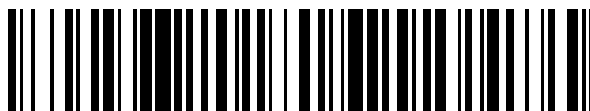


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 539 286**

51 Int. Cl.:

A61B 3/00 (2006.01)

A61B 19/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **03.03.2008** **E 08826304 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **22.04.2015** **EP 2131720**

54 Título: **Endo-iluminador oftálmico con lente híbrida**

30 Prioridad:

09.04.2007 US 697819

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
29.06.2015

73 Titular/es:

NOVARTIS AG (100.0%)
Lichtstrasse 35
4056 Basel, CH

72 Inventor/es:

SMITH, RONALD T.

74 Agente/Representante:

CURELL AGUILÁ, Mireia

ES 2 539 286 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

Endoilluminador oftálmico con lente híbrida.

5 Antecedentes de la invención

La presente invención se refiere a un iluminador para su utilización en cirugía oftálmica y más en particular, a un endoilluminador oftálmico que utiliza una lente esférica híbrida para producir una luz adecuada para iluminar el interior de un ojo.

A nivel anatómico, el ojo se divide en dos partes diferenciadas: el segmento anterior y el segmento posterior. El segmento anterior incluye el cristalino y se extiende desde la capa más externa de la córnea (el endotelio corneal) hasta la parte posterior de la cápsula del cristalino. El segmento posterior incluye la parte del ojo por detrás de la cápsula del cristalino. El segmento posterior se extiende desde la cara hialoidea anterior hasta la retina, con la que está en contacto directo la cara hialoidea posterior del cuerpo vítreo. El segmento posterior es mucho mayor que el segmento anterior.

El segmento posterior incluye el cuerpo vítreo, una sustancia similar a un gel, transparente e incolora. Constituye aproximadamente dos tercios del volumen del ojo, dándole forma y conformándolo antes del nacimiento. Se compone del 1% de colágeno e hialuronato de sodio y el 99% de agua. El límite anterior del cuerpo vítreo es la cara hialoidea anterior, que está en contacto con la cápsula posterior del cristalino, mientras que la cara hialoidea posterior forma su límite posterior, y está en contacto con la retina. El cuerpo vítreo no fluye libremente como el humor acuoso y presenta sitios de unión anatómicos normales. Uno de estos sitios es la base del cuerpo vítreo, que es una banda de 3-4 mm de ancho que recubre la *ora serrata*. La cabeza del nervio óptico, la mácula lútea y la arcada vascular también son sitios de unión. Las principales funciones del cuerpo vítreo son mantener la retina en su lugar, mantener la integridad y la forma de globo, absorber los impactos debidos al movimiento y proporcionar soporte para el cristalino de manera posterior. En contraposición al humor acuoso, el cuerpo vítreo no se repone de manera continua. El cuerpo vítreo se vuelve más fluido con la edad en un proceso conocido como sinéresis. La sinéresis da como resultado la contracción del cuerpo vítreo, que puede ejercer presión o tracción sobre sus sitios de unión normales. Si se aplica suficiente tracción, el cuerpo vítreo puede tirar él mismo de su unión retiniana y crear un desgarro u orificio retiniano.

Diversos procedimientos quirúrgicos, denominados procedimientos vitreorretinianos, se realizan comúnmente en el segmento posterior del ojo. Los procedimientos vitreorretinianos son apropiados para tratar muchos estados graves del segmento posterior. Los procedimientos vitreorretinianos tratan estados tales como degeneración macular asociada a la edad (ADM), retinopatía diabética y hemorragia vítea diabética, orificio macular, desprendimiento de retina, membrana epirretiniana, retinitis por CMV, y muchos otros estados oftálmicos.

Un cirujano realiza los procedimientos vitreorretinianos con un microscopio y lentes especiales diseñadas para proporcionar una imagen clara del segmento posterior. Se realizan varias incisiones diminutas de sólo un milímetro o así de longitud en la esclerótica, en la *pars plana*. El cirujano inserta instrumentos microquirúrgicos a través de las incisiones, tales como una fuente de luz de fibra óptica para iluminar el interior del ojo, una vía de infusión para mantener la forma del ojo durante la cirugía, e instrumentos para cortar y retirar el cuerpo vítreo.

Durante tales procedimientos quirúrgicos, es importante la iluminación apropiada del interior del ojo. Normalmente, se inserta una fibra óptica delgada en el interior del ojo para proporcionar la iluminación. A menudo se utiliza una fuente de luz, tal como una lámpara de haluro metálico, una lámpara de halógeno, una lámpara de xenón o una lámpara de vapor de mercurio para producir la luz portada por la fibra óptica al interior del ojo. La luz atraviesa varios elementos ópticos (normalmente lentes, espejos y atenuadores) y se lanza a la fibra óptica que porta la luz al interior del ojo. La calidad de esta luz depende de varios factores incluyendo los tipos de elementos ópticos seleccionados.

Tal como se sabe comúnmente, las superficies de refracción de las lentes producen aberraciones cromáticas. El ángulo de salida de un rayo de luz que atraviesa una superficie de refracción está correlacionado de manera negativa con la longitud de onda, cuanto mayor es la longitud de onda de la luz, menor es el ángulo de salida resultante con relación al ángulo de incidencia. De esta manera, las lentes utilizadas en endoilluminadores oftálmicos tradicionales producen aberraciones cromáticas que dan como resultado no uniformidades de color y brillo en la luz emitida al interior del ojo. Además, estas aberraciones también reducen ligeramente el flujo luminoso de un haz de salida y aumentan el diámetro de haz, reduciendo potencialmente ambos la calidad de la luz emitida al interior del ojo desde la fibra óptica. Lo que es necesario es un endoilluminador oftálmico mejorado que minimice las no uniformidades asociadas con lentes de refracción tradicionales.

El estado de la técnica está representado por el documento WO-A-2005/016118 (Auld, *et al*) y Dubik B. *et al*, "Hybrid lens with corrected sphero-chromatic aberration" OPTICS AND LASER TECHNOLOGY, Elsevier Science Publishers BV, Ámsterdam, NL, vol. 27, n.º 5, 1 de octubre de 1995, páginas 315-319, ISSN: 0030-3992.

Sumario de la invención

La presente invención proporciona un endoiluminador oftálmico según las reivindicaciones mostradas más adelante.

- 5 En una forma de realización acorde con los principios de la presente invención, la presente invención es un endoiluminador oftálmico que presenta una fuente de luz, una lente de colimación para colimar la luz producida por la fuente de luz, una lente de condensación híbrida para enfocar la luz y una fibra óptica para llevar la luz enfocada al interior de un ojo.
- 10 En otra forma de realización acorde con los principios de la presente invención, la presente invención es un endoiluminador oftálmico que presenta una fuente de luz, una lente de colimación híbrida para colimar la luz producida por la fuente de luz, una lente de condensación para enfocar la luz y una fibra óptica para llevar la luz enfocada al interior de un ojo.
- 15 La lente híbrida presenta una superficie de refracción para refractar un haz de luz y una superficie de difracción para difractar el haz de luz. La superficie de difracción está diseñada para compensar la aberración cromática provocada por la superficie de refracción.

20 Ha de entenderse que tanto la descripción general anterior como la siguiente descripción detallada son a título de ejemplo y explicativas únicamente y pretenden proporcionar una explicación adicional de la invención tal como se reivindica. La siguiente descripción, así como la práctica de la invención, expone y sugiere ventajas y fines adicionales de la invención.

Breve descripción de los dibujos

- 25 Los dibujos adjuntos, que se incorporan en y forman parte de esta memoria, ilustran varias formas de forma de realización de la invención y junto con la descripción, sirven para explicar los principios de la invención.
- 30 La figura 1 es una vista desplegada de un endoiluminador oftálmico según una forma de realización de la presente invención.
- La figura 2A es una vista del patrón de rayos de luz de una lente de condensación tradicional.
- 35 Las figuras 2B a 2F son vistas en despiece ordenado de diferentes patrones de rayos de luz de una lente de condensación tradicional.
- Las figuras 3A a 3C representan una lente de condensación según una forma de realización de la presente invención.
- 40 La figura 4 es una vista del patrón de rayos de luz de una lente de colimación convencional.
- Las figuras 5A a 5B representan una lente de colimación según una forma de realización de la presente invención.
- 45 La figura 6 es una vista parcial de un endoiluminador oftálmico diferente.
- La figura 7 es una vista parcial de un endoiluminador oftálmico según una forma de realización de la presente invención.
- 50 La figura 8 es una vista de una sonda de endoiluminador tal como se utiliza en un ojo según una forma de realización de la presente invención.

Descripción detallada de las formas de realización preferidas

55 A continuación se hace referencia en detalle a las formas de realización a título de ejemplo de la invención, de las que se ilustran ejemplos en los dibujos adjuntos. Siempre que es posible, se utilizan los mismos números de referencia en la totalidad de los dibujos para referirse a partes iguales o similares.

60 La figura 1 es una vista desplegada de un endoiluminador oftálmico según una forma de realización de la presente invención. En la figura 1, el endoiluminador incluye la fuente 105 de luz, la lente de colimación 110, el espejo frío 115 opcional, el espejo caliente 116 opcional, el atenuador 120, la lente de condensación 125, el conector 150, la fibra óptica 155, la pieza 160 de mano y la sonda 165.

65 La luz procedente de la fuente 105 de luz se colima por la lente de colimación 110. La luz colimada se refleja y se filtra por el espejo frío 115 opcional y/o se transmite y se filtra por el espejo caliente 116 opcional. Se atenúa el haz resultante por el atenuador 120 y se enfoca por la lente de condensación 125. El haz enfocado se dirige a través del conector 150 y la fibra óptica 155 hasta la sonda 165 donde ilumina el interior del ojo.

La fuente 105 de luz es normalmente una lámpara, tal como una lámpara de vapor de mercurio, una lámpara de xenón, una lámpara de haluro metálico o una lámpara de halógeno. La fuente 105 de luz se hace funcionar en o cerca de la máxima potencia para producir una salida de luz relativamente estable y constante. En una forma de realización de la presente invención, la fuente 105 de luz es una lámpara de xenón con una longitud de arco de aproximadamente 0,18 mm. Otras formas de realización de la presente invención utilizan otras fuentes de luz tales como diodos emisores de luz (LED). Pueden hacerse funcionar uno o más LED para producir una salida de luz estable y constante. Tal como se sabe, existen muchos tipos de LED con diferentes potencias nominales y salidas de luz que pueden seleccionarse como la fuente 105 de luz.

La lente de colimación 110 está configurada para colimar la luz producida por la fuente 105 de luz. Tal como se sabe comúnmente, la colimación de luz implica la alineación de los rayos de luz. La luz colimada es luz cuyos rayos son paralelos con un frente de onda plano. En una forma de realización de la presente invención, la lente de colimación 110 es una lente híbrida tal como se describe en la figura 4.

El espejo frío 115 opcional es un reflector dicróico que refleja luz de longitud de onda visible y sólo transmite luz infrarroja y ultravioleta para producir un haz filtrado de rayos infrarrojos y ultravioletas perjudiciales. El espejo caliente 116 opcional refleja luz infrarroja de longitud de onda larga y luz ultravioleta de longitud de onda corta a la vez que transmite luz visible. El cristalino natural del ojo filtra la luz que entra en el ojo. En particular, el cristalino natural absorbe luz azul y ultravioleta que pueden dañar la retina. El proporcionar luz del intervalo apropiado de longitudes de onda de luz visible a la vez que se filtran longitudes de onda cortas y largas perjudiciales puede reducir enormemente el riesgo de daño de la retina a través de peligro afáquico, daño retiniano fotoquímico por luz azul y daño por calentamiento con infrarrojos, y riesgos de toxicidad lumínica similares. Normalmente, una luz en el intervalo de aproximadamente 430 a 700 nanómetros es preferible para reducir los riesgos de estos peligros. El espejo frío 115 opcional y el espejo caliente 116 opcional se seleccionan para permitir que se emita luz de una longitud de onda adecuada al interior de un ojo. También pueden emplearse otros filtros y/o divisores de haz dicróicos para producir una luz en este intervalo de longitud de onda adecuado. Por ejemplo, también pueden utilizarse espejos holográficos para filtrar la luz.

El atenuador 120 atenúa o disminuye la intensidad del haz de luz. Puede utilizarse cualquier número de atenuadores diferentes. Por ejemplo, pueden utilizarse rejillas mecánicas, mecanismos de apertura variable de cámaras o filtros de densidad neutra. También puede utilizarse un atenuador de disco giratorio de cuña variable.

La lente de condensación 125 enfoca el haz de luz atenuada de modo que pueda lanzarse a una fibra óptica de pequeño diámetro. La lente de condensación 125 es una lente de configuración adecuada para el sistema. La lente de condensación 125 está diseñada normalmente de modo que el haz de luz enfocado resultante pueda lanzarse de manera adecuada a y transmitirse por una fibra óptica. Tal como se sabe comúnmente, una lente de condensación puede ser una lente biconvexa o plano-convexa esférica o asférica. En una lente asférica plano-convexa, una superficie es plana y la otra superficie es convexa con una superficie asférica precisa para enfocar la luz en un punto de diámetro mínimo. En una forma de realización de la presente invención, la lente de condensación 125 es una lente híbrida tal como se describe en la figura 3.

El endoiluminador que manipula el cirujano oftálmico incluye el conector 150, la fibra óptica 155, la pieza 160 de mano y la sonda 165. El conector 150 está diseñado para conectar la fibra óptica 155 a una consola principal (no mostrada) que contiene la fuente 105 de luz. El conector 150 alinea apropiadamente la fibra óptica 155 con el haz de luz que va a transmitirse al interior del ojo. La fibra óptica 155 es normalmente una fibra de pequeño diámetro que puede ser o no de sección decreciente. La pieza 160 de mano la sujeta el cirujano y permite la manipulación de la sonda 165 en el ojo. La sonda 165 se inserta en el interior del ojo y porta la fibra óptica 155 que termina en el extremo de la sonda 165. La sonda 165 proporciona por tanto iluminación de la fibra óptica 155 en el ojo.

La figura 2A es una vista del patrón de rayos de luz de un par de lente de colimación/lente de condensación convencional. En la figura 2A, la lente de condensación 225 es una lente asférica de refracción, tal como una lente asférica de refracción plano-convexa disponible comúnmente. El ángulo de los rayos de luz refractados por la lente de condensación 225 es una función de la longitud de onda de esos rayos de luz. Una longitud de onda mayor produce un menor ángulo de curvatura. De esta manera, la luz roja presenta un menor ángulo de curvatura que la luz verde, que a su vez presenta un menor ángulo de curvatura que la luz azul. Esto da como resultado aberración cromática en el haz de luz portado por la fibra óptica 205. En las figuras 2A a 2F, la luz roja se representa mediante las líneas de trazos, la luz verde mediante las líneas de puntos y la luz azul mediante las líneas continuas.

La lente de condensación 225 lanza un haz de luz en la fibra óptica 205. En la figura 2A, los rayos de luz se representan mediante las líneas que convergen en el recuadro 210. Las figuras 2B a 2F son vistas en despiece ordenado de diferentes patrones de rayos de luz de una lente de condensación tradicional tal como se representa en el recuadro 210 de la figura 2A. La figura 2B representa luz azul; la figura 2C representa luz verde; la figura 2D representa luz roja; la figura 2E representa una combinación de luz azul, verde y roja; y la figura 2F representa una combinación de luz azul, verde y roja en la que la fibra óptica 205 está desalineada con el haz de luz.

La figura 2B representa rayos de luz azul que se han refractado por la lente de condensación 225. Puesto que la luz azul presenta una longitud de onda que es menor que la de la luz verde y roja, el ángulo de curvatura es mayor que el de la luz verde y roja. En la figura 2B, los rayos de luz azul convergen en un punto sobre el lado de la lente de condensación de la fibra óptica 205. De esta manera, los rayos de luz azul comienzan a divergir antes de incidir contra el extremo de la fibra óptica 205.

La figura 2C representa rayos de luz verde que se han refractado por la lente de condensación 225. Puesto que la luz verde presenta una longitud de onda que es menor que la de la luz roja y mayor que la de la luz azul, el ángulo de curvatura está entre el de la luz verde y roja. En otras palabras, el ángulo de curvatura de la luz verde refractada por la lente de condensación 225 es intermedio. En la figura 2C, los rayos de luz verde convergen en un punto muy cerca de la superficie de la fibra óptica 205. De esta manera, los rayos de luz verde se enfocan en el extremo de la fibra óptica 205.

La figura 2D representa rayos de luz roja que se han refractado por la lente de condensación 225. Puesto que la luz roja presenta una longitud de onda que es mayor que la de la luz verde y azul, el ángulo de curvatura es menor que el de la luz verde y azul. En la figura 2C, los rayos de luz roja convergen en un punto dentro de la fibra óptica 205. De esta manera, los rayos de luz roja no han convergido antes de incidir contra el extremo de la fibra óptica 205.

La figura 2E representa un haz de luz compuesto que se constituido por los rayos de luz azul, verde y roja representados en las figuras 2B a 2D. La cara de la fibra óptica 205 recibe el haz de combinación que presenta un diámetro de haz de "a." En este caso, el diámetro de haz "a" es relativamente grande, de aproximadamente 657 micrómetros para un iluminador convencional que utiliza una lámpara de arco de xenón de alta luminancia. Esto requiere una fibra con un gran diámetro proximal para garantizar una alta eficiencia de acoplamiento de la luz en la fibra. Además, la transmitancia frente al ángulo de incidencia en una fibra óptica es generalmente una función compleja de la posición espacial de la luz en la abertura de entrada proximal de fibra. En el patrón de luz enfocada de la figura 2E, resulta evidente que la distribución de ángulos de rayo frente a la posición espacial en la abertura de entrada de fibra depende fuertemente de la longitud de onda. Como resultado, la transmitancia frente al ángulo de salida de la fibra también depende de la longitud de onda. Esto puede dar como resultado no uniformidades angulares de color y brillo en la luz emitida desde el extremo distal de la fibra óptica (la luz emitida al interior de un ojo).

Otro problema asociado con un diámetro de haz relativamente grande se representa en la figura 2F en la que el haz de luz lanzado a la fibra óptica de sección decreciente 205 está desalineado lateralmente con esa fibra. En tal caso, no todo el contenido de luz del haz de luz lo porta la fibra óptica. Además, resulta evidente a partir de la figura 2F que la parte de luz que se separa espacialmente por la abertura de entrada de fibra depende de la longitud de onda y el ángulo. Esto contribuye además a las no uniformidades angulares de color y brillo en la luz emitida desde el extremo distal de la fibra óptica (la luz emitida al interior de un ojo).

Las figuras 3A a 3C representan una lente de condensación según una forma de realización de la presente invención. La lente de condensación híbrida 310 presenta superficies tanto de refracción como de difracción (lente asférica híbrida de refracción/difracción). La lente de condensación híbrida 310 presenta una superficie convexa asférica de refracción 315 y una superficie plana de difracción 320. En la figura 3B, se muestra más claramente la estructura de la superficie de difracción. En la figura 3B, la superficie de difracción consiste en pequeñas facetas a modo de dientes similares a pero mucho más pequeñas que las que se encuentra en una lente de Fresnel. Esta superficie de difracción es también como una red de difracción glaseada en la superficie plana 320 de la lente de condensación híbrida 310. En otras formas de realización acordes con los principios de la presente invención, la lente de condensación de refracción 310 y la superficie plana de difracción pueden implementarse en dos componentes independientes.

La lente de condensación híbrida 310 tanto refracta como difracta el haz de luz que la atraviesa. Cuando la superficie de difracción 320 se ilumina con un haz de luz blanca convergente, la superficie de difracción difracta el haz hacia un foco ligeramente más próximo a la superficie de difracción que el haz incidente. La superficie de difracción 320 también presenta dispersión cromática porque la luz de longitud de onda más larga se curva más. La dispersión cromática desde la superficie de difracción 320 es en el sentido opuesto a la aberración cromática de la lente de refracción asférica 315. Una superficie de difracción 320 puede estar diseñada para difractar casi el 100% de la luz blanca incidente en la dirección difractada principal (es decir, orden +1). En otras palabras, la aberración cromática producida por la superficie de refracción 315 puede cancelarse sustancialmente por la dispersión cromática de la superficie de difracción 320.

En la figura 3C, se muestra el haz de luz resultante producido por la lente de condensación híbrida 310. Tal como se muestra, el diámetro "a" del haz de luz resultante es relativamente pequeño, de aproximadamente 103 micrómetros en comparación con aproximadamente 657 micrómetros en las figuras 2A a 2F. Este haz de luz más enfocado permite elecciones de diseño que incluyen una óptica más compacta y una fibra óptica 305 más pequeña. Además, el haz de luz presenta no uniformidades de color y brillo reducidas, una salida de fibra más plana de manera espectral y un aumento menor del flujo luminoso.

La figura 4 es una vista del patrón de rayos de luz de una lente de colimación convencional. En la figura 4, la luz roja se representa mediante las líneas de trazos, la luz verde se representa mediante las líneas de puntos y la luz azul se representa mediante las líneas continuas. La fuente 105 de luz se muestra emitiendo luz blanca (dos líneas continuas, gruesas). Tal como se muestra, la luz blanca emitida por la fuente de luz se refracta por la primera superficie de refracción 415 de la lente de colimación 410 convencional. A medida que el rayo de luz blanca pasa por la primera superficie de refracción 415, se divide en un patrón de colores típico indicado mediante los rayos de luz roja, verde y azul. La luz se refracta adicionalmente por la segunda superficie de refracción 420 de la lente de colimación 410 convencional. Tal como se indicó previamente, una mayor longitud de onda produce un menor ángulo de curvatura. De esta manera, la luz roja presenta un menor ángulo de curvatura que la luz verde, que a su vez presenta un menor ángulo de curvatura que la luz azul. Esto da como resultado la aberración cromática representada en la figura 4. En la figura 4, el haz de luz roja resultante presenta un mayor diámetro que el haz de luz verde resultante que a su vez presenta un mayor diámetro que el haz de luz azul resultante. Además, el haz rojo diverge del centro de la lente de colimación convencional, y el haz azul converge hacia el centro de la lente de colimación convencional.

Las figuras 5A y 5B representan una lente de colimación según otra forma de realización de la presente invención. En la figura 5A, la luz roja se representa mediante las líneas de trazos, la luz verde se representa mediante las líneas de puntos, y la luz azul se representa mediante las líneas continuas. La fuente 105 de luz se muestra emitiendo luz blanca (dos líneas continuas, gruesas). Como la lente de condensación híbrida 310 de la figura 3, la lente de colimación híbrida 510 presenta superficies tanto de refracción como de difracción. La lente de colimación híbrida 510 presenta una superficie plana de difracción 515 y una superficie convexa esférica de refracción 520. En la figura 5B, se muestra más claramente la estructura de la superficie de difracción. En la figura 5B, la superficie de difracción consiste en pequeñas facetas a modo de dientes similares a pero mucho más pequeñas que las que se encuentran en una lente de Fresnel. Esta superficie de difracción también es como una red de difracción glaseada en la superficie plana 515 de la lente de colimación híbrida 510. En una variante que se desvía de la presente invención, la lente de colimación de refracción 510 y la superficie plana de difracción pueden implementarse en dos componentes independientes.

La lente de colimación híbrida 510 funciona de manera similar a la de la lente de condensación híbrida 310 de la figura 3A. La luz procedente de la fuente 105 de luz incide contra la superficie de difracción 515 de la lente de colimación híbrida 510. La superficie de difracción 515 produce dispersión cromática de la luz desde la fuente 105 de luz. La superficie de refracción 520 produce aberración cromática de la misma luz. La dispersión cromática de la superficie de difracción 515 puede cancelarse sustancialmente por la aberración cromática producida por la superficie de refracción 520.

En la figura 5A, la lente de colimación híbrida 510 compensa los distintos diámetros de los haces de luz de diferente color. Tal como se muestra, el ancho del haz azul es mayor que el ancho del haz verde que a su vez es mayor que el ancho del haz rojo. De esta manera, la utilización de la lente de colimación híbrida 510 compensa el problema del diámetro de haz provocado por una lente de colimación convencional. En la figura 4, el haz que sale de la lente de colimación 410 presenta diferentes diámetros de haz para los haces de luz de diferente color. El ancho del haz rojo es el más grande, el ancho del haz verde es intermedio y el ancho del haz azul es el más estrecho. Además, como el haz se propaga alejándose de la lente de colimación, disminuye el diámetro de haz azul convergente, el diámetro de haz verde colimado permanece fijo y aumenta el diámetro de haz divergente. Por tanto, aumenta la disparidad en los diámetros de haz entre los haces azul, verde y rojo a medida que aumenta la distancia desde la lente de colimación 410. En el momento en que el haz alcanza la lente de condensación 310, en muchos casos la disparidad en el diámetro de haz es grande. Esto puede dar como resultado no uniformidades angulares de color y brillo en el haz emitido desde la sonda de fibra óptica 165.

En la figura 5A, el haz que sale de la lente de colimación híbrida 510 presenta diferentes diámetros de haz para los haces de luz de diferente color de manera opuesta a la de la lente de colimación 410. El ancho del haz azul es el más grande, el ancho del haz verde es intermedio y el ancho del haz rojo es el más estrecho. La disparidad en el diámetro de haz en la superficie de salida de la lente de colimación híbrida 510 es de magnitud similar pero de sentido opuesto a la disparidad en el diámetro de haz en la superficie de salida de la lente de colimación 410. Sin embargo, el haz que sale de la lente de colimación híbrida 510 se colima para todos los colores de luz. Por tanto, no aumenta la disparidad en el diámetro de haz con el color a medida que aumenta la distancia desde la lente de colimación híbrida. Por tanto, la disparidad con el color en el diámetro de haz en la lente de condensación 310 del haz que sale de la lente de colimación híbrida 510 es mucho menor que la disparidad con el color en el diámetro de haz en la lente de condensación 310 del haz que sale de la lente de colimación 410. Esto da como resultado un posible aumento de la uniformidad angular de color y brillo del haz emitido desde la sonda de fibra óptica 165.

La red de difracción puede seleccionarse para proporcionar cualquier tipo de compensación. Por ejemplo, cuando se utiliza una lente de colimación híbrida junto con una lente de condensación convencional, la red de difracción en la lente de colimación híbrida puede estar diseñada para compensar la superficie de refracción en la lente de colimación híbrida y las dos superficies de refracción en la lente de condensación. Cuando se utiliza una lente de colimación híbrida junto con una lente de condensación híbrida, la red de difracción en la lente de colimación híbrida

puede estar diseñada para compensar la superficie de refracción en la lente de colimación híbrida y la superficie de refracción en la lente de condensación. Este es el caso mostrado en la figura 5A.

5 Aunque las lentes híbridas de las figuras 3 y 5 se representan como esféricas, pueden ser de cualquier configuración adecuada. Asimismo, aunque las superficies de difracción 315 y 515 se representan como planas, pueden ser no planas o esféricas. Pueden utilizarse diferentes superficies de difracción 315, 515 con diferentes superficies de refracción para disminuir la aberración cromática y otras no uniformidades angulares.

10 Además, la lente de colimación 110 puede ser una lente híbrida mientras que la lente de condensación 125 puede ser una lente de refracción. En otra forma de realización de la presente invención, la lente de colimación 110 puede ser una lente de refracción mientras que la lente de condensación 125 puede ser una lente híbrida. En una variante que diverge de la presente invención, tanto la lente de colimación 110 como la lente de condensación 125 son lentes híbridas.

15 La figura 6 es una vista parcial de un endoiluminador oftálmico diferente. En la figura 6, tanto la lente de colimación 405 como la lente de condensación 310 son lentes híbridas tal como se describe en las figuras 3 y 4. También se representan un filtro, tal como el espejo frío 115 y un atenuador 120. Los rayos de luz se representan mediante las líneas de trazos. La lente de condensación híbrida 310 está compuesta preferentemente por plástico que puede moldearse fácilmente para formar la superficie de difracción 320. Debido a que la lente de colimación híbrida 405
20 está ubicada cerca de la fuente de luz, está compuesta preferiblemente por vidrio que puede soportar mejor el calor. La lente de colimación híbrida 405 colima el haz de luz con un mínimo de aberración cromática y la lente de condensación híbrida 310 enfoca el haz de luz colimada con un mínimo de aberración cromática.

25 La figura 7 es una vista parcial de un endoiluminador oftálmico según otra forma de realización de la presente invención. En la figura 7, la lente de colimación 770 es una lente de refracción convencional, y la lente de condensación 310 es una lente híbrida tal como se describe en las figuras 3A a 3C. También se representan un filtro, tal como el espejo frío 115 y un atenuador 120. Los rayos de luz se representan mediante las líneas de trazos. La lente de condensación híbrida 310 está compuesta por plástico que puede moldearse fácilmente para formar la superficie de difracción 320. La lente de condensación híbrida puede estar diseñada para compensar las otras tres
30 superficies de refracción, dos superficies de refracción en la lente de colimación 770 y una superficie de refracción en la lente de condensación híbrida 310. El resultado es un haz de luz estrechamente enfocado con no uniformidades de color y brillo enormemente reducidas y un flujo luminoso ligeramente aumentado. En una forma de realización acorde con los principios de la presente invención y que utiliza una lámpara de arco de xenón de alta luminancia, el diámetro enfocado del haz es de aproximadamente 100 micrómetros, su cromaticidad CIE 1931 (x,y) es de aproximadamente (0,316, 0,354), y su suma afáquica normalizada a 10 lúmenes es de aproximadamente 6,37 milivatios.
35

La figura 8 es una vista en sección transversal de un endoiluminador oftálmico ubicado en un ojo según una forma de realización de la presente invención. La figura 8 representa la pieza 160 de mano y la sonda 165 en utilización.
40 La sonda 165 se inserta en el interior del ojo 700 a través de una incisión en la región de la *pars plana*. La sonda 165 ilumina el interior o la región 705 vítrea del ojo 700. En esta configuración, la sonda 165 puede utilizarse para iluminar el interior o la región 705 vítrea del ojo 700 durante la cirugía vitreoretiniana.

45 A partir de lo anterior, puede apreciarse que la presente invención proporciona un sistema mejorado para iluminar el interior del ojo. La utilización de una lente híbrida en un endoiluminador oftálmico mejorado reduce enormemente la no uniformidad angular de color y brillo en el haz de luz emitido al interior del ojo. La superficie de difracción en la lente híbrida compensa las otras superficies de refracción, reduciendo así las no uniformidades angulares de color y brillo.

50 Se pretende que la descripción y los ejemplos se consideren únicamente a título de ejemplo, indicándose el verdadero alcance de la invención por las reivindicaciones.

REIVINDICACIONES

1. Endoiluminador oftálmico, que comprende:
 - 5 una fuente (105) de luz para producir luz;
una lente de colimación (510) para colimar la luz producida por la fuente de luz, que presenta una superficie de refracción (520);
 - 10 una lente de condensación (310) para enfocar la luz, que presenta una superficie de refracción (315); y
una fibra óptica (155) para llevar la luz enfocada al interior de un ojo,
caracterizado por que una de entre la lente de colimación (510) y la lente de condensación (310) es una lente híbrida, que presenta una superficie de difracción y una superficie de refracción;
 - 15 en el que, cuando la lente de colimación es la lente híbrida, su superficie de difracción está adaptada para compensar sustancialmente las aberraciones cromáticas provocadas por su propia superficie de refracción y por la lente de condensación (310);
 - 20 en el que, cuando la lente de condensación es la lente híbrida, su superficie de difracción está adaptada para compensar sustancialmente las aberraciones cromáticas provocadas por su propia superficie de refracción y por la lente de colimación (510).
- 25 2. Endoiluminador según la reivindicación 1, que comprende además:
un atenuador (120) para atenuar la luz.
- 30 3. Endoiluminador según la reivindicación 1, que comprende además:
un filtro para filtrar la luz.
4. Endoiluminador según la reivindicación 3, en el que el filtro comprende un espejo frío (115).
- 35 5. Endoiluminador según la reivindicación 3, en el que el filtro comprende un espejo caliente (116).
6. Endoiluminador según la reivindicación 1, en el que la superficie de difracción es no plana.
- 40 7. Endoiluminador según la reivindicación 1, en el que la lente híbrida (310) presenta una superficie de refracción convexa esférica (315) y una superficie de difracción plana (320).
8. Endoiluminador según la reivindicación 1, en el que, cuando la lente híbrida (310) es una lente de condensación, está realizada a partir de un material de plástico.
- 45 9. Endoiluminador según la reivindicación 1, que comprende además:
un conector (150) para alinear la luz atenuada con la fibra óptica (155);
una pieza (160) de mano que lleva la fibra óptica, pudiendo la pieza de mano ser manipulada en la mano; y
- 50 una sonda (165) para llevar la fibra óptica al interior del ojo.
10. Endoiluminador según la reivindicación 1, en el que un haz de luz enfocado por la lente híbrida, cuando la lente híbrida (310) es una lente de condensación, presenta un diámetro de haz de aproximadamente 100 micrómetros.
- 55 11. Endoiluminador según la reivindicación 10, en el que el haz de luz enfocado por la lente híbrida, cuando la lente híbrida (310) es una lente de condensación, presenta una cromaticidad (x, y) de aproximadamente (0,316, 0,354).
- 60 12. Endoiluminador según la reivindicación 10, en el que el haz de luz enfocado por la lente híbrida, cuando la lente híbrida (310) es una lente de condensación, presenta una suma afáquica normalizada a 10 lúmenes de aproximadamente 6,37 milivatios.

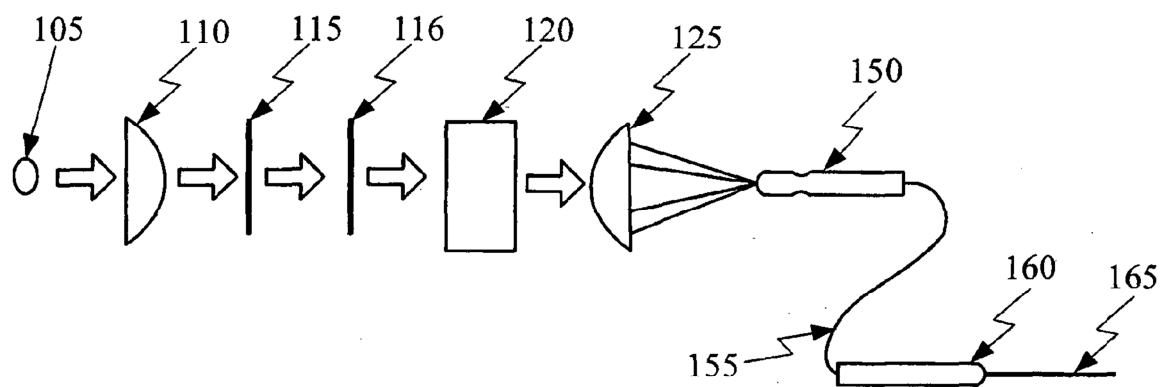


Fig. 1

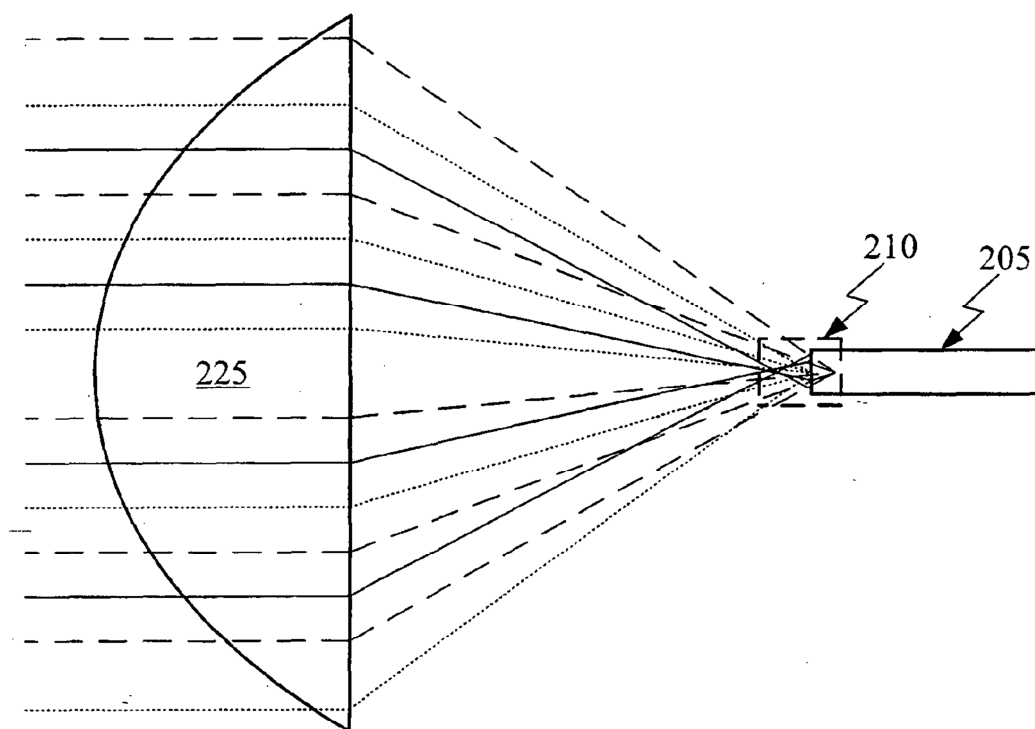


Fig. 2A

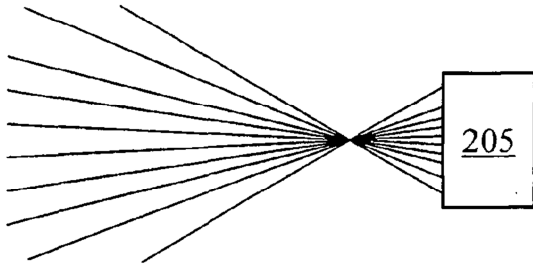


Fig. 2B

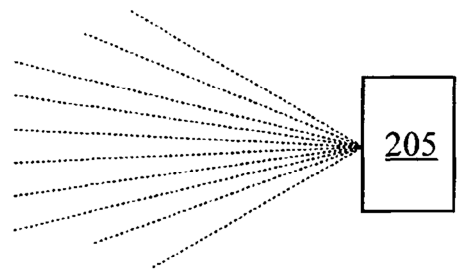


Fig. 2C

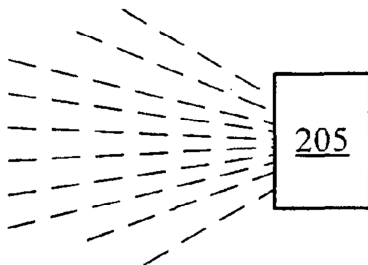


Fig. 2D

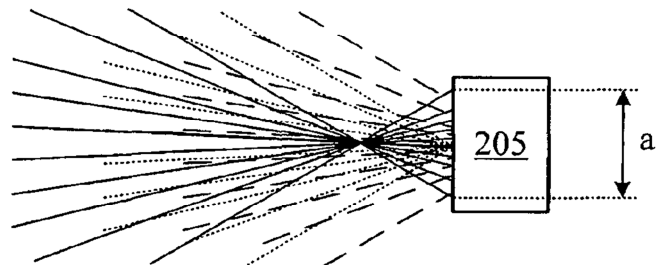


Fig. 2E

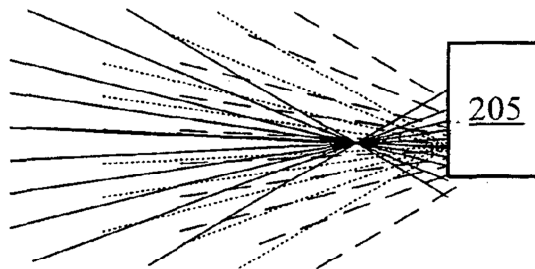
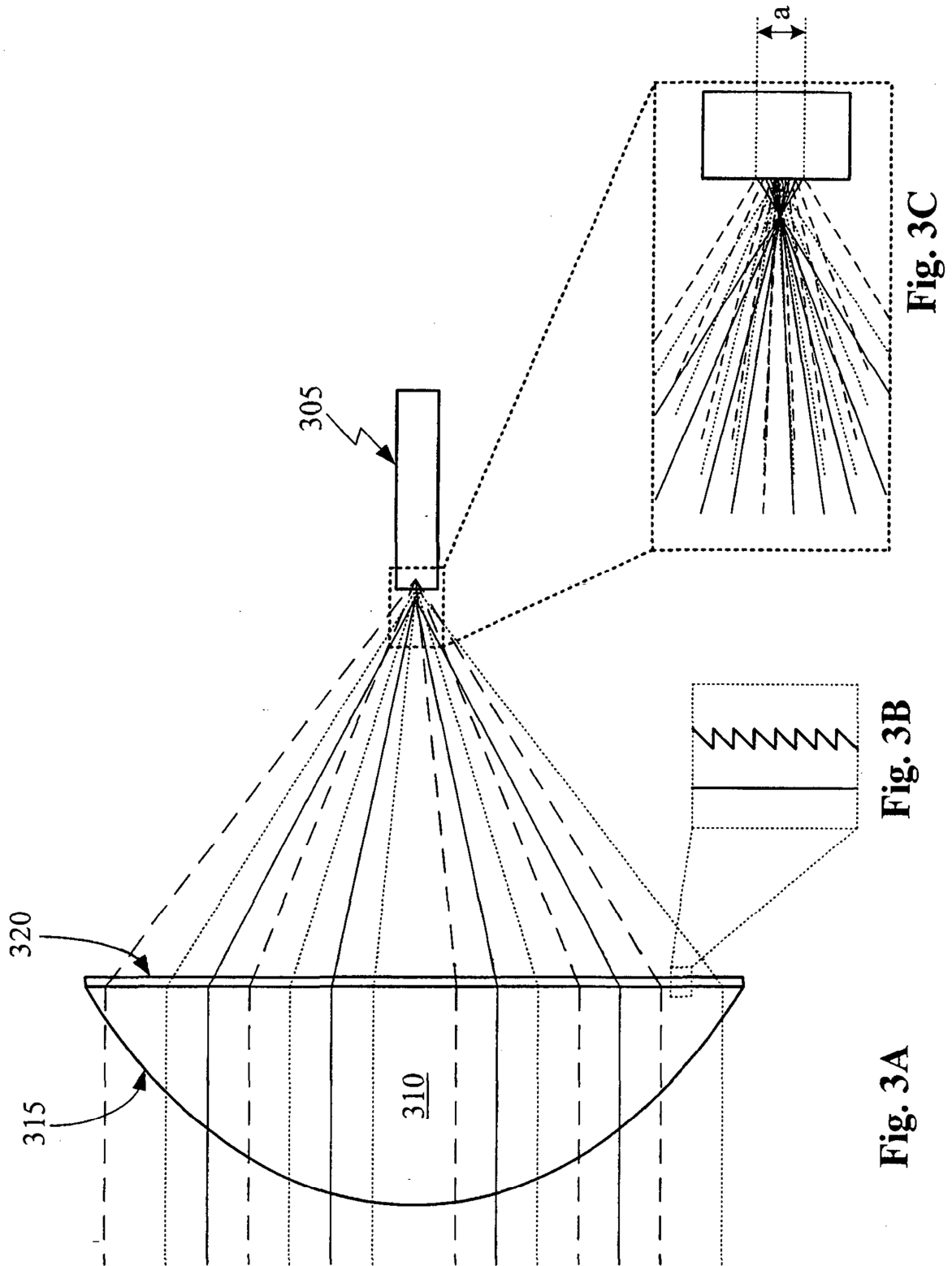


Fig. 2F



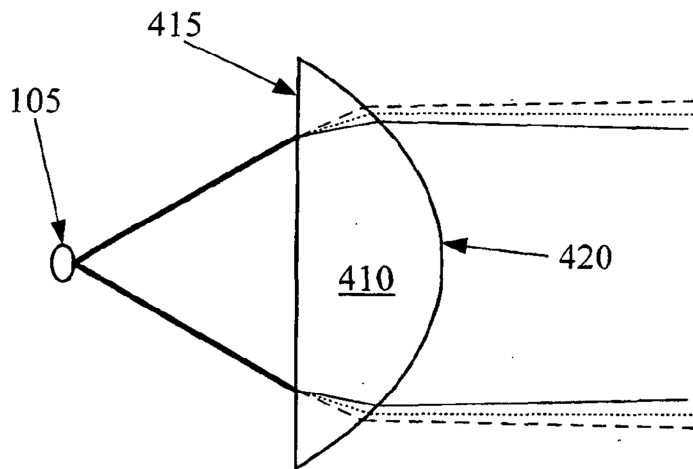


Fig. 4

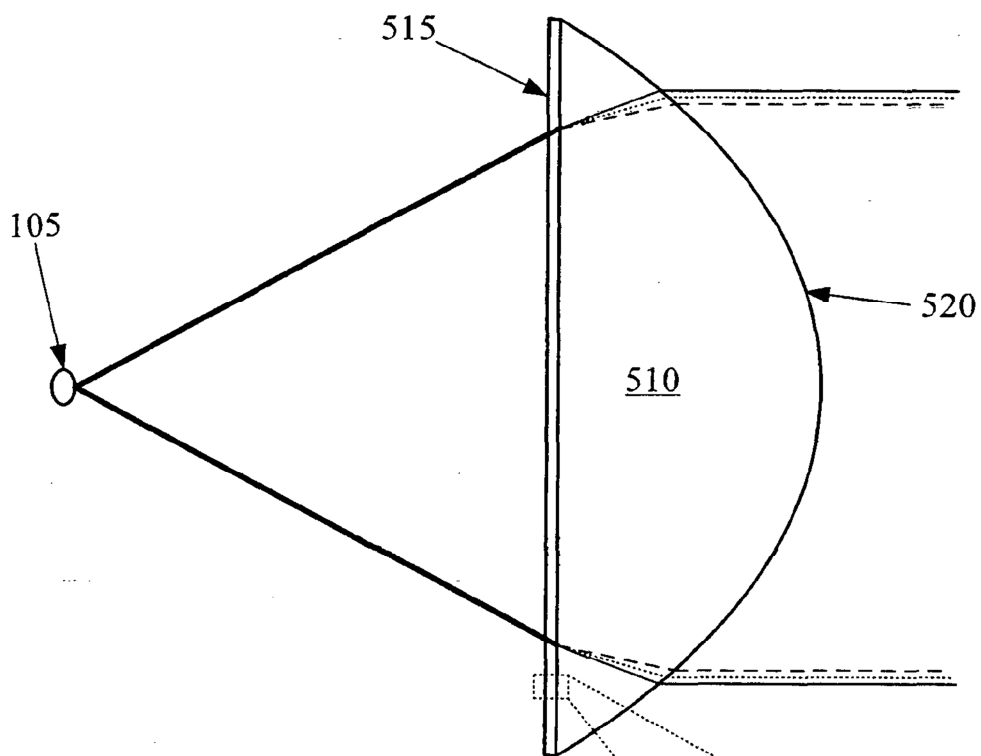


Fig. 5A

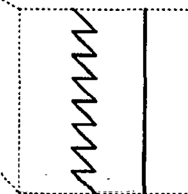


Fig. 5B

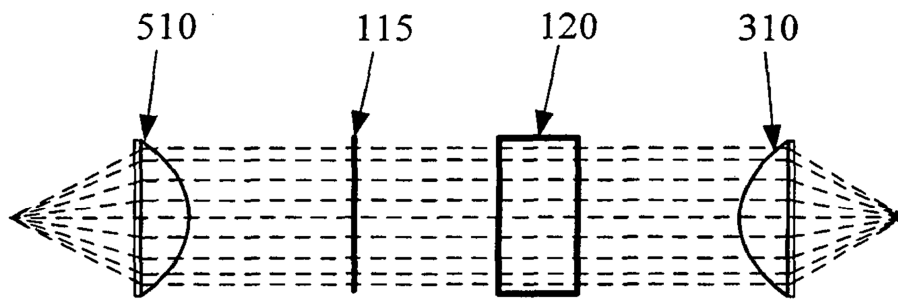


Fig. 6

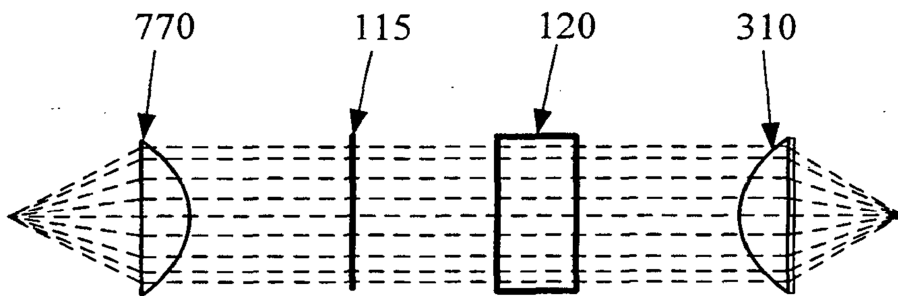


Fig. 7

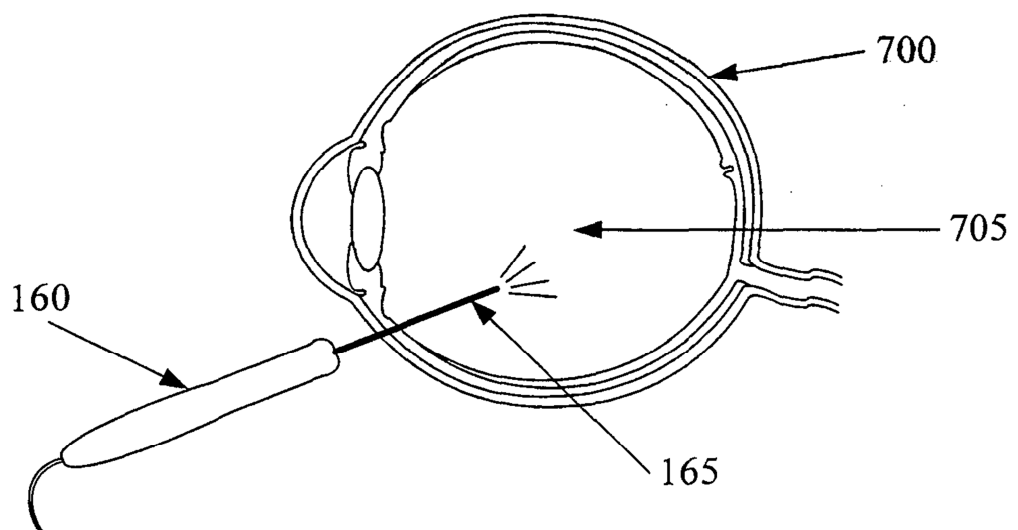


Fig. 8