

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 751 474**

51 Int. Cl.:

**B23K 26/00** (2014.01)

**B23K 26/067** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **13.01.2015 PCT/EP2015/050489**

87 Fecha y número de publicación internacional: **23.07.2015 WO15107044**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **13.01.2015 E 15700558 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **31.07.2019 EP 3094444**

54 Título: **Dispositivo y procedimiento de mecanizado para el mecanizado mediante láser de una superficie**

30 Prioridad:

**15.01.2014 DE 102014200633**

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

**31.03.2020**

73 Titular/es:

**FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT ZUR  
FÖRDERUNG DER ANGEWANDTEN  
FORSCHUNG E.V. (100.0%)  
Hansastraße 27c  
80686 München, DE**

72 Inventor/es:

**EIFEL, STEPHAN;  
BÜSING, LASSE;  
GATEJ, ALEXANDER;  
TRAUB, MARTIN;  
GILLNER, ARNOLD;  
HOLTKAMP, JENS;  
RYLL, JOACHIM y  
GRETZKI, PATRICK**

74 Agente/Representante:

**CARPINTERO LÓPEZ, Mario**

ES 2 751 474 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 y procedimiento de mecanizado para el mecanizado mediante láser de una superficie

5 La invención se refiere a un dispositivo de mecanizado para el mecanizado mediante láser de una superficie, con el cual puede desplazarse un haz de rayos láser mediante una unidad de rotación de manera circundante alrededor de un eje óptico en paralelo, pudiendo desplegarse el haz de rayos láser desplazado con una unidad de divergencia en una pluralidad de haces de rayos parciales, pudiendo focalizarse respectivamente la pluralidad de haces de rayos parciales, pudiendo eliminarse algunos de los haces de rayos parciales del haz de rayos global resultante, pudiendo reducirse respectivamente ángulos de rayos de los haces de rayos parciales entre sí, pudiendo desviarse en dependencia del tiempo los haces de rayos parciales restantes y pudiendo focalizarse respectivamente los haces de rayos parciales restantes.

10 La invención se refiere además de ello a un correspondiente procedimiento.

15 Del documento WO94/09989 se conoce un dispositivo de mecanizado para el mecanizado mediante láser de una superficie, presentando una entrada de rayo láser, por la cual puede hacerse entrar un haz de rayos láser en una dirección de radiación en un eje óptico, al menos una unidad dispuesta en dirección de radiación, con la cual puede desplegarse el haz de rayos láser en una pluralidad de haces de rayos parciales, que forman en dirección radial con respecto al eje óptico una distribución de intensidad continua o discontinua, representando la pluralidad de haces de rayos parciales un haz de rayos global, un primer módulo dispuesto en dirección de radiación detrás de la unidad, con el cual pueden focalizarse respectivamente los haces de rayos parciales, una unidad de selección, con la cual puede eliminarse una parte de los haces de rayos parciales del haz de rayos global, un segundo módulo dispuesto en dirección de radiación detrás del primer módulo, con el cual pueden reducirse ángulos de rayos de los haces de rayos parciales respectivamente entre sí, una unidad de desvío dispuesta en dirección de radiación detrás del segundo módulo, con la cual pueden desviarse en dependencia del tiempo los haces de rayos parciales, y una unidad de focalización dispuesta en dirección de radiación detrás del segundo módulo, con la cual pueden focalizarse respectivamente los haces de rayos parciales restantes del haz de rayos global.

25 En el mecanizado mediante láser con radiación láser pulsada o continua (onda continua) se encuentran a disposición debido al desarrollo continuo de las fuentes de rayo láser siempre potencias láser medias más altas. En el mercado de las fuentes de rayo láser de pulso ultracorto se ha producido en los últimos años un claro aumento de las potencias láser medias de sistemas láser de uso industrial. De esta manera se encuentran a disposición a día de hoy comercialmente fuentes láser de pulso ultracorto adecuadas industrialmente con potencias de salida en el intervalo de 50-150 W. Las fuentes láser con potencias de 400 W y más conquistarán el mercado en los próximos años. La potencia media más alta puede usarse para acelerar un proceso láser mediante el uso de intensidades más altas o la radiación de superficies más grandes. En muchos usos, sobre todo en el micromecanizado láser, se requieren no obstante a menudo diámetros de punto más pequeños para lograr precisiones altas en geometría. Con un aumento de la potencia láser media, manteniéndose la geometría de punto pequeña igual, puede lograrse sin embargo debido a una introducción de energía demasiado alta solo de manera condicionada un aumento de la velocidad de proceso manteniéndose igual la calidad del mecanizado. De esta manera existe para cada proceso habitualmente un límite máximo de potencia láser o intensidad láser razonable para un punto de procesamiento definido. Para aumentar aún así no obstante la velocidad de proceso manteniéndose igual el diámetro de punto, pueden seguirse en general dos principios: el primer principio es una distribución temporalmente más rápida de la energía láser sobre la pieza de trabajo debido a un movimiento más rápido de la pieza de trabajo o del punto láser. El segundo principio comprende una distribución de la potencia láser sobre una superficie más grande. Como ejemplo para el segundo principio puede tenerse en consideración un procesamiento en paralelo con varios puntos de mecanizado.

45 Los principios mencionados pueden ponerse en práctica mediante sistemas de escáner, los cuales pueden realizar un movimiento de rayo y/o formación de rayo rápido. Para ello existen en el mercado algunos sistemas de escáner, como por ejemplo escáner galvanométrico o escáner poligonal.

Con el aumento adicional de las potencias láser medias ya a día de hoy las velocidades de escáner de los sistemas de escáner clásicos ya no son suficientes para transformar la potencia láser en un rayo.

50 Es por tanto tarea de la presente invención indicar un dispositivo de mecanizado para el mecanizado láser de una superficie, que posibilite también en caso de potencias láser muy altas un mecanizado posterior altamente preciso de la superficie mediante láser. Es tarea además de ello indicar un correspondiente procedimiento para el mecanizado mediante láser.

55 Esta tarea se soluciona mediante el dispositivo de procesamiento para el mecanizado mediante láser de una superficie de acuerdo con la reivindicación 1 y el procedimiento para el mecanizado mediante láser de acuerdo con la reivindicación 16. Las reivindicaciones dependientes indican perfeccionamientos ventajosos del dispositivo de mecanizado de acuerdo con la invención y del procedimiento de acuerdo con la invención.

De acuerdo con la invención se indica un dispositivo de mecanizado para el mecanizado mediante láser de una superficie, con el cual pueden moverse una pluralidad de haces de rayos parciales sobre una superficie a mecanizar.

El dispositivo de mecanizado presenta una entrada de rayo láser, por la cual puede hacerse entrar un haz de rayos láser. La dirección, en la cual puede hacerse entrar el haz de rayos láser se denomina aquí como dirección de radiación. La dirección de radiación del haz de rayos láser que se hace entrar define también el eje óptico del sistema. El eje óptico del sistema ha de entenderse aquí como recta continua, la cual se acoda no obstante correspondientemente en caso eventualmente espejos de desvío presentes.

Con un haz de rayos, es decir, en particular un haz de rayos láser y un haz de rayos parcial, ha de entenderse aquí preferentemente una cantidad de rayos, que se extienden por una determinada zona angular alrededor de un haz principal del haz de rayos correspondiente o por una zona de separación determinada (medida preferentemente en dirección perpendicular con respecto al rayo principal) desde el rayo principal. A cada haz de rayos hay asignado por lo tanto preferentemente un rayo principal, así como una cantidad de rayos alrededor de este rayo principal. La zona angular o la zona de separación pueden tener un tamaño finito o ser infinitesimales. El haz de rayos parcial se define preferentemente mediante la zona de separación en lugar de mediante la zona angular, cuando el haz de rayos está colimado. Con un rayo se entiende aquí ventajosamente la trayectoria de un protón o de una recta dispuesta en perpendicular sobre el frente de onda del haz de rayos.

De manera alternativa el haz de rayos puede describirse en una imagen de la óptica geométrica como una pluralidad de rayos, los cuales presentan en relación con un haz principal respectivamente un ángulo, el cual no cambia por la propagación libre. En general puede definirse de la totalidad de todos los ángulos entre el rayo principal y los otros rayos, una distribución angular.

El rayo principal puede ser entonces aquel rayo, el cual pasa a través del centro de la pupila de entrada. La pupila de entrada es preferentemente la abertura libre de la entrada de rayo láser en el sistema óptico. El haz de rayos láser puede formar en un plano perpendicular con respecto al eje óptico una distribución de intensidad, la cual describe en el medio temporal la distribución de energía local del haz de rayos láser.

De acuerdo con la invención hay dispuesta en dirección de radiación detrás de la entrada de rayos láser una unidad de rotación, a través de la cual puede desplazarse el haz de rayos láser con respecto al eje óptico en una dirección de desplazamiento a razón de una separación en paralelo, rodeando la dirección de desplazamiento temporalmente el eje óptico. La separación es preferentemente mayor a cero, puede ser no obstante también cero.

Que la unidad de rotación esté dispuesta en dirección de radiación detrás de la entrada de rayos láser, significa que un haz de rayos láser que se hace entrar por la entrada de rayos láser en dirección de radiación sobre el eje óptico, alcanza la unidad de rotación tras la entrada en el dispositivo de mecanizado. La unidad de rotación desplaza el haz de rayos láser en paralelo con respecto al eje óptico a razón de la distancia mencionada. Mientras por lo tanto el haz de rayos láser entra sobre el eje óptico en el dispositivo de rotación, abandona el mismo a la distancia mencionada con respecto al eje óptico, sin embargo en paralelo con respecto a éste. La dirección del eje óptico con respecto al haz de rayos láser que abandona la unidad de rotación ha de denominarse aquí como dirección de desplazamiento. De acuerdo con la invención la dirección de desplazamiento rodea temporalmente el eje óptico. El haz de rayos láser que sale del dispositivo de rotación describe por lo tanto en un plano en perpendicular con respecto al eje óptico una trayectoria, la cual rodea el eje óptico. En caso de ser la separación mencionada cero, entonces no hay definida ninguna dirección de desplazamiento.

La dirección de desplazamiento rodea preferentemente a lo largo de un recorrido cerrado el eje óptico y de manera particularmente preferente de forma circular, de manera que el recorrido mencionado es circular.

El dispositivo de mecanizado de acuerdo con la invención presenta además de ello una unidad de divergencia dispuesta en dirección de radiación detrás de la unidad de rotación, con la cual el haz de rayos láser puede desplegarse en una pluralidad de haces de rayos parciales. La unidad de divergencia puede considerarse preferentemente como divisor de haz. Los haces de rayos parciales pueden formar a este respecto en un plano perpendicular con respecto al eje óptico una distribución de intensidad continua, pueden tener no obstante preferentemente también una distribución de intensidad, que tiene para cada uno de los haces de rayos parciales un máximo local de la intensidad en el mencionado plano perpendicular con respecto al eje óptico. En este caso los haces de rayos parciales pueden considerarse o estar configurados respectivamente como haces de rayos láser correspondientemente individuales. Los haces de rayos parciales pueden solaparse a este respecto en sus zonas de borde con haces de rayos parciales afines por zonas parciales a lo largo del eje óptico o presentarse completamente separados unos de otros. En el último caso la distribución de intensidad es en el mencionado plano discontinua. La distribución de los haces de rayos parciales se determina mediante la estructuración del divisor de haz.

Que el haz de rayos láser se despliegue en la pluralidad de haces de rayos parciales significa preferentemente que rayos principales de los haces de rayos parciales se extienden detrás de la unidad de divergencia de forma divergente. La función de la unidad de divergencia puede describirse ventajosamente de tal manera que divide los rayos principales en una cantidad finita o infinita de nuevos rayos principales, que se diferencian respectivamente en su dirección en relación con el eje óptico. Junto a cada nuevo rayo principal existe entonces una pluralidad de rayos, que referidos al nuevo rayo principal presentan la misma distribución angular que los rayos del haz de rayos láser que incide en la unidad de divergencia. Un nuevo rayo principal puede considerarse entonces junto con esta cantidad de rayos como haz de rayos parciales. La unidad de divergencia conduce de esta manera a una

modificación de la distribución de intensidad del haz de rayos láser incidente en el espacio angular.

5 Una distribución de intensidad continua puede ser una distribución de intensidad relacionada entre sí, la cual es formada por la unidad de divergencia. Mediante el primer módulo puede focalizarse entonces cada haz de rayos parciales en el sentido de una óptica geométrica paraxial en un punto sobre un plano focal conjunto con orientación perpendicular con respecto al eje óptico. En el caso continuo existen por lo tanto en el plano focal infinitos puntos y de esta manera infinitos haces de rayos parciales.

10 Un ejemplo de una distribución de intensidad discontinua es un divisor de haz (por ejemplo una distribución en una cuadrícula de 4 por 4 haces de rayos parciales), que divide el haz de rayos láser en una cantidad finita de haces de rayos parciales. En el plano focal del primer módulo pueden resultar mediante la focalización en una imagen de la óptica paraxial de esta manera puntos focales separados localmente. En una imagen de la óptica limitada por difracción pueden resultar en el plano focal zonas focales.

Una combinación de distribución de intensidad continua y de distribución de intensidad discontinua puede producirse también mediante la unidad de divergencia. Como ejemplo para ello puede mencionarse también la formación de una cuadrícula de 4 por 4 zonas, que forman respectivamente una "F".

15 La totalidad de los haces de rayos parciales generados por la unidad de divergencia ha de denominarse aquí como haz de rayos global.

La unidad de divergencia puede generar no obstante también una distribución de intensidad cualquiera en el mencionado plano en perpendicular con respecto al eje óptico. En el caso más sencillo la unidad de divergencia puede generar por ejemplo el rayo de acuerdo con la ecuación de red

$$20 \quad \text{sen}(\theta_n) = n \cdot \frac{\lambda}{g}$$

describiendo  $n$  el orden de número entero de la red,  $\lambda$  la longitud de onda del haz de rayos láser,  $g$  la constante de red y  $\theta_n$  el ángulo de rayo principal del haz de rayos parciales con respecto al eje óptico. Dependiendo de la estructura del divisor de haz pueden generarse aquí cuadrículas bidimensionales de la distribución de intensidad o distribuciones de intensidad complejas.

25 Tal como se ha descrito arriba, la unidad de divergencia puede formar haces de rayos parciales, los cuales forman una distribución de intensidad continua en un plano imaginario en perpendicular con respecto al eje óptico. En este caso los haces de rayos parciales afines pasan unos a otros. La distribución de intensidad puede adoptar a este respecto cualesquiera formas, predeterminándose la forma de la distribución de intensidad mediante la unidad de divergencia. La definición descrita arriba de los haces de rayos parciales puede usarse para cualesquiera unidades de divergencia. Cada haz de rayos global que se forma mediante la unidad de divergencia puede representarse como compuesto a partir de una cantidad cualquiera de haces de rayos parciales, pudiendo ser las zonas angulares o zonas de separación, por las cuales se extienden los rayos de un haz de rayos parciales dado alrededor del correspondiente rayo principal, también infinitesimales. Otras unidades de divergencia pueden generar no obstante también haces parciales de rayos discontinuos, los cuales no se solapan y cuyos rayos se expanden en una zona angular o zona de separación finita, que no desaparece, alrededor del correspondiente haz principal.

La unidad de divergencia puede ser preferentemente un elemento óptico difractivo con un patrón de micro y/o nanoestructuras. El divisor de haz puede ser además de ello también un divisor de haz difractivo, un elemento óptico difractivo, como por ejemplo un conjunto de microlentes u otra red de difracción fija o dinámica, como por ejemplo un *Spatial Light Modulator* (modulador de luz espacial), un holograma o una *Grating Light Valve* (válvula de luz de red).

40 La unidad de divergencia genera preferentemente haces de rayos parciales colimados.

En una configuración ventajosa de la invención la unidad de divergencia puede estar alojada de manera giratoria alrededor de al menos un eje, en particular el eje óptico, preferentemente alrededor de dos o de tres ejes perpendiculares entre sí, los cuales comprenden de manera particularmente preferente el eje óptico.

45 El dispositivo de mecanizado de acuerdo con la invención presenta además de ello un primer módulo dispuesto en dirección de radiación detrás de la unidad de divergencia, con el cual pueden focalizarse respectivamente la pluralidad de haces de rayos parciales. Se desvían por lo tanto unos hacia otros en cada uno de los haces de rayos parciales generados por la unidad de divergencia los haces del correspondiente haz de rayos parciales, de manera que se cortan respectivamente en un punto focal.

50 Mediante el primer módulo pueden reducirse ventajosamente además también ángulos de los rayos principales de los haces de rayos principales entre sí, pudiendo paralelizarse de manera particularmente preferente los rayos principales de todos los haces de rayos parciales entre sí. Los haces de rayos parciales pueden desviarse por lo tanto de tal manera por el primer módulo, que sus direcciones de radiación principal se extienden en paralelo entre

sí por detrás del primer módulo. En caso de ser los haces de rayos parciales generados por la unidad de divergencia, rayos láser individuales o haces de rayos láser individuales, entonces éstos pueden extenderse por detrás del primer módulo en paralelo entre sí. El primer módulo puede denominarse también como primer módulo de transmisión.

- 5 El módulo está posicionado preferentemente de tal manera que la unidad de divergencia se encuentra en una pupila de entrada de este primer módulo.

El dispositivo de mecanizado de acuerdo con la invención presenta además de ello una unidad de selección dispuesta en dirección de radiación detrás del primer módulo, con la cual puede eliminarse una parte de los haces de rayos parciales del haz de rayos total generado por el primer módulo. Preferentemente la unidad de selección está dispuesta en una zona a lo largo del eje óptico, en la cual los haces de rayos parciales no se solapan entre sí debido a su focalización por el primer módulo.

10

En una configuración ventajosa de la invención la unidad de selección puede presentar un espejo, que puede introducirse en la trayectoria de radiación de los haces de rayos parciales a eliminar, y con el cual pueden desviarse ventajosamente los haces de rayos parciales a eliminar hacia un absorbedor. El espejo puede ser móvil para ello ventajosamente en dos dimensiones. Debido a ello pueden seleccionarse del haz de rayos global determinados haces de rayos parciales, mientras que los restantes haces de rayos parciales atraviesan libres de obstáculos el módulo de selección y siguen la trayectoria de radiación en el dispositivo de mecanizado.

15

La unidad de selección puede presentar también una máscara, la cual puede moverse hacia la trayectoria de radiación de los haces de rayos parciales a eliminar. También esta máscara puede moverse para ello preferentemente en dos dimensiones dinámicamente.

20

En una configuración de la invención la unidad de selección puede presentar también un conjunto de microespejos, en el cual inciden haces de rayos parciales sobre uno o varios espejos móviles, los cuales desvían los correspondientes haces de rayos parciales de la trayectoria de radiación del haz de rayos global hacia un absorbedor, o que reflejan todos los haces de rayos parciales, los cuales no han de eliminarse del haz de rayos global, en dirección del eje óptico del dispositivo de mecanizado, de manera que los haces de rayos parciales a eliminar inciden sin ser desviados por ejemplo en un absorbedor.

25

La unidad de selección puede presentar además de ello adicional o alternativamente una máscara, la cual oculta y/o absorbe haces de rayos parciales a eliminar. Una máscara de este tipo puede eliminar del haz de rayos global haces de rayos parciales. Una máscara de este tipo puede disponerse también adicionalmente a las unidades descritas anteriormente como espejo, máscara o conjunto de microespejos estático o dinámico en dirección de radiación tras este correspondiente dispositivo, y de esta manera eliminar de los haces de rayos parciales no eliminados por la primera parte de la unidad de selección, otros haces de rayos parciales del haz de rayos global.

30

En caso de ser por ejemplo la unidad de divergencia una red, entonces divide el haz de rayos láser entrante en órdenes principales y más altos. Además de ello existe también un orden cero, que se corresponde con la luz no difractada del rayo láser acoplado en la unidad de divergencia. Los órdenes de difracción cero y más altos son a menudo indeseados, dado que pueden conducir a una reducción de la eficiencia de la unidad de divergencia y pueden obstaculizar en la superficie a mecanizar el proceso de mecanizado. Este tipo de órdenes cero y más altos pueden eliminarse mediante la unidad de selección, en particular mediante una máscara, ventajosamente del haz de rayos global.

35

Una máscara de este tipo puede ser por ejemplo una chapa metálica, un sustrato transparente revestido, en cuyo caso un revestimiento no transparente presenta aberturas adecuadas, o un espejo con una cuadrícula adecuada de perforaciones. La máscara permite entonces la propagación de los órdenes principales deseados sin influencias, mientras que los órdenes de difracción cero y más altos a seccionar se absorben o se desvían a un absorbedor.

40

Con la unidad de selección puede ser eliminable ventajosamente también al menos un haz de rayos parciales, que es un orden principal de un patrón de difracción generado por el elemento óptico difractivo.

45

En una configuración ventajosa de la invención la unidad de selección puede presentar un espejo o una máscara móviles, tal como se ha descrito anteriormente, en perpendicular con respecto al eje óptico y adicionalmente una máscara con aberturas tal como se ha descrito anteriormente. A este respecto la máscara con las aberturas puede estar dispuesta delante o preferentemente detrás del espejo móvil o de la máscara móvil.

El dispositivo de mecanizado de acuerdo con la invención presenta además de ello un segundo módulo dispuesto en dirección de radiación detrás del primer módulo, preferentemente detrás de la unidad de selección, con el cual pueden reducirse ángulos de rayos de los haces de rayos parciales respectivamente entre sí. Con el segundo módulo pueden reducirse por lo tanto en cada haz de rayos parcial, que inciden en el segundo módulo, los ángulos de los rayos entre sí. Preferentemente con el segundo módulo pueden colimarse los haces de rayos parciales.

50

Es preferente además de ello una configuración de la invención, en la cual con el segundo módulo pueden reducirse ángulos de los rayos de los haces de rayos parciales entre sí respectivamente a aquellos ángulos, los cuales son

55

- iguales a los correspondientes ángulos reflejados mediante puntos en el eje óptico, que tienen los rayos de los correspondientes haces de rayos parciales al entrar en el primer módulo entre sí. En caso de considerarse por lo tanto uno de los haces de rayos parciales, entonces entran sus rayos con determinados ángulos entre sí en el primer módulo. En esta configuración ventajosa los rayos abandonan el segundo módulo con los mismos ángulos entre sí, pero reflejados en puntos en el eje óptico. El haz de rayos parciales se encuentra por lo tanto tras abandonar el segundo módulo frente a la entrada en el primer módulo boca abajo.
- En una configuración preferente de la invención los rayos principales de los haces de rayos parciales pueden hacerse converger con el segundo módulo. Que los rayos principales pueden hacerse converger significa que mediante el segundo módulo pueden ser desviados de tal manera que converjan entre sí. Las direcciones de radiación principal de los haces de rayos parciales se modifican por lo tanto mediante el segundo módulo de tal manera que la separación entre los rayos principales de los haces de rayos parciales se reducen en dirección perpendicular con respecto al eje óptico a lo largo del eje óptico hasta un punto de separación mínima.
- El segundo módulo puede denominarse como segundo módulo de transmisión. El módulo de transmisión puede reproducir junto con los elementos que se encuentran delante de éste en dirección de radiación, en particular con el primer módulo del haz de rayos global, eventualmente reducido a razón de los haces de rayos parciales eliminados mediante la unidad de selección, un plano de radiación, en el cual los rayos principales de los haces de rayos parciales tienen entre sí la distancia mínima. El haz de rayos global tiene aquí entonces su diámetro más pequeño. En este plano pueden cruzarse los rayos principales de los correspondientes haces de rayos parciales.
- El dispositivo de mecanizado de acuerdo con la invención presenta en dirección de radiación detrás del segundo módulo preferentemente delante de la unidad de focalización, una unidad de desvío, con la cual pueden desviarse en dependencia del tiempo los haces de rayos parciales. Con la unidad de desvío pueden desviarse por lo tanto las direcciones de radiación de los rayos principales de los haces de rayos parciales.
- Ventajosamente la unidad de desvío da lugar a un desvío efectivo de los haces de rayos parciales en cada punto, en el cual los rayos principales tienen debido a su convergencia provocada por el segundo módulo, la separación más pequeña entre sí.
- El dispositivo de mecanizado de acuerdo con la invención presenta además de ello una unidad de focalización, con la cual los haces de rayos parciales restantes del haz de rayos global pueden respectivamente focalizarse. Preferentemente pueden focalizarse a este respecto hacia la superficie a mecanizar.
- La unidad de focalización está dispuesta preferentemente en dirección de radiación detrás de la unidad de desvío. Preferentemente está dispuesta además de ello en dirección de radiación detrás de un punto, en el cual los rayos principales de los haces de rayos parciales, que se han hecho converger a través del segundo módulo, tienen entre sí la distancia más pequeña. En este caso está dispuesta por lo tanto la unidad de focalización a una distancia con respecto al segundo módulo a lo largo del eje óptico, en el cual se separan de nuevo los rayos principales y los haces de rayos parciales. Detrás de la unidad de focalización pueden extenderse los haces de rayos parciales entonces en paralelo entre sí.
- La unidad de focalización puede ser por ejemplo una lente F-theta-correctada con propiedades telecéntricas. Junto con los desviadores de rayo pueden desviarse ventajosamente los resultantes focos en cualesquiera trayectorias bidimensionales sobre la superficie a mecanizar. El desplazamiento de rayo rotativo condicionado por la unidad de rotación puede conducir en el plano de radiación, en el cual los rayos principales de los haces de rayos parciales tienen tras el segundo módulo la separación más pequeña entre sí, a un movimiento de los haces de rayos parciales sobre una trayectoria circular con un radio  $r'$ . Este desplazamiento de rayo puede conducir a un posicionamiento del haz de rayos en relación con el eje óptico de la unidad de focalización, de manera que el haz de rayos incide con un ángulo  $\beta$  de su rayo principal en relación con el eje óptico sobre la pieza de trabajo.
- Es preferente cuando en la entrada de radiación láser del dispositivo de mecanizado entra un haz de rayos láser colimado. Preferentemente mediante la unidad de divergencia se despliega el haz de rayos láser en una pluralidad de respectivamente haces de rayos parciales colimados.
- En una configuración ventajosa de la invención el dispositivo de mecanizado puede presentar además de ello un sistema de zoom, el cual está dispuesto en dirección de radiación detrás de la unidad de divergencia, preferentemente detrás del primer módulo, y con el cual puede modificarse una separación entre los haces de rayos parciales o entre los rayos principales de los haces de rayos parciales. El sistema de zoom está configurado por lo tanto preferentemente de tal manera que los haces de rayos parciales entran en el sistema de zoom con direcciones de radiación principal paralelas entre sí con determinadas separaciones de los rayos principales entre sí y salen con direcciones de radiación principal paralelas entre sí con otras separaciones de los rayos principales del sistema de zoom.
- El sistema de zoom puede estar dispuesto de manera particularmente preferente a lo largo del eje óptico entre la unidad de selección y el segundo módulo.
- El sistema de zoom puede escalar ventajosamente el haz de rayos global y dar lugar de esta manera a una

modificación de las separaciones de los haces de rayos parciales entre sí. En el caso de una distribución de intensidad continua cualquiera de haces de rayos parciales finitos o infinitesimales, ésta puede escalarse mediante el sistema de zoom.

5 El sistema de zoom puede presentar por ejemplo objetivos con distancia focal fija, lentes móviles con posiciones discretas o continuas o elementos activos como lentes de líquido o consistir en ello y puede estar de manera particularmente preferente motorizado. El sistema de zoom puede ser preferentemente a este respecto simétrico en rotación, de manera particularmente preferente mediante lentes esféricas o asféricas. Puede escalarse debido a ello en ambas direcciones espaciales en perpendicular con respecto al eje óptico conjuntamente. El sistema de zoom puede estar configurado alternativamente por ejemplo mediante superficies cilíndricas o acilíndricas de tal manera que el escalado puede modificarse en cada dirección en perpendicular con respecto al eje óptico por separado. Además de ello puede realizarse ventajosamente la función de zoom también mediante el uso de prismas anamorfóticos.

La zona de zoom posible puede comprender también una zona más grande, la cual puede ser también de varias decenas de porcentaje.

15 Es posible además de ello también posicionar el sistema de zoom en una posición cualquiera entre la unidad de divergencia y la unidad de focalización. Puede ser además de ello también componente integral de un grupo de lentes en esta zona.

20 En otra configuración ventajosa de la invención el sistema de zoom puede presentar un primer grupo de prismas anamorfóticos o cuñas ópticas y preferentemente además de ello un segundo grupo girado hacia el primer grupo alrededor del eje óptico a razón de  $90^\circ$ , de prismas anamorfóticos o cuñas ópticas.

25 Que el primer grupo esté girado con respecto al segundo grupo alrededor del eje óptico a razón de  $90^\circ$ , significa a este respecto que el giro está indicado suponiendo que el eje óptico se extiende desde el primer grupo hasta el segundo grupo como recta. En caso de doblarse entre el primer grupo y el segundo grupo el eje óptico, por ejemplo mediante un espejo de desvío, entonces los grupos están girados de tal manera entre sí que en caso de la ausencia del acodamiento están girados entre sí a razón de  $90^\circ$  alrededor del eje óptico.

30 En otra configuración ventajosa de la invención el sistema de zoom puede presentar un primer grupo de lentes cilíndricas y preferentemente además de ello un segundo grupo de lentes cilíndricas giradas con respecto al primer grupo alrededor del eje óptico a razón de  $90^\circ$ . Que el primer grupo esté girado con respecto al segundo grupo alrededor del eje óptico a razón de  $90^\circ$ , significa por su parte que el giro está indicado suponiendo que el eje óptico se extiende desde el primer grupo hasta el segundo grupo como recta. En caso de doblarse entre el primer grupo y el segundo grupo el eje óptico, por ejemplo mediante un espejo de desvío, entonces los grupos están girados de tal manera entre sí que en caso de la ausencia del acodamiento están girados entre sí a razón de  $90^\circ$  alrededor del eje óptico.

35 En esta configuración los prismas o las lentes cilíndricas del primer par y los prismas o las lentes cilíndricas del segundo par, pueden girarse respectivamente unos hacia otros alrededor de ejes, los cuales se encuentran en perpendicular con respecto al eje óptico y están dispuestos en paralelo con respecto a superficies no paralelas del prisma o de la cuña óptica o en paralelo con respecto a la superficie curvada de la lente cilíndrica. Se supone a este respecto que los haces de rayos parciales inciden a través de una de las superficies no paralelas del prisma o de la cuña óptica en éste y abandonan el prisma o la cuña óptica a través de otra de las superficies no paralelas, dado que debido a ello puede modificarse la dirección de radiación. Lo mismo tiene validez para la superficie curvada de la lente cilíndrica.

40 Los prismas de los grupos están dispuestos a este respecto de tal manera que los ejes, alrededor de los cuales pueden girar los prismas, se encuentran en paralelo entre sí en el correspondiente grupo. Estos ejes están en el segundo grupo frente a los ejes del primer par, tal como se ha descrito arriba, girados alrededor del eje óptico a razón de  $90^\circ$ .

En una configuración ventajosa de la invención cada grupo comprende exactamente dos prismas, o dos cuñas ópticas o cuatro lentes cilíndricas.

50 En una configuración ventajosa de la invención la unidad de rotación puede estar configurada como placa paralela plana en plano, por ejemplo como placa de vidrio, la cual está dispuesta preferentemente con respecto al eje óptico ladeada a razón de un ángulo  $\neq 0^\circ$  y  $\neq 90^\circ$  y que puede girar alrededor del eje óptico. En caso de incidir el haz de rayos láser sobre el eje óptico en una placa en paralelo plana de este tipo, abandona la misma con un desplazamiento paralelo con respecto al eje óptico.

55 En otra configuración ventajosa de la invención la unidad de rotación puede presentar al menos dos cuñas ópticas dispuestas una tras otra a lo largo del eje óptico o consistir en éstas, que pueden girar alrededor del eje óptico. Las cuñas ópticas están dispuestas a este respecto de tal manera que un haz de rayos láser que incide a lo largo del eje óptico sobre las cuñas ópticas al atravesar las cuñas ópticas se desplaza en paralelo, abandona las mismas por lo tanto con una separación superior a cero del eje óptico, pero en paralelo con respecto al eje óptico.

Las cuñas ópticas tienen ventajosamente un ángulo de cuña e índice de refracción iguales. De manera particularmente preferente una separación de las placas de cuña de cada grupo puede modificarse respectivamente entre sí de tal manera que puede modificarse la separación provocada por el correspondiente grupo.

5 Las cuñas ópticas están dispuestas preferentemente alrededor de un plano perpendicular con respecto al eje óptico de forma reflejada.

En una configuración ventajosa de la invención la unidad de rotación puede presentar dos placas en paralelo planas dispuestas a lo largo del eje óptico una detrás de la otra, las cuales pueden ladearse independientemente entre sí con respecto al eje óptico.

10 La unidad de rotación puede presentar además de ello un prisma de Schmidt-Pechan, un espejo K rotativo o un prisma Dove o consistir en ello, que puedan girar alrededor del eje óptico.

La unidad de desvío se posiciona preferentemente de tal manera que un punto de giro efectivo de la unidad de desvío se encuentra en un plano, en el cual se encuentra una imagen generada mediante el primer y el segundo módulo de la unidad de divergencia. Como punto de giro efectivo puede tenerse en consideración ventajosamente el punto central espacial (foco) entre los dos ejes de desvío de la unidad de desvío.

15 El dispositivo de mecanizado de acuerdo con la invención puede usarse ventajosamente para la producción de estructuras periódicas de gran superficie mediante ablación láser, para la producción de cualesquiera distribuciones de intensidad mediante ablación láser, para la perforación mediante láser paralela, corte mediante láser con varios puntos de mecanizado y para la perforación en espiral paralela. El dispositivo de mecanizado de acuerdo con la invención puede usarse en general ventajosamente para el mecanizado mediante láser con un patrón fijo en puntos  
20 de mecanizado o una distribución de intensidad cualquiera o para el mecanizado en paralelo con varios haces de rayos parciales, pudiendo ajustarse en cada plano de la eliminación una distribución de rayo diferente y debido a ello lograrse también en caso de geometrías de eliminación más grandes y no periódicas un rendimiento de eliminación multiplicado en correspondencia con la cantidad de haces de rayos parciales. El dispositivo de acuerdo con la invención puede usarse además de ello para la producción a gran escala de estructuras periódicas en láminas delgadas. Puede verse en dependencia de la cantidad de los haces de rayos generada en este caso un aumento  
25 notable de la velocidad de proceso a razón de un factor de al menos 100 en comparación con el mecanizado de rayo individual clásico. En particular en la zona del mecanizado de pulso ultracorto pueden lograrse tasas de producción hasta ahora no alcanzadas.

30 En una configuración ventajosa de la invención el dispositivo de mecanizado puede presentar además de ello una unidad de desplazamiento de foco, que está dispuesta a lo largo del eje óptico en dirección de radiación detrás de la entrada de radiación láser y delante de la unidad de rotación, y con la cual pueden ajustarse ángulos entre rayos del haz de rayos láser de tal manera que los rayos se dirigen hacia un punto sobre el eje óptico detrás de la unidad de desplazamiento de foco o se alejan en una proyección de los rayos sobre el eje óptico, de un punto delante o en la  
35 unidad de desplazamiento de foco, pudiendo modificarse la separación del correspondiente punto mediante la unidad de desplazamiento de foco a lo largo del eje óptico. La separación puede modificarse preferentemente de forma dinámica. La unidad de desplazamiento de foco presenta por lo tanto preferentemente un dispositivo de ajuste, el cual permite una modificación de la separación. El concepto unidad de desplazamiento de foco se ha seleccionado debido a que la correspondiente unidad desplaza el foco del primer módulo delante del primer módulo. El primer módulo tiene por lo tanto junto con la unidad de desplazamiento de foco un foco desplazado solo con  
40 respecto al primer módulo delante del primer módulo.

La invención se refiere además de ello a un procedimiento para el mecanizado mediante láser de una superficie, haciéndose entrar un haz de rayos láser en una dirección de radiación sobre un eje óptico, desplazándose el haz de rayos láser con respecto al eje óptico en una dirección de desplazamiento a razón de una separación en paralelo,  
45 rodeando la dirección de desplazamiento temporalmente el eje óptico, siendo desplegado el haz de rayos láser en una pluralidad de haces de rayos parciales, formando la dirección radial con respecto al eje óptico una distribución de intensidad continua o discontinua, representando la pluralidad de haces de rayos parciales un haz de rayos global, focalizándose respectivamente un haz de rayos parcial, eliminándose una parte de los haces de rayos parciales del haz de rayos global, reduciéndose respectivamente un ángulo entre rayos de los haces de rayos parciales restantes, desviándose los haces de rayos parciales con correspondientemente ángulos reducidos entre  
50 sus rayos en dependencia del tiempo, y focalizándose respectivamente los restantes haces de rayos parciales del haz de rayos global.

La unidad de desvío lleva a cabo preferentemente un movimiento, el cual conduce a un desvío circular de los haces de rayos parciales. Los haces de rayos parciales llevan a cabo por lo tanto ventajosamente un movimiento de perforación en espiral.

55 En el lenguaje de la tecnología láser el procedimiento puede considerarse como perforación en espiral sincronizada con una pluralidad de rayos parciales.

Preferentemente la rotación de la unidad de rotación puede estar sincronizada con el desvío de la unidad de desvío. La unidad de desvío puede moverse por lo tanto con la misma frecuencia y la misma fase  $\phi$  que la unidad de



rotación y de esta manera describir un trayectoria circular. De esta manera pueden producirse agujeros perpendiculares en la superficie.

5 En otra configuración ventajosa el divisor de haz puede girar durante el mecanizado alrededor del eje óptico y puede moverse la pieza de trabajo en relación con el dispositivo de mecanizado, de manera que se produce en la pieza de trabajo una junta de corte.

A continuación se explica a modo de ejemplo la invención mediante algunas figuras. Las mismas referencias caracterizan a este respecto las mismas o correspondientes características. Las características descritas en los ejemplos pueden combinarse también entre los ejemplos y estar realizadas independientemente del ejemplo concreto.

10 Muestra:

- La Fig. 1 una estructura a modo de ejemplo de un dispositivo de mecanizado de acuerdo con la invención,
- La Fig. 2 una estructura a modo de ejemplo de un dispositivo de mecanizado de acuerdo con la invención con un sistema de zoom con lentes con simetría de rotación,
- La Fig. 3 una estructura a modo de ejemplo de un dispositivo de mecanizado de acuerdo con la invención con disposiciones de cuñas ópticas como sistema de zoom,
- 15 La Fig. 4 una estructura a modo de ejemplo de un dispositivo de mecanizado de acuerdo con la invención con una placa en paralelo plana rotativa como unidad de rotación,
- La Fig. 5 una estructura a modo de ejemplo de un dispositivo de mecanizado de acuerdo con la invención con una unidad de divergencia que puede ser ladeada,
- 20 La Fig. 6 una estructura a modo de ejemplo de un dispositivo de mecanizado de acuerdo con la invención con una unidad de polarización adicional,
- La Fig. 7 un ejemplo de realización de una unidad de rotación con dos espejos y una placa en paralelo plana,
- La Fig. 8 la estructura de una unidad de zoom con dos grupos de lentes de cilindro,
- La Fig. 9 una ilustración del principio de actuación óptico de prismas anamorfóticos sobre una distribución de rayo discontinua,
- 25 La Fig. 10 el desarrollo de los rayos de tres diferentes haces de rayos parciales a través del sistema de zoom en una realización con lentes con simetría de rotación en diferentes configuraciones de las posiciones de lente individuales,
- La Fig. 11 un desarrollo simplificado de tres haces de rayos parciales desde la unidad de divergencia a través del primer módulo hasta detrás del segundo módulo en una estructura sin sistema de zoom para una realización telecéntrica del primer y del segundo módulo,
- 30 La Fig. 12 un desarrollo simplificado de tres haces de rayos parciales desde la unidad de divergencia a través del primer módulo hasta detrás del segundo módulo con una unidad de divergencia entre el primer y el segundo módulo,
- 35 La Fig. 13 una ilustración del posicionamiento preferente de la unidad de desvío en la zona detrás del segundo módulo, en la cual los haces de rayos parciales tienen la distancia más pequeña entre sí,
- La Fig. 14 una definición a modo de ejemplo de los ángulos entre los rayos en un haz de rayos parciales en relación con el rayo principal y efecto del segundo módulo sobre los rayos en un haz de rayos parciales y el ángulo del rayo principal en relación con el eje óptico,
- 40 La Fig. 15 una ilustración del efecto del segundo módulo sobre los ángulos de los rayos de un haz de rayos parciales entre sí, así como sobre los ángulos entre los rayos principales,
- La Fig. 16 un desarrollo de escaneo a modo de ejemplo para la producción de patrones periódicos con el dispositivo de mecanizado de acuerdo con la invención,
- La Fig. 17 representación esquemática de la reproducción de una distribución de intensidad continua,
- 45 La Fig. 18 representación esquemática de la reproducción de una distribución de intensidad discontinua.

50 La Fig. 1 muestra una realización a modo de ejemplo de un dispositivo de mecanizado de acuerdo con la invención para el mecanizado mediante láser de una superficie 23. El dispositivo de mecanizado presenta aquí un sistema de láser 1, el cual emite un haz de rayos láser 2 colimado. El láser puede ser en dependencia del ámbito de uso por ejemplo un láser no pulsado (láser cw), uno de pulso corto, por ejemplo un láser de nanosegundo, o preferentemente uno de pulso ultracorto, por ejemplo un láser de picosegundo y/o un láser de femtosegundo, que emite luz de alta coherencia. La longitud de onda del láser puede encontrarse por ejemplo en rango infrarrojo, por ejemplo en 1.064 nm o 1.030 nm, en el rango visible, por ejemplo en 532 nm o 515 nm, o también en el rango ultravioleta, por ejemplo en 355 nm o 348 nm. En lo sucesivo se denominará el diámetro del haz de rayos emitido 2 con  $d_0$ .

55 El dispositivo de mecanizado a modo de ejemplo de la Fig. 1 presenta una unidad de rotación 28 dispuesta en dirección de radiación detrás del sistema de láser, a través de la cual puede desplazarse el haz de rayos láser con respecto al eje óptico en una dirección de desplazamiento a razón de una separación mayor a cero en paralelo, rodeando la dirección de desplazamiento temporalmente el eje óptico.

60 Aquella zona entre el sistema de láser 1 y la unidad de rotación 28 se denomina aquí como entrada de radiación láser, en la cual puede introducirse el haz de rayos láser en una dirección de radiación hacia un eje óptico en la

unidad de rotación o el dispositivo de mecanizado.

La unidad de rotación 28 genera en el estado de reposo un desplazamiento de rayo paralelo en relación con el eje óptico. A este respecto ha de indicarse la separación entre el haz de rayos desplazado (o su rayo principal) y el eje óptico con  $r$ . En el sistema de coordenadas, en el cual se encuentra el eje óptico en el eje  $x$ , el eje óptico tiene las coordenadas ( $z=0, y=0$ ). El haz de rayos láser colimado tendría al incidir sobre la unidad de rotación un diámetro de  $d_1$ . Mediante rotación de la unidad de rotación 28 se mueve el haz de rayos desplazado temporalmente alrededor del eje óptico, por ejemplo por una trayectoria circular con el radio  $r$ , encontrándose el centro de la trayectoria circular sobre el eje. El haz de rayos 29 abandona la unidad de rotación 28 colimado y se mueve por lo tanto en este ejemplo sobre una trayectoria circular en paralelo con respecto al eje óptico, como se muestra en la figura parcial A de la Fig. 1, que ilustra una sección perpendicular con respecto al eje óptico. La unidad de rotación puede ser ventajosamente una placa paralela en plano con grosor  $t$ , que puede accionarse mediante un motor de árbol hueco. Una normal de superficie en relación con el eje de rotación está ladeada a este respecto a razón de un ángulo  $\alpha$ , el cual es preferentemente distinto a  $0^\circ$  y distinto a  $90^\circ$ .

En este ejemplo el grosor de placa  $t$  y el ángulo  $\alpha$  fijan el desplazamiento de rayo  $r$  del haz de rayos 29 que sale de la unidad de rotación 28 de acuerdo con la ecuación

$$r = t \operatorname{sen}(\alpha) \left( 1 - \frac{\cos(\alpha)}{\sqrt{\left(\frac{n_2}{n_1}\right)^2 - \operatorname{sen}^2(\alpha)}} \right)$$

siendo  $n_2$  el índice de refracción óptico de la placa y  $n_1$  el índice de refracción del medio del entorno. El motor permite una rotación de la placa paralela en plano con un alto número de revoluciones en el intervalo de por ejemplo 50.100 Hz o más.

De manera alternativa el desplazamiento de rayo puede realizarse por ejemplo también mediante una combinación de al menos dos cuñas ópticas de rotación sincronizada, y ajustables en su posición entre sí (prismas anamorfóticos). Otras posibilidades para la inducción del desplazamiento de rayo óptico rotativo son por ejemplo el uso de un prisma de Schmidt-Pechan, de un espejo K rotativo o de un prisma Dove rotativo. Es posible también realizar el radio  $r$  alrededor del cual está desplazado el haz de rayos láser 29 con respecto al eje óptico, de forma variable. Esto es posible con estructuras más complejas.

El dispositivo de mecanizado de la Fig. 1 presenta además de ello una unidad de divergencia 3 dispuesta en dirección de radiación detrás de la unidad de rotación, con la cual puede desplegarse el haz de rayos láser en una pluralidad de haces de rayos parciales 4, que tienen en dirección radial con respecto al eje óptico una distribución de intensidad continua o discreta.

Mediante la unidad de divergencia el rayo principal puede dividirse en una cantidad finita o infinita de nuevos rayos principales, los cuales se diferencian respectivamente en su dirección en relación con el eje óptico. Por cada rayo principal nuevo existe una cantidad de rayos, los cuales, referidos al nuevo rayo principal, presentan la misma distribución angular, como aquella del haz de rayos láser que incide en la unidad de divergencia. Un nuevo rayo principal forma junto con esta cantidad de rayos un haz de rayos parciales. La unidad de divergencia conduce de esta manera a una modificación de la distribución de intensidad del haz de rayos láser que incide, en el espacio angular.

**Ejemplo 1: distribución de intensidad continua**

Una distribución de intensidad continua es ventajosamente una distribución de intensidad relacionada en sí, la cual se forma mediante la unidad de divergencia. Mediante el primer módulo puede focalizarse cada haz de rayos parciales en el sentido de la óptica geométrica paraxial, en un punto sobre un plano focal común con orientación perpendicular con respecto al eje óptico. En el caso continuo existen ventajosamente en el plano focal infinitos puntos y de esta manera infinitos haces de rayos parciales. Como ejemplo para ello puede mencionarse la generación de la letra "F". La distribución de intensidad relacionada en sí de la "F" se forma mediante la unidad de divergencia. Mediante la focalización con el primer módulo se genera en el plano de focalización del primer módulo una distribución de intensidad con la forma de la letra "F". Cada punto en la distribución de intensidad se forma mediante un haz de rayos parciales individual.

**Ejemplo 2: distribución de intensidad discontinua**

Un ejemplo de una distribución de intensidad discontinua es un divisor de haz (por ejemplo una división en una cuadrícula de 4 por 4 haces de rayos parciales), que divide el haz de rayos láser en una cantidad finita de haces de rayos parciales. En el plano de focalización del primer módulo resultan debido a la focalización en una representación de la óptica paraxial de esta manera puntos focales separados localmente. En una representación de la óptica con límite de refracción resultan en el plano focal zonas focales.

**Ejemplo 3: combinación entre discontinuo y continuo**

Una combinación de distribución de intensidad continua y distribución de intensidad discontinua mediante la unidad de divergencia también puede producirse. Como ejemplo de ello puede mencionarse la formación de una cuadrícula de 4 por 4 zonas, las cuales forman respectivamente una "F".

- 5 La unidad de divergencia 3 puede ser por ejemplo un divisor de haz 3. El haz de rayos láser 29 desplazado incide tras la unidad de rotación 28 sobre una o varias de estas unidades de divergencia, que atraviesa o en las cuales se refleja. Opcionalmente la o las unidades de divergencia 3 pueden estar alojadas de manera giratoria, preferentemente en tres dimensiones. La unidad de divergencia puede ser por ejemplo un elemento óptico difractivo con un patrón de microestructuras.
- 10 La unidad de divergencia 3 divide el haz de rayos láser 29 en un haz de rayos global 4 a partir de haces de rayos parciales. La distribución de estos haces de rayos parciales se determina mediante la estructuración de la unidad de divergencia 3. Alternativamente la unidad de divergencia puede producir también una distribución de intensidad cualquiera.

En el caso más sencillo el divisor de haz puede dividir el haz de rayos de acuerdo con la siguiente ecuación de red

$$\text{sen}(\theta_{xn}) = n \cdot \frac{\lambda}{g_x}$$

- 15 describiendo  $n$  el orden de número entero de la red,  $\lambda$  la longitud de onda del haz de rayos láser,  $g$  la constante de red y  $\theta_n$  el ángulo del haz de rayos parciales con respecto al eje óptico.

En dependencia de la estructuración del divisor de haz pueden producirse cuadrículas bidimensionales de la distribución de intensidad o distribuciones de intensidad complejas.

- 20 Preferentemente el divisor de haz es un elemento óptico difractivo (DOE), el cual produce una distribución de radiación bidimensional de acuerdo con una de las dos ecuaciones de red

$$\text{sen}(\theta_{ym}) = m \cdot \frac{\lambda}{g_y}$$

y

$$\text{sin}(\theta_{ym}) = n \cdot \frac{\lambda}{g_y}$$

- 25 con  $n$  y  $m$  enteros y

$$|n| \leq N, |m| \leq M.$$

La potencia láser se distribuye preferentemente de manera casi homogénea en los haces de rayos parciales, de manera que tiene validez

$$P_n = P_o / (4NM)\eta + \delta P_n$$

- 30 describiendo  $P_n$  la potencia del haz de rayos parciales  $n$ ,  $\eta$  la eficiencia del divisor de haz,  $P_o$  la potencia del haz de rayos láser entrante 29,  $N$  y  $M$  los órdenes más altos del divisor de haz y  $\delta P_n$  oscilaciones individuales de la potencia del haz de rayos parciales debido a faltas de homogeneidad condicionadas por la producción del divisor de haz. La diferencia de la potencia  $P_{m\acute{a}x}$  del haz de rayos parciales con la potencia más alta y de la potencia  $P_{m\acute{i}n}$  del haz de rayos parciales con la potencia más baja,

$$35 \quad U = P_{m\acute{a}x} - P_{m\acute{i}n} = \delta P_{m\acute{a}x} - \delta P_{m\acute{i}n}$$

es decisiva para la calidad del divisor de haz.

La llamada uniformidad, definida como

$$2 \frac{P_{m\acute{a}x} - P_{m\acute{i}n}}{P_{m\acute{i}n} + P_{m\acute{a}x}}$$

indica la desviación relativa máxima de la potencia láser de los haces de rayos parciales.

Además de los haces de rayos parciales deseados pueden aparecer en caso de un divisor de haz 3 también órdenes de difracción más altos no deseados. Éstos pueden ser igualmente parte del haz de rayos global 4.

5 El haz de rayos global 4 a partir de haces de rayos parciales colimados o la distribución de intensidad ajustada por el divisor de haz conduce mediante la rotación del haz de rayos láser 29 igualmente a un movimiento de rotación, tal como se muestra en la figura parcial B, que ilustra un plano perpendicular con respecto al eje óptico. Este movimiento de rotación puede transmitirse en este ejemplo durante el desarrollo de la radiación óptica.

10 El dispositivo de mecanizado mostrado en la Fig.1 presenta en dirección de radiación detrás de la unidad de divergencia 3 un primer módulo 5, el cual puede denominarse como módulo de transmisión 5, con el cual puede paralelizarse la pluralidad de haces de rayos parciales 4 entre sí en un haz de rayos global que se extiende en paralelo con respecto a la dirección de radiación. Se denomina aquí como haz de rayos global, la totalidad de los haces de rayos parciales que abandonan el módulo 5. Las direcciones de radiación de estos haces de rayos parciales se encuentran detrás del módulo 5 en paralelo entre sí.

15 El módulo de transmisión 5 puede dar lugar además de ello a una focalización de los haces de rayos parciales, de manera que cada haz de rayos parciales se focaliza en un plano 10, siendo el plano 10 preferentemente el mismo para todos los haces de rayos parciales y estando en perpendicular con respecto al eje óptico.

20 El dispositivo de mecanizado mostrado en la Fig. 1 presenta en dirección de radiación detrás del primer módulo 5 un inversor de radiación 6, el cual puede ser aquí un simple espejo. El inversor de radiación 6 está dispuesto con su normal de superficie en un ángulo de  $45^\circ$  con respecto al eje óptico y da lugar de esta manera a un desvío del haz de rayos parciales a razón de un ángulo de  $90^\circ$ . Ha de suponerse aquí siempre que mediante un inversor de radiación de este tipo se desvían también el eje óptico y la dirección de radiación a razón del correspondiente ángulo, de manera que el eje óptico se encuentra en el ejemplo mostrado detrás del inversor de radiación 6 con un ángulo de  $90^\circ$  con respecto al eje óptico delante del inversor de radiación 6.

25 El dispositivo de mecanizado mostrado en la Fig. 1 presenta en dirección de radiación detrás del inversor de radiación 6 una unidad de selección, la cual presenta por un lado un espejo 24 y por otro lado una máscara 8. Mediante la unidad de selección puede eliminarse una parte de los haces de rayos parciales del haz de rayos global. En el ejemplo mostrado el espejo 24 está orientado de tal forma que refleja una parte de los haces de rayos parciales que inciden a lo largo de la dirección de radiación, a un absorbedor 24\*. El espejo 24 está configurado aquí móvil y de esta manera puede introducirse en la trayectoria de radiación de algunos de los haces de rayos parciales.

30 Los restantes haces de rayos parciales 7\* del haz de rayos global inciden entonces sobre la máscara 8, la cual elimina del haz de rayos global 7\* restante otros haces de rayos parciales. Con la máscara 8 pueden eliminarse por ejemplo órdenes de difracción cero o más altos del haz de rayos global 7\* cuando la unidad de divergencia 3 se basa en una red.

35 La máscara 8 puede ser por ejemplo una chapa metálica, un sustrato transparente revestido, en cuyo caso un revestimiento no transparente presenta aberturas adecuadas, o un espejo con una cuadrícula adecuada de perforaciones, que permite la propagación sin influencias de los órdenes principales deseados. Los órdenes cero o más altos a seleccionar pueden ser absorbidos por la máscara 8 o ser desviados en un absorbedor, por ejemplo el absorbedor de rayos 24\*.

40 La unidad de selección está dispuesta en el ejemplo mostrado en una zona a lo largo del eje óptico, en la cual no se solapan los haces de rayos parciales del haz de rayos global. Esto puede lograrse en particular debido a que el primer módulo 5 focaliza los haces de rayos parciales respectivamente sobre el plano 10. Debido a ello no se solapan los haces de rayos parciales en una zona delante y detrás del plano 10. En correspondencia con ello puede estar dispuesta en esta zona la unidad de selección con el espejo 24 y con la máscara 8.

45 La figura parcial C de la Fig. 1 muestra que también el giro de los haces de rayos parciales individuales se transmite al plano 10.

En dirección de radiación detrás de la máscara 8 y del plano 10 hay dispuesto otro inversor de radiación 11, el cual se encuentra por su parte con su normal de superficie en un ángulo de  $45^\circ$  con respecto al eje óptico y desvía de esta manera los haces de rayos parciales, así como también el eje óptico y la dirección de radiación a razón de  $90^\circ$ .

50 En la dirección de radiación detrás del inversor de radiación 11 el dispositivo de mecanizado mostrado en la Fig. 1 presenta un sistema de zoom 12 opcional, con el cual puede modificarse la separación entre los haces de rayos parciales del haz de rayos global. El sistema de zoom 12 escala por lo tanto el haz de rayos global 9 de los haces de rayos parciales que pasan a través de la máscara 8 mediante un ajuste fijo, discreto o continuo, y permite de esta manera una modificación de las separaciones de puntos, en caso de una distribución de intensidad cualquiera de un escalado de esta distribución de intensidad. El sistema de zoom puede presentar por ejemplo objetivos con distancias focales fijas reemplazables, lentes móviles con posiciones discretas o continuas o elementos activos

55

como por ejemplo lentes líquidas y estar preferentemente motorizado.

El efecto de un escalado modificable se muestra en la figura parcial B de la Fig. 1. Indican aquí flechas dobles que la separación entre los rayos rotativos puede cambiar.

5 Se indica que el sistema de zoom puede estar posicionado alternativamente en una posición cualquiera entre la unidad de divergencia 3 y la unidad de focalización 20 o puede ser también componente integral de uno de los dispositivos y grupos de lentes en esta zona.

10 El dispositivo de mecanizado de la Fig. 1 presenta en dirección de radiación detrás del sistema de zoom 12 un módulo 14 adicional, el cual puede denominarse como segundo módulo de transmisión 14. Con este segundo módulo pueden hacerse converger los haces de rayos parciales 9, los cuales salen del sistema de zoom 12 con direcciones paralelas, de manera que en un plano de radiación 25 tienen una separación mínima entre sí. En caso de focalizarse los haces de rayos parciales respectivamente mediante el primer módulo 5 sobre el plano 10, pueden incidir respectivamente de forma divergente sobre el segundo módulo de transmisión 14. Esto es ventajoso entonces cuando el módulo 14 colima respectivamente los haces de rayos parciales.

15 El segundo módulo 14 puede estar dispuesto en su orientación con respecto al eje óptico de manera exactamente invertida con respecto al primer módulo 5, de manera que ambos juntos reproducen el divisor de haz 3 en el plano de radiación 25.

En el plano de radiación 25 pueden cruzarse los ejes de radiación de los haces de rayos parciales del haz de rayos global 15 que sale del segundo módulo 14.

20 El dispositivo de mecanizado de la Fig. 1 presenta además de ello una unidad de desvío dispuesta en dirección de radiación detrás del segundo módulo, la cual presenta aquí los desviadores de radiación 16 y 18. La unidad de desvío está dispuesta preferentemente de tal manera que el punto efectivo alrededor del cual se desvían los rayos se encuentra en el plano de radiación 25. Los desviadores de radiación 16 y 18 permiten un desvío ajustable del rayo láser con alta dinámica en el plano de mecanizado de la pieza de trabajo 23. Los desviadores de radiación están dispuestos aquí en perpendicular entre sí, de manera que permiten un desvío de radiación en dos direcciones espaciales. El desviador de radiación puede ser preferentemente en este caso un escáner galvanométrico. Alternativamente pueden usarse otros desviadores de radiación dinámicos como escáner poligonal, escáner de resonancia, escáner piezoeléctrico, espejo MEM, deflectores acústicos o electroópticos.

30 El dispositivo de mecanizado mostrado en la Fig. 1 presenta en dirección de radiación detrás de la unidad de desvío de radiación una unidad de focalización 20, con la cual pueden paralelizarse entre sí los restantes haces de rayos parciales 19 del haz de rayos global s. Siempre y cuando el segundo módulo 14 colime respectivamente los haces parciales de rayos, la unidad de focalización 20 puede focalizar los haces de rayos parciales además de ello respectivamente en el plano 23 a mecanizar, de manera que la unidad de focalización es una óptica de focalización 20. La óptica de focalización puede ser por ejemplo una lente F-theta corregida con propiedades telecéntricas. Junto con los desviadores de radiación 16 y 18 pueden desviarse entonces los resultantes focos sobre cualesquiera trayectorias bidimensionales sobre la pieza de trabajo 23. El desplazamiento de rayo rotativo condicionado por la unidad de rotación 28 conduce en el plano de radiación 25 a un movimiento de los haces parciales de rayos sobre una trayectoria circular con el radio  $r'$ . El desplazamiento de rayo conduce una colocación del rayo láser en relación con el eje óptico de la óptica de focalización, de manera que el haz de rayos láser incide en un ángulo  $\beta$  en relación con el eje óptico sobre la pieza de trabajo, tal como se muestra en la figura parcial F de la Fig. 1.

40 El haz de rayos global 21 focalizado y ajustado forma sobre la pieza de trabajo 23 una distribución de intensidad determinada por el divisor de haz y la restante óptica de mecanizado. En el caso a modo de ejemplo de la red bidimensional puede resultar en el plano de mecanizado 23 una cuadrícula de focos en forma de puntos de red con separaciones de punto de red equidistantes en la correspondiente dirección espacial. El escalado del haz de rayos global 13 mediante la unidad de zoom permite una modificación de las separaciones de punto de red en el plano de mecanizado 23 con alta exactitud.

45 De manera óptima hay introducida entre la unidad de focalización 20 y la pieza de trabajo 23 una boquilla de gas de proceso, la cual guía un chorro de gas hacia los puntos de mecanizado y puede conducir a una evacuación precisa de material líquido o en forma de gas. La boquilla de gas de proceso puede estar configurada a este respecto de tal manera que presente varias boquillas parciales, las cuales cubren respectivamente la zona de trabajo de un rayo parcial.

A modo de resumen el ejemplo de la Fig. 1 puede estar realizado por lo tanto de la siguiente manera.

55 Un haz de rayos láser 2 colimado se emite desde el sistema láser 1 e incide a continuación sobre una unidad de rotación 28, la cual induce un desplazamiento de rayo  $r$ , de manera que el haz de rayos láser describe una trayectoria circular alrededor del eje de sistema óptico (compárese la Fig. 1, imagen A). A continuación el haz de rayos láser colimado atraviesa un elemento óptico difractivo (DOE). El divisor de haz divide el haz de rayos láser 29 en un haz 4 de por ejemplo  $n \times n$  (por ejemplo  $n = 14$ ) de haces de rayos parciales respectivamente colimados. El giro del elemento óptico difractivo en relación con el eje óptico está ajustado a este respecto preferentemente de tal

manera que los cantos del rectángulo, el cual comprende la distribución de radiación del DOE están orientados respectivamente en paralelo con respecto a uno de los ejes de escáner de las unidades de desvío de radiación 16 o 18. El haz 4 incide sobre un módulo de transmisión 5, el cual focaliza el rayo sobre el plano 10. Tras el desvío del rayo a través de un desviador de radiación 6 el haz de rayos global 7 focalizado atraviesa una zona, en la cual están separados espacialmente los haces de rayos parciales. El módulo de selección de radiación presenta a este respecto preferentemente dos ejes desplazables y un espejo rectangular que desvía mediante movimiento de los ejes zonas parciales del haz de rayos global 7 al absorbedor de radiación 24\*. El haz de rayos 7\* incide tras el módulo de selección de radiación 24 sobre una máscara 8. La máscara 8 selecciona a partir del haz de rayos global 7\* otros haces de rayos parciales y filtra de esta manera por ejemplo para el proceso órdenes mayores no deseados. Detrás de la máscara 8 el haz de rayos global 9 limpio sale, cuyos haces de rayos parciales se focalizan mediante la focalización en la unidad de transmisión 5 en el plano de radiación 10. Tras el desvío mediante el desviador de radiación 11 se acopla el haz de rayos 9 en el sistema de zoom 12. El sistema de zoom 12 escala el haz de rayos global 9 con el objetivo de manipular espacialmente las separaciones de los haces de rayos parciales individuales sobre la pieza de trabajo 23. Tras el escalado mediante el sistema de lentes de zoom 12 entra el haz de rayos global 13 en el segundo módulo de transmisión 14, de manera que la imagen escalada del divisor de haz 3 se produce en el eje de giro 25 efectivo del desviador de radiación dinámico consistente en los elementos 16 y 18. El haz de rayos global 19 desviado mediante los desviadores de radiación 16 y 18 se focaliza mediante la óptica de focalización 20 sobre la pieza de trabajo 23. El haz de rayos global 21 focalizado forma sobre la pieza de trabajo 23 una distribución de intensidad determinada por el divisor de haz y la óptica de mecanizado restante. La rotación del haz de radiación parcial completo sobre la pieza de trabajo 23 (plano x, y) se manipula a este respecto a través de la rotación del divisor de haz 3 alrededor del eje de la dirección de expansión de rayo (eje óptico). La colocación del rayo láser en relación con el eje óptico de la unidad de focalización se produce mediante el desplazamiento de rayo r de la unidad de rotación 28. Preferentemente los desviadores de radiación 16 y 18 dinámicos se mueven de tal manera que se recorre una trayectoria circular con frecuencia de rotación fija sobre la pieza de trabajo 23 (compárese la Fig. 1, imagen E). Esta trayectoria circular es llevada a cabo a este respecto por cada rayo parcial. La unidad de rotación 28 se mueve a este respecto preferentemente de manera sincronizada con los desviadores de radiación 16 y 18 de tal manera que la frecuencia de rotación de la unidad de rotación 28 y de la trayectoria circular coinciden. Esto conduce a que el haz de rayos láser forme con cada tangente de la trayectoria circular un ángulo de ajuste constante.

La Fig. 2 muestra otra realización a modo de ejemplo de un dispositivo de mecanizado de acuerdo con la invención para el mecanizado mediante láser de una superficie 23.

Los componentes mostrados se corresponden con aquellos mostrados y descritos en la Fig. 1. En la Fig. 2 se realiza el sistema de zoom 12 a modo de ejemplo mediante 4 lentes con simetría de rotación, las cuales pueden desplazarse entre sí a lo largo del eje óptico.

Un haz de rayos láser 2 colimado se emite desde el sistema de láser 1 e incide sobre una unidad de rotación 28, la cual induce un desplazamiento de rayo r, de manera que el haz de rayos láser describe una trayectoria circular alrededor del eje de sistema óptico. A continuación el haz de rayos láser colimado atraviesa un divisor de haz 3. El divisor de haz divide el haz de rayos láser 29 en un haz 4 de haces de rayos parciales respectivamente colimados. El haz 4 incide sobre un módulo de transmisión 5, el cual focaliza el rayo sobre el plano 10. Tras el desvío del haz de rayos mediante un desviador de radiación 6 el haz de rayos global 7 focalizado atraviesa una zona en la cual los haces de rayos parciales están separados espacialmente. A este respecto los haces seleccionados mediante módulo de selección de radiación 24 posicionable dinámicamente se filtran y se desvían hacia un absorbedor de radiación 24\*. El haz de rayos 7\* incide tras el módulo de selección de radiación 24 sobre una máscara 8. La máscara 8 selecciona a partir del haz de rayos global 7\* otros haces de rayos parciales y filtra de esta manera por ejemplo para el proceso órdenes mayores no deseados. Detrás de la máscara 8 el haz de rayos global 9 limpio sale, cuyos haces de rayos parciales se focalizan mediante la focalización en la unidad de transmisión 5 en el plano de radiación 10. Tras el desvío mediante el desviador de radiación 11 se acopla el haz de rayos 9 en un sistema de zoom de 4 lentes 12. El sistema de zoom 12 influye en la distribución angular espacial de los rayos individuales y escala de esta manera el haz de rayos global 9 dando lugar al haz de rayos global 13 con el objetivo de manipular espacialmente las separaciones de los haces de rayos parciales individuales sobre la pieza de trabajo 23. A este respecto las lentes definidas en el zoom 12 se mueven dinámicamente a posiciones predefinidas basadas en modelo, para lograr la ampliación necesaria. Tras el escalado mediante el sistema de lentes de zoom 12 entra el haz de rayos global 13 escalado en el segundo módulo de transmisión 14, de manera que una imagen escalada del divisor de haz 3 se produce en el eje de giro 25 efectivo del desviador de radiación dinámico consistente en los elementos 16 y 18. El haz de rayos global 19 desviado mediante los desviadores de radiación 16 y 18 se focaliza mediante la óptica de focalización 20 sobre la pieza de trabajo 23. El haz de rayos global 21 focalizado forma sobre la pieza de trabajo 23 una distribución de intensidad determinada por el divisor de haz y la óptica de mecanizado restante. La Fig. 3 muestra otra configuración a modo de ejemplo de un dispositivo de mecanizado de acuerdo con la invención. Una vez más los elementos mostrados se corresponden con aquellos mostrados en la Fig. 1, de manera que las explicaciones hechas allí pueden aplicarse también aquí. En la Fig. 3 el sistema de zoom está realizado no obstante mediante dos pares de prismas anamorfóticos 26 y 27, es decir, con pares de cuñas ópticas 26 y 27.

Un haz de rayos láser 2 colimado se emite desde el sistema láser 1 e incide a continuación sobre una unidad de rotación 28, la cual induce un desplazamiento de rayo r, de manera que el haz de rayos láser describe una

trayectoria circular. A continuación el haz de rayos láser colimado atraviesa un divisor de haz 3. El divisor de haz divide el haz de rayos láser 29 en un haz 4 de por ejemplo haces de rayos parciales respectivamente colimados. El haz 4 incide sobre un par de prismas anamorfóticos 26, el cual sirve como sistema de zoom. A través de una rotación relativa de los prismas 26 entre sí puede manipularse la distribución angular en un eje y de esta manera lograrse una modificación de la separación de haz sobre la pieza de trabajo 23 en el correspondiente eje. El haz manipulado incide sobre el módulo de transmisión 5, el cual focaliza el rayo sobre el plano 10. Tras el desvío del haz de rayos a través de un desviador de radiación 6 el haz de rayos global 7 focalizado atraviesa una zona, en la cual están separados espacialmente los haces de rayos parciales. A este respecto se filtran mediante módulo de selección de radiación 24 posicionable dinámicamente haces de rayos seleccionados y se desvían hacia un absorbedor de radiación 24\*. El haz de rayos 7\* incide tras el módulo de selección de radiación 24 sobre una máscara 8. La máscara 8 selecciona a partir del haz de rayos global 7\* otros haces de rayos parciales y filtra de esta manera por ejemplo para el proceso órdenes mayores no deseados. Detrás de la máscara 8 el haz de rayos global 9 limpio sale, cuyos haces de rayos parciales se focalizan mediante la focalización en la unidad de transmisión 5 en el plano de radiación 10. Tras el desvío mediante el desviador de radiación 11 se acopla el haz de rayos 9 en un segundo par de prismas anamorfóticos 27, el cual está dispuesto en perpendicular con respecto al primer par de prismas 26 y de esta manera se manipula el segundo eje espacial de las separaciones de rayo sobre la pieza de trabajo 23. Tras el escalado mediante el sistema de zoom de prismas 27 entra el haz de rayos global 13 en el segundo módulo de transmisión 14, de manera que una imagen escalada del divisor de haz 3 se produce en el eje de giro 25 efectivo del desviador de radiación dinámico consistente en los elementos 16 y 18. El haz de rayos global 19 desviado mediante los desviadores de radiación 16 y 18 se focaliza mediante la óptica de focalización 20 sobre la pieza de trabajo 23. El haz de rayos global 21 focalizado forma sobre la pieza de trabajo 23 una distribución de intensidad determinada por el divisor de haz y la óptica de mecanizado restante. La rotación del haz de radiación parcial en el plano de mecanizado sobre la pieza de trabajo 23 se manipula a este respecto a través de la rotación del divisor de haz 3 ortogonalmente con respecto a la dirección de expansión de radiación.

La Fig. 4 muestra otro ejemplo de realización de un dispositivo de mecanizado de acuerdo con la invención. Los elementos mostrados se corresponden esencialmente con aquellos mostrados en la Fig. 1. La descripción en relación con la Fig. 1 puede por lo tanto aplicarse a la Fig. 4. En la Fig. 4 la unidad de rotación 28 está configurada como placa paralela en plano ladeada y el dispositivo de zoom 12 mediante cuatro lentes desplazables a lo largo del eje óptico entre sí. Mediante refracción en la placa en paralelo plana dispuesta se induce de acuerdo con el principio de refracción un desplazamiento de rayo. El haz de rayos 29 abandona la placa en paralelo y colimado con respecto al eje óptico. La rotación de la placa en paralelo plana conduce a que el haz de rayos desplazado rote alrededor del eje óptico y de esta manera lleve a cabo un movimiento circular. Alternativamente el ángulo de ataque de la placa en paralelo plana puede ser en relación con el eje óptico también cero. En este caso el desplazamiento sería no obstante cero.

La Fig. 5 muestra otra configuración a modo de ejemplo del dispositivo de mecanizado de acuerdo con la invención. A este respecto los elementos mostrados se corresponden con aquellos mostrados en la Fig. 1, de manera que la descripción de la Fig. 1 puede trasladarse a la Fig. 5. En la Fig. 5 la unidad de divergencia 3 puede ladearse en relación con el eje óptico. Preferentemente puede ser un elemento óptico difractivo. Mediante ladeo de la unidad de divergencia 3 puede influir en el periodo de la distribución de haces de rayos parciales en el plano de pieza de trabajo 3. Esto puede aprovecharse por ejemplo para un ajuste fino de periodo de punto en el rango de resolución de unos pocos micrómetros hasta el rango de unos pocos nanómetros.

La Fig. 6 muestra otro ejemplo de realización de un dispositivo de mecanizado de acuerdo con la invención. La estructura se corresponde con aquella mostrada en la Fig. 1, de manera que puede trasladarse la descripción en relación con la Fig. 1 a la Fig. 6. Adicionalmente a la Fig. 1 la estructura mostrada en la Fig. 6 presenta no obstante una unidad de polarización de luz 30, la cual modifica el estado de polarización del rayo láser espacialmente de forma dinámica. En el ejemplo mostrado la unidad de polarización 30 está dispuesta entre el sistema de láser 1 y la unidad de rotación 28.

Un haz de rayos láser 2 colimado polarizado linealmente se emite desde el sistema láser 1 e incide a continuación sobre la unidad de polarización de luz 30, la cual modifica dinámicamente el estado de polarización del rayo láser espacialmente. La unidad de polarización de luz 30 puede tener a este respecto diferentes realizaciones. En el caso preferente consiste en una placa de árbol parcial alojada giratoriamente que puede llevar a cabo un giro de la dirección de polarización alrededor del eje óptico. La placa de árbol parcial puede girarse con una alta frecuencia alrededor del eje óptico, de manera que se posibilita un giro rápido de la dirección de polarización del láser polarizado linealmente. Preferentemente la frecuencia de rotación de la placa de árbol parcial es a este respecto justo la mitad de grande que la de la unidad de rotación 28. El haz de rayos láser 31 modificado en la polarización abandona la unidad de polarización 30 e incide a continuación sobre la unidad de rotación 28, la cual induce un desplazamiento de rayo  $r$ , de manera que el haz de rayos láser describe una trayectoria circular. A continuación el haz de rayos láser colimado atraviesa un divisor de haz 3. El divisor de haz divide el haz de rayos láser 29 en un haz 4 de respectivamente rayos parciales respectivamente colimados. El haz 4 incide sobre un módulo de transmisión 5, el cual focaliza el rayo sobre el plano 10. Tras el desvío del rayo a través de un desviador de radiación 6 el haz de rayos global 7 focalizado atraviesa una zona, en la cual están separados espacialmente los haces de rayos parciales. A este respecto se filtran rayos seleccionados mediante módulo de selección de radiación 24 posicionable dinámicamente y se desvían hacia un absorbedor de radiación 24\*. El haz de rayos 7\* incide tras el módulo de

selección de radiación 24 sobre una máscara 8. La máscara 8 selecciona a partir del haz de rayos global 7\* otros haces de rayos parciales y filtra de esta manera por ejemplo para el proceso órdenes mayores no deseados. Detrás de la máscara 8 el haz de rayos global 9 limpio sale, cuyos haces de rayos parciales se focalizan mediante la focalización en el módulo de transmisión 5 en el plano de radiación 10. Tras el desvío mediante el desviador de radiación 11 se acopla el haz de rayos 9 en el sistema de zoom 12. El sistema de zoom 12 escala el haz de rayos global 9 con el objetivo de manipular espacialmente las separaciones de los haces de rayos parciales individuales sobre la pieza de trabajo 23. Tras el escalado mediante el sistema de lentes de zoom 12 entra el haz de rayos global 13 en el segundo módulo de transmisión 14, de manera que la imagen escalada del divisor de haz 3 se produce en el eje de giro 25 efectivo del desviador de radiación dinámico consistente en los elementos 16 y 18. El haz de rayos global 19, desviado mediante los desviadores de radiación 16 y 18 dinámicos, se focaliza mediante la óptica de focalización 20 sobre la pieza de trabajo 23. El haz de rayos global 21 focalizado forma sobre la pieza de trabajo 23 una distribución de intensidad determinada por el divisor de haz y la óptica de mecanizado restante. La rotación de los haces de rayos parciales sobre la pieza de trabajo 23 se manipula a este respecto a través de la rotación del divisor de haz 3 ortogonalmente con respecto a la dirección de expansión de rayo. Mediante el movimiento preferentemente sincronizado de la unidad de polarización 30, la unidad de rotación 28 y los desviadores de radiación 16 y 18 dinámicos se logra una orientación definida del vector de polarización con respecto a la dirección de movimiento y con respecto a la colocación del rayo láser.

La unidad de polarización puede estar configurada alternativamente también a partir de una placa de cuarto de árbol para la producción de polarización circular o una combinación de placas de retardo para la producción de otros tipos de polarización. A ello se suman preferentemente la producción de polarización radial, en cuyo caso los vectores de polarización están orientados radialmente con respecto al centro de la distribución de intensidad del rayo láser o polarización tangencial, en cuyo caso los vectores de polarización están orientados tangencialmente con respecto al centro de la distribución de intensidad mediante el uso de placas de cuarto o de mitad de árbol segmentadas.

La Fig. 7 muestra una realización a modo de ejemplo de una unidad de rotación 28, con la cual puede desplazarse en paralelo un haz de rayos láser 2 incidente a razón de un valor  $r$ , permitiendo la forma de realización mostrada ajustar de forma variable la separación  $r$ . La estructura presenta un primer espejo 28a, el cual refleja el haz de rayos láser 2 incidente sobre una placa paralela en plano 28b. El haz de rayos láser atraviesa la placa paralela en plano 28b y es desplazada a este respecto en paralelo con respecto a su dirección de incidencia. El haz de rayos láser saliente incide sobre un segundo espejo 28c, el cual está orientado de tal manera que el haz de rayos láser saliente se extiende en paralelo con respecto al haz de rayos láser 2 incidente, desplazado sin embargo a razón del valor  $r$ . La placa en paralelo plana 28b tiene una configuración rotativa. La placa en paralelo plana 28b rota a este respecto preferentemente alrededor de un eje, el cual se extiende a través del punto de incidencia del rayo láser hacia la placa en paralelo plana. Mediante el desplazamiento de los dos espejos 28a y 28c y la adaptación del ángulo de ladeo puede ajustarse el ángulo de incidencia  $\alpha$  del rayo láser sobre la placa en paralelo plana 28b. A este respecto se ajusta a través de la placa en paralelo plana un desplazamiento de rayo definido como se describe en la Fig. 1 y de esta manera un radio de trayectoria circular  $r$ , el cual puede variarse mediante la modificación del ángulo de incidencia. Los dos espejos se ajustan a este respecto siempre de forma correspondientemente simétrica de tal forma que el punto de incidencia del rayo láser sobre la placa en paralelo plana se corresponde con el eje de giro de la unidad de rotación y que el eje de giro del haz rotativo es tras la reflexión en el segundo espejo 28c idéntico para todos los ajustes de ángulo.

La figura 8 muestra a modo de ejemplo una estructura de una unidad de zoom con un primer grupo de lentes cilíndricas 12a y un segundo grupo de lentes cilíndricas 12b, las cuales están dispuestas entre el primer módulo 5 y el segundo módulo 14. Los ejes de cilindro de las lentes cilíndricas están girados en las lentes del segundo grupo 12b con respecto a las lentes del primer grupo 12a a razón de  $90^\circ$  alrededor del eje óptico. Mediante las lentes cilíndricas del primer grupo 12a se escala la separación entre los haces de rayos parciales en una primera dirección en perpendicular con respecto al eje óptico y mediante las lentes cilíndricas del segundo grupo 12b se escala la separación de los haces de rayos parciales en una dirección perpendicular con respecto a la primera dirección.

La figura 9 ilustra el principio de actuación óptico de prismas anamórfóticos sobre una distribución de radiación discontinua. Mediante el ladeo de los prismas 91 y 92 entre sí puede darse lugar a un escalado de la separación de los haces de rayos parciales 93, 93' entre sí. El ladeo de las lentes cilíndricas 91 y 92 una con respecto a la otra se produce en este caso alrededor de un eje de ladeo, el cual se encuentra en perpendicular con respecto al eje óptico. Los haces de rayos parciales 93, 93' se desvían mediante el ladeo de los prismas 91 y 92 a razón de ángulos, los cuales se encuentran en un plano perpendicular con respecto al eje de ladeo de los prismas 91 y 92 y que se encuentran en paralelo con respecto al eje óptico. En caso de ladearse los prismas 91 y 92 a razón de un ángulo determinado uno con respecto al otro, entonces el haz de rayos parciales 93 se desvía a razón de un ángulo  $\theta_1$ , de manera que se extiende como haz de rayos parciales 93'. Tras pasar el primer módulo 5 resulta en el plano focal 10 del primer módulo 5 debido a ello un desplazamiento del haz de rayos parciales 93 a razón de una separación  $d_1$ . La figura 9 muestra este desplazamiento del haz de rayos parciales 93 para tres posiciones a modo de ejemplo diferentes de los prismas 91 y 92, que conduce a diferentes ángulos  $\theta_2$  y  $\theta_3$  y de esta manera a diferentes desplazamientos en el plano focal 10 a razón de separaciones  $d_2$  y  $d_3$ .

En la zona inferior de la figura 9 los puntos focales están en el plano focal 10. Puede verse que mediante el ladeo de



los prismas 91 y 92 se da lugar a diferentes separaciones entre los puntos focales en una dimensión.

5 La figura 10 muestra el desarrollo de los rayos de tres diferentes haces de rayos parciales a través de un sistema de zoom 12, el cual está configurado con cuatro lentes L4, L5, L6 y L7 con simetría de rotación, en diferentes configuraciones de las posiciones de lente individuales. Puede verse que la separación de los haces de rayos parciales 7a, 7b y 7c es dependiente en la salida de las cuatro lentes L4, L5, L6 y L7 del posicionamiento de estas lentes entre sí. En la figura parcial superior de la figura 10 los haces de rayos parciales 7a, 7b y 7c tienen en la salida la separación más pequeña entre sí. En la figura parcial más inferior tienen la separación más grande entre sí.

10 En la figura 10 los haces de rayos parciales 7a, 7b y 7c están representados como haces de una pluralidad de rayos. Uno de estos rayos puede considerarse como rayo principal. El sistema de zoom escala entonces las separaciones de los rayos principales entre sí.

La figura 11 muestra de forma simplificada el desarrollo de radiación de tres diferentes haces de rayos parciales desde la unidad de divergencia 3 a través del primer módulo 5 hasta detrás del segundo módulo 14 en una estructura sin sistema de zoom.

15 La unidad de divergencia 3 despliega un haz de rayos láser no indicado en el ejemplo mostrado en tres haces de rayos parciales 7a, 7b y 7c. Cada uno de los haces de rayos parciales presenta una pluralidad de rayos, de los cuales se indican en la figura 11 respectivamente un rayo principal 71a, 71b y 71c, así como otros dos rayos a modo de ejemplo.

20 En la figura 11 los haces de rayos parciales 7a, 7b y 7c abandonan la unidad de divergencia 3 de forma colimada, de manera que todos los rayos del haz de rayos parciales se extienden respetivamente en paralelo con respecto al correspondiente rayo principal 71a, 71b o 71c. En el haz de rayos parciales 7a se extienden por lo tanto los rayos en paralelo con respecto al rayo principal 71a, mientras que en el haz de rayos parciales 7b se extienden en paralelo con respecto al rayo principal 71b.

25 El primer módulo 5 reduce en el ejemplo mostrado los ángulos de los rayos principales 71a, 71b y 71c entre sí. En la figura 11 esto conduce a una paralelización de los rayos principales 71a, 71b y 71c. Al mismo tiempo el primer módulo 5 focaliza los haces de rayos parciales 7a, 7b y 7c respectivamente. Tras atravesar un plano focal 10 los haces de rayos parciales se separan de nuevo respectivamente e inciden de forma divergente sobre el segundo módulo 14. Este colima en el ejemplo mostrado los haces de rayos parciales respectivamente, de manera que cada haz de rayos parciales se extiende colimado. Simultáneamente el segundo módulo 14 desvía los haces de rayos parciales de tal manera que los rayos principales 71a, 71b y 71c de los haces de rayos parciales se dirigen unos hacia otros y se cortan por el extremo derecho de la estructura mostrada en la figura 11.

30 Los otros elementos de la estructura de acuerdo con la invención se han omitido aquí debido a motivos de claridad.

35 La Fig. 12 muestra una estructura, la cual se corresponde con aquella mostrada en la figura 11, pero que presenta adicionalmente un sistema de zoom 12. Puede verse que el sistema de zoom 12 modifica la separación de los rayos principales 71a, 71b y 71c entre sí, en el ejemplo mostrado los reduce. Los otros elementos del dispositivo de acuerdo con la invención se han omitido en la figura 12 debido a motivos de claridad.

40 La figura 13 muestra una ilustración del posicionamiento preferente de la unidad de desvío 16 y 18 en una configuración preferente con un escáner galvanométrico con dos espejos 16 y 18 móviles dinámicamente en la zona detrás del segundo módulo 14. Preferentemente los espejos 16 y 18 están posicionados en la unidad de desvío de tal manera que aquel punto, en el cual se cortan los rayos principales debido al desvío a través del segundo módulo 14, se encuentra precisamente en el centro entre los espejos 16 y 18.

Tal como ya se ha descrito anteriormente, los haces de rayos parciales 7a, 7b y 7c atraviesan tras el desvío por los espejos 16 y 18 la unidad de focalización 20, la cual es aquí una lente F- $\Theta$ . La unidad de focalización 20 focaliza los haces de rayos parciales respectivamente sobre la superficie 23 a mecanizar.

45 La figura 14 muestra una definición de los ángulos de los rayos 72a, 72b, 72c y 72d en relación con un rayo principal 71, así como el efecto del segundo módulo 14 sobre los ángulos de los rayos 72a, 72b, 72c y 72d en el haz de rayos parciales y en el ángulo del rayo principal 71 en relación con el eje óptico.

El haz de rayos parciales 7 incide con un ángulo de su rayo principal  $\Theta_{HA}$  con respecto al eje óptico OA sobre el primer módulo 14. El segundo módulo 14 modifica el ángulo del rayo principal con respecto al eje óptico en el ángulo  $\Delta_{HA}$  que en el ejemplo mostrado es más pequeño que el ángulo  $\Theta_{HA}$ .

50 El ángulo del rayo 72a con respecto al rayo principal 71 se indica con  $\Theta_{3a}$ , el ángulo del rayo 72b con respecto al rayo principal 71 con  $\Theta_{2a}$  y el ángulo del rayo 72c con respecto al rayo principal 71 con  $\Theta_{1a}$ . El primer módulo 14 reduce los ángulos de los rayos 72a, 72b, 72c y 72d con respecto al rayo principal 71 respectivamente de tal manera que los ángulos de los rayos salientes  $\Theta_{1a}$ ,  $\Theta_{2a}$  y  $\Theta_{3a}$ , son respectivamente más pequeños que el ángulo del rayo incidente con respecto al rayo principal incidente  $\Theta_{1a}$ ,  $\Theta_{2a}$  y  $\Theta_{3a}$ .

La figura 15 muestra el efecto representado en la figura 14 del segundo módulo sobre los rayos y adicionalmente sobre los ángulos entre los rayos principales de diferentes haces de rayos parciales. Con respecto al efecto sobre los ángulos de los rayos con respecto al correspondiente rayo principal se remite a la figura 14.

5 El rayo principal del haz de rayos parciales superior 7a se indica como 71a y el rayo principal del haz de rayos parciales inferior 7b como 71b.

Los rayos principales 71a y 71b inciden con un ángulo  $\Theta_{H1-H2-A}$  ligeramente uno hacia el otro sobre el segundo módulo 14. A través del segundo módulo 14 se desvían uno hacia el otro, de manera que tras el segundo módulo 14 se dirigen más acentuadamente uno hacia el otro con un ángulo  $\Theta_{H1-H2-B}$ .

10 Los ángulos de los rayos individuales con respecto al correspondiente rayo principal 71a o 71b se reducen mediante el segundo módulo 14, tal como ya se mostró en la figura 14.

La figura 16 muestra una estrategia de escaneo para la producción de patrones periódicos con el dispositivo de acuerdo con la invención. Se rellenan aquí los espacios intermedios de haces de rayos parciales adyacentes con estructuras. El periodo de las estructuras es a este respecto un separador entero del periodo de punto, es decir, del periodo de los haces de rayos parciales sobre la superficie de mecanizado 23.

15 El patrón de los puntos de mecanizado (focos láser) con separación del periodo de punto se mueve a este respecto mediante la unidad de desvío a lo largo de un contorno de escaneo y de esta manera se genera una estructura. A continuación se desplaza el patrón a razón de un primer periodo de las estructuras a lo largo de una primera dirección de eje y se mueve el patrón de nuevo con la unidad de desvío a lo largo del mismo contorno de escaneo. Esto se lleva a cabo durante tanto tiempo hasta que la zona a lo largo de la primera dirección de eje con la longitud  
20 del periodo de puntos se llena con estructuras. Resulta de esta manera una línea cerrada de estructuras periódicas. A continuación se desplaza el patrón a lo largo de una segunda dirección de eje, la cual se encuentra en perpendicular con respecto a la primera dirección de eje, mediante la unidad de desvío a razón de un segundo periodo de las estructuras. De nuevo se mueve el patrón con la unidad de desvío a lo largo del contorno de escaneo y mediante el procedimiento que ya se ha descrito se establece la segunda línea de estructuras. Esta estrategia se  
25 realiza de acuerdo con la figura 16 durante tanto tiempo hasta que resulta una zona cerrada de estructuras periódicas.

La figura 17 muestra un desarrollo de radiación posible para la representación de una distribución de intensidad continua. A este respecto la representación consiste en infinitos puntos de imagen, siendo la separación de puntos adyacentes  $\Delta X$  infinitamente pequeña. A cada punto de imagen puede asignarse un haz de rayos parciales. De esta  
30 manera existen en dirección de radiación delante de la unidad de focalización infinitos haces de rayos parciales, cuyos rayos principales se diferencian en su dirección solo en un ángulo infinitesimal  $\Delta\Theta$ .

La figura 18 muestra un desarrollo de radiación posible para la representación de una distribución de intensidad discontinua. En este caso la imagen consiste en una cantidad finita de puntos de imagen con una separación espacial  $d > 0$ . Para cada uno de los puntos existe en el espacio de imagen en dirección de radiación delante de la  
35 unidad de focalización un haz de rayos parciales. Los rayos principales de los haces de rayos parciales se diferencian en su dirección en ángulos, los cuales son diferentes de cero.

**REIVINDICACIONES**

1. Dispositivo de mecanizado para el mecanizado mediante láser de una superficie (23), presentando una entrada de radiación láser, por la cual puede hacerse entrar un haz de rayos láser (2) en una dirección de radiación sobre un eje óptico, una unidad de rotación (28) dispuesta en dirección de radiación detrás de la entrada de radiación láser, mediante la cual puede desplazarse en paralelo el haz de rayos láser (2) con respecto al eje óptico en una dirección de desplazamiento a razón de una separación, rodeando la dirección de desplazamiento temporalmente el eje óptico, al menos una unidad de divergencia (3) dispuesta en dirección de radiación detrás de la unidad de rotación (28), con la cual el haz de rayos láser (2) puede desplegarse en una pluralidad de haces de rayos parciales (4), que forman en dirección radial con respecto al eje óptico una distribución de intensidad continua o discontinua, representando la pluralidad de los haces de rayos parciales (4) un haz de rayos global (7, 9, 13, 15, 19, 21), un primer módulo (5) dispuesto en dirección de radiación detrás de la unidad de divergencia (3), con el cual pueden focalizarse cada uno de los haces de rayos parciales (4), una unidad de selección (24) dispuesta en dirección de radiación detrás del primer módulo (5), con la cual puede eliminarse una parte de los haces de rayos parciales (4) del haz de rayos global (7, 9, 13, 15, 19, 21), un segundo módulo (14) dispuesto en dirección de radiación detrás del primer módulo (5), con el cual pueden reducirse cada uno de los ángulos de rayos de los haces de rayos parciales (4) entre sí, una unidad de desvío (16, 18) dispuesta en dirección de radiación detrás del segundo módulo (14), con la cual pueden desviarse en dependencia del tiempo los haces de rayos parciales, y una unidad de focalización (20) dispuesta en dirección de radiación detrás el segundo módulo (14), con la cual pueden focalizarse cada uno de los restantes haces de rayos parciales (7\*) del haz de rayos global (7, 9, 13, 15, 19, 21).
2. Dispositivo de mecanizado según una de las reivindicaciones anteriores, presentando además de ello un sistema de zoom (12), el cual está dispuesto en dirección de radiación detrás de la unidad de divergencia (3), preferentemente detrás del primer módulo, con el cual puede escalarse una separación entre los haces de rayos parciales del haz de rayos global (7, 9, 13, 15, 19, 21) y/o entre rayos principales (71a, b, c) de los haces de rayos parciales (4).
3. Dispositivo de mecanizado según una de las reivindicaciones anteriores, pudiendo modificarse con el primer módulo (5) ángulos entre rayos principales (71a, b, c) de la pluralidad de haces de rayos parciales (4), pudiendo preferentemente con el primer módulo (5) paralelizarse entre sí los rayos principales de los haces de rayos parciales (4).
4. Dispositivo de mecanizado según una de las reivindicaciones anteriores, estando la unidad de divergencia (3) alojada de forma giratoria alrededor del eje óptico y/o un eje perpendicular con respecto al eje óptico.
5. Dispositivo de mecanizado según una de las reivindicaciones anteriores, presentando la unidad de selección (24) un espejo estático o un conjunto de microespejos estático o dinámico con una pluralidad de microespejos o consistiendo en ello, pudiendo desviarse hacia un absorbedor (24\*) mediante un microespejo cada uno de uno o varios de los haces de rayos parciales a eliminar .
6. Dispositivo de mecanizado según una de las reivindicaciones anteriores, presentando la unidad de selección (24) una máscara (8), la cual oculta y/o absorbe los haces de rayos parciales a eliminar, siendo la máscara preferentemente móvil, de manera que puede moverse hacia la trayectoria de radiación de los haces de rayos parciales a eliminar.
7. Dispositivo de mecanizado según una de las reivindicaciones anteriores, siendo la unidad de divergencia (3) un elemento óptico difractivo, preferentemente una red, y pudiendo eliminarse con la unidad de selección (24) al menos un haz de rayos parciales, el cual es un orden principal de un patrón de movimiento generado por el elemento óptico difractivo.
8. Dispositivo de mecanizado según una de las reivindicaciones anteriores, estando dispuesta la unidad de divergencia (3) en una pupila de entrada del primer módulo (5) y/o haciendo converger el segundo módulo (14) los rayos principales de los restantes haces de rayos parciales (7\*) de tal manera entre sí, que en un plano (25) a lo largo del eje óptico adoptan entre el segundo módulo (14) y la unidad de focalización (20) una separación mínima entre sí y tras este plano (25) se separan hasta la unidad de focalización (20).
9. Dispositivo de mecanizado según una de las reivindicaciones anteriores, focalizando la unidad de focalización (20) los rayos principales (71a, b, c) de los haces de rayos parciales (7\*) restantes sobre la superficie (23) a mecanizar.
10. Dispositivo de mecanizado según una de las reivindicaciones anteriores, presentando además de ello una unidad de desplazamiento de foco, la cual está dispuesta a lo largo el eje óptico en dirección de radiación detrás de la entrada de radiación láser y delante de la unidad de rotación (28), y con la cual pueden ajustarse ángulos entre rayos del haz de rayos láser (2) de tal manera que los rayos se dirigen hacia un punto sobre el eje óptico detrás de la unidad de desplazamiento de foco o se alejan en una proyección de los rayos de un punto sobre el eje óptico delante de o en la unidad de desplazamiento de foco, pudiendo modificarse la separación del correspondiente punto de la unidad de desplazamiento de foco a lo largo del eje óptico.
11. Dispositivo de mecanizado según una de las reivindicaciones 2 a 10, presentando el sistema de zoom (12) un

- 5 primer grupo de prismas anamorfóticos (91) y preferentemente un segundo grupo de prismas anamorfóticos (92) girados con respecto al primer grupo alrededor del eje óptico a razón de 90°, pudiendo girarse los prismas del primer grupo (91) y dado el caso los prismas del segundo grupo (92) en cada caso unos con respecto a los otros alrededor de ejes, los cuales están en perpendicular con respecto al eje óptico y se encuentran en paralelo con respecto a superficies no paralelas del prisma, estando dispuesto preferentemente el primer grupo entre la unidad de divergencia y el primer módulo, y estando dispuesto dado el caso el segundo grupo entre la unidad de selección y el segundo módulo.
- 10 12. Dispositivo de mecanizado según una de las reivindicaciones 2 a 10, presentando el sistema de zoom (12) un primer grupo de lentes cilíndricas (12a) y preferentemente un segundo grupo de lentes cilíndricas (12b) giradas con respecto al primer grupo alrededor del eje óptico a razón de 90°, pudiendo desplazarse las lentes cilíndricas del primer grupo (12a) y dado el caso cada una de las lentes cilíndricas del segundo grupo (12b) unas con respecto a las otras a lo largo del eje óptico, estando dispuesto preferentemente el primer grupo entre la unidad de divergencia y el primer módulo, y estando dispuesto dado el caso el segundo grupo entre la unidad de selección y el segundo módulo.
- 15 13. Dispositivo de mecanizado según una de las reivindicaciones anteriores, presentando la unidad de rotación (28) una placa en paralelo plana en plano, la cual está dispuesta ladeada con respecto al eje óptico, y puede girar alrededor del eje óptico, o presentando la unidad de rotación una disposición con al menos dos cuñas ópticas o consistiendo en ellas, que pueden girar alrededor del eje óptico, o presentando la unidad de rotación un prisma Schmidt-Pechan, un espejo K rotativo o un prisma Dove o consistiendo en ellos, que puede girar alrededor del eje óptico.
- 20 14. Dispositivo de mecanizado según una de las reivindicaciones anteriores, posicionándose la unidad de desvío (16, 18) de tal manera que un punto de giro efectivo de la unidad de desvío coincide con una imagen de la unidad de divergencia, generada mediante el primer y el segundo módulo.
- 25 15. Dispositivo de mecanizado según una de las reivindicaciones anteriores, presentando o siendo la unidad de focalización (20) un objetivo F-theta.
- 30 16. Procedimiento para el mecanizado mediante láser de una superficie (23), introduciéndose un haz de rayos láser (2) en una dirección de radiación en un eje óptico, desplazándose en paralelo el haz de rayos láser (2) con respecto al eje óptico en una dirección de desplazamiento a razón de una separación, rodeando la dirección de desplazamiento temporalmente el eje óptico, desplegándose el haz de rayos láser en una pluralidad de haces de rayos parciales (4), los cuales forman en dirección radial con respecto al eje óptico una distribución de intensidad continua o discontinua, representando la pluralidad de los haces de rayos parciales (4) un haz de rayos global (7, 9, 13, 15, 19, 21), focalizándose cada uno de los haces de rayos parciales (4), eliminándose una parte de los haces de rayos parciales (4) del haz de rayos global (7, 9, 13, 15, 19, 21), reduciéndose en cada caso un ángulo entre rayos de los restantes haces de rayos parciales (4), desviándose los haces de rayos parciales (4) cada uno con ángulos reducidos entre sus rayos en dependencia del tiempo, y focalizándose cada uno de los haces de rayos parciales restantes del haz de rayos global (7, 9, 13, 15, 19, 21).
- 35 17. Procedimiento según la reivindicación anterior, usándose un dispositivo de mecanizado según la reivindicación 1, y llevando a cabo la unidad de desvío (16, 18) un movimiento, el cual conduce a un desvío circular del haz de rayos.
- 40 18. Procedimiento según la reivindicación 17, estando sincronizada la rotación de la unidad de rotación (28) con el desvío de la unidad de desvío (16, 18).

Fig. 1

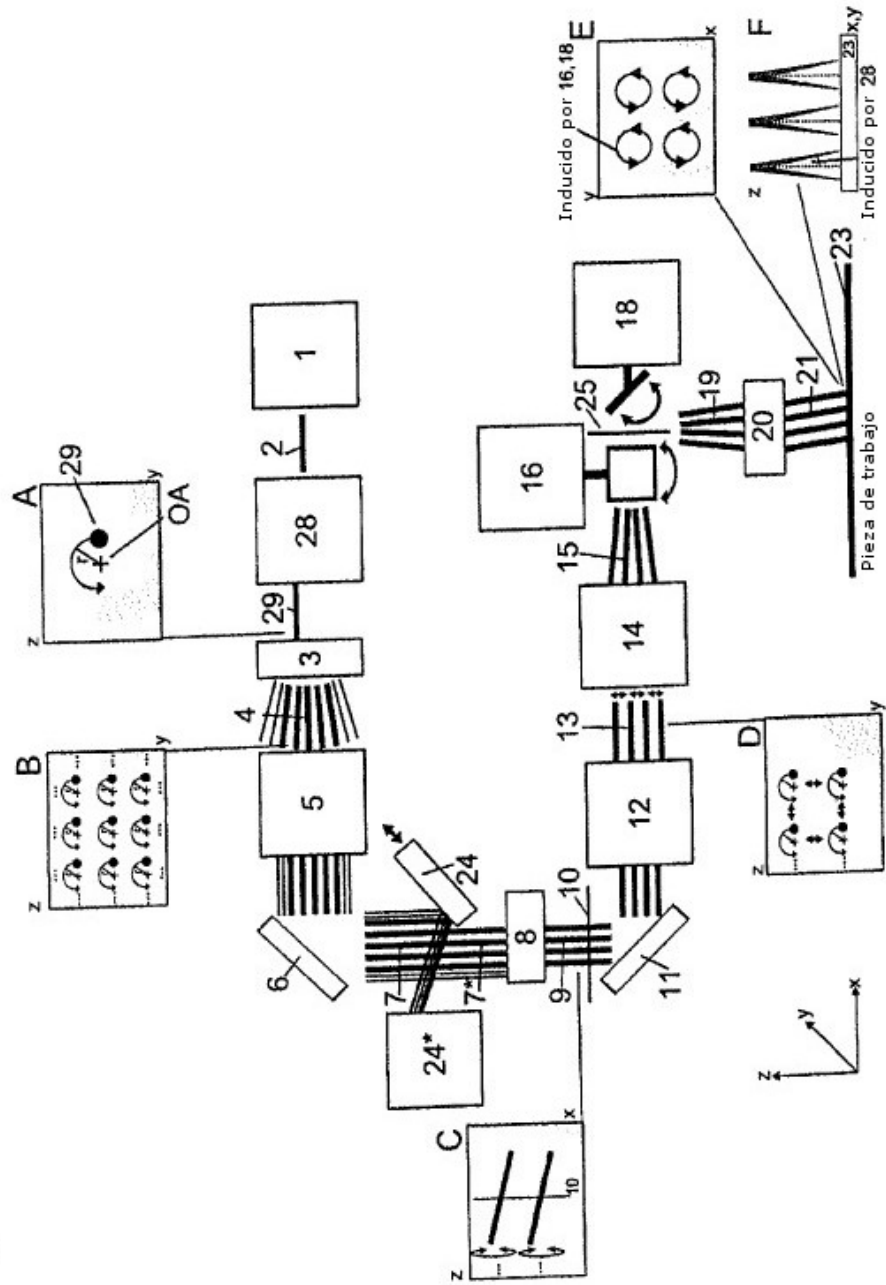


Fig. 2

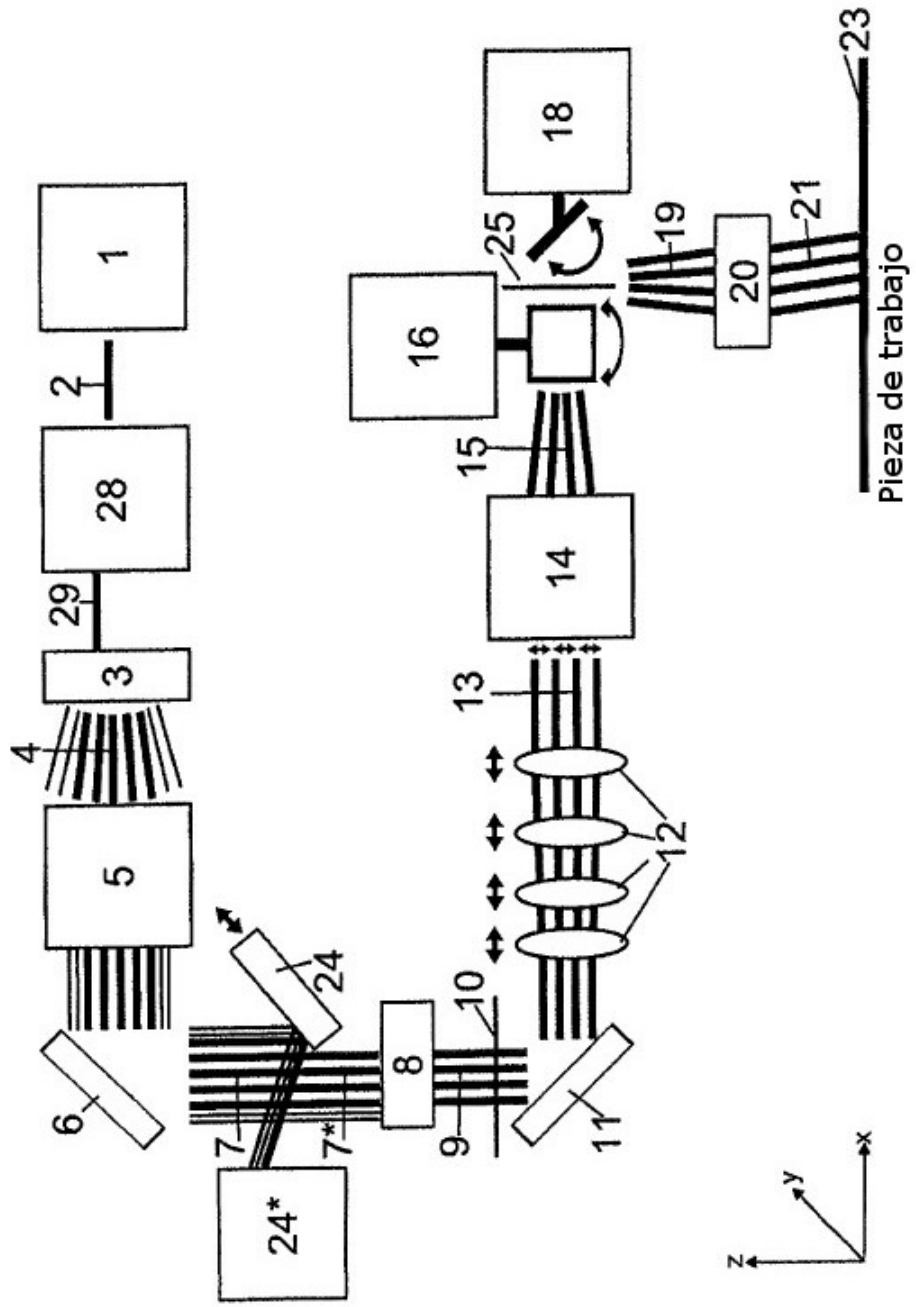


Fig. 3

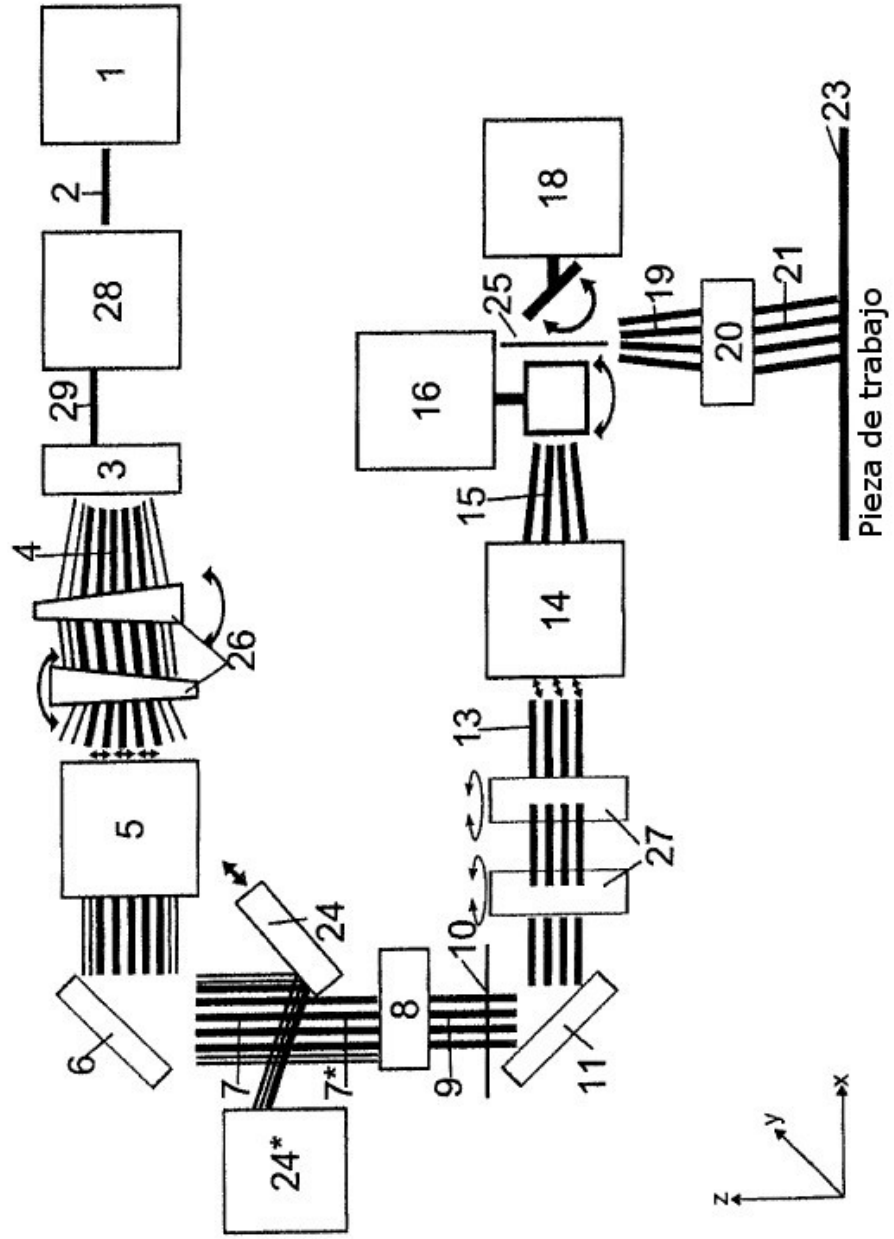
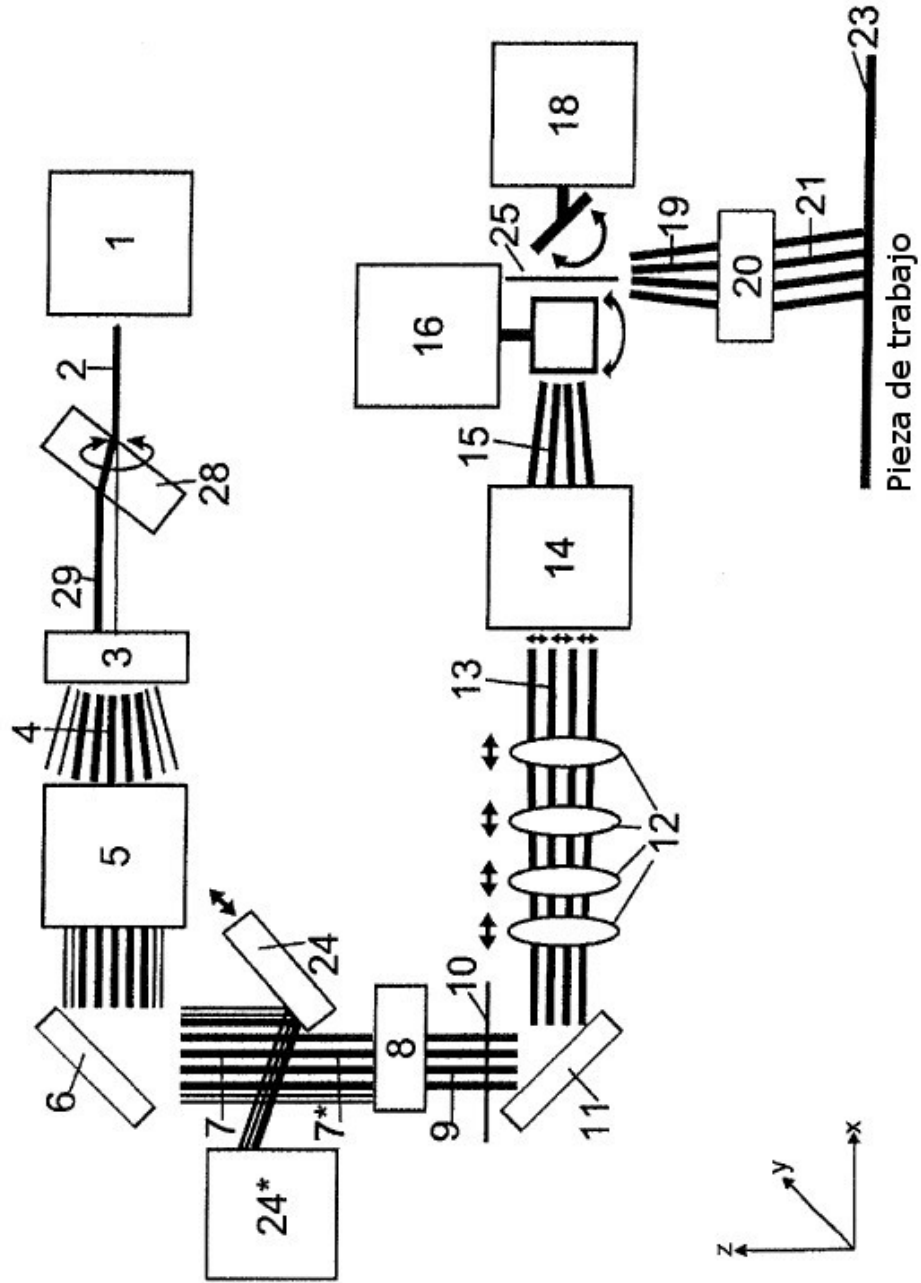


Fig. 4





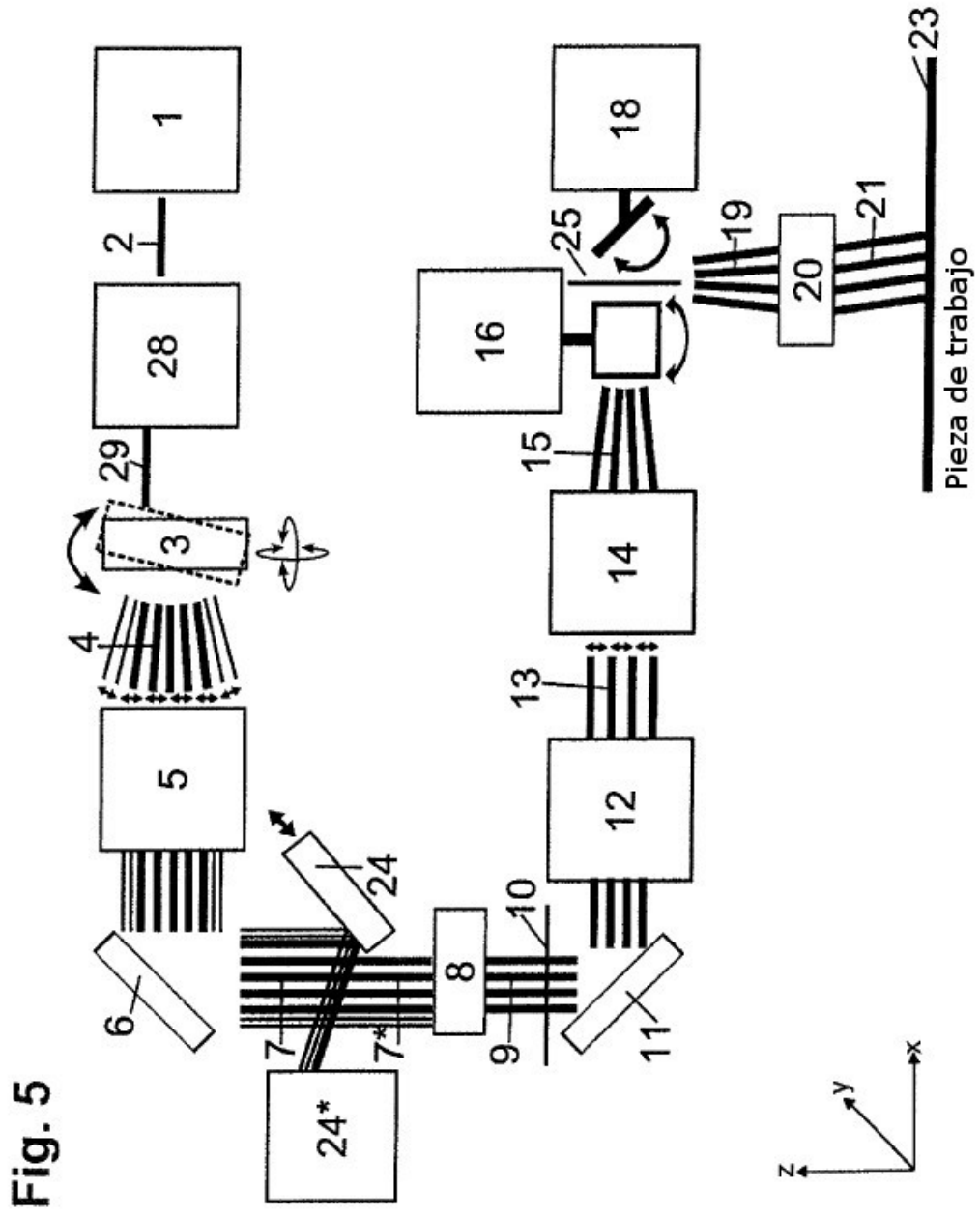


Fig. 6

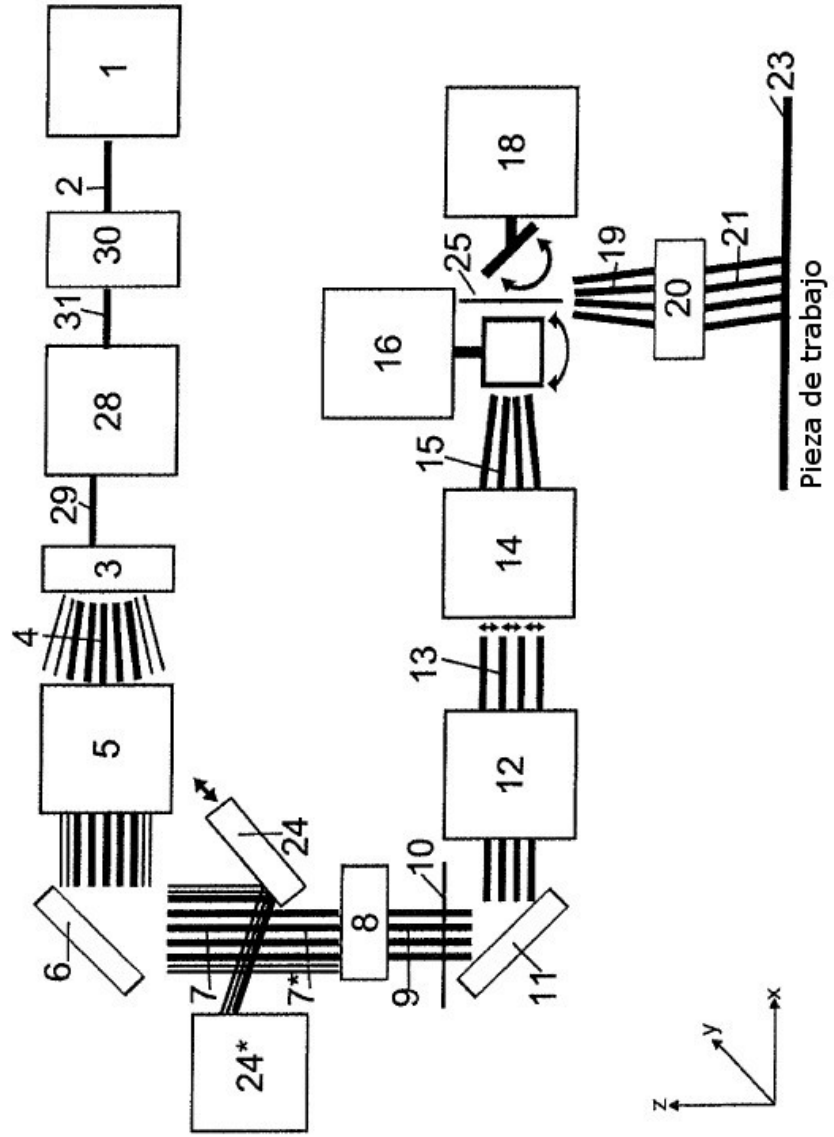
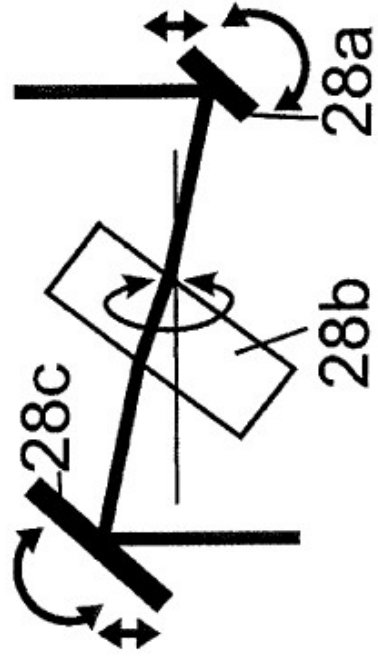


Fig. 7



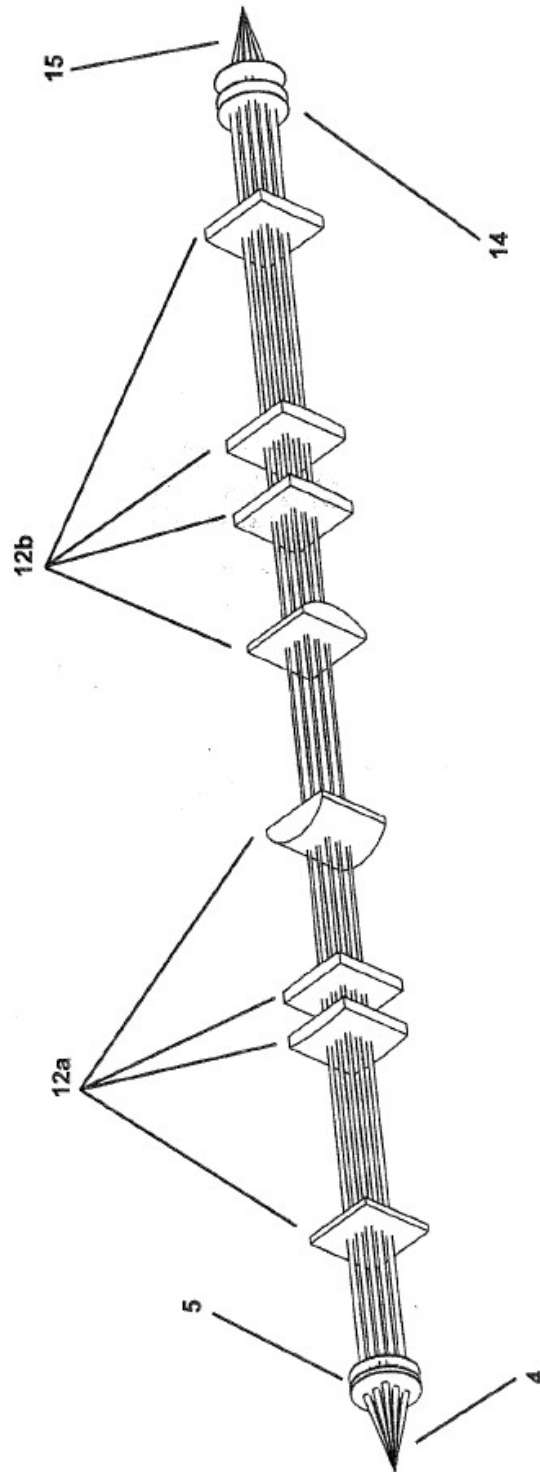


Fig. 8

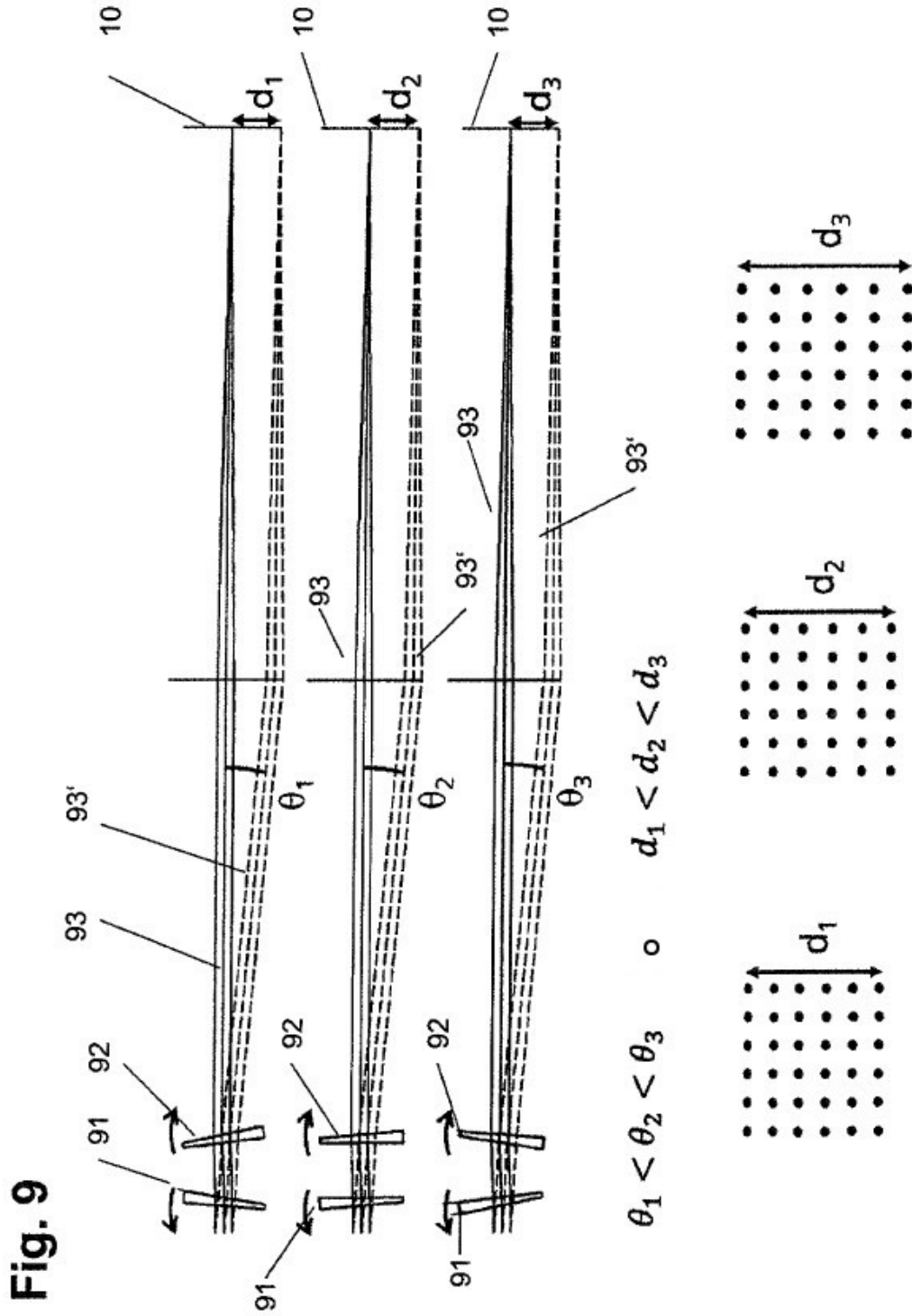


Fig. 10

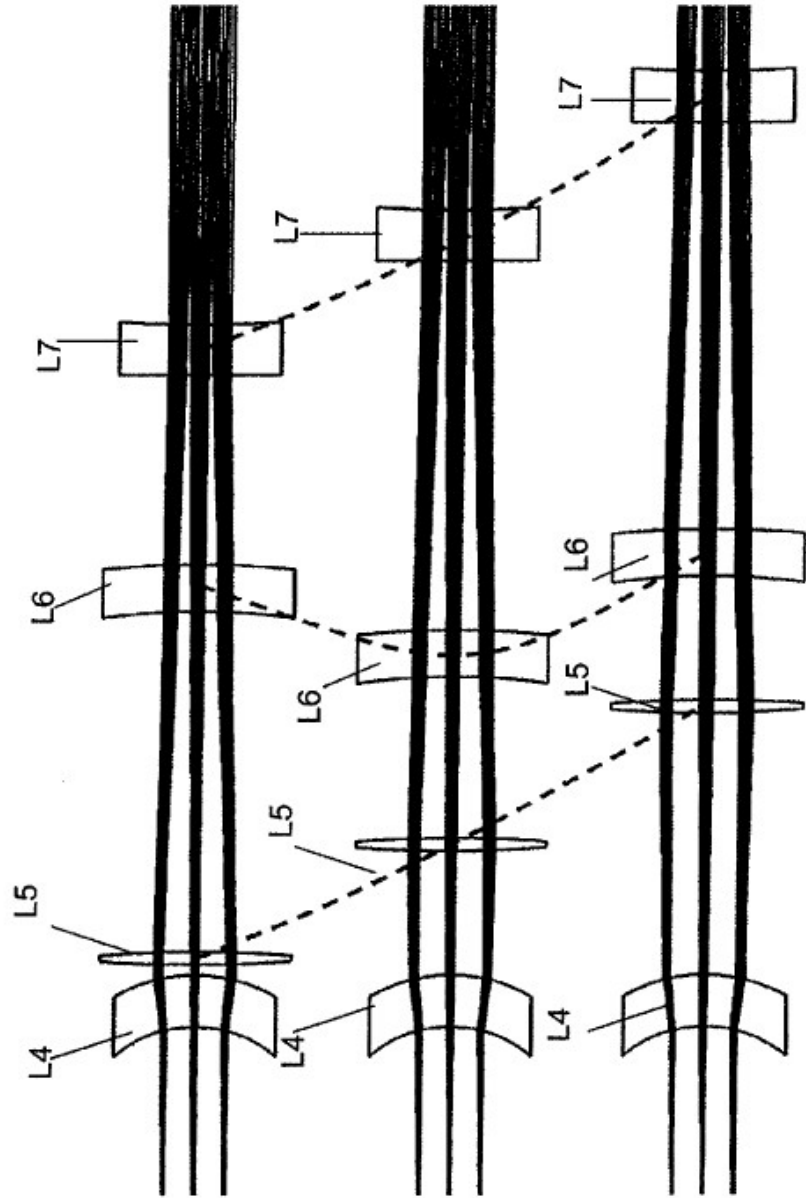


Fig.11

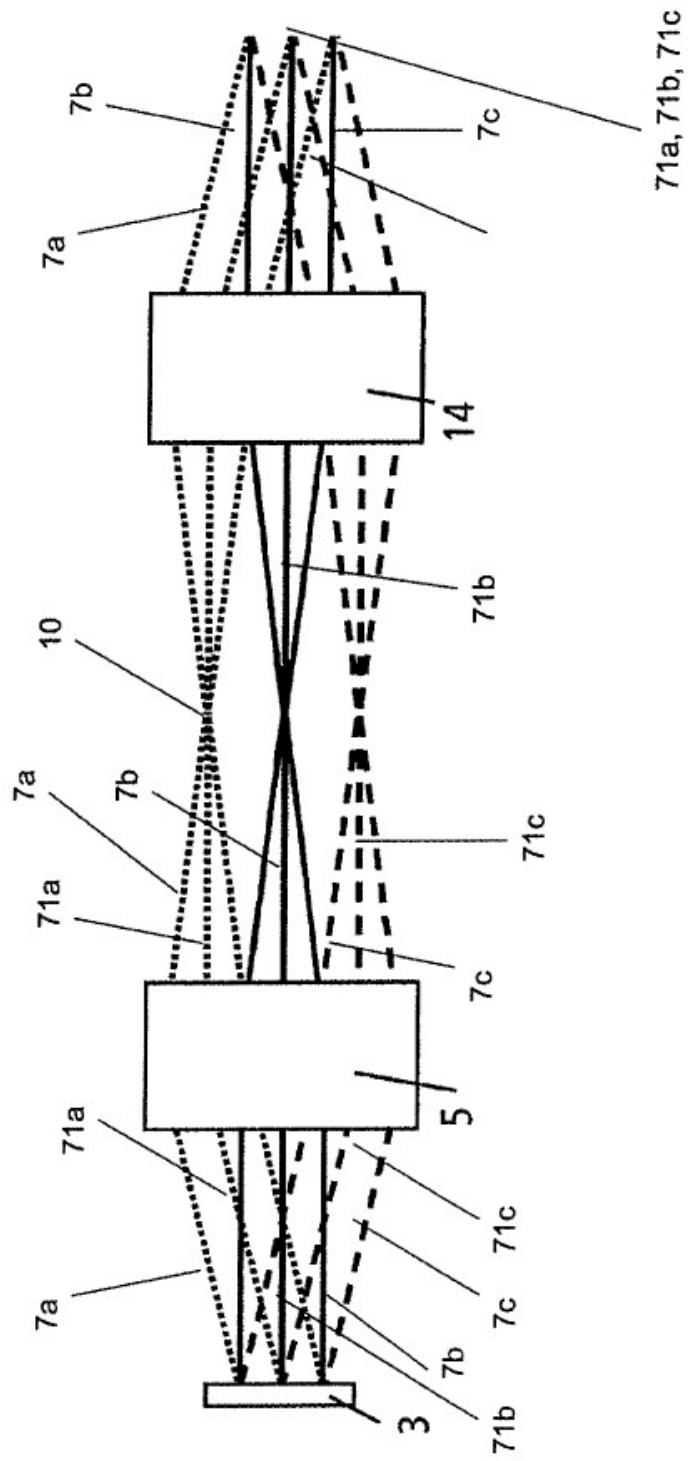
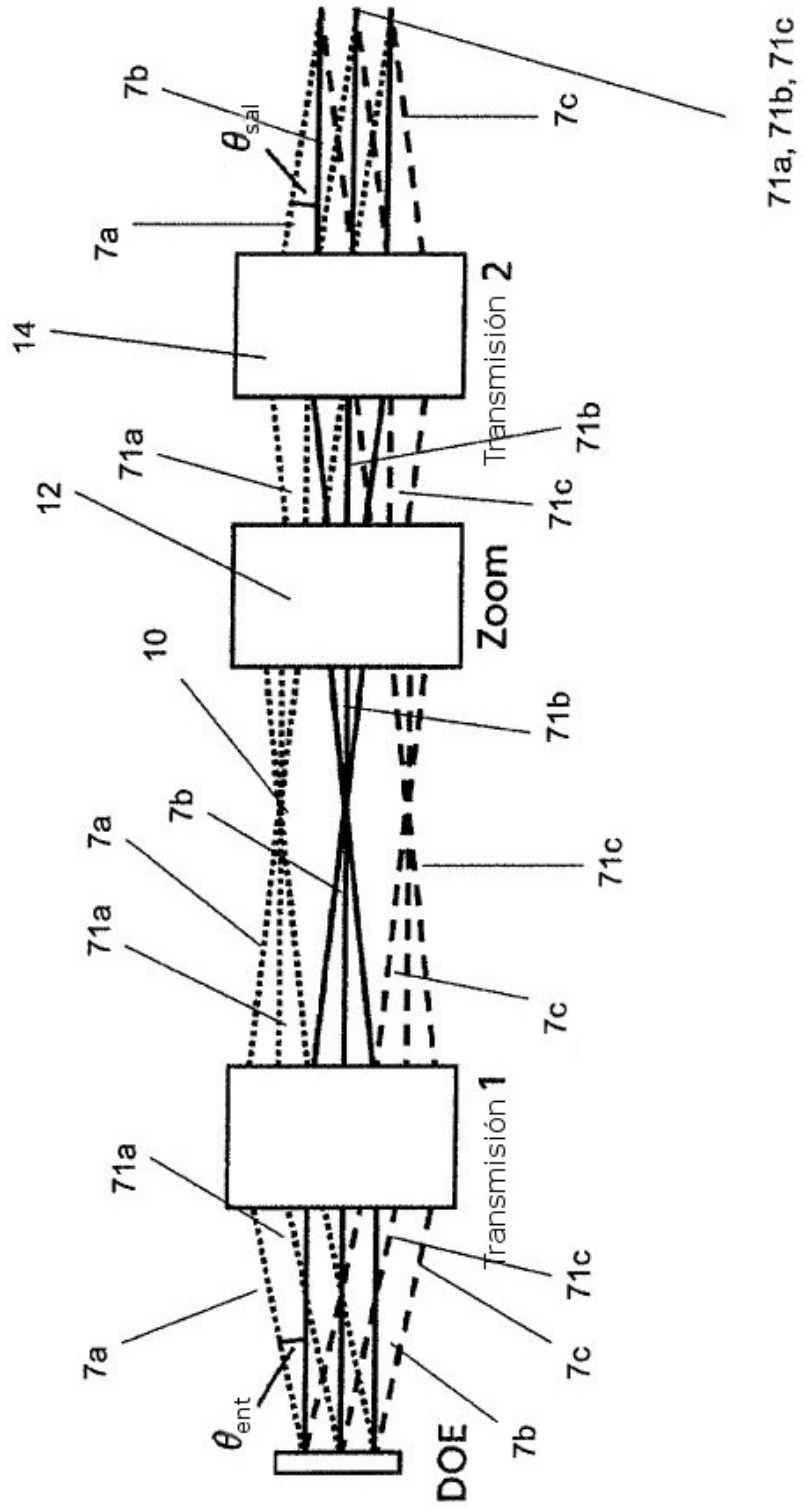


Fig. 12



71a, 71b, 71c



Fig. 13

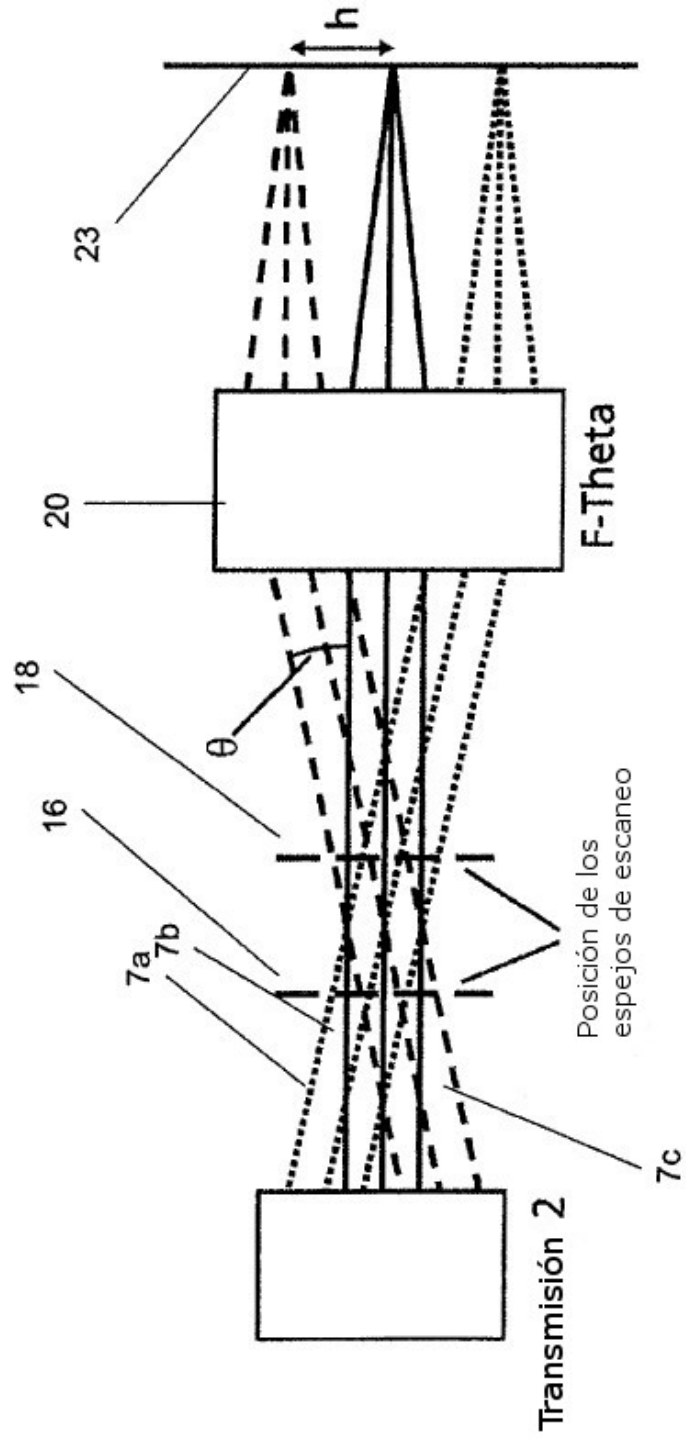


Fig. 14

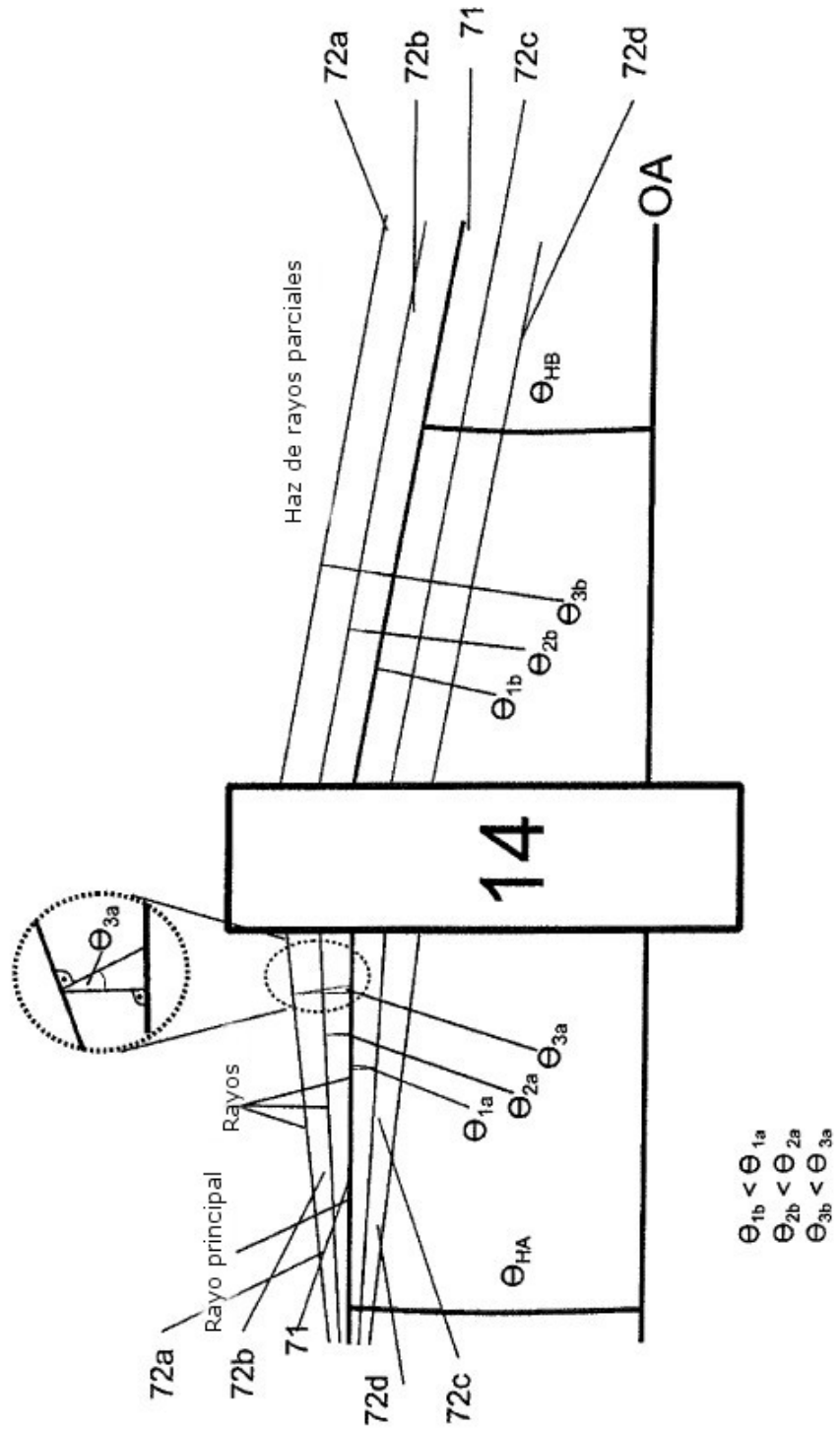


Fig. 15

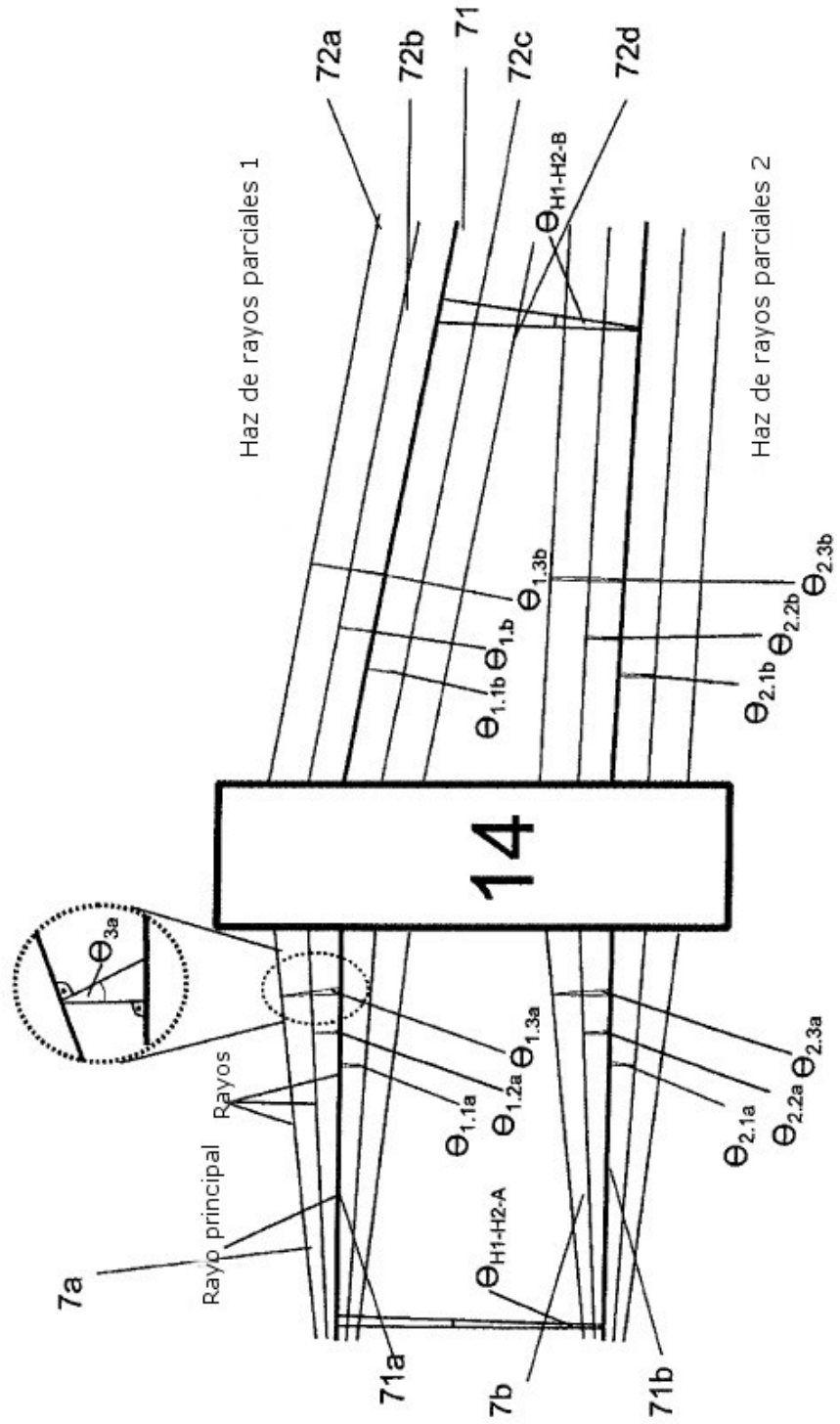
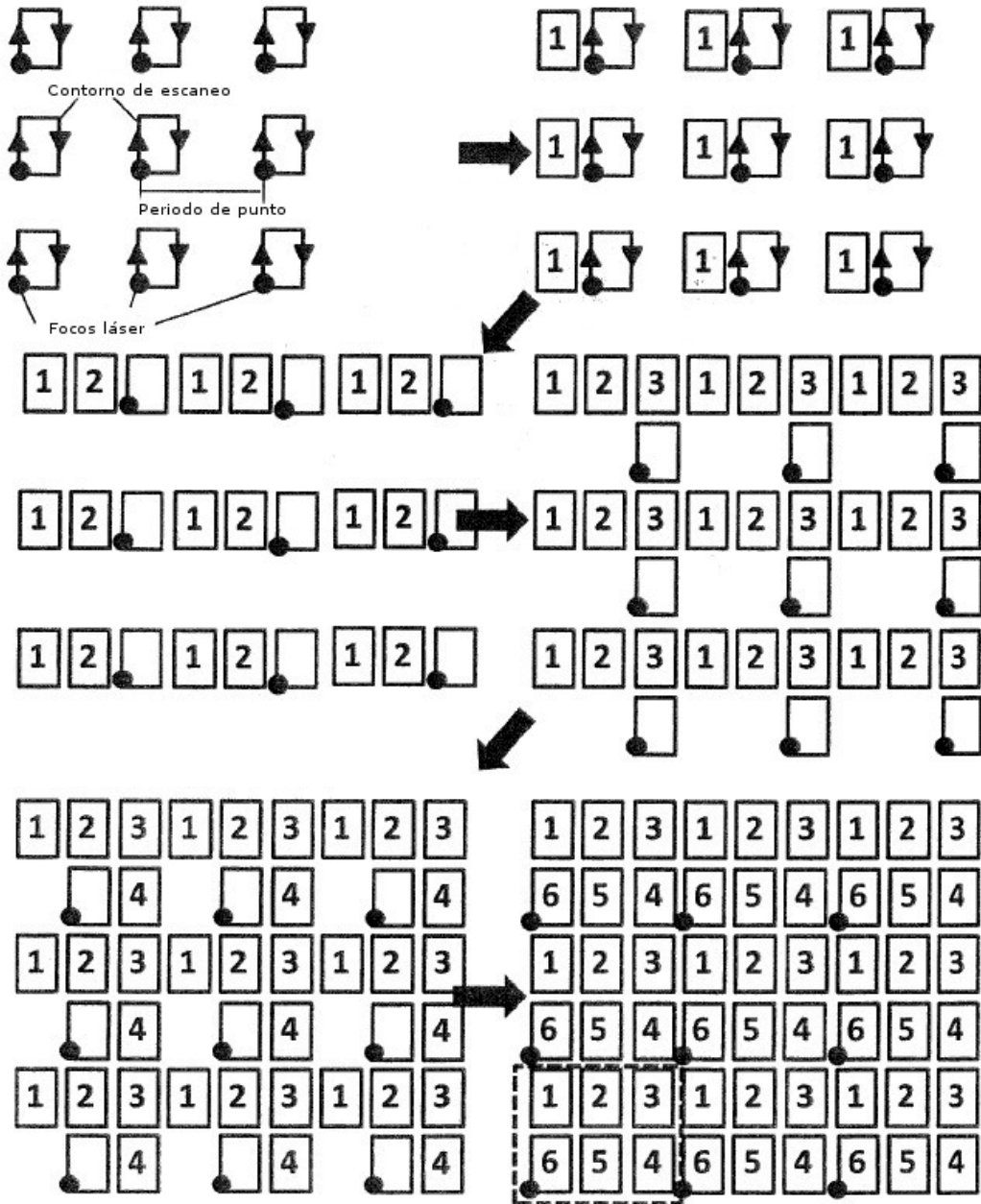


Fig. 16



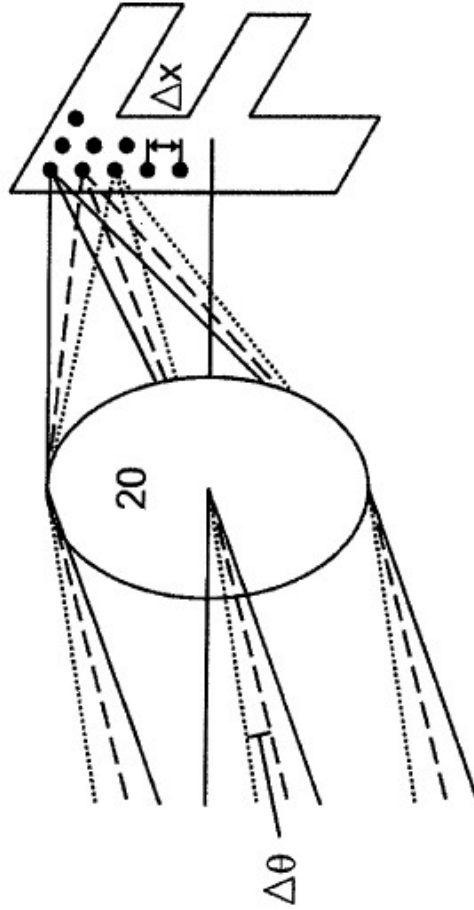


Fig. 17

Fig. 18

