donde cada miembro de accionamiento actúa sobre una parte diferente de la superficie reflectante 48. El espejo 42 dispersivo, deformable puede ser de cualquier tipo. En ciertas realizaciones, el espejo 42 puede incluir una superficie reflectante segmentada, en donde cada segmento puede ser movido hacia atrás o hacia delante independientemente de otros segmentos. En otras realizaciones, el espejo puede tener una superficie reflectante continua. Por ejemplo, el espejo 42 puede ser fabricado como un dispositivo MEMS (sistema micro-electromecánico).

El espejo 42 dispersivo, deformable actúa como un compensador residual y compensa variaciones espaciales de la dispersión de velocidad de grupo introducidas en el resto del sistema óptico 10 de escaneo. La estructura multicapa del espejo 42 dispersivo, deformable está diseñada para añadir una dispersión de velocidad de grupo no uniforme espacialmente para pulsos que inciden sobre el espejo 42. La dispersión de velocidad de grupo no uniforme espacialmente del espejo 42 tiene diferentes valores para al menos la GDD y, en ciertas realizaciones, también para la TOD para diferentes posiciones sobre la superficie reflectante 48 del espejo 42. Puede utilizarse el trazado de rayos como un método para determinar el patrón espacial de la dispersión de velocidad de grupo del sistema óptico 10 de escaneo (exclusiva del dispositivo compensador 25 de dispersión). Basado en el patrón de GVD del sistema óptico 10 de escaneo, la estructura multicapa del espejo 42 dispersivo, deformable puede ser diseñada de manera adecuada para eliminar al menos parcialmente variaciones espaciales en el patrón de GVD.

En ciertas realizaciones, la estructura multicapa del espejo 42 dispersivo, deformable está también diseñada para añadir un retardo de grupo no uniforme espacialmente para pulsos que inciden sobre el espejo 42. La distribución espacial del retardo del grupo añadido por la estructura multicapa puede ser ajustada cambiando la forma del espejo 42 deformable. En otras realizaciones, la estructura multicapa del espejo 42 dispersivo, deformable no añade retardo de grupos. En tales realizaciones, la fase relativa de paquetes de onda incidentes en diferentes posiciones sobre la superficie reflectante 48 puede sin embargo ser ajustada cambiando la forma del espejo 42, para introducir por ello un patrón de retardo de grupo no uniforme espacialmente para pulsos reflejados desde el espejo 42.

El compensador 46 de volumen está, por ejemplo, compuesto por un par de espejos dispersivos dispuestos en oposición (no mostrados en detalle). El haz láser 38 entra en el espacio entre los espejos desde un lado, rebota hacia atrás y hacia delante entre los espejos durante un número predeterminado de veces, y a continuación deja el par de espejos por el otro lado. Cada reflexión de un pulso de luz láser desde uno de los espejos del par añade dispersión al pulso, de manera que la dispersión total añadida al pulso por el par de espejos depende del número de rebotes experimentados por el pulso en el par de espejos. Ha de comprenderse que también pueden concebirse de manera similar otras configuraciones del compensador de volumen, por ejemplo, un único espejo dispersivo, un par de prismas, o un par de rejillas. En ciertas realizaciones, tales como donde la dispersión total introducida por el sistema óptico es suficientemente

pequeña, el compensador 46 de volumen puede ser omitido y el espejo 42 dispersivo, deformable puede ser el único compensador para compensar la dispersión del sistema óptico.

Cuando el escáner 26 desvía el haz láser 38, la longitud del trayecto atravesada por un rayo del haz láser 38 en el objetivo de focalización 30 y cualesquiera espacios de aire intermedios pueden variar. La fig. 1 muestra por medio de una línea de trazos un haz láser desviado 38'. Con cantidades variables de desviación del haz láser desviado 38', es decir con valores variables del ángulo de escaneo, el patrón espacial del retardo de grupo introducido para un pulso del haz desviado 38' antes de su salida desde el objetivo de focalización 30 puede cambiar. Para acomodar tales cambios, el programa de control 36 tiene instrucciones para controlar el dispositivo activador 44 para cambiar la forma del espejo 42 deformable de acuerdo con el ángulo de escaneo. Cambiar la forma del espejo 42 deformable tiene el efecto de modificar la relación de fase relativa entre paquetes de onda incidentes en diferentes posiciones sobre la superficie reflectante 48 del espejo 42. Ajustando la forma del espejo 42 de una manera adecuada, las variaciones con el ángulo de escaneo de la distribución espacial del retardo de grupo exhibidas por un pulso del haz desviado 38' en un lado de salida del objetivo de focalización 30 pueden ser reducidas a un mínimo.

La fig. 3 es un ejemplo de un método de escaneo que puede ser realizado utilizando un sistema óptico 10 de escaneo. El método puede ser utilizado para crear una incisión en el ojo 12. En la operación 200, es proporcionado haz 38 de luz láser pulsada. En la operación 210, el haz 38 es desviado transversalmente, es decir paralelo a un plano x-y, a través de un ángulo de escaneo de acuerdo con un programa de control 36, dando como resultado un haz desviado 38'. En la operación 220, el haz desviado 38' es focalizado en un área objetivo del ojo 12 para generar foto-disrupciones basadas en LIOB en el tejido ocular. Basado en el ángulo de escaneo del haz desviado 38', la forma de un espejo 42 dispersivo, deformable es controlada en la operación 230 para tener en cuenta variaciones del patrón espacial del retardo de grupo introducido por un objetivo de focalización 30 para los pulsos del haz desviado 38', cuyas variaciones llegan con diferentes valores del ángulo de escaneo.

REIVINDICACIONES

1. Un sistema óptico (10) de escaneo que comprende:

una fuente óptica (22) que proporciona un haz (38) de luz pulsada de duración de pulso ultracorta;

un deflector para desviar el haz a través de un ángulo de escaneo;

un sistema de lentes que incluye un objetivo de focalización (30) para focalizar el haz desviado;

un espejo (42) deformable;

un dispositivo activador (44) para el espejo; y

un controlador (18) adaptado para controlar el dispositivo activador para cambiar una forma del espejo de acuerdo con el ángulo de escaneo para compensar al menos parcialmente variaciones de la distribución espacial del retardo del grupo del objetivo de focalización en función de diferentes ángulos de escaneo.

2. El sistema óptico de escaneo de la reivindicación 1, en donde el espejo deformable no es dispersivo.

3. El sistema óptico de escaneado de la reivindicación 2, que incluye un dispositivo compensador de dispersión para reducir la distorsión relacionada con la dispersión de un pulso del haz por el sistema de lentes.

4. El sistema óptico de escaneado de la reivindicación 1, en donde el espejo (42) deformable es un espejo dispersivo para reducir la distorsión relacionada con la dispersión de un pulso del haz por el sistema de lentes y tiene una superficie reflectante (48) formada por una estructura multicapa de una pluralidad de capas dieléctricas delgadas que tienen índices de refracción que son diferentes de capa a capa.

5. El sistema óptico de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, en donde la fuente óptica (22) es una fuente láser y la luz tiene una longitud de onda central adecuada para crear incisiones en el tejido ocular humano.

6. Un método de escaneo que comprende:

proporcionar un haz de luz pulsada de duración de pulso ultracorta;

desviar el haz a través de un ángulo de escaneo;

focalizar el haz desviado con un objetivo de focalización (30);

proporcionar un espejo (42) deformable; y

controlar la forma del espejo deformable de acuerdo con el ángulo de escaneo para compensar al menos parcialmente variaciones de la distribución espacial de un retardo de grupo del objetivo de focalización en función de diferentes ángulos de escaneo.

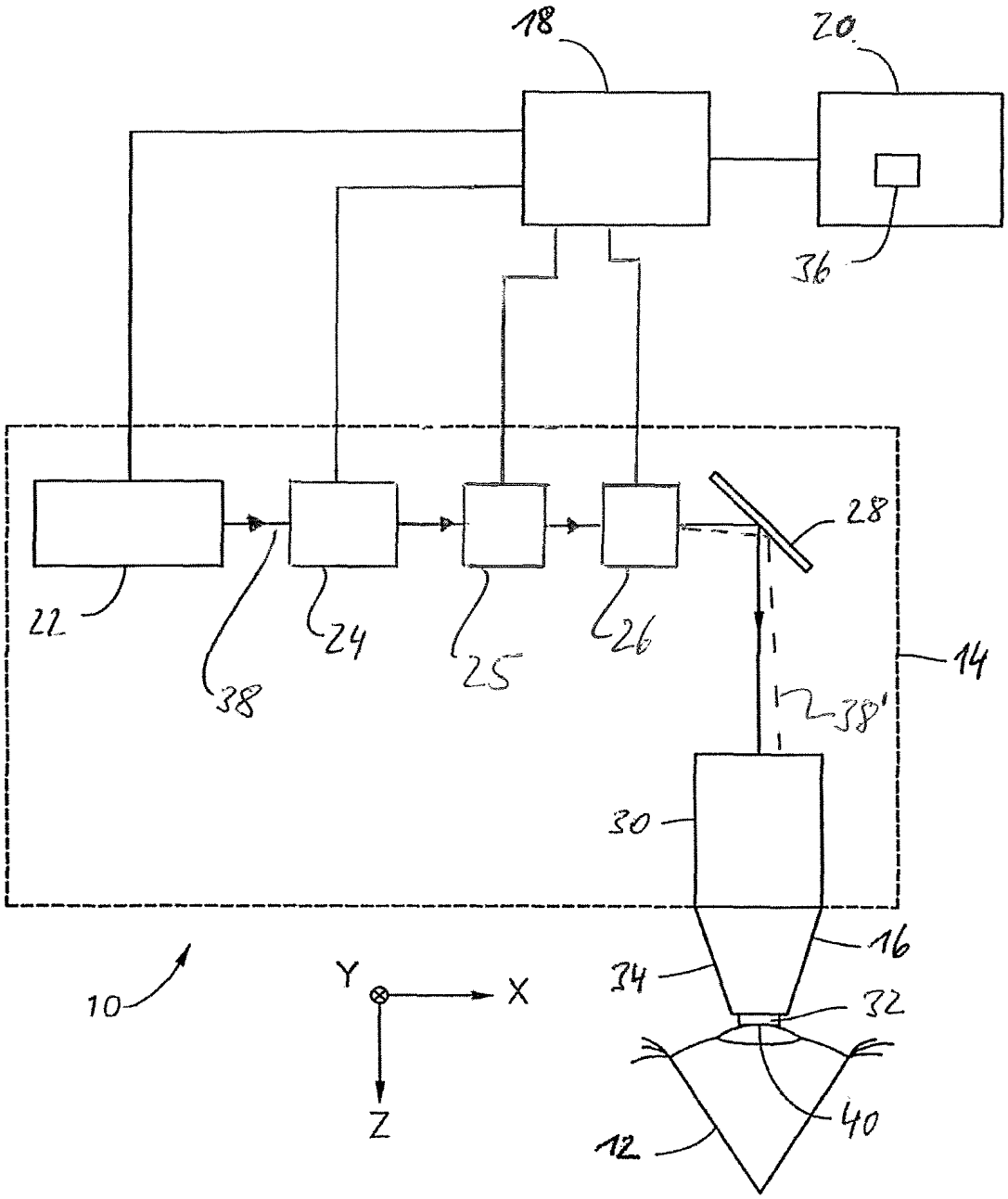


Fig. 1

Fig. 2

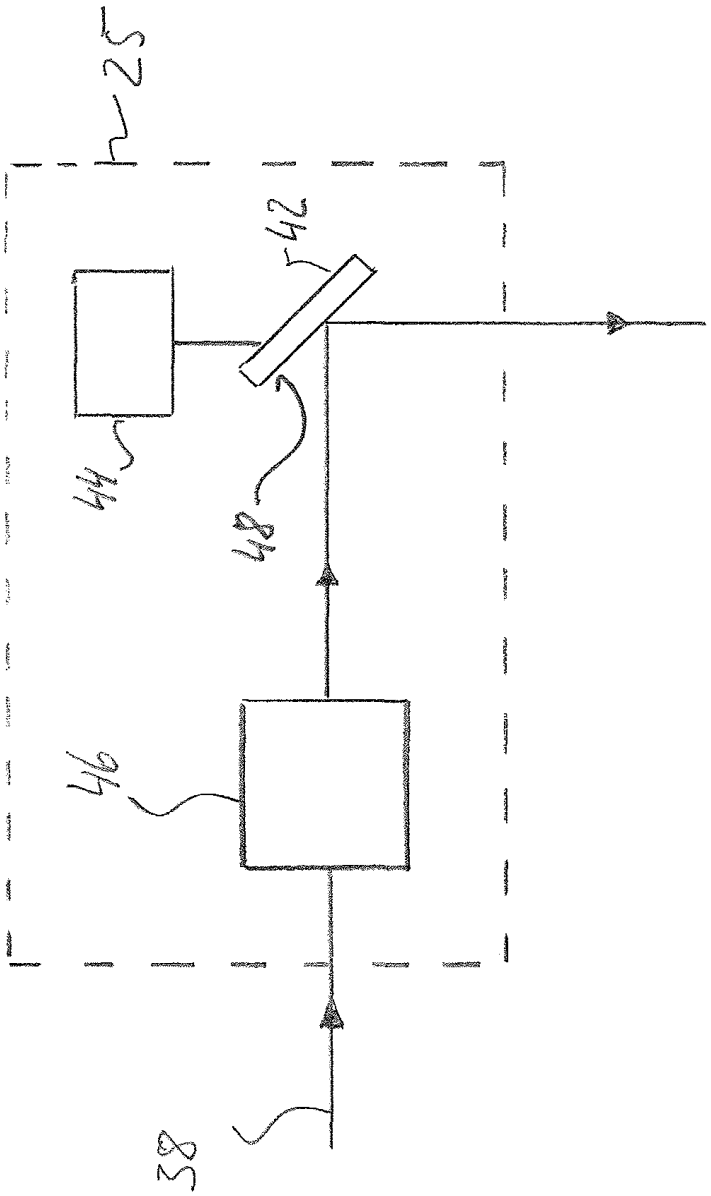
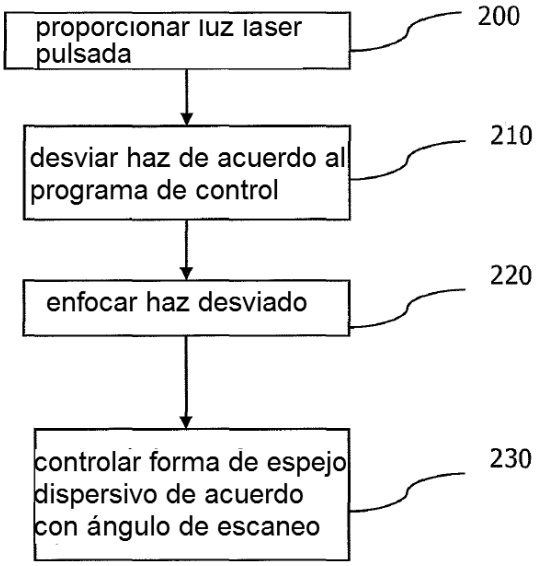


Fig. 3


proporcionar luz laser pulsada
200
desviar haz de acuerdo al programa de control
210
enfocar haz desviado
220
controlar forma de espejo dispersivo de acuerdo con ángulo de escaneo
230