

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 713 184**

51 Int. Cl.:

F21V 5/02 (2006.01)
F21V 7/05 (2006.01)
F21V 13/04 (2006.01)
H01L 33/58 (2010.01)
G02B 27/09 (2006.01)
B23K 26/067 (2006.01)
G02B 27/42 (2006.01)
B29C 65/16 (2006.01)
B23K 26/38 (2014.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **27.01.2016 PCT/EP2016/051702**
- 87 Fecha y número de publicación internacional: **04.08.2016 WO16120327**
- 96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **27.01.2016 E 16702682 (2)**
- 97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **05.12.2018 EP 3250958**

54 Título: **Dispositivo para el procesamiento de material mediante radiación láser**

30 Prioridad:

28.01.2015 DE 102015101263

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
20.05.2019

73 Titular/es:

**PRECITEC GMBH & CO. KG (100.0%)
Draisstrasse 1
76571 Gaggenau-Bad Rotenfels, DE**

72 Inventor/es:

**RUDOLF, ANDREAS y
SCHÖNLEBER, MARTIN**

74 Agente/Representante:

CARPINTERO LÓPEZ, Mario

ES 2 713 184 T3

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

DESCRIPCIÓN

Dispositivo para el procesamiento de material mediante radiación láser

La invención se refiere a un dispositivo para el procesamiento de material mediante radiación láser.

5 En el procesamiento por láser, es decir, en el procesamiento de material mediante radiación láser, tal como por ejemplo soldadura por láser o corte por láser, el rayo láser que sale de una fuente de luz láser, por ejemplo del extremo de una fibra de conducción de láser, se enfoca con ayuda de una óptica de guía y enfoque de rayos en la pieza de trabajo que va a procesarse. El diámetro del foco, es decir, el diámetro de la imagen de la fuente de luz láser sobre la pieza de trabajo resulta, por tanto, de los datos ópticos de los elementos ópticos individuales de la óptica de guía y de enfoque. Se usa de acuerdo con el estándar una óptica de guía y enfoque de rayos con una
10 óptica de colimador y una óptica de enfoque que se suministra a la luz láser a través de una fibra de conducción de luz, el diámetro de foco resulta del producto de diámetro de núcleo de fibra y distancia focal de enfoque dividido entre la distancia focal de colimación.

Para el corte por láser se necesitan - en función del espesor de chapa - diferentes diámetros de rayo láser en el foco. A este respecto, el diámetro de rayo láser debería ser mayor cuanto mayor sea el espesor del material que va a cortarse. Por ejemplo, hasta un espesor de chapa de 5 mm se usa un diámetro de foco de aproximadamente 125 μm , mientras que en el corte de chapas de 5 mm a 10 mm de espesor se desea un diámetro de foco el doble de grande, es decir, un diámetro de foco de aproximadamente 250 μm . A partir de espesores de chapa de 10 mm se usan ópticas de guía y de enfoque que proporcionan un diámetro de foco de aproximadamente 600 μm o más. No obstante, una alta calidad de bordes de corte solo puede lograrse mediante una cáustica de rayo hecha a medida.
15 De lo contrario, se formarán estrías, rebabas y barbas en el borde de corte.

En el caso de grandes diámetros de enfoque es ventajoso configurar un perfil de anillo de la distribución de intensidad en el enfoque, dado que resulta en este sentido una distribución de temperatura más homogénea en la junta de corte. Como resultado, la masa fundida puede expulsarse más eficazmente por el gas de corte.

25 Por el documento DE 28 21 883 C2 se conoce ya un dispositivo para el procesamiento de material, tal como taladrado, punzonado y soldadura con la ayuda de rayos láser, en el que entre una óptica de colimador para expandir el rayo láser y una óptica de enfoque para el enfoque del rayo láser en una pieza de trabajo se consigue un cono (axicón) que se compone de material refractor transparente para la inversión axialmente simétrica de las zonas de corte transversal próximas y lejanas del rayo de procesamiento por láser. La óptica de enfoque enfoca entonces el rayo de procesamiento por láser de acuerdo con su característica de rayo modificada en una zona anular sobre la pieza de trabajo. Mediante el uso del axicón está modificada, por tanto, la distribución de intensidad en el rayo de procesamiento por láser de tal modo que resulta en la zona de enfoque un perfil de anillo.
30

En el dispositivo óptico conocido por el documento DE 10 2013 102 442 A1 para el uso en el procesamiento de material por láser están previstas entre una óptica de enfoque y óptica de colimador dos ópticas refractivas, que pueden desplazarse transversalmente hacia el rayo láser. Las ópticas refractivas están configuradas, a este respecto, como elementos en forma de placa, cuyas superficies dirigidas unas a otras están conformadas de tal modo que mediante el desplazamiento puede ser simulado un axicón con ángulo de cono variable. De este modo puede generarse tanto un perfil de sombrero de copa como un perfil de anillo. El diámetro de anillo puede ajustarse, a este respecto, sin pasos.
35

40 Por el documento WO 2013/086227 A1 se conoce un dispositivo en el que la característica de láser no se efectúa en el enfoque sobre la pieza de trabajo mediante un agarre en óptica de guía y enfoque de rayos, sino por que la característica de rayo se efectúa en el extremo de salida de la luz láser de una fibra de vidrio que suministra la radiación láser para la óptica de guía y enfoque de rayos. Para ello se acopla el rayo láser con ayuda de un dispositivo de acoplamiento desplazable en distintos ángulos en la fibra de proceso para excitar solo algunos de los modos de fibra. De este modo puede generarse tanto un perfil de Gauss/sombrero de copa como un perfil de anillo. También puede ajustarse el diámetro de anillo sin pasos. En este caso se aprovecha, por tanto, la propiedad física de una fibra de vidrio, de modo que la apertura numérica en el lado de acoplamiento es igual que la apertura numérica en el lado de salida de la fibra.
45

Además, ya se han propuesto placas de vidrio reflectantes con rampas de fase circunferenciales o acimutales, que forman un perfil de dientes de sierra en dirección circunferencial. A este respecto, el perfil de dientes de sierra está inclinado más en el interior que en el exterior. Con elementos de este tipo puede generarse un anillo con diámetro fijo.
50

Por el documento DE 10 2011 113 980 A1 se conoce un sistema de lentes con intensidad de refracción variable en el que dos lentes plano-convexas están dispuestas con sus superficies planas unas sobre otras de manera que pueden girarse alrededor del eje óptico. Las superficies de lente convexas están dotadas, a este respecto, respectivamente de un perfil de curvatura similar a una espiral con una intensidad de refracción que aumenta o disminuye continuamente alrededor del eje de rotación en función del ángulo y respectivamente con al menos un paso de intensidad de refracción acimutal en un ángulo cero respectivo. A medida que las lentes rotan una contra otra, se modifica la intensidad de refracción y con ello la distancia focal del par de lentes. Los pasos acimutales
55

tienen que cubrirse a este respecto.

5 El documento US 2007/0139798 A1 se refiere a un irradiador LED con un distribuidor de luz radialprismático. El distribuidor de luz radialprismático, que está dispuesto en dirección de radiación principal delante del LED, presenta a este respecto sobre el lado apartado del LED una superficie con un patrón en forma circular de facetas en forma de sector, que están inclinadas en dirección circunferencial de manera alterna contra el respectivo plano de placa.

Además, se sabe que los problemas durante la soldadura por láser, como la formación de salpicaduras y poros, pueden reducirse mediante la desviación rápida y periódica del rayo láser de trabajo.

10 Por ejemplo, por el documento WO 2014/038395 A1 se conoce un cabezal de procesamiento por láser en el que está dispuesta una placa de cuña que rota por motor en la trayectoria de rayo para desviar el rayo láser de trabajo hacia una vía circular.

Por el documento DE 10 2012 008 940 A1 se conoce un cabezal de procesamiento por láser adicional en el que a la velocidad de avance del rayo láser en dirección y se superpone un segundo movimiento con una componente de movimiento oscilante en dirección x, de modo que el rayo láser para el mecanizado de la pieza de trabajo la atraviesa en una vía circular.

15 En un cabezal de procesamiento por láser conocido por el documento US 8237085 B2, la distribución de intensidad del rayo láser se promedia en el tiempo mediante la oscilación de espejos en perpendicular al eje del rayo.

20 Por el documento DE 44 30 220 A1 se conoce un cabezal de procesamiento de espejo oscilante, en el que están integrados espejo de enfoque, espejo plano y escáner galvanoscópico. Un rayo láser se enfoca mediante el espejo de enfoque y se desvía a través del espejo plano, que se controla por el escáner galvanoscópico, hacia una pieza de trabajo. La conformación de rayo láser se efectúa a base de una oscilación sinusoidal y armónica del rayo como función de control por el escáner galvánico para controlar la distribución de la intensidad sobre la pieza de trabajo.

25 El documento DE 10 2014 105 941 A1 describe un procedimiento para la soldadura por rayo láser en el que el rayo láser realiza un movimiento de oscilación en el espacio durante la soldadura en paralelo y/o en perpendicular al cordón de soldadura, y en el que la solidificación del baño de fusión se controla mediante una oscilación temporal y adicional de la intensidad del rayo láser y/o de la colimación del rayo láser realizada de forma sincrónica a la oscilación espacial. Las oscilaciones temporales de la energía del rayo láser se determinan en este caso mediante una variación de la potencia del láser de la fuente del rayo y/o mediante un ajuste de colimación en la dirección del rayo axial, es decir, una expansión o enfoque del rayo láser.

30 El documento US 2005/0098260 se refiere a un procedimiento y a un dispositivo para calentar plásticos mediante rayos láser y describe mediante la Figura 2 un cabezal de procesamiento 13 con una bola de vidrio 22 como elemento de presión y de guía para el rayo láser (véase página 1, párrafo [0013]). En el cabezal de procesamiento está dispuesta una óptica de colimador 3 y una lente de enfoque 8, que enfoca un rayo láser 2 proporcionado a través de una fibra óptica 1 en un plano focal 9 a través de la bola de vidrio 22. En una trayectoria de rayo paralela entre la óptica de colimador 3 y la lente de enfoque 8 está dispuesta una placa de cuña 4 doble, que divide el rayo láser 2' en dos rayos parciales 2", de modo que en el plano de foco 9 están presentes dos puntos de láser 10, 11. Como se describe en la página 2 en el párrafo [0022], puede formarse un anillo con dos puntos de láser mediante rotación de la placa de cuña doble. El número de los rayos y con ello de los puntos de láser puede elevarse mediante el aumento del número de cuñas. En la Figura 3A se muestra una placa de cuña con tres cuñas, en la Figura 4B una placa de cuña con 4 cuñas y en la Figura 3C una placa de cuña con cinco cuñas.

40 La invención tiene por objetivo proporcionar un dispositivo y un procedimiento para el procesamiento de material mediante radiación láser, con cuya ayuda puede cambiarse tanto el diámetro de foco como la característica de rayo en particular en la zona de foco, es decir, la distribución de energía en la zona de foco sin intercambio de componentes de la óptica de guía y de enfoque también en funcionamiento continuo. Este objetivo se soluciona de acuerdo con la invención mediante el dispositivo para el procesamiento de material mediante radiación láser de acuerdo con la reivindicación 1 y el procedimiento según la reivindicación 20. En las respectivas reivindicaciones dependientes se describen configuraciones ventajosas y perfeccionamientos de la invención.

50 De acuerdo con la invención, el dispositivo para el procesamiento de material presenta, por tanto, mediante radiación láser al menos un elemento óptico en forma de placa en la trayectoria de rayo del rayo láser, cuya una superficie está dotada de un patrón circular de facetas en forma de sector, que están inclinadas en dirección circunferencial de manera alterna contra el respectivo plano de placa. Con un elemento óptico de este tipo se divide el enfoque de láser en el plano focal en una pluralidad de puntos que están dispuestos en forma de anillo alrededor del eje óptico de la trayectoria de rayo. Si el elemento óptico en forma de placa se mueve ahora dentro y fuera de la trayectoria de rayo del rayo láser, puede conmutarse una distribución de densidad de potencia del rayo láser en el plano focal entre la distribución de punto (mota o *spot*) y la distribución de anillo (*ring*).

55 De acuerdo con otro aspecto de la invención, el dispositivo presenta para el procesamiento de material mediante radiación láser al menos dos elementos ópticos en forma de placa, que están dispuestos uno detrás de otro en la trayectoria de rayo en dirección circunferencial de manera que pueden girarse uno contra otro. Los elementos

- 5 ópticos en forma de placa presentan respectivamente una superficie con un patrón circular de facetas en forma de sector, que están inclinadas en dirección circunferencial de manera alterna contra el respectivo plano de placa. Las facetas estrechas en forma de sector, preferentemente facetas planas, configuran, por tanto, de manera alterna sectores de placa en forma de cuña, que desvían zonas correspondientes en forma de sector del haz de rayos láser en direcciones opuestas.
- 10 Con la óptica de ajuste de acuerdo con la invención puede generarse en función de la posición angular de los dos elementos ópticos en forma de placa uno contra otro una distribución de intensidad en forma de punto o una distribución de intensidad en forma de anillo en el punto focal o en el plano focal de la óptica de enfoque. De acuerdo con la invención puede cambiarse, por tanto, mediante giro de los elementos ópticos en forma de placa uno por otro también durante el procesamiento de rayo láser entre perfil de anillo y perfil de Gauss/sombrero de copa, de modo que incluso chapas con diferentes espesores de material pueden procesarse en una sola pasada o inmediatamente una tras otra sin cambiar la óptica de guía y enfoque de rayos de un cabezal de procesamiento por láser.
- 15 Aunque en principio es concebible que las facetas en forma de sector tengan diferente ancho, es ventajoso que todas las facetas en forma de sector de un elemento óptico en forma de placa presenten el mismo ancho acimutal.
- 20 Las superficies de las facetas en forma de sector de los elementos ópticos en forma de placa de la óptica de ajuste están planas o curvados o presentan dos o más secciones inclinadas de manera diferente.
- 25 De manera ventajosa está previsto que los dos elementos ópticos en forma de placa de la óptica de ajuste se enfrenten con sus patrones de facetas en forma de sector, pudiendo girarse los dos elementos ópticos en forma de placa de la óptica de ajuste alrededor de un eje, que es coaxial con un eje central del haz de rayos láser y presentando el patrón de facetas en forma de sector de los dos elementos ópticos en forma de placa de la óptica de ajuste el mismo número de facetas y estando inclinadas las superficies de faceta en el mismo ángulo. Mediante una disposición de este tipo puede conseguirse que las superficies de los dos elementos ópticos, que portan el patrón de facetas en forma de sector, se enfrenten a una distancia muy pequeña, de modo que las desviaciones del rayo de las dos superficies se complementen o anulen de manera ideal en función de la posición angular de los elementos ópticos. De este modo es posible obtener tanto un perfil de puntos lo mejor posible (de Gauss/sombrero de copa) como un perfil de anillo lo más limpio posible.
- 30 En un perfeccionamiento ventajoso de la invención está previsto que la óptica de ajuste presente otro elemento óptico en forma de placa con un patrón de facetas en forma de sector. El otro elemento en forma de placa puede presentar las mismas propiedades que los dos primeros. Para poder variar la distribución de energía en el plano focal de la manera más amplia posible está previsto en particular que el elemento óptico adicional en forma de placa presente un patrón de facetas en forma de sector, que sea distinto del patrón de facetas en forma de sector de los dos primeros elementos ópticos en forma de placa.
- 35 A este respecto, las superficies de faceta del elemento óptico adicional en forma de placa pueden estar inclinadas en un ángulo contra el plano de placa, que es distinto del ángulo de inclinación de los dos primeros elementos ópticos en forma de placa, en particular tan grande como la suma de los ángulos de inclinación de los dos primeros elementos ópticos en forma de placa, Mediante la combinación de tres elementos ópticos en forma de placa con patrones de facetas en forma de sector en el haz de rayos de un haz de procesamiento por láser pueden combinarse entre sí dos perfiles de anillo distintos, de modo que la característica de rayo, es decir, la distribución de intensidad en el haz de rayos láser puede variar en un intervalo amplio en función de qué distribución de intensidad se desea para un procesamiento de material actual.
- 40 Además, es posible que las facetas del elemento óptico adicional en forma de placa presente un ancho acimutal, que es distinto del ancho acimutal de las facetas de los dos primeros elementos ópticos en forma de placa.
- 45 De manera ventajosa está previsto que el ángulo de inclinación de las superficies de faceta contra el plano de placa ascienda a entre $\pm 0,1^\circ$ y $\pm 0,6^\circ$.
- 50 Una distribución especialmente uniforme de la energía de láser en un perfil de anillo puede conseguirse cuando está previsto que el número entero de las facetas sea de 18 a 72, preferentemente de 24 a 40, en particular 36.
- 55 Aunque en principio es posible disponer la óptica de ajuste de acuerdo con la invención también en una zona divergente o convergente de un haz de rayos láser, está previsto de acuerdo con la invención que esté prevista una óptica de colimador para expandir el rayo láser, y que la óptica en estrella de Siemens esté dispuesta entre la óptica de colimador y la óptica de enfoque.
- En una configuración ventajosa de la invención está previsto que al menos a uno de los elementos ópticos en forma de placa esté asociado un accionamiento de giro, de modo que el elemento óptico en forma de placa pueda accionarse durante un proceso de procesamiento por láser para rotar con velocidad constante o variable.
- Si la óptica de ajuste presenta dos o más elementos ópticos en forma de placa, puede variarse periódicamente de este modo la distribución de densidad de potencia del rayo láser, por lo que durante el uso de frecuencias de modulación correspondientemente altas se consigue una expansión de rayo casi continua en el enfoque.

Si solo está presente un elemento óptico en forma de placa, no puede modularse concretamente mediante la rotación del elemento óptico en forma de placa la distribución de densidad de potencia del rayo láser, aunque de manera ventajosa es posible homogeneizar en el tiempo la distribución de densidad de potencia en el perfil de anillo en dirección circunferencial, dado que el perfil de anillo rota por sí mismo en un plano en paralelo al plano del elemento óptico en forma de placa, dado que por tanto los puntos de luz individuales del perfil de anillo discurren casi alrededor del eje óptico. La distribución temporal de la densidad de potencia en un punto del perfil de anillo se corresponde, a este respecto, con la distribución espacial en dirección circunferencial. Con ello pueden compensarse no solo diferencias de densidad de potencia debidas a la estructura de puntos, sino también las que se basan en tolerancias de fabricación.

De manera conveniente, a cada uno de los elementos ópticos en forma de placa está asociado un propio accionamiento de giro, pudiendo controlarse los accionamientos de giro independientemente entre sí, de modo que la velocidad de giro y la dirección de giro de cada uno de los elementos ópticos en forma de placa puede seleccionarse libremente. Con un dispositivo de este tipo puede variarse la distribución de densidad de potencia del rayo láser tanto en el tiempo a través de las velocidades de giro como espacialmente a través de la estructura geométrica seleccionada de las facetas en forma de sector y la activación o desactivación de los accionamientos de giro individuales.

En el mecanizado de material mediante radiación láser con el uso de un dispositivo de acuerdo con la invención se gira de manera ventajosa durante el mecanizado láser al menos uno de los elementos ópticos en forma de placa con velocidad constante o variable para variar una distribución de densidad de potencia con una frecuencia de modulación deseada.

De manera conveniente puede estar previsto a este respecto que ambos de los al menos dos elementos ópticos en forma de placa se giren en direcciones opuestas con la misma o diferente velocidad, de modo que la modulación de la distribución de densidad de potencia puede adaptarse a los respectivos requisitos de la tarea de mecanizado.

Para poder variar no solo la distribución de densidad de potencia, sino también la propia potencia durante el mecanizado láser, se modula la potencia de salida del láser, mientras se giran uno o varios de los elementos ópticos en forma de placa, estando acoplada una frecuencia de modulación del láser a la frecuencia de modulación de la distribución de densidad de potencia.

La invención se explica en más detalle a continuación por ejemplo mediante el dibujo. Muestran:

la Figura 1 una vista en perspectiva de un elemento óptico en forma de placa con geometría en estrella de Siemens, en la que el ángulo de inclinación de las superficies de faceta está representado exageradamente grande,

la Figura 2 una representación esquemática de una óptica de enfoque para el enfoque de un haz de rayos paralelo, estando dispuesto en el haz de rayos un elemento óptico en forma de placa individual de una óptica de ajuste,

la Figura 3a una vista superior esquemática de un elemento óptico en forma de placa simplificado de una óptica de ajuste con ocho facetas,

la Figura 3b una vista lateral (desarrollo) de un elemento óptico en forma de placa para una óptica de ajuste de acuerdo con la invención,

la Figura 4 representaciones esquemáticas de la característica de rayo delante del plano focal, en el plano focal y detrás,

la Figura 5 una disposición de acuerdo con la invención de dos elementos ópticos en forma de placa para la formación de una óptica de ajuste,

la Figura 6 una óptica de guía y enfoque de rayos como se usa para el mecanizado láser en un cabezal de mecanizado por láser, en cuya trayectoria de rayo láser está dispuesta una óptica de ajuste con dos elementos ópticos en forma de placa y

la Figura 7 una disposición de acuerdo con la invención con tres elementos ópticos en forma de placa para formar una óptica de ajuste, estando estructurada la central en ambos lados.

En las figuras se dotan las partes constructivas que se corresponden entre sí con las mismas referencias.

La Figura 1 muestra un elemento óptico 10 en forma de placa, que se compone de un disco transparente, en particular de un vidrio plano de vidrio de cuarzo o de sulfuro de cinc, que presenta en un lado facetas a modo de estrellas de Siemens, que están inclinadas en dirección acimutal o circunferencial. Las facetas son, por tanto, sectores estrechos o secciones circulares que, de manera similar al patrón de prueba circular conocido como estrella de Siemens, que posee de manera alterna sectores blancos y negros, poseen también una inclinación alterna en dirección circunferencial. Dos facetas adyacentes forman, por tanto, una forma de techo o una forma de valle en

forma de V, configurando dos facetas, que forman juntas una forma de techo, respectivamente con sus otras facetas adyacentes, respectivamente, una forma en V. El elemento óptico en forma de placa con las facetas dispuestas en forma de estrella de Siemens se denomina en adelante óptica en estrella de Siemens de acuerdo con las estrellas de Siemens conocidas para probar las calidades de ilustración.

5 La superficie de faceta de cada sector forma con la superficie complementaria plana una placa de cuña con desviación de rayo uniforme del sector circular asociado del rayo colimado. En el dibujo se representan los ángulos de inclinación de las facetas en este caso a título ilustrativo con +/- 15° de manera exageradamente grande. Las facetas, es decir, los sectores cubren respectivamente una zona angular de 10° en dirección acimutal o circunferencial. Esto da como resultado en total 36 facetas, es decir, 18 facetas por ángulo de inclinación en el círculo completo.

10 Si una óptica en estrella de Siemens 10 - como se muestra en la Figura 2 - está dispuesta en la trayectoria de rayo 14 paralela expandida de una fuente de rayo láser no representada en más detalle delante de una óptica de enfoque 15, en el plano focal F de la óptica de enfoque 15 resulta una imagen de enfoque en forma anular compuesta por puntos de luz individuales (los denominados *spots*). En los planos I delante del plano focal y II detrás del plano focal se representan las motas (*spots*) individuales, que vuelven a las facetas individuales, más o menos emborronadas.

15 A continuación se describe una geometría en estrella de Siemens muy simplificada con ocho facetas en forma de sector circular. De acuerdo con la Figura 3a, la óptica en estrella de Siemens 10 presenta ocho facetas 1 a 8, que están inclinadas de tal modo que respectivamente entre las facetas 1 y 2, 3 y 4, 5 y 6, 7 y 8 se sitúa una línea de techo, mientras que entre las facetas 2 y 3, 4 y 5, 6 y 7, 1 y 8 se sitúa respectivamente una línea de valle. Los respectivos ángulos de inclinación β_1, β_2 son a este respecto, por tanto, de manera alterna positivos y negativos, tal como se representa en la Figura 3. La inclinación se determina, a este respecto, con respecto al plano de placa, es decir, en referencia al plano del lado plano de la óptica en estrella de Siemens 10 en forma de placa.

20 El rayo láser 14 colimado incide en la Figura 2 sobre la óptica en estrella de Siemens 10 y se focaliza a continuación por la lente de enfoque 15 hacia el plano de foco F. Mediante el facetado, que se representa en la Figura 3a, resulta una desviación de rayo por segmentos en diferentes direcciones. En la Figura 4 se representan los perfiles de rayo delante (plano I), dentro (plano de foco F) y detrás (plano II) del plano de foco F. En los perfiles de rayo delante y detrás del plano de foco F se perfila debido al desenfoque la forma triangular de las facetas, mientras que el perfil de rayo en el propio foco se compone de puntos individuales o motas.

25 El ángulo de desviación θ , que se causa por la refracción del rayo láser 14 preferentemente colimado en una faceta inclinada, se calcula por el ángulo de inclinación β y el índice de refracción n del material usado. El ángulo de desviación θ es, por tanto, $\theta = \beta (n - 1)$. Esta fórmula se aplica con la condición de que la aproximación de ángulo pequeño ($\sin \varphi \approx \tan \varphi \approx \varphi$) se cumple suficientemente, lo que se da hasta un ángulo de aproximadamente 5°. A partir del ángulo de desviación θ y de la distancia focal de enfoque f se calcula el diámetro de anillo en el enfoque para:

30 Anillo- $\varnothing = 2 \cdot f \cdot \tan \theta$. Son algunos ejemplos:

Ángulo de inclinación de facetas β	0,1°	0,2°	0,4°
Anillo- \varnothing en el foco a $f=100$ mm	157 μ m	314 μ m	628 μ m

Para representar las ventajas de la conformación de rayo de acuerdo con la invención mediante estructuras de faceta en forma de estrella de Siemens se llevaron a cabo simulaciones.

La estructura básica de la guía de rayo y de la óptica de enfoque se representa en la Figura 6 y los datos técnicos se indican en la siguiente tabla:

Fuente de rayo	Fibra de índice de pasos, Núcleo- $\varnothing = 100$ μ m, NA irradiado = 0,12
Fuente de rayo (alternativa)	Fibra de índice de pasos con núcleo de anillo, $\varnothing_{Fuera} = 600$ μ m, $\varnothing_{Dentro} = 150$ μ m, NA= 0,12
Colimación	Lente de colección perfecta, $f = 100$ mm
Enfoque	Lente de colección perfecta, $f = 100$ mm
Aquí significa $\varnothing =$ diámetro y NA = apertura numérica.	

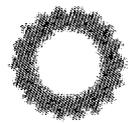
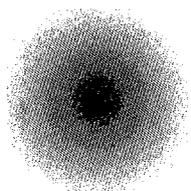
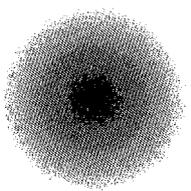
40 Como se muestra en la Figura 6, se conforma un haz de rayos láser divergente 14' que sale de una fibra de conducción de luz 16 de una óptica de colimador 17 en un haz de rayos láser paralelo 14, que se focaliza por la lente de enfoque 15 en una pieza de trabajo 18. De acuerdo con la Figura 6 se usa una óptica de ajuste 20, es decir, una óptica refractiva para el ajuste de la distribución de intensidad en el haz de luz láser 14 paralelo. Para la siguiente simulación se usó una óptica en estrella de Siemens individual con estructura de facetas, como se representa en la Figura 2.

45

Con esta estructura básica se investigaron las siguientes cuatro configuraciones:

#	Fuente de rayo	Óptica de conformación de rayo
1	Núcleo- $\varnothing = 100 \mu\text{m}$	Ninguno
2	Núcleo- $\varnothing = 100 \mu\text{m}$	Óptica en estrella de Siemens entre las lentes 36 facetas con zona angular de 10° con $\pm 0,4^\circ$ de inclinación
3	Núcleo- $\varnothing = 100 \mu\text{m}$	Axicón entre las lentes, Ángulo de inclinación $0,1^\circ$
4	Núcleo de anillo, $\varnothing_{\text{Fuera}} = 600 \mu\text{m}$, $\varnothing_{\text{Interior}} = 150 \mu\text{m}$	Ninguno

5 Se determinó en la simulación la distribución de energía o el perfil de rayo 3 mm delante del punto focal, en el punto focal y 3 mm detrás del plano focal. En el primer caso se usa la óptica de guía y enfoque de rayos de acuerdo con la Figura 6 sin óptica de ajuste. En el segundo ejemplo se colocó una óptica en estrella de Siemens de acuerdo con la invención entre las dos lentes. En una tercera simulación se dispuso un axicón, es decir, un cono con un ángulo de inclinación de $0,1^\circ$ en la trayectoria de rayo. Como posibilidad alternativa a la conformación de rayo mediante fibras se usó una fibra de índice de pasos con núcleo de anillo, sin proporcionarse, en cambio, elementos de conformación de rayo adicionales a la trayectoria de rayo. Los resultados de la simulación se muestran en la siguiente tabla:

Configuración	Perfil de intensidad a distancia axial z del plano de foco, Recorte de imagen 1,6 mm x 1,6 mm			Descripción/valoración
	z = -3 mm	z = 0 mm	z = 3 mm	
#1 sin óptica de conformación de rayo				Enfoque habitual con expansión de rayo anterior y posterior
#2 óptica en estrella de Siemens				Perfiles de anillo con 0 muy similar por toda la zona z. Debido al facetado de 32 veces, las oscilaciones de intensidad acimutales son bajas, especialmente fuera del plano de foco.
#3 axicón				Enfoque del rayo delante del propio plano de foco. A partir del plano de foco un perfil de anillo, cuyo 0 aumenta fuertemente a medida que aumenta la distancia z.
#3 Fibra de núcleo de anillo				El perfil de anillo se consigue solo en un entorno z muy pequeño del plano de foco. Delante y detrás perfil de rayo similar a Gauss.

10 Las simulaciones muestran, por tanto, que la estructura de facetas en forma de estrella de Siemens de acuerdo con la invención de un elemento óptico en forma de placa, es decir, la óptica en estrella de Siemens es la más adecuada para generar un perfil de anillo por una zona lo más amplia posible delante y detrás del plano de foco.

15 Si se introduce ahora una óptica en estrella de Siemens 10 individual en la trayectoria de rayo del rayo láser 14, como se representa en la Figura 2, se obtiene la distribución de densidad de potencia anular de acuerdo con la configuración anterior #2 (Anillo). Para obtener la distribución de densidad de potencia en forma de punto de acuerdo con la configuración anterior #1 (Mota), solo se necesita retirar la óptica en estrella de Siemens 10 de la trayectoria de rayo del rayo láser 14. Para cambiar entre los modos Mota y Anillo y volver al modo Mota, la óptica en estrella de Siemens 10 solo tiene que introducirse en la trayectoria de rayo del rayo láser 14 y, a continuación, retirarse de nuevo, como se indica en la Figura 2 por la flecha doble D.

20 Si la óptica en estrella de Siemens 10 individual conectada a la trayectoria de rayo se hace rotar por un accionamiento de giro adecuado, como se explica en más detalle más adelante en relación con un diseño adicional de la invención. es posible homogeneizar en el tiempo la distribución de densidad de potencia en el perfil de anillo en particular en el plano focal en dirección circunferencial, dado que el perfil de anillo rota por sí mismo en el plano focal, dado que por tanto los puntos de luz individuales o motas del perfil de anillo discurren casi alrededor del eje

óptico. La distribución temporal de la densidad de potencia en un punto del perfil de anillo se corresponde, a este respecto, con la distribución espacial de la densidad de potencia en dirección circunferencial. Con ello pueden compensarse no solo diferencias de densidad de potencia debidas a la estructura de puntos, sino también las que se basan en tolerancias de fabricación.

5 Para conseguir una relación mixta sin pasos entre perfiles en forma de punto o de anillo del enfoque láser se usan de acuerdo con la invención dos ópticas en estrella de Siemens del tipo descrito mediante las Figuras 1 a 4.

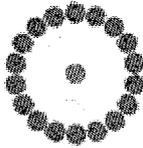
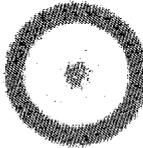
La conexión en serie de dos ópticas en estrella de Siemens 10 para configurar una óptica de ajuste 20 de acuerdo con la invención para regular la distribución de intensidad (véase la Figura 5) conduce a una adición de las desviaciones de rayo de las ópticas en estrella de Siemens 10 individuales. Dependiendo de la posición angular
10 relativa de las dos ópticas en estrella de Siemens 10 una con respecto a otra, hay tres casos diferentes. Si las ópticas en estrella de Siemens 10 se enfrentan sin torsión o giradas en un múltiplo del ángulo del período de facetas, las facetas inclinadas se enfrentan de manera opuesta, por tanto, de modo que se añaden las desviaciones de rayo de manera constructiva y se genera un perfil de anillo, cuyo diámetro es el doble de grande que el durante el uso de una óptica en estrella de Siemens 10 individual. Si las ópticas en estrella de Siemens están giradas una contra otra
15 en la mitad del ángulo de período de facetas, de modo que se enfrentan facetas inclinadas en el mismo sentido cuando por tanto a los techos de la una óptica en estrella de Siemens 10 se enfrentan los valles de la otra óptica en estrella de Siemens 10 y al revés, las desviaciones de rayo de la primera óptica en estrella de Siemens 10 se compensan casi exactamente por la segunda óptica en estrella de Siemens 10. Las dos ópticas en estrella de Siemens 10 actúan en esta posición como una placa planoparalela. Como consecuencia se genera en el plano de
20 foco un foco en forma de punto, como si no estuviera presente ninguna óptica de ajuste 20. Además, son posibles también todas las otras posiciones angulares giradas, de modo que a cada faceta se enfrentan facetas inclinadas tanto en el mismo sentido como de manera opuesta. Por tanto, se genera un perfil mixto compuesto por un anillo y un punto. La distribución de potencia a través del perfil de rayo depende aquí de las respectivas áreas de solapamiento.

25 También para ópticas de ajuste 20 de acuerdo con la invención de este tipo se llevaron a cabo correspondientes simulaciones. A este respecto se representó la óptica de ajuste 20 al igual que en la Figura 6, introducida entre la lente de colimador 17 y la lente de enfoque 15. Como se representa, las simulaciones se llevaron a cabo solo para una disposición de la óptica de ajuste 20 en la zona de rayo colimada. Como se indica de manera discontinua en la
30 Figura 6, podía funcionar no obstante también el principio de desvío de acuerdo con la invención en una zona de rayo convergente o también en una zona de rayo divergente (no representada).

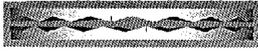
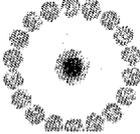
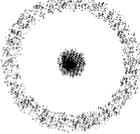
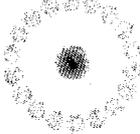
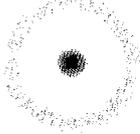
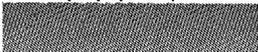
En el caso de la simulación con una óptica de ajuste 20 con dos elementos, se introdujeron ópticas en estrella de Siemens 10 en forma de placa, cuya estructura de faceta en forma de estrella de Siemens presenta facetas respectivamente con una zona angular de 10° y un ángulo de inclinación de las facetas de +/- 0,2°. Aunque los
35 elementos pueden disponerse en principio de tal modo que se enfrentan superficies discretionales, en este caso se dispusieron los elementos ópticos de tal modo que se enfrentan a 1 mm de distancia con sus superficies facetadas de manera similar a la Figura 5. Esto tiene la ventaja de que los efectos de desvío se complementan o anulan entre sí de manera óptima, como muestran en la tabla abajo las dos últimas filas.

Para determinar la idoneidad para el uso en el procesamiento por láser con la mayor precisión posible, en la simulación también se tuvieron en cuenta las tolerancias de fabricación. Para ello, los picos que discurren
40 radialmente de los tejados y las depresiones de los valles se aplanaron con una anchura acimutal de 10 µm. En este sentido resulta una proporción de rayo que no está sujeta a la conformación de rayo y, por tanto, siempre se visualiza como punto en el centro del enfoque. Esta proporción asciende de acuerdo con la simulación a como máximo el 2 %, lo que es bastante insignificante cuando se utiliza en el procesamiento de materiales.

45 En la simulación se ha demostrado que incluso a una distancia axial pequeña del plano de foco (0,35 µm), la imagen individual de las facetas ya no puede reconocerse, lo que resulta por tanto en un perfil de anillo casi homogéneo. A título ilustrativo, en la siguiente tabla se calcularon los perfiles de rayo en dos planos. La siguiente tabla muestra los correspondientes resultados para distintas posiciones angulares relativas entre los dos elementos.

Desplazamiento angular elemento 2 de [número de facetas]	Vista lateral (con ángulos de faceta exagerados)	Forma de mota [anillo-Ø en µm]	Porcentaje de potencia [%]	Perfil de intensidad a z=0 mm plano de foco (1x1 mm)	Perfil de intensidad a z=0,35 mm (1x1 mm)
0		600/0	98/2		

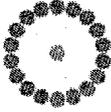
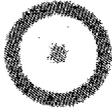
(continuación)

Desplazamiento angular elemento 2 [número de facetas]	Vista lateral (con ángulos de faceta exagerados)	Forma de mota [anillo-Ø en µm]	Porcentaje de potencia [%]	Perfil de intensidad a z=0 mm plano de foco (1x1 mm)	Perfil de intensidad a z=0,35 mm (1x1 mm)
0,33		600/0	68,5/31,5		
0,5		600/0	51,5/48,5		
0,66		600/0	35,2/64,8		
1		600/0	0,1/99,9		
Sin estrellas de Siemens		0	100		

La óptica de ajuste 20 de acuerdo con la invención puede estructurarse, no obstante, también con más de dos elementos, como se representa esto, por ejemplo, en la Figura 7. Para obtener a su vez una compensación completa de las desviaciones de rayo de los elementos individuales y poder combinar de manera óptima los distintos perfiles de rayo, es conveniente que en el caso de tres elementos ópticos el ángulo de inclinación de las facetas de un elemento sea el doble de grande que el ángulo de inclinación de las facetas de los otros dos elementos ópticos, en los que el ángulo de inclinación es igual. Si se debiera estructurar una óptica de ajuste con cuatro elementos, el ángulo de inclinación de las facetas del cuarto elemento tiene que ser tan grande como la suma de los ángulos de inclinación de las facetas de los otros tres elementos. Si, por tanto, por ejemplo el ángulo de inclinación asciende en los primeros dos elementos a +/- 0,1° y el ángulo en el tercer elemento a +/- 0,2°, debería elegirse el ángulo de inclinación de las facetas en el cuarto elemento con +/- 0,4°.

En una simulación se usó una óptica de ajuste con tres elementos ópticos con facetas en forma de estrella de Siemens, es decir, con tres ópticas en estrella de Siemens 10, estando las facetas de uno de los elementos inclinadas con el doble de intensidad (+/- 0,2°) de las facetas de los otros dos elementos, que solo estaban inclinados en +/- 0,1°. Estos dos eran giratorios por sí mismos. En este sentido pueden generarse tanto un enfoque en forma de punto como dos anillos con distintos diámetros (600 µm y 300 µm) así como formas mixtas discretionales. En este caso, como se describió anteriormente, se ha tenido en cuenta una posible tolerancia de fabricación mediante el aplanamiento de las puntas y depresiones.

La siguiente tabla muestra los resultados de la simulación:

Desplazamiento angular elemento 2 [número de facetas]	Desplazamiento angular elemento 3 [número de facetas]	Forma de mota [anillo-Ø en µm]	Porcentaje de potencia [%]	Perfil de intensidad a z = 0 mm (plano de foco) (1x1 mm)	Perfil de intensidad a z = 0,35 mm (1x1 mm)
0	0	600/0	98/2		
1	0	300/0	98/2		

ES 2 713 184 T3

(continuación)

Desplazamiento angular elemento 2 [número de facetas]	Desplazamiento angular elemento 3 [número de facetas]	Forma de mota de anillo-Ø en µm]	Porcentaje de potencia [%]	Perfil de intensidad a z = 0 mm (plano de foco) (1x1 mm)	Perfil de intensidad a z = 0,35 mm (1x1 mm)
0	1	300/0	98/2		
1	1	0	100		
0,5	1	300/0	50/50		
1	0,5	300/0	50/50		
0	0,5	600/300	50/50		
0,5	0	600/300	50/50		
0,5	0,5	600/0	50/50		
0,33	0,66	600/300/0	33/33/33		
0,66	0,33	600/300/0	33/33/33		
0,33	0	600/300	66/33		
0	0,33	600/300	66/33		
0,66	0	600/300	33/66		
0	0,66	600/300	33/66		
Sin ópticas en estrella de Siemens		0	100		

En la tabla anterior, la primera fila muestra el ajuste de los elementos entre sí al que se añaden de manera óptima las desviaciones de rayo, lo que conduce al mayor diámetro alcanzable con el dispositivo. Las filas 2 y 3 muestran los resultados en posiciones angulares en las que se elevan de manera óptima los efectos de los dos elementos con los mismos ángulos de inclinación, de modo que el diámetro de anillo solo se determina por el ángulo de inclinación de las facetas del elemento con ángulo de inclinación grande. En la cuarta fila se muestra cómo está la distribución de intensidad en el foco cuando los elementos se giran uno contra otro de tal modo que se anulan de manera óptima sus desviaciones de acero. Este resultado se corresponde con el ejemplo comparativo mostrado en la última fila de la tabla sin óptica de ajuste.

En las demás filas de la tabla se representan formas mixtas discrecionales.

10 Si se usa una óptica de ajuste de acuerdo con la invención por ejemplo en un cabezal de corte por láser con una lente de colimador y una lente de enfoque con respectivamente 100 mm de distancia focal, que se suministra a través de una fibra de 100 μm con una apertura numérica de 0,12 con radiación láser, puede conmutarse con la óptica de ajuste de acuerdo con la invención con 2 elementos rápidamente entre los estados Anillo y Mota (Punto). Con ello, es posible conmutar entre los tipos de funcionamiento "chapa gruesa", para el que se requiere un foco con diámetro grande, y "chapa delgada", para el que se requiere solo un foco de láser en forma de punto. Como se ha demostrado mediante las simulaciones, es además también posible girando en menos de una faceta, es decir, en un ángulo que es menor que el de una faceta, para producir estados mixtos de características de rayo en forma de rayo y en forma de punto, de modo que puede seleccionarse en función del uso en el corte por láser la distribución de energía óptima en el perfil de rayo.

20 Si en un diseño práctico de la invención se usa una óptica de ajuste, cuyos elementos ópticos en forma de placa (ópticas en estrella de Siemens) presentan un diámetro de 30 mm y 18 facetas dobles, es decir, 36 facetas con un ángulo de sector de 10° , cuando las dos ópticas en estrella de Siemens giran una faceta el borde se desplaza 2,6 mm. Un desplazamiento de este tipo puede realizarse con una alta velocidad, cuando por ejemplo la óptica móvil se capta de una manera no representada en más detalle en un eje hueco, que se acciona por un motor paso a paso, que puede mover el borde de la óptica en estrella de Siemens giratoria con una velocidad de $v = 250 \text{ mm/s}$. Resulta, por tanto, un tiempo de conmutación de aproximadamente 10 ms, de modo que puede conmutarse prácticamente sin interrupción de anillo a mota o al revés.

30 Con una óptica de ajuste 20, que está estructurada a partir de dos o más ópticas en estrella de Siemens 10, no puede conmutarse, no obstante, de anillo a mota o al revés, sino que también es posible modular a alta frecuencia la distribución de intensidad espacial de un rayo láser enfocado en una pieza de trabajo para aumentar la calidad en el corte por láser y de la soldadura por láser. Para ello se necesita una óptica de ajuste 20 con dos o más ópticas en estrella de Siemens 10 situadas una detrás de otra, de las que al menos una está montada de manera que puede girar alrededor del eje óptico y puede hacerse rotar. Como se dijo antes, la óptica de ajuste 20 puede estar dispuesta en una parte colimada, divergente o convergente de la trayectoria de rayo.

35 Para conmutar la distribución de intensidad generada en el plano de foco de mota a anillo, es suficiente un giro relativo de las ópticas en estrella de Siemens 10 con N segmentos dobles (facetas dobles) de $360^\circ/2N$. Con un giro relativo de $360^\circ/N$ se efectúa un cambio de mota a anillo y de nuevo a mota; esto se corresponde, por tanto, con un período de oscilación.

40 De esto se deduce que la frecuencia de modulación de la distribución de intensidad corresponde a N veces la frecuencia de giro relativa de las ópticas en estrella de Siemens 10. Por tanto, un par de ópticas en estrella de Siemens 10 representa un engranaje óptico, que incluso a bajas frecuencias de giro de una o todas las ópticas en estrella de Siemens 10 proporciona una alta frecuencia de modulación para la distribución de intensidad del rayo láser 14 en el plano de foco.

45 Si se usa, por ejemplo, una óptica de ajuste 20 con dos ópticas en estrella de Siemens 10, cuyas superficies en estrella de Siemens presentan respectivamente $N=20$ facetas o segmentos dobles, y un accionamiento para al menos una de las ópticas en estrella de Siemens 10 con una frecuencia de giro de 100 Hz, se modula la distribución de intensidad entre los modos Mota y Anillo con una frecuencia de 2 kHz.

En particular son concebibles los siguientes modos de funcionamiento:

- 50 - Solo una de las ópticas en estrella de Siemens 10 se gira con la frecuencia f. La frecuencia de modulación se corresponde entonces con $N \cdot f$.
- Ambas ópticas en estrella de Siemens 10 se giran una con respecto a otra de manera opuesta con las frecuencias de giro f_1 y f_2 . La frecuencia de modulación se corresponde con $N \cdot (f_1 + f_2)$.

Si se usan más de dos ópticas en estrella de Siemens, entonces

- 55 - pueden generarse distribuciones de intensidad en forma de anillo con distintos diámetros, como se explicó ya anteriormente; además

- puede aumentarse más la frecuencia de modulación.

Para ello, cada óptica en estrella de Siemens debe girar siempre de manera opuesta a la óptica en estrella de Siemens adyacente. La frecuencia de modulación resulta en M estrellas de Siemens con las frecuencias de giro f_i para $N \cdot (\sum_M f_i)$. Si se usan por ejemplo tres ópticas en estrella de Siemens con $N=20$ facetas dobles y una frecuencia de giro cada una de 100 Hz, se modula la distribución de intensidad entre los modos Mota y Anillo con una frecuencia de 6 kHz.

Como ejemplo debe servir una configuración como se representa en la Figura 7. Como se muestra en la Figura 7, una óptica de ajuste 30 presenta tres ópticas en estrella de Siemens 10.1, 10.2 y 10.3, estando estructurada en ambos lados la óptica en estrella de Siemens 10.2 media. En total están previstas, por tanto, cuatro superficies en estrella de Siemens O1, O2a, O2b, O3 cada una con N facetas dobles. Las dos superficies en estrella de Siemens O1 y O2a que se enfrentan la una a la otra tienen la misma pendiente de faceta o ángulo de inclinación β_1 . También las otras dos superficies en estrella de Siemens O2b y O3 enfrentadas la una a la otra tienen la misma pendiente de faceta o ángulo de inclinación β_2 , siendo de manera no representada en más detalle el ángulo de inclinación β_1 distinto del ángulo de inclinación β_2 . Mediante el giro de la óptica en estrella de Siemens 10.1 con respecto a la óptica en estrella de Siemens 10.2 puede conmutarse la forma de anillo conjunta de las superficies en estrella de Siemens O1 y O2a. Lo mismo se aplica para las ópticas en estrella de Siemens 10.2 y 10.3 y las superficies en estrella de Siemens O2b y O3.

Como se indica en la Figura 7, a cada una de las tres ópticas en estrella de Siemens 10.1, 10.2 y 10.3 está asociado un accionamiento de giro 31, 32 o 33, de modo que todas las tres ópticas en estrella de Siemens 10.1, 10.2 y 10.3 pueden girarse con la frecuencia f. La dirección de giro de la óptica en estrella de Siemens 10.2 media está, a este respecto, opuesta a la dirección de giro de las otras dos, como se indica mediante la flecha de dirección de giro P. Si se permiten diferentes frecuencias de giro de las tres ópticas en estrella de Siemens 10.1, 10.2 y 10.3, se eleva en particular el número de las distribuciones de intensidad, que se generan durante un periodo.

Una selección de los distintos modos de funcionamiento de la disposición descrita mediante la Figura 7 se reproduce mediante la siguiente tabla:

Posición 10.1	Posición 10.2	Posición 10.3	Distribuciones de intensidad durante un periodo	Frecuencia de modulación
rota con f	en reposo, mota		\emptyset_1 Sp	$N \cdot f$
rota con f	en reposo, anillo		$\emptyset_2 \emptyset_3$	$N \cdot f$
en reposo, mota		rota con f	\emptyset_2 Sp	$N \cdot f$
en reposo, anillo		rota con f	$\emptyset_1 \emptyset_3$	$N \cdot f$
en reposo	rota con f	en reposo, en fase con 10.1	\emptyset_3 Sp	$N \cdot f$
en reposo	rota con f	en reposo, 180° PV para 10.1	$\emptyset_1 \emptyset_2$	$N \cdot f$
rota con f	en reposo	rota con f, en fase con 10.1	\emptyset_3 Sp	$2 \cdot N \cdot f$
rota con f	en reposo	rota con f, 180° PV para 10.1	$\emptyset_1 \emptyset_2$	$2 \cdot N \cdot f$
rota con f	rota con f	rota con f, en fase con 10.1	\emptyset_3 Sp	$3 \cdot N \cdot f$
rota con f	rota con f	rota con f, 180° PV con 10.1	$\emptyset_1 \emptyset_2$	$3 \cdot N \cdot f$

Aquí significa PV = desplazamiento de fase, Sp = distribución de intensidad en forma de mota y \emptyset_i = diámetro de la distribución de intensidad anular

Debido a la holgura de la rotación continua de las ópticas en estrella de Siemens 10; 10.1, 10.2, 10.3 con el efecto de engranaje óptico de uno o varios pares de estrellas de Siemens, la distribución de intensidad generada en el enfoque se modula con N veces la frecuencia de giro o con N veces la suma de las frecuencias de giro, siendo N el número de las facetas dobles por cada óptica en estrella de Siemens 10; 10.1, 10.2, 10.3.

Debido al efecto de engranaje óptico, las exigencias de velocidad de rotación son bajas. Para hacer rotar una o varias ópticas en estrella de Siemens con frecuencia de giro de dos o tres dígitos, pueden usarse como accionamientos de giro accionamientos eléctricos con diferentes mecanismos de accionamiento, que están disponibles en el mercado.

Como alternativa a un accionamiento eléctrico también es concebible realizar un accionamiento de giro mediante aire a presión. El suministro de gas se proporciona por regla general, dado que el aire a presión (y/o gas de corte)

está disponible por regla general en la zona del cabezal de procesamiento por láser.

5 En el mercado hay además también accionamientos de giro, que pueden rotar una óptica, tal como una óptica en estrella de Siemens con frecuencias de giro especialmente altas de hasta 6 kHz. Aplicado al ejemplo anterior con dos ópticas en estrella de Siemens con N=20 facetas dobles, pueden conseguirse con ello frecuencias de modulación de hasta 120 kHz

10 Incluso a partir de una frecuencia de modulación en un intervalo de 2 dígitos, la chapa que va a procesarse solo percibe aún la distribución de intensidad calculada durante un período de modulación, ya que debido a la inercia relativa de la conducción de calor, la potencia de entrada ya no puede redistribuirse lo suficientemente rápido. Por tanto, la modulación de la distribución de intensidad actúa al igual que una expansión de rayo duradera y, por tanto, puede sustituir o complementar sistemas de zoom complejos.

En todos los casos y configuraciones es adecuado el cabezal de procesamiento por láser de acuerdo con la invención de manera ventajosa también siempre para la soldadura o el corte de chapa delgada, dado que la conformación de anillo puede desactivarse mediante una posición angular fija adecuada de todas las ópticas en estrella de Siemens usadas para hacer funcionar el cabezal de procesamiento por láser en el modo Mota.

REIVINDICACIONES

- 5 1. Dispositivo para el procesamiento de material mediante radiación láser con una óptica de enfoque (15) para el enfoque de un rayo láser (14) en una pieza de trabajo (18) y con una óptica de ajuste (20) para el ajuste de la distribución de intensidad con al menos un elemento óptico en forma de placa (10), que presenta una superficie con un patrón circular de facetas en forma de sector, **caracterizado porque** las facetas en forma de sector están inclinadas en dirección circunferencial de manera alterna contra el respectivo plano de placa.
2. Dispositivo según la reivindicación 1, **caracterizado porque** el elemento óptico en forma de placa (10) de la óptica de ajuste (20) puede moverse hacia dentro y hacia fuera en la trayectoria de rayo del rayo láser (14).
- 10 3. Dispositivo según la reivindicación 1, **caracterizado porque** la óptica de ajuste (20) presenta al menos dos elementos ópticos en forma de placa (10) cada uno con un patrón circular de facetas en forma de sector, que están inclinadas en dirección circunferencial de manera alterna contra el respectivo plano de placa, estando dispuestos los al menos dos elementos ópticos en forma de placa (10) uno detrás de otro en la trayectoria de rayo del rayo láser (14) y pudiendo girarse uno contra otro en dirección circunferencial.
- 15 4. Dispositivo según las reivindicaciones 1, 2 o 3, **caracterizado porque** todas las facetas en forma de sector de un elemento óptico en forma de placa (10) presentan el mismo ancho acimutal, y/o porque las superficies de las facetas en forma de sector de los elementos ópticos en forma de placa (10) son planos o curvados o presentan dos o más secciones inclinadas de manera diferente.
- 20 5. Dispositivo según las reivindicaciones 3 o 4, **caracterizado porque** los dos elementos ópticos en forma de placa (10) de la óptica de ajuste (20) se enfrentan con sus patrones de facetas en forma de sector.
6. Dispositivo según una de las reivindicaciones 3 a 5, **caracterizado porque** los dos elementos ópticos en forma de placa (10) de la óptica de ajuste (20) pueden girarse alrededor de un eje, que es coaxial con un eje central de un haz de rayos láser (14).
- 25 7. Dispositivo según una de las reivindicaciones 3 a 6, **caracterizado porque** el patrón de facetas en forma de sector de los dos elementos ópticos en forma de placa (10) de la óptica de ajuste (20) presenta el mismo número de facetas y porque las superficies de faceta están inclinadas en el mismo ángulo (β).
8. Dispositivo según una de las reivindicaciones 3 a 7, **caracterizado porque** la óptica de ajuste (20) presenta un elemento óptico en forma de placa (10) adicional con un patrón de facetas en forma de sector.
- 30 9. Dispositivo según la reivindicación 8, **caracterizado porque** el elemento óptico en forma de placa (10) adicional presenta a ambos lados un patrón de facetas en forma de sector y está dispuesto entre los dos primeros elementos ópticos en forma de placa (10).
- 35 10. Dispositivo según la reivindicación 8, **caracterizado porque** el elemento óptico en forma de placa (10) adicional presenta un patrón de facetas en forma de sector, que es distinto del patrón de facetas en forma de sector de los dos primeros elementos ópticos en forma de placa (10), estando inclinadas las superficies de faceta del elemento óptico en forma de placa (10) adicional en un ángulo (β) contra el plano de placa, que es distinto del ángulo de inclinación de los dos primeros elementos ópticos en forma de placa (10), en particular tan grande como la suma de los ángulos de inclinación de los dos primeros elementos ópticos en forma de placa (10), y/o presentando las facetas del elemento óptico en forma de placa (10) adicional un ancho acimutal, que es distinto del ancho acimutal de las facetas de los dos primeros elementos ópticos en forma de placa (10).
- 40 11. Dispositivo según una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** el ángulo de inclinación de las superficies de faceta contra el plano de placa asciende a entre $\pm 0,1^\circ$ y $\pm 0,6^\circ$, y/o porque el número de las facetas es de 18 a 72, preferentemente de 24 a 40, en particular de 36.
- 45 12. Dispositivo según una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** está prevista una óptica de colimador (17) para expandir el rayo láser (14), y porque la óptica de ajuste (20) está dispuesta entre la óptica de colimador (17) y la óptica de enfoque (15).
- 50 13. Dispositivo según una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** al menos a uno de los elementos ópticos en forma de placa (10) está asociado un accionamiento de giro (31, 32, 33), de modo que el elemento óptico en forma de placa (10) puede accionarse durante un proceso de procesamiento por láser para rotar con velocidad constante o variable.
14. Dispositivo según la reivindicación 13, **caracterizado porque** a cada uno de los elementos ópticos en forma de placa (10; 10.1, 10.2, 10.3) está asociado un accionamiento de giro (31, 32, 33), pudiendo controlarse los accionamientos de giro (31, 32, 33) en particular independientemente entre sí, de modo que la velocidad de giro y la dirección de giro de cada uno de los elementos ópticos en forma de placa (10; 10.1, 10.2, 10.3) puede seleccionarse libremente.

- 5 15. Procedimiento para el procesamiento de material mediante radiación láser con el uso de una óptica de enfoque (15) para el enfoque de un rayo láser (14) en una pieza de trabajo (18) y una óptica de ajuste (20) para el ajuste de la distribución de intensidad, que presenta al menos dos elementos ópticos en forma de placa (10), **caracterizado porque** los al menos dos elementos ópticos en forma de placa presentan cada uno un patrón circular de facetas en forma de sector, que están inclinadas en dirección circunferencial de manera alterna contra el respectivo plano de placa, estando dispuestos los al menos dos elementos ópticos en forma de placa (10) uno detrás de otro en la trayectoria de rayo del rayo láser (14) y pudiendo girar en dirección circunferencial, en donde durante el procesamiento por láser al menos uno de los elementos ópticos en forma de placa (10) se gira con velocidad constante o variable para variar la distribución de densidad de potencia con una frecuencia de modulación deseada.
- 10 16. Procedimiento según la reivindicación 15, **caracterizado porque** ambos de los al menos dos elementos ópticos en forma de placa (10) se giran en direcciones opuestas con la misma o diferente velocidad, y/o porque durante el procesamiento por láser, mientras se giran uno o varios de los elementos ópticos en forma de placa (10), se modula la potencia de salida del láser, estando acoplada una frecuencia de modulación del láser a la frecuencia de modulación de la distribución de densidad de potencia.

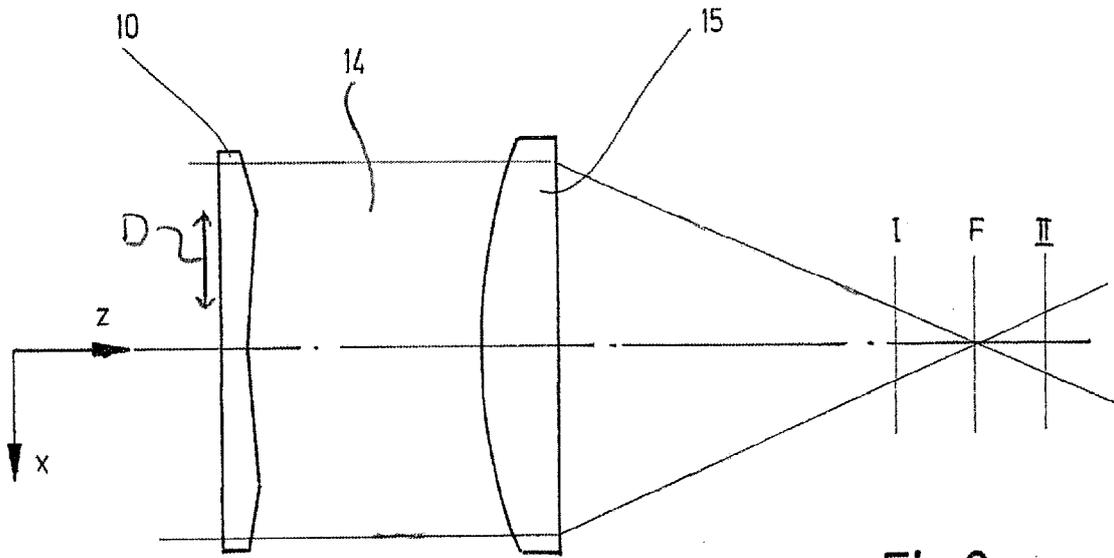


Fig.2

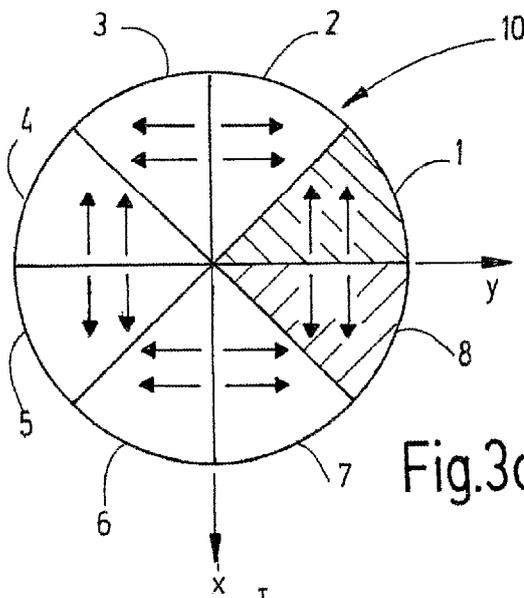


Fig.3a

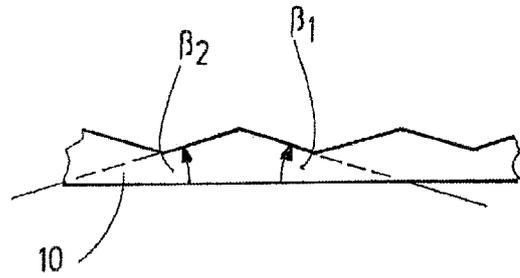


Fig.3b

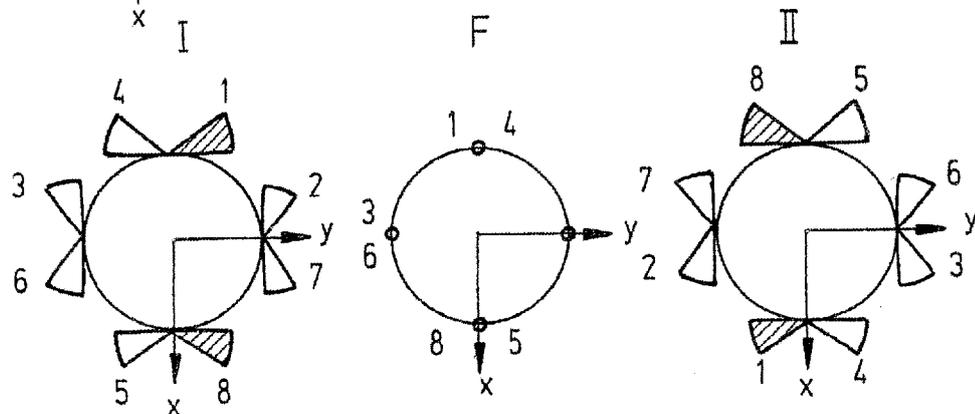


Fig.4

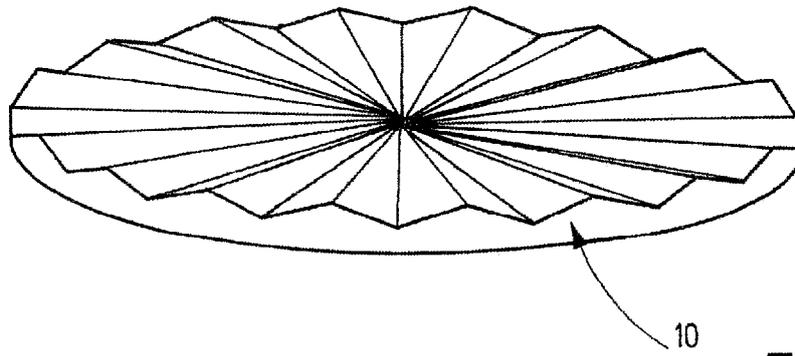


Fig.1

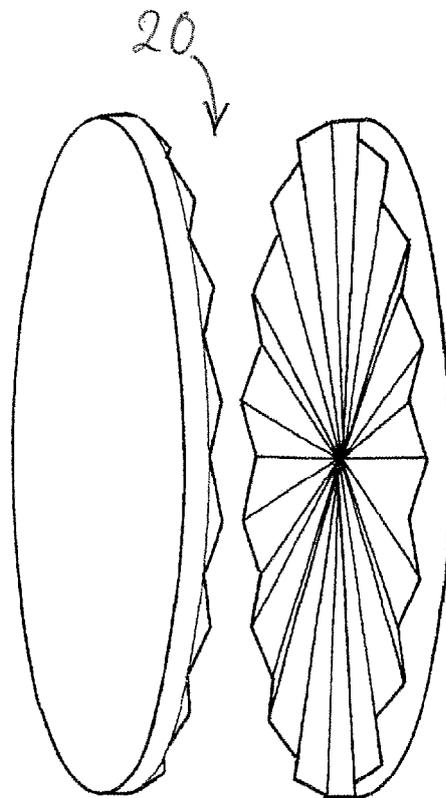


Fig.5

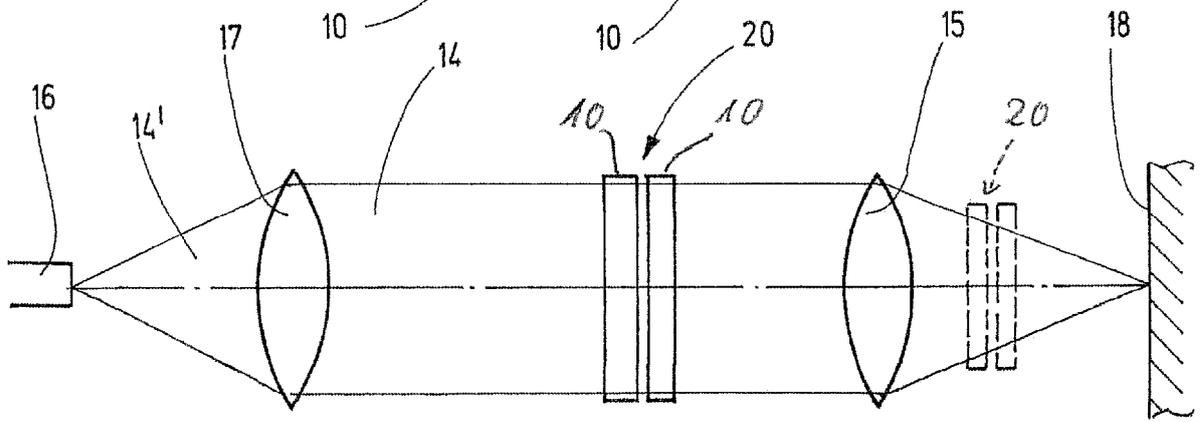


Fig.6.

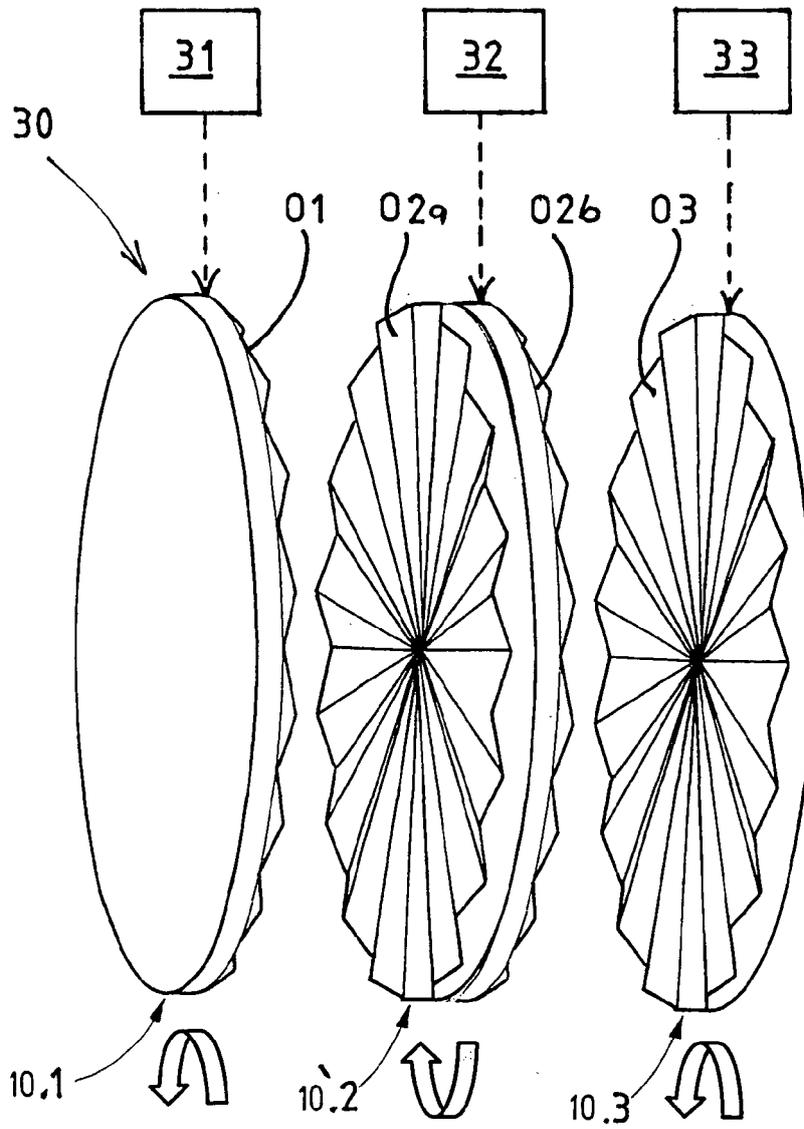


Fig. 7