

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 641 514**

51 Int. Cl.:

G02B 17/08 (2006.01)

G02B 5/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **11.12.2015** **E 15199557 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **12.07.2017** **EP 3051325**

54 Título: **Elemento óptico para enfocar rayos aproximadamente colimados**

30 Prioridad:

30.01.2015 DE 102015201647

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

10.11.2017

73 Titular/es:

**ASPHERICON GMBH (100.0%)
Stockholmer Strasse 9
07747 Jena, DE**

72 Inventor/es:

**KIONTKE, SVEN y
FUCHS, ULRIKE**

74 Agente/Representante:

LEHMANN NOVO, María Isabel

ES 2 641 514 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

Elemento óptico para enfocar rayos aproximadamente colimados

La invención se refiere a un elemento óptico de una pieza para enfocar rayos aproximadamente colimados según el preámbulo de la reivindicación 1.

5 Se conocen a partir del estado de la técnica elementos ópticos para el enfoque de los rayos, que difractan rayos de entrada colimados alrededor de un eje óptico en rayos de salida, que se superponen en una zona del foco. De esta manera, es posible convertir una intensidad de radiación de entrada media comparativamente pequeña, pero distribuida sobre una pupila de entrada comparativamente amplia en una intensidad de radiación de salida media comparativamente más alta, pero concentrada en una sección transversal comparativamente estrecha de la zona del foco.

10 El documento US 2010/0309566 A1 describe un sistema óptico con al menos dos reflexiones de material sólido transparente. Cada reflexión presenta una superficie cónica interior así como una superficie exterior en forma de tronco de cono, que están configuradas centradas y reflectantes entre sí a lo largo de un eje óptico. Otros reflexiones se conocen a partir del documento JP 2000 206411 A.

15 Se conoce a partir del estado de la técnica la aplicación de tales elementos ópticos para el enfoque del rayo, para exceder solamente dentro de la zona del foco una intensidad mínima de la radiación, por encima de la cual se excluyen ciertos efectos físicos como polimerización, la ruptura óptica o una fusión de materiales sólidos. De esta manera es posible una mecanización de materiales o de tejido biológico en una sección espacial limitada relativamente nítida a través de la zona de enfoque.

20 Tanto para la consecución de intensidades de la radiación especialmente altas como también para una mecanización especialmente precisa son ventajosos elementos ópticos, con los que se puede enfocar un haz de rayos de entrada de una sección transversal predeterminada sobre una zona de enfoque especialmente estrecha. Se conocen a tal fin a partir del estado de la técnica, por ejemplo, lentes esféricas, que se pueden formar sobre la base de las leyes de la óptica de los rayos de tal manera que rayos de entrada discretos, que se extienden paralelos al eje óptico, se pueden difractar para luz de una longitud de onda en rayos de salida, que se cortan en un punto focal, que se encuentra a la distancia de la longitud focal desde el plano principal del lado de salida de la lente esférica sobre el eje óptico.

25 No obstante, teniendo en cuenta efectos ópticos de las ondas no se puede conseguir también con tales lentes esféricas y también para luz monocromática ningún punto focal de dilatación infinitesimal pequeña, sino solamente una zona focal de dilatación finita, que se indica normalmente con el diámetro del disco de difracción

$$d_{\text{Airy}} = 1,22 \cdot \frac{\lambda}{n \cdot \sin(\alpha)}$$

30 donde λ es la longitud de onda de la luz monocromática, n es el índice de refracción del medio que rodea la lente y α designa el semiángulo de apertura del lado de salida de la lente esférica.

35 Las disposiciones y procedimientos de acuerdo con el estado de la técnica reducen la dilatación de la zona del foco a través de una ampliación de la apertura numérica. Con la sección transversal constante de la pupila de entrada se puede realizar una ampliación de la apertura numérica de acuerdo con el estado de la técnica a través de la reducción de la longitud focal y, por lo tanto, también una reducción de la distancia de trabajo entre la superficie frontal de la lente y el material a mecanizar. De acuerdo con el estado de la técnica, se puede realizar una ampliación de la apertura numérica también a través de la utilización de un líquido de inmersión entre la lente el material a mecanizar, que presenta un índice de refracción más alto que el aire.

40 La invención tiene el cometido de indicar un elemento óptico para el enfoque de luz aproximadamente colimada, distribuida sobre una pupila de entrada de diámetro predeterminado, con el que se puede conseguir una zona de enfoque más estrecha y/o una distancia de trabajo mayor y/o una movilidad mejorada con relación a un material a mecanizar que con disposiciones de acuerdo con el estado de la técnica y que presenta una forma de construcción compacta, economizadora de espacio y en el que se suprime o se simplifica un ajuste después de la fabricación del elemento óptico. Además, la invención tiene el cometido de indicar un procedimiento para la aplicación de tal elemento óptico y una disposición para la realización de tal procedimiento.

45 El cometido se soluciona con respecto al elemento óptico de acuerdo con la invención por medio de las características indicadas en la reivindicación 1. El cometido se soluciona con respecto al procedimiento para la aplicación del elemento óptico por medio de las características indicadas en la reivindicación 6.

55

Los desarrollos ventajosos de la invención son objeto de las reivindicaciones dependientes.

5 Un elemento óptico de una pieza para enfocar un haz de entrada de rayos aproximadamente colimadas alrededor de un eje óptico en una zona de enfoque está delimitado en el lado de entrada por un tronco de cono centrado con respecto al eje óptico con superficie de cubierta que apunta hacia la entrada de luz así como en el lado de salida por un cono con punta de cono que apunta hacia la salida de luz sobre el eje óptico, alrededor del cual está dispuesta una superficie límite esférica simétrica rotatoria. El cono está configurado como cono complementario del tronco de cono. La superficie límite esférica está configurada como superficie parcial de la superficie convexa de una lente colectora esférica convexa plana con un punto focal dispuesto detrás de la salida de la luz del elemento óptico sobre el eje óptico. El elemento óptico está fabricado de material ópticamente transparente. Las superficies envolventes del tronco de cono y del cono están configuradas reflectantes hacia dentro y están distanciadas a lo largo del eje óptico de tal manera que el haz de entrada aproximadamente colimado es desviado desde el lado de entrada de la superficie envolvente del cono sobre el lado interior de la superficie envolvente del tronco de cono.

15 Por medio de las superficies envolventes reflectantes del tronco de cono y del cono se concierte un haz de entrada de rayos de luz, que están aproximadamente colimados con respecto al eje óptico y presentan una intensidad de la radiación distribuida de forma gaussiana simétrica rotatoria alrededor de este eje óptico, en un haz que incide en forma de anillo sobre la superficie límite esférica de rayos de luz aproximadamente paralelos al eje óptico. La superficie límite esférica enfoca este haz anular de rayos de luz en una zona de enfoque, que está alrededor del foco de la lente colectora esférica convexa plana asociada a la superficie límite esférica. En este caso, la intensidad de la radiación está distribuida en el plano focal, que contiene el foco y que es atravesado en el foco por el eje óptico, de forma simétrica rotatoria al foco.

25 Una ventaja del elemento óptico según la invención consiste en que la distribución de la intensidad de la radiación es más estrecha alrededor de foco que en disposiciones de elementos ópticos según el estado de la técnica. La zona de actividad, en la que la distribución de la intensidad de la radiación en el plano focal excede una cierta intensidad mínima de la radiación predeterminada, está configurada como superficie circular con un diámetro menor que lo que es posible con disposiciones según el estado de la técnica. De esta manera, en aplicaciones, que se basan en un efecto físico, que aparece esencialmente sólo por encima de tal intensidad mínima de la radiación, se puede alcanzar una exactitud más elevada. Alternativamente, también es posible generar una intensidad de la radiación más elevada dentro de una zona de actividad, que se puede alcanzar también con disposiciones según el estado de la técnica. De esta manera se puede conseguir una intensidad mínima de la radiación para efectos físicos, que no se podía alcanzar o sólo de manera insuficiente con disposiciones conocidas hasta ahora.

35 Otra ventaja del elemento óptico de una pieza según la invención consiste en su forma de construcción compacta economizadora de espacio. Con el plegamiento de la trayectoria de los rayos, realizada a través de reflexión en las superficies envolventes del cono y del tronco de cono se puede conseguir una longitud de construcción especialmente reducida a lo largo del eje óptico. Puesto que la posición de las superficies límites reflectantes y refractantes se puede predefinir por la forma de construcción del elemento óptico de una pieza, no es necesario con ventaja un ajuste después de la fabricación.

45 En una forma de realización del elemento óptico de una pieza, las superficies envolventes del tronco de cono y del cono están plateadas hacia dentro. Tal plateado se puede realizar con ventaja económicamente con procedimientos conocidos.

50 En una forma de realización del elemento óptico de una pieza, el ángulo de apertura del cono es menor que un ángulo de ciento ochenta grado, reducido en el doble del ángulo límite de la reflexión total para una transición desde el material del elemento óptico hacia el aire. A través del ángulo de apertura del cono seleccionado de esta manera se realiza una reflexión total de los rayos de luz colimados aproximadamente con respecto al eje óptico, que inciden sobre el lado interior de la superficie envolvente del cono. De la misma manera se realiza una reflexión total de los rayos de luz desviado desde el lado interior de la superficie envolvente del cono sobre el lado interior de la superficie envolvente del tronco de cono. Por medio de la reflexión total se puede conseguir una desviación de los rayos con menor pérdida de luz que en una superficie límite reflejada. De manera ventajosa, en esta forma de realización de la invención se consigue un rendimiento de luz especialmente alto en la zona de enfoque.

55 En una forma de realización del elemento óptico de una pieza, sobre la superficie de cubierta del tronco de cono está dispuesto un elemento óptico difractivo. La función de transmisión de este elemento óptico difractivo se selecciona para que se reduzca aproximadamente al mínimo la dispersión de la velocidad de los grupos de un pulso láser ultracorto a lo largo de la trayectoria de los rayos a través del elemento óptico.

60 Opcionalmente, la función de transmisión de este elemento óptico difractivo se selecciona para que se reduzcan al mínimo dispersiones de orden superior para tal pulso láser ultracorto. De esta manera, con ventaja se limita o se reduce al mínimo la longitud temporal y/o la distorsión de la forma del pulso de un pulso láser ultracorto de este tipo en la zona del foco del elemento óptico.

- 5 En un procedimiento para enfocar un haz de entrada aproximadamente colimado con un elemento óptico de una pieza, dentro de la zona del foco se puede conseguir una intensidad de la radiación por encima de una intensidad mínima de la radiación para un efecto físico, de manera que este efecto físico se suprime casi totalmente con una intensidad de la radiación por debajo del valor límite de la intensidad de la radiación. Por lo tanto, de manera ventajosa es posible conseguir este efecto físico dentro de una zona de actividad con sección transversal aproximadamente de forma circular y con un diámetro especialmente pequeño en comparación con procedimientos según el estado de la técnica. De este modo son posibles procedimientos de mecanización con exactitud y/o resolución especialmente altas.
- 10 Por ejemplo, es posible que el efecto descansa en una polimerización, que se realiza casi completamente con un valor límite o por encima de un valor límite de la intensidad de la radiación y casi se suprime por debajo de este valor límite de la intensidad de la radiación. De esta manera con ventaja por medio de un elemento óptico según la invención se pueden realizar tales llamados procedimientos de impresión.3D, que se basan en una polimerización resuelta a través de radiación, con una resolución especialmente alta.
- 15 En otra forma de realización del procedimiento, es posible resolver por encima de un valor límite de la intensidad de la radiación una apertura óptica en una zona especialmente pequeña y especialmente limitada exacta en un material mecanizado. De esta manera, por ejemplo procedimientos conocidos a partir del estado de la técnica para la cavitación inducida por láser, por ejemplo para la separación de tejido de la córnea o tejido de lente se pueden realizar de manera especialmente exacta y cuidadosa en una operación Laser-in-situ-Keratomeileusis (LASIK) por medio de pulsos de láser ultracortos. No obstante, también se pueden realizar otros numerosos procedimientos conocidos a partir del estado de la técnica para la cirugía con láser con exactitud y resolución mejoradas.
- 20 En otra forma de realización del procedimiento, por encima del valor límite de la intensidad de la radiación se funde una sustancia sólida. De esta manera, por ejemplo, son posibles procedimientos conocidos a partir del estado de la técnica de la soldadura láser o corte láser de manera especialmente exacta y/o con costuras de soldadura o juntas de separación especialmente exactas.
- 25 En una disposición para la realización de un procedimiento de enfoque de un haz de rayos aproximadamente colimados con un elemento óptico según la invención, se ilumina el elemento óptico en el lado de entrada con luz aproximadamente colimada. De manera ventajosa, se pueden utilizar a tal fin fuentes láser que están disponibles económicas y de alto rendimiento.
- 30 En una forma de realización de tal disposición, el elemento óptico está conectado en el lado de salida con la zona del foco a través de un líquido de inmersión con un índice de refracción mayor que 1, que provoca una ampliación de la apertura numérica del elemento óptico. De esta manera, con geometría e intensidad de la radiación inalteradas de la iluminación óptica del lado de entrada del elemento óptico se consigue un estrechamiento de la zona del foco y, por lo tanto, una intensidad elevada de la radiación en el plano del foco y/o una sección transversal reducida de la zona de actividad. De la misma manera es posible con zona del foco inalterada incrementar la sección transversal del haz de entrada de rayos de luz y de esta manera acoplar una energía luminosa más elevada en el elemento óptico y, por consiguiente, conseguir una intensidad de la radiación más elevada en el plano del foco. Además, es posible, con zona del foco inalterada y sección transversal inalterada del haz de entrada, reducir la dilatación del elemento óptico perpendicularmente al eje óptico y de esta manera utilizar un elemento óptico más económico y más fácil de fabricar.
- 35 En otra forma de realización de tal disposición, entre el elemento óptico según la invención y la zona del foco está dispuesto un elemento de protección ópticamente transparente, que impide de manera ventajosa una contaminación o perjuicio mecánico del elemento óptico, especialmente de la superficie envolvente del lado de salida del cono y de la superficie límite esférica del lado de salida. Por ejemplo, tal elemento de protección puede evitar o reducir la deposición de material evaporado o inyectado sobre las superficies del lado de salida del elemento óptico durante la soldadura láser o corte láser.
- 40 En otra configuración de esta forma de realización de la invención, el elemento de protección es sustituible. De manera ventajosa, en el caso de un procedimiento de mecanización especialmente intensivo de contaminación, un elemento de protección contaminado se puede sustituir de esta manera con poco gasto por un elemento de protección nuevo o limpio o se puede extraer para una limpieza. De este modo se puede conseguir una mecanización con intensidad de la radiación reducida de forma esencialmente duradera y simultáneamente un tiempo reducido de equipamiento y de mantenimiento.
- 45 Ejemplos de realización de la invención se explican en detalle a continuación con la ayuda de dibujos, en los que:

La figura 1 muestra esquemáticamente la trayectoria de los rayos a través de una lente esférica convexa plana.

La figura 2 muestra esquemáticamente el perfil de la intensidad de la radiación a través de una zona del foco a lo

largo de la distancia desde el eje óptico y

La figura 3 muestra esquemáticamente la trayectoria de los rayos a través de un elemento óptico de una pieza para el enfoque del rayo.

5 Las partes correspondientes entre sí están provistas en todas las figuras con los mismos signos de referencia.

10 La figura 1 muestra esquemáticamente la trayectoria de rayos de luz S a través de una lente esférica L convexa plana con un eje óptico OA según el estado de la técnica. Un haz de entrada EB de rayos de entrada colimados hacia el eje óptico OA entra en la entrada de luz LE en la lente esférica L convexa plana en su superficie convexa L.k. Un haz de salida AB de rayos de salida convergentes sale de nuevo en la salida de luz LA en la superficie plana L.p de la lente esférica L convexa plana. La superficie convexa L.k está formada simétrica rotatoria con respecto al eje óptico OA, de tal manera que los rayos de salida se cortarían según las leyes de la óptica de rayos en un foco o punto focal F colocado en el lado de salida de la lente esférica L convexa plana. No obstante, la difracción a tener en cuenta debido a la naturaleza de las ondas de la luz provoca que en contra de las leyes de la óptica de los rayos, no se concentre todo el flujo de radiación distribuido sobre todos los rayos de luz S entrantes en el punto focal F, sino más bien se distribuye de forma simétrica rotatoria con respecto al eje óptico OA en un plano del foco, de manera que el plano del foco es el plano que contiene el punto focal F y es perforado perpendicularmente en éste por el eje óptico OA.

20 La figura 2 muestra esquemáticamente la distribución de la intensidad de la radiación en el plano del foco a lo largo de una línea imaginaria discrecional a través del punto del foco F como perfil de la intensidad de la radiación, de manera que sobre el eje de la posición se registra la distancia de una posición x con respecto al punto del foco F sobre el eje de la intensidad de la radiación E se registra el valor de la intensidad de la radiación, que se mide en esta distancia x. Posiciones colocadas a la misma distancia, pero en dirección opuesta desde el punto del foco F a lo largo de la línea imaginaria a través del punto focal F llevan signos opuestos.

30 Cuando se ilumina una lente esférica L convexa plana con un haz de entrada EB de rayos colimados S, como se representa esquemáticamente en la figura 1, y cuando este haz de entrada presenta una distribución de la intensidad de la radiación gaussiana simétrica rotatoria alrededor del eje OA, resulta en el plano del foco una distribución de la intensidad de la radiación simétrica rotatoria alrededor del eje óptico OA y un perfil de la intensidad de la radiación E_L con un máximo en la posición x=0, es decir, en el lugar del punto focal F, que está rodeado por dos puntos cero. A partir de la simetría de rotación de la distribución de la intensidad de la radiación con respecto al eje óptico OA sigue un desarrollo en simetría de espejo del perfil de la intensidad de la radiación E_L con relación a la perpendicular a través de la posición x=0.

40 Si se necesita una intensidad mínima E_min predeterminada de la radiación para la consecución de un efecto físico determinado, por ejemplo para una polimerización, para una apertura óptica o para una fusión de un material, entonces se consigue este efecto físico en el plano focal sólo dentro de un círculo de actividad alrededor del eje óptico OA, cuyo radio se da por el valor de la distancia x_L_min, en el que se alcanza precisamente la intensidad mínima de la radiación E_min desde el perfil de la intensidad de la radiación E_L.

45 La posición de los dos lugares de cero, que rodean el máximo en el punto focal F, del perfil de la intensidad de la radiación E_L se determina a través de la apertura numérica de la lente esférica L convexa plana. Un incremento de la apertura numérica provoca una aproximación de estos lugares de cero y de esta manera, puesto que toda la potencia de radiación permanece inalterada como superficie por debajo del perfil de la intensidad de la radiación E_L, provoca un máximo más elevado y una caída más empinada en torno a este máximo. Por lo tanto, disposiciones y procedimientos según el estado de la técnica tratan de incrementar la apertura numérica de la lente esférica L convexa plana para la consecución de una intensidad mínima de la radiación E_min más elevada para la obtención de un efecto físico y/o para la mejora de la exactitud en la consecución de un efecto físico.

50 La figura 3 muestra esquemáticamente la trayectoria de los rayos a través de un elemento óptico OE de una pieza, que está configurado simétrico rotatorio a un eje óptico OA. El elemento óptico OE está delimitado hacia el lado de entrada ES por un tronco de cono KS, que presenta una superficie envolvente cónica KS.m, que termina en una superficie de cubierta plana KS.p. La superficie envolvente cónica KS.m está plateada hacia dentro. de manera que se refleja un rayo de luz S, que incide desde el interior del elemento óptico OE sobre la superficie envolvente cónica KS.m. La superficie de cubierta plana KS.p apunta en la dirección del lado de entrada ES y está centrada y alineada perpendicular al eje óptico OA. La superficie de cubierta plana KS.p representa la escotilla de entrada del elemento óptico OE.

60 El elemento óptico OE está delimitado hacia el lado de salida AS por un cono central K, cuya punta de cono está sobre el eje óptico OA y apunta en la dirección del lado de salida AS. El cono K está configurado como cono complementario al tronco de cono KS, con otras palabras: el cono K complementa el tronco de cono KS para formar un cono K completo. La superficie envolvente K.m del cono K está plateada hacia dentro, de manera se refleja que

un rayo de luz S, que incide desde el interior del elemento óptico OE sobre la superficie envolvente K.m.

Alternativamente al plateado de las superficies envolventes K.m, KS.m del cono K y del tronco de cono KS es posible que en función del índice de refracción del material para el elemento óptico OE se selecciona un ángulo de apertura para el K y, por lo tanto, también para el tronco de cono KS, de tal manera que la reflexión de un rayo de luz S en el lado interior de la superficie envolvente K.m del cono K como también en el lado interior de la superficie envolvente KS.m del tronco de cono KS se realice sobre la reflexión total.

El elemento óptico OE está delimitado, además, hacia el lado de salida AS por una superficie límite esférica AG simétrica rotatoria hacia el eje óptico OA, que se conecta en el cono K y lo engasta. En la zona de la superficie límite esférica AG, es decir, fuera del cono K, la superficie límite del lado de salida del elemento óptico OE coincide con la superficie convexa L.k de una lente esférica L plana convexa imaginaria, cuyo foco se encuentra en el lado de salida sobre el eje óptico OA.

Es posible que la superficie de cubierta plana KS.p y/o la superficie límite esférica AG sean antirreflectantes, para limitar las pérdidas de transmisión durante la entrada y/o salida de luz dentro y/o fuera del elemento óptico OE.

A continuación se explica la trayectoria de los rayos a través del elemento óptico OE. Un haz de entrada EB hacia el eje óptico OA de rayos colimados S con una sección transversal circular atraviesa la superficie de cubierta plana KS.p sin modificación de la dirección y se refleja en la superficie envolvente K.m del cono K hacia dentro. En virtud de la inclinación de la superficie envolvente K.m hacia el eje óptico OA, el haz de rayos presenta después de la reflexión en la superficie envolvente K.m una sección transversal anular concéntrica al eje óptico, de manera que el diámetro interior y el diámetro exterior del anillo luminoso LR se ensanchan con esta sección transversal anular en la dirección de la trayectoria de los rayos, es decir, en dirección a la superficie envolvente KS.m del tronco de cono KS.

El anillo luminoso LR ensanchado incide sobre el lado interior de la superficie envolvente KS.m del tronco de cono KS bajo el mismo ángulo de incidencia, bajo el que los rayos colimados S, paralelos al eje óptico OA indican sobre el lado interior de la superficie envolvente K.m del cono K, puesto que el cono K forma un cono complementario del tronco de cono KS. Por consiguiente, el anillo luminoso LR ensanchado es reflejado en el lado interior de la superficie envolvente K.m en un haz hacia el eje óptico de rayos de luz colimados S con sección transversal anular en la dirección de la superficie límite esférica AG. Este anillo luminoso reflejado LR' incide de esta manera con sección transversal anular inalterada sobre la superficie límite esférica AG.

La superficie límite esférica AG está curvada simétrica rotatoria, de tal manera que los rayos S, que inciden colimados con respecto al eje óptico OA, incidirían de acuerdo con las leyes de la óptica geométrica en un foco F en el lado de salida.

De hecho, también aquí resulta, en virtud de la refracción de la luz, una distribución de la intensidad de la radiación en el plano del foco, que no se concentra en un foco F infinitesimal pequeño, sino que se extiende simétrico rotatorio más allá de éste. La figura 2 representa esquemáticamente el perfil de la intensidad de la radiación E_OE alcanzado con el elemento óptico OE según la invención junto al perfil de la intensidad de la radiación E_L para una lente esférica L convexa plana según el estado de la técnica sin utilización de axicones A1, A2 para el ensanchamiento del rayo, presentando ambas disposiciones la misma apertura numérica.

Como se puede reconocer a partir de la figura 2, el máximo central, es decir, la zona entre los dos mínimos o lugares cero que incluyen el máximo, del perfil de la intensidad de la radiación E_OE alcanzada con el elemento óptico OE es menor que el máximo central del perfil de la intensidad de la radiación E_L según el estado de la técnica. Especialmente también la zona, en la que se excede la intensidad mínima de la radiación E_min predeterminada con un rayo formado por el elemento óptico OE es menor y corresponde a un círculo alrededor del eje óptico OA, cuyo radio se da por el valor de la distancia x_SF_min, en el que se alcanza precisamente la intensidad mínima de la radiación E_min desde el perfil de la intensidad de la radiación E_OE.

De manera ventajosa, con el elemento óptico OE se puede realizar, por lo tanto, una mecanización más exacta de una pieza de trabajo o de un material, cuando esta mecanización de basa en un efecto físico, que sólo se resuelve por encima de tal intensidad mínima de la radiación E_min predeterminada, sin que deba incrementarse para ello la apertura numérica con las repercusiones desfavorables conocidas a partir del estado de la técnica.

Es evidente para el técnico que para un haz de entrada EB, que no comprende exclusivamente exactamente rayos S colimados, sino rayos S ligeramente divergentes o convergentes, por lo tanto, en general, ligeramente inclinados, por ejemplo menos de 5 grados, frente al eje óptico OA, resulta un perfil de la intensidad de la radiación, que es similar, en principio, al desarrollo representado del perfil de la intensidad de la radiación E_OE, en particular con respecto a la altura y la anchura del máximo central. De esta manera, el elemento óptico OE se puede emplear de manera ventajosa también para fuentes de luz no colimadas exactamente.

Lista de signos de referencia

ES 2 641 514 T3

	S	Rayo de luz, rayo
	L	Lente esférica convexa plana
	L.p	Superficie plana de la lente esférica convexa plana
5	L.k	Superficie convexa de la lente esférica convexa plana
	OA	Lente óptico
	EB	Haz de entrada
	AB	Haz de salida
	LE	Entrada de luz, lado de entrada
10	LA	Salida de luz, lado de salida
	F	Punto focal, foco
	X	Eje de posición
	E	Eje de la intensidad de la radiación
	E_L	Perfil de la intensidad de la radiación de una lente esférica convexa plana
15	E_OE	Perfil de la intensidad de la radiación de un formador del rayo
	E_min	Intensidad mínima de la radiación
	OE	Elemento óptico
	KS	Tronco de cono
	KS.m	Superficie envolvente del tronco de cono
20	KS.p	Superficie de cubierta del tronco de cono
	K	Cono
	K.m	Superficie envolvente del cono
	AG	Superficie límite esférica
25	LR, LR'	Anillo luminoso

REIVINDICACIONES

- 1.- Elemento óptico (OE) de una pieza de material ópticamente transparente para enfocar un haz de entrada (EB) de rayos colimados (S) alrededor de un eje óptico (OA) en una zona de enfoque alrededor de un foco (F), delimitado en el lado de entrada por un tronco de cono (KS) centrado con respecto al eje óptico (OA) con superficie de cubierta (KS.p) que apunta hacia la entrada de luz (LE), caracterizado por que el elemento óptico (OE) está delimitado en el lado de salida por un cono (K) con punta de cono que apunta hacia la salida de luz (LA) sobre un eje óptico (OA) y por una superficie límite (AG) esférica simétrica rotatoria dispuesta alrededor del cono (K), en el que el cono (K) está configurado como cono complementario que completa con el tronco de cono (KS) un cono y en el que la superficie límite esférica (AG) está configurada como superficie parcial de la superficie convexa (L.k) de una lente colectora (L) esférica convexa plana con un foco (F) dispuesto detrás de la salida de luz (LA) del elemento óptico (OE) sobre el eje óptico y en el que las superficies envolventes (KS.m, K.m) del tronco de cono (KS) y del cono (K) están distanciadas reflectantes hacia dentro y a lo largo del eje óptico (OA), de tal manera que el haz de entrada colimado (EB) es desviado desde el lado interior de la superficie envolvente (K.m) del cono (K) sobre el lado interior de la superficie envolvente (KS.m) del tronco de cono (KS).
- 2.- Elemento óptico (OE) de una pieza según la reivindicación 1, caracterizado por que las superficies envolventes (KS.m, K.m) del tronco de cono (KS) y del cono (K) están reflejadas hacia dentro.
- 3.- Elemento óptico (OE) de una pieza según la reivindicación 1, caracterizado por que el ángulo de apertura del cono (K) es menor que un ángulo de ochenta grados reducido en el doble del ángulo límite de la reflexión total para una transición desde el material ópticamente transparente del elemento óptico (OE) hacia el aire.
- 4.- Elemento óptico (OE) de una pieza según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que sobre la superficie de cubierta (KS.p) del tronco de cono (KS) está dispuesto un elemento óptico difractivo (OE), cuya función de transmisión está seleccionada de tal forma que la dispersión de la velocidad de los grupos de un pulso láser ultracorto se reduce al mínimo a lo largo de la trayectoria de los rayos a través del elemento óptico (OE).
- 5.- Elemento óptico (OE) de una pieza según la reivindicación 4, caracterizado por que la función de transmisión del elemento óptico-difractivo (OE) se selecciona para que la dispersión de la velocidad de los grupos y las dispersiones de orden superior de un pulso láser ultracorto se reducen al mínimo a lo largo de la trayectoria de los rayos a través del elemento óptico (OE).
- 6.- Procedimiento para enfocar un haz de entrada (EB) de rayos colimados (S) con un elemento óptico (OE) de una pieza según una de las reivindicaciones 1 a 4, caracterizado por que dentro de la zona del foco alrededor del punto focal (F) se puede conseguir una intensidad de la radiación por encima de una intensidad mínima de la radiación (E_{\min}) para un efecto físico, que se suprime totalmente fuera de la zona del foco.
- 7.- Procedimiento según la reivindicación 6, caracterizado por que el efecto físico se basa en una polimerización por encima de la intensidad mínima de la radiación (E_{\min}).
- 8.- Procedimiento según la reivindicación 6, caracterizado por que el efecto físico se basa en una apertura óptica fuera de la intensidad mínima de la radiación (E_{\min}).
- 9.- Procedimiento según la reivindicación 6, caracterizado por que el efecto físico se basa en la fusión de un material sólido fuera de la intensidad de la radiación mínima (E_{\min}).
- 10.- Procedimiento según una de las reivindicaciones 6 a 9, caracterizado por que el elemento óptico (OE) de una pieza es iluminado en el lado de entrada con luz colimada.
- 11.- Disposición con un elemento óptico (OE) según una de las reivindicaciones 1 a 5, caracterizada por que el elemento óptico (OE) de una pieza está conectado con la zona del foco alrededor del punto focal (F) a través de un líquido de inmersión con un índice de refracción mayor de 1.
- 12.- Disposición según la reivindicación 11, caracterizado por que entre el elemento óptico (OE) de una pieza y la zona del foco está dispuesto un elemento de protección ópticamente transparente.
- 13.- Disposición según la reivindicación 12, caracterizado por que el elemento de protección es sustituible.

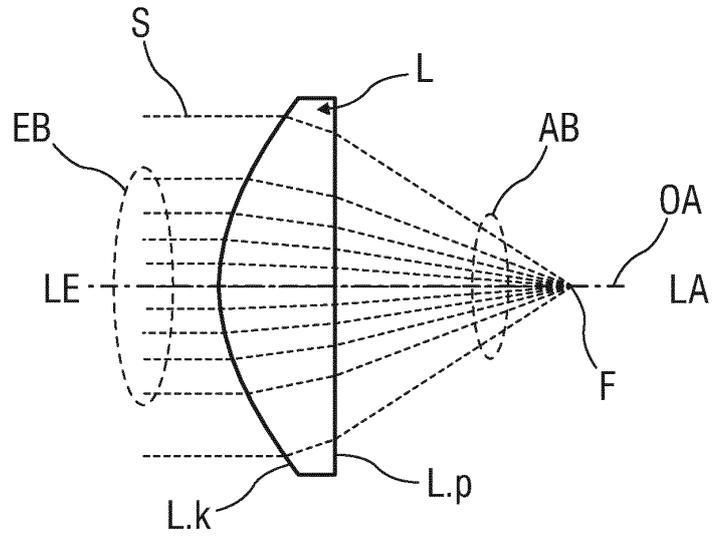


FIG 1

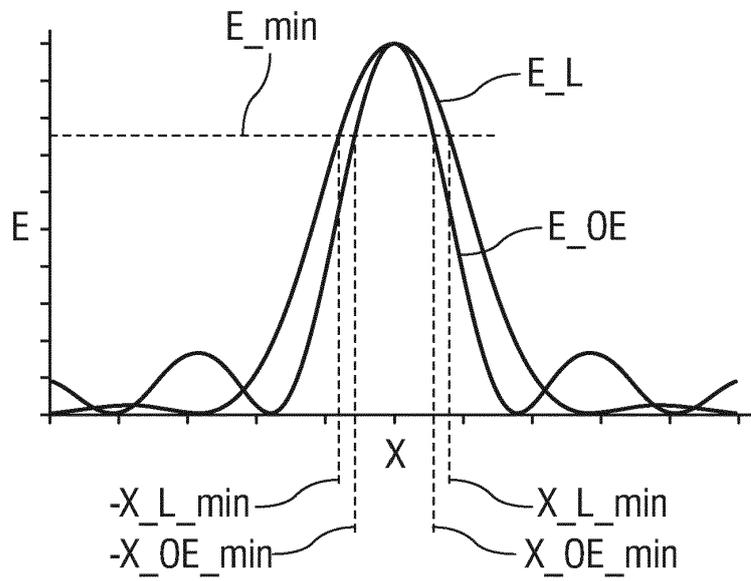


FIG 2

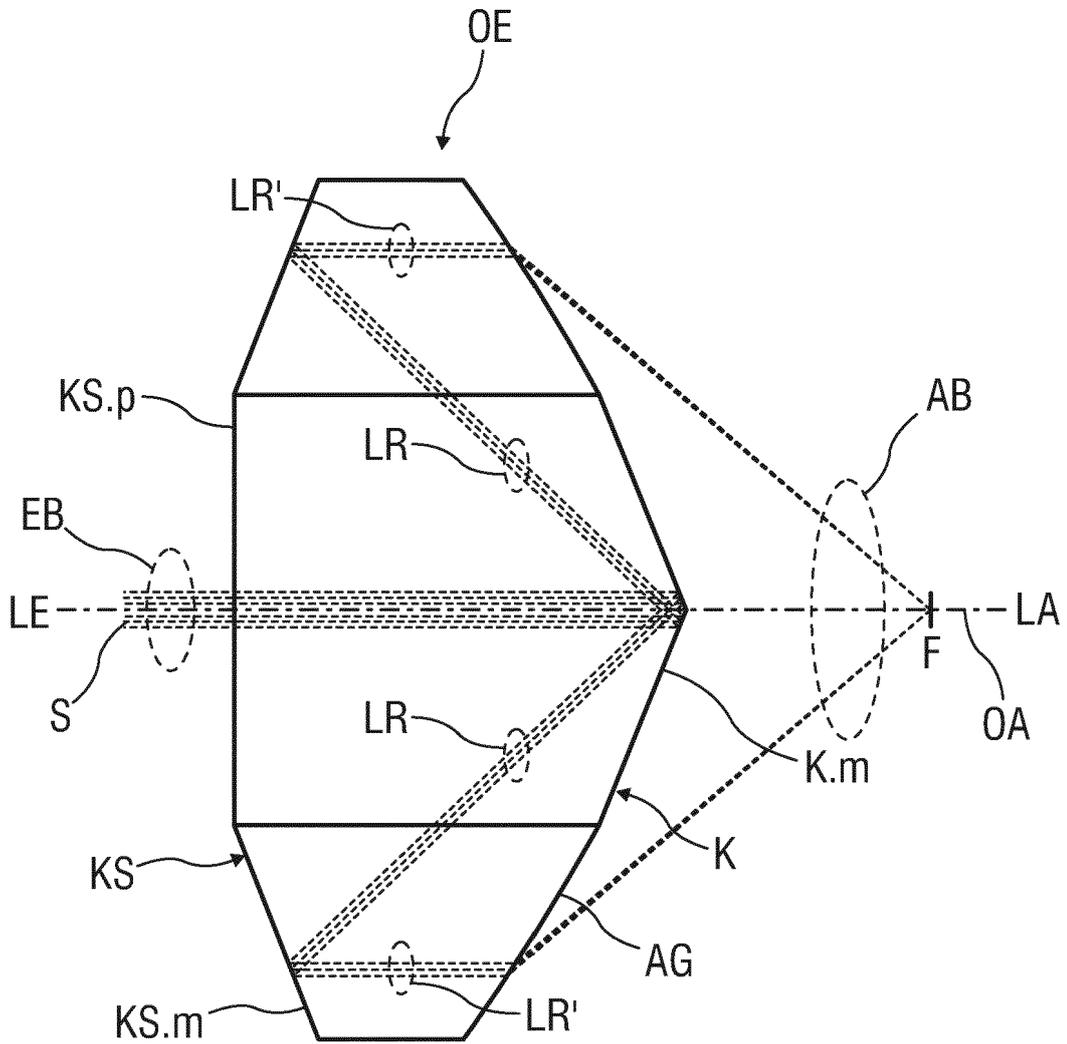


FIG 3