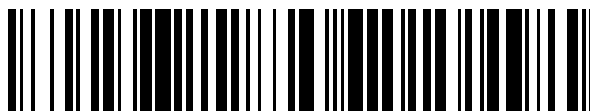


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 735 629**

51 Int. Cl.:

G02B 21/02 (2006.01)

G02B 21/22 (2006.01)

G02B 21/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **16.09.2014 E 14184905 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **22.05.2019 EP 2853933**

54 Título: **Sistema de imágenes ópticas**

30 Prioridad:

26.09.2013 DE 102013219379

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

19.12.2019

73 Titular/es:

**CARL ZEISS MEDITEC AG (100.0%)
Göschwitzer Strasse 51-52
07745 Jena, DE**

72 Inventor/es:

**MERZ, FRANZ y
HÖGELE, ARTUR**

74 Agente/Representante:

LEHMANN NOVO, María Isabel

ES 2 735 629 T3

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

DESCRIPCIÓN

Sistema de imágenes ópticas

5 La invención se refiere a un sistema de imágenes ópticas, en especial un microscopio, para la generación de una imagen de un plano de objeto con un sistema de lentes que comprende un objetivo principal y una óptica de reducción entre el objetivo principal y el plano de objeto y que se alinea a lo largo de un eje óptico. La óptica de reducción presenta una primera lente con una capacidad refractaria positiva y una segunda lente con una capacidad refractaria negativa. El sistema de lentes define un primer plano principal del lado del objeto y un segundo plano principal del lado de la imagen. El sistema de imágenes define un haz luminoso que se guía a través del sistema de lentes de manera que el haz luminoso de observación presente en el primer plano principal y en el segundo plano principal respectivamente una distancia con respecto al eje óptico del sistema de lentes.

15 A la hora de observar un objeto a través de un sistema de imágenes ópticas, en especial un microscopio quirúrgico estereoscópico, se puede insertar un sistema óptico de gran ángulo en la trayectoria del rayo entre el objetivo principal del sistema de imágenes ópticas y el objeto a observar, por ejemplo, un ojo. Esto permite una observación del fondo del ojo. Además de esta óptica de gran ángulo, se puede introducir una óptica de reducción en la trayectoria del rayo entre la óptica de gran ángulo y el objetivo principal del sistema de imágenes ópticas para facilitar la adaptación de la óptica de gran ángulo a un sistema de imágenes ópticas como, por ejemplo, un microscopio quirúrgico.

20 Por el documento EP 1 227 355 B1 se conoce un microscopio para la observación panorámica de operaciones oculares que mediante ópticas, que se pueden conectar opcionalmente, permite generar una imagen del fondo del ojo. El microscopio comprende un sistema de lentes con un objetivo principal y lentes dispuestas delante del objetivo principal.

25 Este microscopio tiene el inconveniente de que en la observación panorámica la calidad de la imagen no es óptima. Debido a la reducida distancia entre la lente del objetivo principal y el objeto a observar, las distancias focales para una óptica de gran ángulo conectable adicionalmente en la trayectoria del rayo son muy pequeñas. Por medio de otra óptica de reducción insertable en la trayectoria del rayo se puede llevar a cabo una adaptación de la óptica de gran ángulo al microscopio, aunque siempre con el inconveniente de una reducción de la calidad de imagen.

30 Además de los inconvenientes ópticos, el sistema de imágenes ópticas según el documento EP 1 227 355 B1 presenta una longitud de construcción relativamente grande. Para no molestar innecesariamente al usuario, por ejemplo, un cirujano, en su trabajo con el sistema de imágenes ópticas sobre el objeto, por ejemplo, el ojo de un paciente, conviene que una óptica de reducción presente sólo una longitud de construcción reducida y que se disponga lo más cerca posible del objetivo principal.

Otros datos del estado de la técnica se conocen por las memorias impresas EP 1 326 117 A1, CH 663 284 A5 y DE 10 2010 018123 A1.

35 El objetivo de la invención consiste en proporcionar un sistema de imágenes ópticas con el que, mediante el empleo de una óptica de reducción delante de un objetivo principal, se consiga una calidad de imagen muy buena. Otro objetivo consiste en proporcionar un sistema de imágenes con una longitud de construcción reducida.

La tarea según la invención se resuelve por medio de un sistema de imágenes ópticas según la reivindicación 1.

40 Según la invención, la tarea se resuelve por que la primera lente de la óptica de reducción se fabrica de un primer material que presenta un primer número de Abbe, y por que la segunda lente de la óptica de reducción se fabrica de un segundo material que presenta un segundo número de Abbe, siendo el primer número de Abbe mayor que el segundo número de Abbe. El sistema de lentes se configura de manera que para todas las longitudes de onda en el rango de longitud de onda λ de $480 \text{ nm} \leq \lambda \leq 660 \text{ nm}$ y para una longitud de onda principal $e = 546 \text{ nm}$ se cumpla la siguiente condición:

45
$$\left| \arctan \left(\frac{B}{f_{e'} + (f_e \cdot f_{e'} / (f_\lambda - f_e))} \right) \right| < 0,5'$$

siendo:

B = la distancia de un haz luminoso de observación con respecto al eje óptico en el primer plano principal H;

f_e = la distancia focal del lado del objeto para la longitud de onda principal e con respecto al primer plano principal H;

f_λ = La distancia focal del lado del objeto para la longitud de onda λ con respecto al primer plano principal H;

50 $f_{e'}$ = la distancia focal del lado de la imagen para la longitud de onda principal e con respecto al segundo plano principal H'.

La unidad del término "0,5' " es de minutos de ángulo.

Si el sistema de objetivos se diseña de manera que para todas las longitudes de onda λ entre 480 nm y 660 nm y una longitud de onda principal $e = 546$ nm se cumpla la siguiente condición

$$|\arctan\left(\frac{B}{fe' + (fe \cdot fe' / (f_\lambda - fe))}\right)| < 0.5',$$

5 la calidad de imagen de un haz luminoso de observación es tan buena que se corrigen los errores de imagen que reducen el contraste y los errores de imagen molestos, por lo que se consiguen un buen contraste constante de la imagen y una buena calidad de imagen constante en todo el rango de longitud de onda λ .

En una forma de realización de la invención, el primer material y el segundo material se eligen de manera que una diferencia entre el primer número de Abbe y el segundo número de Abbe sea de entre 16 y 22.

10 Al diseñar el sistema de lentes se ha comprobado que resulta especialmente ventajoso elegir el primer material de la lente con la capacidad refractiva positiva y el segundo material de la lente con la capacidad refractiva negativa, de manera que la diferencia entre los números de Abbe de los dos materiales sea de entre 16 y 22. Así se puede cumplir perfectamente la condición descrita y se logra ventajosamente un contraste excelente en todo el rango de longitud de onda con una pequeña desviación angular cromática. De manera especialmente ventajosa, la lente con la capacidad refractiva positiva se fabrica de un material con un número de Abbe alto y la lente con la capacidad refractiva negativa de un material con un número de Abbe bajo, variando la diferencia de los números de Abbe entre 16 y 22.

En otra variante de realización de la invención, el primer material y el segundo material se eligen de manera que un primer índice de refracción del primer material sea mayor que 1,6 y un segundo índice de refracción del segundo material sea mayor que 1,6.

20 Mediante el empleo de materiales con altos índices de refracción, es decir, superiores a 1,6, para la primera y segunda lente de la óptica de reducción, la condición antes indicada se puede cumplir perfectamente. De este modo se obtiene ventajosamente una imagen bien corregida con un contraste excelente y una pequeña desviación angular cromática.

25 En otra forma de realización de la invención, la primera lente se dispone fija y la segunda lente se dispone desplazable en dirección del eje óptico.

El plano del objeto a observar puede variar en lo que se refiere a la distancia con respecto al objetivo principal. Como consecuencia puede ser necesario adaptar el enfoque del dispositivo óptico de observación al plano de objeto modificado. Para que el ajuste de enfoque del microscopio se pueda mantener sin cambios, resulta ventajoso que la óptica de reducción ofrezca la posibilidad de un enfoque. Esta posibilidad de enfoque se puede conseguir con relativa facilidad disponiendo la primera lente de la óptica de reducción de forma fija y previendo que la segunda lente pueda realizar un movimiento relativo a lo largo del eje óptico. Gracias al cumplimiento de la condición de la reivindicación 1, se garantiza en todo el rango de enfoque una buena corrección de la desviación angular cromática.

30 En otra forma de realización de la invención, la primera lente se dispone fija y la segunda lente se dispone desplazable en dirección del eje óptico.

35 Las mismas ventajas que las que se han descrito en relación con la variante de realización anterior, se pueden conseguir si la segunda lente de la óptica de reducción se dispone de forma fija y la primera lente de la óptica de reducción se dispone desplazable en dirección del eje óptico.

En otra forma de realización de la invención, la óptica de reducción se puede introducir en el haz luminoso delante del objetivo principal.

40 Para que el usuario de un microscopio pueda trabajar de forma variable con o sin la óptica de reducción, resulta ventajoso que la óptica de reducción se pueda insertar con facilidad en el haz luminoso o retirar del mismo. De este modo, el usuario puede cambiar rápida y fácilmente entre dos planos focales sin necesidad de modificar el ajuste de enfoque del microscopio. La óptica de reducción se puede introducir o sacar ventajosamente con facilidad y rapidez en el haz luminoso delante del objetivo principal por medio de un dispositivo giratorio.

45 En otra variante de la invención se monta, delante de la óptica de reducción, otro elemento óptico para la creación de una imagen intermedia en el haz luminoso de observación y el sistema de imágenes ópticas se enfoca en la imagen intermedia.

50 Delante de la óptica de reducción se puede introducir otro elemento óptico en el haz luminoso. En este caso, el plano de objeto observado puede representar un plano de imagen intermedia que resulta en el espacio entre el elemento óptico adicional y la óptica de reducción en el haz luminoso. Los defectos en la calidad de imagen, que surgen como consecuencia de la introducción del elemento óptico adicional, se pueden corregir cromáticamente de forma especialmente ventajosa por medio de la óptica de reducción cromática, de manera que se pueda observar una imagen muy buena, de alto contraste y sin desplazamiento de la imagen.

55 En otra forma de realización de la invención, el sistema de imágenes ópticas se configura como estereomicroscopio que presenta un primer haz luminoso de observación y un segundo haz luminoso de observación, presentando el

primer y el segundo haz luminoso de observación respectivamente una distancia B con respecto al eje óptico del sistema de lentes en el primer plano principal H y en el segundo plano principal H'.

Las lentes de la óptica de reducción suelen ser rotacionalmente simétricas con respecto al eje óptico. Dado que el eje óptico del objetivo principal y el eje óptico de la óptica de reducción son idénticos, la corrección cromática óptica es igualmente buena para todos los haces luminosos de observación a una distancia B del eje óptico con respecto a los dos planos principales H y H'. Como consecuencia, se consigue para un estereomicroscopio la ventaja de que los dos haces luminosos de observación se pueden corregir cromáticamente por igual mediante una sola óptica de reducción. Esta ventaja también se logra para cualquier otro haz luminoso de observación guiado a una distancia B del eje óptico con respecto a los dos planos principales H y H'.

Otras ventajas y características de la invención se explican con referencia a los siguientes dibujos en los que se muestra en la:

Figura 1 un primer ejemplo de realización de un sistema de imágenes ópticas según la invención con una óptica de reducción dispuesta delante de un objetivo principal;

Figura 2 una representación esquemática de un haz luminoso en un sistema de imágenes ópticas según la figura 1;

Figura 3 una desviación angular cromática del lado de la imagen relacionada con una longitud de onda de entre 480 nm y 660 nm para tres distancias focales diferentes del sistema de imágenes ópticas según la figura 1.

La figura 1 muestra un ejemplo de un sistema de imágenes ópticas 1 según la invención con una óptica de reducción dispuesta delante de un objetivo principal 20.

El ejemplo de realización muestra un sistema de imágenes ópticas 1 para la observación de un ojo 2. El sistema de imágenes ópticas 1 se ha diseñado como sistema de observación estereoscópico con un haz luminoso de observación derecho 30 y un haz luminoso de observación izquierdo 40 y presenta un objetivo principal 20 con un eje óptico 23, una lente de tubo derecha 34, una lente de tubo izquierda 44, así como un ocular derecho 36 y un ocular izquierdo 46. También puede comprender otros elementos ópticos no mostrados.

Entre el objetivo principal 20 y el ojo 2 se introducen en el haz luminoso otro elemento óptico en forma de lupa de oftalmoscopia 3 y una óptica de reducción en forma de dos lentes. Una primera lente de la óptica de reducción dispuesta directamente delante del objetivo principal 20 se realiza como lente convergente 22 y presenta una capacidad refractiva positiva. Una segunda lente de la óptica de reducción se realiza como lente con una capacidad refractiva negativa, es decir, como lente divergente 21.

El haz luminoso de observación derecho 30 y el haz luminoso de observación izquierdo 40 atraviesan la lupa de oftalmoscopio 3 y se pueden cruzar en un plano de imagen 10. El haz luminoso de observación derecho 30 que procede del plano de imagen 10 atraviesa la lente divergente 21, la lente convergente 22, el objetivo principal 20 y la lente de tubo derecha 34 y llega al ocular derecho 36. Se genera en el haz luminoso de observación derecho 30, en un plano de imagen intermedio del ocular derecho 35, una imagen intermedia del ocular que un usuario puede observar a través del ocular derecho 36. El haz luminoso de observación izquierdo 40 que procede del plano de imagen 10 se guía a través de la lente divergente 21, la lente convergente 22, el objetivo principal 20 y la lente de tubo izquierda 44 al ocular izquierdo 46. Se genera una imagen intermedia del ocular en el haz luminoso de observación izquierdo en un plano de imagen intermedio del ocular izquierdo 45 que un usuario puede observar a través del ocular izquierdo 46.

El haz luminoso de observación derecho 30 se desarrolla, detrás del objetivo principal 20, paralelo al eje óptico 23. Esta distancia paralela se identifica con una B. Por consiguiente, el haz luminoso de observación izquierdo 40 se desarrolla hacia el objetivo principal 20 igualmente paralelo al eje óptico 23 a una distancia B. La distancia paralela de los dos haces luminosos de observación 30, 40 detrás del objetivo principal 20 también se puede denominar base estereoscópica SB, presentando la base estereoscópica SB un valor dos veces mayor que el de la distancia B. Un valor numérico típico para la base estereoscópica SB puede ser de 25 mm.

Los valores típicos para las distancias focales de la lupa del oftalmoscopio 3 son 60 dioptrías, 90 dioptrías o 120 dioptrías. La corta distancia focal de la lupa de oftalmoscopio 3 puede ser la causa de los errores de imagen que se producen y que se definen como inclinación espectral de los ejes ópticos o como desviación angular cromática CWA.

En la figura 1 se representan esquemáticamente los efectos de la desviación angular cromática CWA. Por desviación angular cromática CWA se entiende un desplazamiento cromático perpendicular al eje óptico 23 dependiente del color de las imágenes del ocular intermedio.

Para el haz luminoso de observación derecho 30 y el haz luminoso de observación izquierdo 40 han de esperarse, debido a una estructura simétrica, valores iguales para la desviación angular cromática CWA. También se puede producir una desviación angular cromática para un único haz luminoso de observación. En relación con el haz luminoso de observación derecho 30 se representan desviaciones angulares cromáticas para tres rangos de longitud de onda en forma de tres haces parciales: un haz luminoso parcial derecho de color rojo 31, un haz luminoso parcial derecho de color verde 32 y un haz luminoso parcial derecho de color azul 33. En relación con el haz luminoso de observación izquierdo 40 se representa una desviación angular cromática para tres rangos de longitud de onda en

forma de un haz luminoso parcial izquierdo de color rojo 41, un haz luminoso parcial izquierdo de color verde 42 y un haz luminoso parcial izquierdo de color azul 43. El desplazamiento de la imagen de los haces parciales derechos 31, 32, 33 en el haz luminoso de observación derecho 30 se puede ver en el plano intermedio de la imagen del ocular derecho 35 a través del ocular derecho 36. El desplazamiento de la imagen de los haces parciales izquierdos 41, 42, 43 en el haz luminoso de observación izquierdo 40 se puede ver en el plano intermedio de la imagen 45 del ocular izquierdo a través del ocular izquierdo 46.

Sin una corrección cromática, el desplazamiento de la imagen, causado por la desviación angular cromática CWA, se percibe como reductor de contraste y molesto. Si este desplazamiento cromático de la imagen supera el límite de resolución del ojo, el usuario percibe imágenes de color dobles. El rango de longitud de onda verde, en forma de rayos parciales verdes 32, 42, se muestra en el centro de los oculares. El área azul de la imagen en forma de los haces parciales azules 33, 43 es visible dentro del área entre los dos centros del ocular. El rango de longitud de onda roja, en forma de rayos parciales rojos 31,41, se ve fuera del rango entre los centros del ocular.

En este ejemplo de realización, la óptica de reducción, que comprende la lente convergente 22 y la lente divergente 21, se dispone muy cerca de la lente principal 20. La lente principal 20 presenta una longitud de construcción total de L_{HO} . Como longitud de construcción L_{HO} se define el grosor o la extensión del objetivo principal 20 a lo largo del eje óptico 23. Una longitud total L_{ges} describe la mayor extensión del objetivo principal 20 y de la óptica de reducción que comprende la lente divergente 21 y la lente convergente 22, con respecto al eje óptico 23. Por ejemplo, si el objetivo principal 20 tiene una longitud de construcción $L_{HO} = 1$ cm, la longitud total L_{ges} es $< 3,2$ cm.

Debido a la disposición muy cercana de la óptica de reducción delante del objetivo principal 20, la puesta a disposición de un área de imagen cromática corregida de alto contraste con muy buena calidad de imagen constituye un reto especial.

También hay que tener en cuenta que el plano de imagen 10 mostrado en este ejemplo de realización se representa como un plano de imagen intermedio en el que se cruzan el haz luminoso de observación derecho 30 y el haz luminoso de observación izquierdo. El plano de imagen 10 también puede representar otro plano de objeto a observar. Igualmente, la posición de la lente divergente 21 y la posición de la lente convergente 22 se pueden cambiar.

La figura 2 muestra una representación esquemática de un haz luminoso del sistema de imágenes ópticas 1 según la figura 1.

Un eje óptico A se dibuja como una línea horizontal gruesa. Perpendicular al eje óptico A se encuentran un primer plano principal H como plano de referencia para las distancias focales o las indicaciones de distancia en el espacio del objeto y un segundo plano principal H' como plano de referencia para el espacio de imagen. Los dos planos principales H, H' permiten describir el efecto del complejo sistema de lentes ópticas con la ecuación válida para una lente delgada. El primer plano principal H y el segundo plano principal H' se definen perpendiculares al eje óptico del sistema de lentes y, por lo tanto, son paralelos entre sí. Los dos planos principales H, H' sustituyen al objetivo principal 20, así como a la óptica de reducción que comprende la lente divergente 21 y la lente convergente 22.

Un punto de objeto O se reproduce con respecto a un punto de imagen O' por medio del sistema óptico de lentes. Desde el punto O del objeto, un primer rayo 101 se desarrolla en un ángulo NA con respecto al eje óptico A hasta el primer plano principal H. El ángulo NA también se define como apertura numérica del lado del objeto. Entre el primer plano principal H y el segundo plano principal H' se desarrolla un segundo rayo 102 paralelo al eje óptico A. El segundo rayo 102 presenta en el primer plano principal H y en el segundo plano principal H' respectivamente una distancia B con respecto al eje óptico A. En un sistema de imágenes estereoscópicas, B puede presentar un valor correspondiente, en cuanto a su magnitud, al valor numérico de la mitad de la base estereoscópica SB. A la salida del segundo plano principal H', un tercer rayo 103 se dirige hacia el píxel O'. El tercer rayo 103 forma un ángulo CWA con respecto al eje óptico A. El ángulo CWA representa la desviación angular cromática CWA de ambos lados de la imagen. Si la desviación de ángulo cromática CWA del lado de la imagen es igual a cero, el píxel O' se encuentra en el infinito.

Para el espacio de objeto, un punto focal del lado del objeto F_e tiene la distancia focal del lado del objeto f_e para una longitud de onda principal e . En el espacio de imagen, el punto focal del lado de la imagen F_e' tiene la distancia focal del lado de la imagen f_e' para la longitud de onda principal e . Para una longitud de onda λ resultan, por lo tanto, una distancia focal del lado del objeto $f\lambda$ para un punto focal del lado del objeto $O = F\lambda$, así como una distancia focal del lado de la imagen $f\lambda'$ para un punto focal del lado de la imagen $O' = F\lambda'$.

Para la solución de la tarea se ha comprobado que la cota de la desviación angular cromática CWA representa una excelente posibilidad de evaluar medidas para la optimización de la calidad de la imagen. Al calcular la óptica, se parte lógicamente de una longitud de onda principal $e = 546$ nm. La longitud de onda principal e también recibe el nombre de línea de Fraunhofer e y define la longitud de onda principal en el rango espectral verde del sol. Para reproducir un punto O de un objeto, por ejemplo, el plano de imagen 10, con un alto contraste y una muy buena calidad de imagen, es necesario proporcionar un sistema óptico corregido cromáticamente a través del rango de longitud de onda visible λ entre 480 nm y 660 nm.

Delante del objetivo principal 20 se dispone la lente reductora que comprende la lente divergente 21 de diferentes materiales y la lente convergente 22 de diferentes materiales. Para conseguir una buena calidad de imagen, se elige

para la lente divergente 21 un material con una dispersión alta, es decir, un número de Abbe bajo. La lente convergente 22 presenta un material con una dispersión baja, es decir, con un número de Abbe alto. La diferencia entre los dos números de Abbe es preferiblemente de entre 16 y 22. Con preferencia, tanto la lente divergente 21, como también la convergente 22 se fabrican de un material con un alto índice de refracción, preferiblemente con un índice de refracción mayor o igual a 1,6. Mediante el uso de lentes con un alto índice de refracción se pueden corregir simultáneamente las correcciones necesarias de errores de imagen monocromáticos tales como aberración esférica, coma o astigmatismo. Una corrección adicional de los errores de imagen monocromática se puede lograr si la lente convergente 22 y la lente divergente 21 presentan aproximadamente las mismas distancias focales, pero con signos diferentes.

Una calidad de imagen muy buena y de alto contraste se consigue cuando las áreas de color de los haces parciales derechos 31, 32, 33 del haz luminoso de observación derecho 30 y las áreas de color de los haces parciales izquierdos 41, 42, 43 del haz luminoso de observación izquierdo en el plano intermedio de la imagen del ocular 35, 45 se perciben como congruentes. A estos efectos es necesario que para todos los rangos de longitud de onda de la luz visible entre 480 nm y 660 nm se consiga una desviación angular cromática de menos de 0,5'.

Como se muestra en la figura 2, las longitudes focales del lado del objeto y del lado de la imagen del sistema óptico con respecto a los dos planos principales H y H' dependen respectivamente de la longitud de onda λ . Las siguientes tres distancias focales son importantes:

f_e = distancia focal del lado del objeto para la longitud de onda principal e con respecto al primer plano principal H;

f_λ = distancia focal del lado del objeto para la longitud de onda λ con respecto al primer plano principal H;

$f_{e'}$ = distancia focal del lado de la imagen para la longitud de onda principal e con respecto al segundo plano principal H'.

Si el sistema de lentes se configura de manera que, es decir, si la óptica de reducción que comprende la lente divergente 21 y la lente convergente 22, así como la lente principal 20, se adapta de manera que para un rango de longitud de onda λ de $480 \text{ nm} \leq \lambda \leq 660 \text{ nm}$ y para una longitud de onda principal $e = 546 \text{ nm}$ se cumpla la siguiente relación

$$\left| \arctan \left(\frac{B}{f_{e'} + (f_e \cdot f_{e'} / (f_\lambda - f_e))} \right) \right| < 0,5',$$

la calidad de imagen de un haz luminoso de observación se corrige tan bien que se consiguen un buen contraste constante de la imagen y una excelente calidad de imagen constante en todo el rango de longitud de onda λ . De este modo, los rangos de color de los haces parciales derechos 31, 32, 33 del haz luminoso de observación derecho 30 y los rangos de color de los haces parciales izquierdos 41, 42, 43 del haz luminoso de observación izquierdo en el plano intermedio de la imagen del ocular 35, 45 se perciben respectivamente como congruentes. Como consecuencia, una desviación angular cromática es inferior a 0,5'.

Por ejemplo, para una longitud de onda $\lambda = 660 \text{ nm}$, la desviación angular cromática CWA se puede calcular para el ejemplo de realización como sigue:

$f_e = -175,102 \text{ mm}$ (para $e = 546 \text{ nm}$)

$f_{e'} = +175,102 \text{ mm}$ (para $e = 546 \text{ nm}$)

$f_\lambda = -175,033 \text{ mm}$ (para $\lambda = 660 \text{ nm}$)

$B = 12 \text{ mm}$

Así resulta para el CWA (en minutos de ángulo):

$$\begin{aligned} \text{CWA} &= \left| \arctan \left(\frac{B}{f_{e'} + (f_e \cdot f_{e'} / (f_\lambda - f_e))} \right) \right| \\ &= \left| \arctan \left(\frac{12 \text{ mm}}{175,102 \text{ mm} + (-175,102 \text{ mm} \cdot 175,102 \text{ mm} / (-175,033 \text{ mm} - (-175,102 \text{ mm}))} \right) \right| \\ &= 0,093' \end{aligned}$$

Dado que el resultado es $0,093' < 0,5'$, se cumple la condición para una buena calidad de imagen con una pequeña desviación angular cromática CWA para una longitud de onda $\lambda = 660 \text{ nm}$ y una longitud de onda principal $e = 546 \text{ nm}$.

Si esta condición se cumple para todas las longitudes de onda λ entre 480 nm y 660 nm, la combinación de material y forma elegida para la lente divergente 21 y la lente convergente 22 de la óptica de reducción es adecuada para cumplir la tarea.

Al introducir la óptica de reducción en el haz luminoso de observación 30, 40, es deseable que no sea necesario cambiar el ajuste del enfoque del microscopio. Por lo tanto, resulta ventajoso que la óptica de reducción pueda llevar a cabo un cambio de la distancia focal, es decir, un enfoque en el plano de la imagen 10. En el ejemplo de la figura 1, toda la distancia focal F_{ges} del sistema óptico, que comprende el objetivo principal 20 y la óptica de reducción, se elige de forma que se encuentre en el rango de entre 0,7 y 1,1 veces la distancia focal del objetivo principal F_{HO} . Este valor es suficiente para permitir un enfoque por la óptica de reducción en el plano de la imagen 10. Con este fin, la lente divergente 21 se dispone de forma fija y la lente convergente 22 de forma que se pueda desplazar a lo largo del eje óptico 23, como se indica por medio de la doble flecha por encima de la lente convergente 22 de la figura 1. En una forma de realización alternativa, la lente convergente 22 también se puede fijar y la lente divergente 21 se puede disponer de manera desplazable a lo largo del eje óptico 23. La figura 1 muestra un ajuste de enfoque medio con una distancia focal $F_{ges} = 0,87 * F_{HO}$.

El diagrama de la figura 3 muestra un resultado de una determinación adecuada del material y de la forma para la lente divergente 21 y la lente convergente 22, que proporciona una imagen de alto contraste con corrección cromática para las longitudes de onda de la luz visible y diferentes ajustes de enfoque.

En la figura 3 se representa una desviación angular cromática del lado de la imagen CWA referida a una longitud de onda λ en el rango visible de entre 480 nm y 660 nm para tres distancias focales diferentes del primer ejemplo de realización.

El diagrama 200 muestra la desviación angular cromática CWA en minutos de ángulo en el eje Y en un rango de -0,5' a +0,5'. En el eje X se representa el rango de longitud de onda λ entre 480 nm y 660 nm. La longitud de onda principal $e = 546$ nm se destaca por medio de una línea discontinua 204. La desviación angular cromática CWA se muestra para tres distancias focales: una primera distancia focal $F_{ges} = 0,80 * F_{HO}$ se muestra en una primera curva 201; una segunda distancia focal $F_{ges} = 0,87 * F_{HO}$ se muestra en una segunda curva 202; y una tercera distancia focal $F_{ges} = 0,96 * F_{HO}$ se muestra en una tercera curva 203. La primera curva 201 y la tercera curva 203 muestran el ajuste de enfoque respectivamente en una posible posición final.

Para el ajuste de enfoque medio con una distancia focal $F_{ges} = 0,87 * F_{HO}$, la desviación cromática CWA del lado de la imagen está especialmente bien corregida para todo el rango de longitud de onda λ entre 480 nm y 660 nm y se encuentra en el rango de entre -0,1' y cero, véase la segunda curva 202. Para la longitud de onda principal $e = 546$ nm, la desviación cromática CWA es igual a cero.

La desviación angular cromática CWA para un ajuste de enfoque con la distancia focal $F_{ges} = 0,80 * F_{HO}$ se encuentra para todo el rango de longitud de onda λ entre 480 nm y 660 nm en el rango de entre +0,28' y -0,45', véase la primera curva 201. También en este ajuste de enfoque la desviación angular cromática CWA para la longitud de onda principal $e = 546$ nm es igual a cero.

La desviación angular cromática del lado de la imagen CWA para un ajuste de enfoque con la distancia focal $F_{ges} = 0,97 * F_{HO}$ está entre -0,39' y +0,24' para todo el rango de longitud de onda λ entre 480 nm y 660 nm, véase la tercera curva 203. También en este ajuste de enfoque, la desviación angular cromática del lado de la imagen CWA para la longitud de onda principal $e = 546$ nm es igual a cero.

Las curvas 201, 202 y 203 muestran claramente que la desviación angular cromática de CWA del lado de la imagen está, para todo el rango de enfoque para todas las distancias focales, en el rango de +/- 0,5'.

Como consecuencia, se proporciona un sistema de imágenes ópticas 1 que, mediante el empleo de una óptica de reducción enfocable que comprende una lente divergente 21 y una lente convergente 22 y que se puede introducir en un haz luminoso 30, 40, consigue una longitud de construcción muy pequeña delante de un objetivo principal. Este sistema de imágenes ópticas logra una muy buena calidad de imagen con una desviación angular cromática extremadamente baja en todo el rango de enfoque.

45 Lista de referencias

- 1 Sistema de imágenes ópticas
- 2 Ojo
- 3 Lupa de oftalmoscopia
- 10 Plano de imagen
- 50 20 Objetivo principal
- 21 Lente divergente
- 22 Lente convergente
- 23 Eje óptico
- 30 Haz luminoso de observación derecho

ES 2 735 629 T3

- 31 Haz parcial derecho rojo
- 32 Haz parcial derecho verde
- 33 Haz parcial derecho azul
- 34 Lente de tubo derecha
- 5 35 Plano de imagen intermedia derecho del ocular
- 40 Haz luminoso de observación izquierdo
- 41 Haz parcial izquierdo rojo
- 42 Haz parcial izquierdo verde
- 43 Haz parcial izquierdo azul
- 10 44 Lente de tubo izquierda
- 45 Plano de imagen intermedia izquierdo del ocular
- 101 Primer rayo del haz luminoso desde el píxel O del objeto hasta el plano principal H en el espacio de objetos
- 102 Segundo rayo del haz luminoso entre los planos principales H y H'.
- 103 Tercer rayo del haz desde el plano principal H' hasta el píxel O' en el espacio de imagen
- 15 200 Diagrama de desviación angular cromática CWA
- 201 Primera curva CWA para $F_{ges} = 0,80 F_{HO}$
- 202 Segunda curva CWA para $F_{ges} = 0,87 F_{HO}$
- 203 Tercera curva CWA para $F_{ges} = 0,96 F_{HO}$

REIVINDICACIONES

1. Sistema de imágenes ópticas (1) para la generación de una imagen de un plano de objeto, con un sistema de lentes que comprende un objetivo principal (20) y una óptica de reducción entre el objetivo principal (20) y el plano de objeto, y que se orienta a lo largo de un eje óptico (23) del sistema de lentes, presentando la óptica de reducción una primera lente (22) con una capacidad refractiva positiva y una segunda lente (21) con una capacidad refractiva negativa, definiendo el sistema de lentes un primer plano principal (H) del lado del objeto y un segundo plano principal (H') del lado de la imagen,
- 5 10 definiendo el sistema de imágenes ópticas (1) un primer haz luminoso de observación (30) y un segundo haz luminoso de observación (40) que se guían a través del sistema de lentes de manera que los haces luminosos de observación (30, 40) en el primer plano principal (H) y en el segundo plano principal (H') presenten respectivamente una distancia B con respecto al eje óptico (23) del sistema de lentes, caracterizado por que
- 15 la primera lente (22) se fabrica de un primer material que presenta un primer número de Abbe y la segunda lente (21) se fabrica de un segundo material que presenta un segundo número de Abbe, siendo el primer número de Abbe mayor que el segundo número de Abbe, y por que el sistema de lentes se configura de manera que para todas las longitudes de onda en el rango de longitud de onda λ de $480 \text{ nm} \leq \lambda \leq 660 \text{ nm}$ y para una longitud de onda principal $e = 546 \text{ nm}$ se cumpla la siguiente condición:
- 20
$$\left| \arctan \left(\frac{B}{fe' + (fe \cdot fe' / (f_\lambda - fe))} \right) \right| < 0.5' ;$$
- en minutos angulares, siendo:
- fe = la distancia focal del lado del objeto para la longitud de onda principal e con respecto al primer plano principal (H);
- f_λ = la distancia focal del lado del objeto para la longitud de onda λ con respecto al primer plano principal (H);
- 25 fe' = la distancia focal del lado de la imagen para la longitud de onda principal e con respecto al segundo plano principal (H').
2. Sistema de imágenes ópticas según la reivindicación 1, caracterizado por que el primer material y el segundo material se eligen de manera que una diferencia entre el primer número de Abbe y el segundo número de Abbe oscile entre 16 y 22.
3. Sistema de imágenes ópticas según la reivindicación 1 o 2, caracterizado por que el primer material y el segundo material se eligen de manera que un primer índice de refracción del primer material sea superior a 1,6 y que un segundo índice de refracción del segundo material sea superior a 1,6.
- 35 4. Sistema de imágenes ópticas según una de las reivindicaciones 1 a 3, caracterizado por que la primera lente (22) se dispone de forma fija y la segunda lente (21) se dispone de forma desplazable en dirección del eje óptico.
5. Sistema de imágenes ópticas según una de las reivindicaciones 1 a 3, caracterizado por que la segunda lente (21) se dispone de forma fija y la primera lente (22) se dispone de forma desplazable en la dirección del eje óptico.
- 40 6. Sistema de imágenes ópticas según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que la óptica de reducción se puede introducir en el haz luminoso delante del objetivo principal (20).
- 45 7. Sistema de imágenes ópticas según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que delante de la óptica de reducción se puede disponer otro elemento óptico (3) para la generación de una imagen intermedia (10) en el haz luminoso de observación y por que el sistema de imágenes ópticas (1) se enfoca en la imagen intermedia (10).
- 50 8. Sistema de imágenes ópticas según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que el sistema de imágenes ópticas (1) se configura a modo de estereomicroscopio.

FIG.1

