

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 598 808**

51 Int. Cl.:

B23K 26/067 (2006.01)

B23K 26/00 (2014.01)

B23K 26/073 (2006.01)

G03H 1/30 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **09.02.2012 PCT/EP2012/052244**

87 Fecha y número de publicación internacional: **16.08.2012 WO12107535**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **09.02.2012 E 12704050 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **20.07.2016 EP 2673106**

54 Título: **Dispositivo, sistema y método para la estructuración por interferencia de muestras planas**

30 Prioridad:

10.02.2011 DE 102011011734

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
30.01.2017

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

**LASAGNI, ANDRÉS FABIÁN;
ROCH, TEJA y
BEYER, ECKHARD**

74 Agente/Representante:

DE ELZABURU MÁRQUEZ, Alberto

ES 2 598 808 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, sistema y método para la estructuración por interferencia de muestras planas

5 La presente invención se refiere a la estructuración de muestras planas con sistemas de láser, en particular con láseres de fibra o sistemas de láser con una frecuencia de impulsos alta.

10 Por el estado de la técnica es conocido (documento US 6,549,309 B1), utilizar para la introducción de un patrón de interferencia una estructura de divisor del rayo que combina un divisor del rayo con varios espejos deflectores, de manera que la radiación de un láser es irradiada desde diferentes direcciones sobre la muestra que se va a estructurar. Las partes del rayo que inciden desde diferentes direcciones generan interferencias en la zona de muestra, de modo que con ello puede realizarse una estructuración correspondiente de la muestra.

15 Igualmente por el estado de la técnica es conocido el uso de elementos ópticos difractivos (rejillas) para producir una estructuración por interferencia de muestras. Los dispositivos conocidos por el estado de la técnica tienen en particular el inconveniente de que para la estructuración de los materiales o muestras son necesarios sistemas de láser con una energía de impulso alta. Por tanto, no son adecuados sistemas de láser con una alta frecuencia de impulsos (frecuencia de repetición) y energías de impulso bajas. Además, en los dispositivos conocidos la superficie que puede ser estructurada por unidad de tiempo está por regla general limitada.

20 Un método y un dispositivo para un procesamiento de superficies metálicas con rayos láser es también conocido por el documento US 5,072,091 A. En este caso pueden ser realizados patrones irregulares mediante una estructuración por interferencia.

25 El documento EP 1 586 405 A1 se refiere a posibilidades para la realización de estructuras periódicas que pueden ser realizadas mediante la estructuración por interferencia con radiación láser.

30 Por tanto, el objeto de la presente invención es, partiendo del estado de la técnica proporcionar dispositivos y métodos para la estructuración por interferencia mediante láser de muestras planas, con los que puedan ser estructuradas muestras planas de forma fácil y segura con un aumento significativo en la velocidad de procesamiento y también con el uso de sistemas de láser con frecuencias de impulsos altas y energías de impulsos bajas.

35 Este objeto se consigue mediante un dispositivo según la reivindicación 1, mediante un sistema según la reivindicación 13, así como mediante un método según la reivindicación 14. Formas de realización ventajosas del dispositivo, del sistema o del método se pueden deducir, respectivamente, de las reivindicaciones dependientes.

40 A continuación se describirá en detalle la presente invención, primero en general, luego con referencia a varios ejemplos de realización. Sin embargo, en el marco de la presente invención, las características mostradas en los ejemplos de realización individuales en combinación entre sí no tienen que ser realizadas en exactamente las combinaciones que aparecen en los ejemplos de realización, sino que pueden ser realizadas también de otra manera. En particular, algunas de las características mostradas en los ejemplos de realización también pueden ser omitidas o ser dispuestas de manera diferente.

45 La idea básica de la solución según la invención se basa en una combinación de diferentes elementos ópticos (prisma, en particular biprisma, y elemento de focalización, en particular lente cilíndrica) con un movimiento y/o una desviación del rayo láser y/o de la muestra plana a ser estructurada. Los elementos ópticos individuales (por ejemplo, el elemento de focalización) pueden asimismo, como se describe a continuación con más detalle, estar a su vez formados por varias piezas individuales (lentes o similares), es decir con varias partes. De forma particularmente ventajosa para el movimiento del rayo láser se emplean escáneres de galvanómetro o unidades de movimiento que presentan elementos de desviación del rayo (especialmente espejos) que pueden ser posicionados por medio de un accionamiento de galvanómetro. El control de los elementos de desviación del rayo con ayuda de accionamientos de galvanómetro es ya conocido por el estado de la técnica (documentos DE 10 2005 024 086 A1 o JP 2003-307700 A), por lo que se omite una descripción de los detalles de tal accionamiento para elementos de desviación de rayos.

55 Un dispositivo según la invención para la estructuración por interferencia de una muestra plana presenta un láser y en la trayectoria del rayo, después de este láser, un elemento de focalización realizado para la focalización de la radiación láser. El elemento de focalización focaliza la radiación láser únicamente en una dirección espacial, pero sin focalizar la radiación láser en la dirección perpendicular a esta dirección espacial. Como elemento de focalización puede utilizarse, en particular, una lente cilíndrica. En la trayectoria del rayo del láser está dispuesto igualmente un prisma (en lo sucesivo: primer prisma) (preferiblemente un biprisma), con el que la radiación láser es dirigida en una segunda dirección espacial, que no coincide con la primera dirección espacial, esto es, presenta un ángulo $\neq 0^\circ$ con ella, y que preferiblemente es ortogonal a la primera dirección espacial, con dos haces de rayos sobre un volumen de muestra, de modo que estos dos haces de rayos interfieren dentro del volumen de muestra en una zona de interferencia. En la zona de interferencia del volumen de muestra, es dispuesta después la muestra plana o la

superficie de la muestra plana a ser estructurada. Finalmente, el dispositivo comprende una unidad de movimiento, con la que puede ser movida la radiación láser al menos en la primera o la segunda dirección espacial, pero preferiblemente en la primera y la segunda dirección espacial, para estructurar un sector de superficie predeterminado a ser procesado de la muestra por los máximos de interferencia de la radiación láser en la zona de interferencia. Alternativamente a ello (o también en combinación con ello), la unidad de movimiento puede también estar diseñada, de tal manera que la muestra y/o el volumen de muestra (incluyendo la muestra) pueda ser movida en la primera, la segunda o en la primera y la segunda dirección espacial.

Para que en la zona de los máximos de interferencia de la radiación láser en el volumen de muestra se pueda realizar una retirada de material, una fusión de material, una transformación de fase o variaciones locales en las propiedades químicas (esto es, la estructuración de la muestra) debe ser elegida adecuadamente la densidad de energía de la radiación láser presente en estos máximos en el lugar de la muestra, por ejemplo entre 0,1 y 10 J/cm². Esto se puede realizar mediante la selección adecuada del láser y del elemento de focalización (lograr un tamaño de foco lo más pequeño posible en la dirección de la primera dirección espacial).

En una variante de realización particularmente preferida, la unidad de movimiento según la invención está realizada basada en un escáner de galvanómetro. La unidad de movimiento comprende en este caso uno o varios elemento(s) de desviación del rayo móvil(es) dispuesto(s) en la trayectoria del rayo del láser. Los elementos de desviación del rayo - en particular espejos o también prismas especulares - están realizados giratorios o basculantes y dispuestos de tal manera que la radiación láser (o los haces de rayos de la misma) pueda/puedan ser movidos en al menos una de las dos direcciones espaciales mencionadas anteriormente. El posicionamiento preciso o el ajuste angular de los elementos de desviación del rayo individuales se realiza, por tanto, por medio de un accionamiento de galvanómetro. Preferiblemente, los elementos de desviación del rayo están dispuestos en la trayectoria del rayo del láser delante del elemento de focalización y delante del primer prisma y pueden ser controlados (por el accionamiento), de modo que el ángulo de incidencia y/o el lugar de incidencia de la radiación láser sobre los elementos ópticos que siguen a los elementos de desviación del rayo, es decir la trayectoria del rayo, puedan ser variados. Por tanto, la incidencia de la radiación láser sobre el elemento de focalización o el primer prisma (o sobre un elemento óptico, tal como por ejemplo un colimador o un expansor del rayo, que está dispuesto delante del elemento de focalización y del primer prisma, pero después de los elementos de desviación) puede estar configurada, de manera que por el accionamiento de los elementos de desviación del rayo, la radiación láser incidente barre una superficie predefinida. Si el ángulo de incidencia y/o el lugar de incidencia de la radiación incidente son variados en el lado de incidencia, entonces resulta correspondientemente un desplazamiento (migración) de la zona de interferencia en el lado de salida (después del elemento de focalización y del primer prisma), de manera que una zona superficial predefinida de la muestra puede ser estructurada por retirada de material (o fusión de material, etc.) en la zona de los máximos de interferencia que migran.

Sin embargo, los elementos de desviación del rayo no tienen por qué estar dispuestos en la trayectoria del rayo delante del elemento de focalización y delante del primer prisma: Así, también es concebible una disposición en la que en la trayectoria del rayo esté en primer lugar un biprisma y luego un elemento de focalización de dos piezas, que comprende una lente cilíndrica y un objetivo F-Theta, estando entonces dispuestos, entre la lente cilíndrica y el objetivo F-Theta del elemento de focalización, uno o incluso varios elemento(s) de desviación del rayo. También, en lugar de una lente cilíndrica, puede ser empleado un objetivo F-theta de una pieza que focaliza el rayo solo en una dirección espacial (objetivo F-theta cilíndrico), y al mismo tiempo se ocupa de que el foco del rayo láser se sitúe a través de toda la zona que puede ser barrida (campo de barrido) en uno y el mismo plano (superficie de la muestra).

Como alternativa a ello (o en combinación con ello) la unidad de movimiento puede presentar por el lado de salida del rayo también una unidad de desplazamiento móvil. En este último caso, puede tratarse de una mesa giratoria, una mesa de desplazamiento x-y o también una unidad de transporte basada en una cinta de rodillo a rodillo. La unidad de desplazamiento está configurada así, de tal manera que el volumen de muestra (o la muestra dispuesta en su interior) se pueda desplazar por traslación y/o por rotación en el plano de la primera y la segunda dirección espacial. De forma particularmente preferida, la unidad de desplazamiento (por ejemplo, la mesa de desplazamiento) está realizada de manera que la muestra puede ser desplazada, además, también perpendicularmente al plano de la primera y la segunda dirección espacial.

También como unidad de movimiento pueden ser empleadas unidades de rotación giratorias (por ejemplo, rodillos cilíndricos), sobre cuya superficie pueda ser dispuesta la muestra. Así, es concebible un rodillo cilíndrico sobre cuya superficie lateral es sujeta la muestra, que es girado alrededor de un eje de rotación en el plano de la primera y la segunda dirección espacial. Por giro de esta superficie lateral en la región de interferencia se produce una estructuración de la muestra a lo largo de la superficie lateral.

Según la invención, el elemento de focalización puede estar dispuesto en la trayectoria del rayo delante del primer prisma (en este caso se realiza en primer lugar la focalización y después la división de la trayectoria del rayo láser en los dos haces de rayos que interfieren en la zona de interferencia). Alternativamente a ello, sin embargo, también es posible la disposición invertida en la trayectoria del rayo.

Preferiblemente delante del elemento de focalización y delante del primer prisma está dispuesto en la trayectoria del rayo del láser un expansor del rayo. Sin embargo, el expansor del rayo también puede estar dispuesto delante del/de los elemento(s) de desviación del rayo o del escáner de galvanómetro. El expansor del rayo comprende preferiblemente una lente cóncava seguida por una lente convexa. No obstante, también es posible la disposición invertida (el rayo se hace más pequeño), lo que es necesario cuando el rayo primario es demasiado grande. También son posibles expansores de rayos con dos lentes convexas. El expansor del rayo puede también estar realizado de manera que la expansión de la radiación láser (o del/de los haz/haces de rayos) se realice únicamente en la segunda dirección espacial, pero no en la primera dirección espacial. Para producir trayectorias de rayos suficientemente paralelas pueden emplearse también colimadores en la trayectoria del rayo (preferiblemente antes del elemento de focalización y antes del primer prisma).

En otra variante de realización ventajosa, el dispositivo según la invención comprende un segundo prisma adicional en la trayectoria del rayo. También en cuanto a este prisma se trata preferiblemente de un biprisma. Este segundo prisma divide la radiación láser en dos haces de rayos, de modo que estos haces de rayos están ya separados uno de otro antes de que finalmente incidan sobre el elemento óptico que sigue al segundo prisma (en particular el primer prisma). Los haces de rayos así ya separados son llevados después como se describió antes a través del primer prisma en el volumen de muestra para la interferencia. El segundo prisma puede estar dispuesto delante del primer prisma, y este delante del elemento de focalización. Sin embargo, es concebible igualmente disponer el segundo prisma delante del elemento de focalización y este a su vez delante del primer prisma.

En cuanto al láser utilizado puede tratarse en particular de un láser pulsado (en particular, preferiblemente de un láser de fibra pulsado) cuya duración de impulso se sitúe en el intervalo entre 0,01 y 500 ns, preferiblemente entre 6 y 50 ns. La frecuencia de repetición de impulsos del láser pulsado se sitúa ventajosamente en el rango de los kilohercios, preferiblemente entre 0,1 y 50 kHz. También pueden ser empleados igualmente láseres con longitudes de onda en la región infrarroja (por ejemplo de 1064 nm), tales como láseres en la región UV o en la región visible (por ejemplo, de 532 nm).

En la trayectoria del rayo pueden estar dispuestos también otros elementos ópticos (preferiblemente delante del elemento de focalización y delante del primer prisma): multiplicadores de frecuencia, moduladores acústico-ópticos, obturadores mecánicos, homogeneizadores del rayo y/o polarizadores. Un homogeneizador del rayo empleado está realizado ventajosamente en este caso para generar un perfil de intensidad plano (el llamado perfil de "parte superior plana").

El multiplicador de frecuencia está dispuesto preferentemente como primer elemento óptico (o también después del colimador) y posibilita la reducción a la mitad, a la tercera o a la cuarta parte de la longitud de onda del láser. Esto puede aumentar el acoplamiento o también la absorción de la radiación láser en determinados materiales. El modulador acústico-óptico o también el obturador mecánico (dispuesto preferiblemente después del colimador o del multiplicador de frecuencia) posibilitan el uso de impulsos de láser individuales, o posibilitan también controlar el número de impulsos del láser.

El uso del polarizador (dispuesto preferiblemente después del multiplicador de frecuencia) es ventajoso para mejorar el acoplamiento del rayo láser, por ejemplo en metales.

En una forma de realización particularmente ventajosa, el dispositivo según la invención descrito anteriormente se utiliza en el marco de un sistema para la estructuración por interferencia, que presenta una base dispuesta fija en el sistema de coordenadas universal y una unidad cinemática unida a la base y movable con uno de sus extremos con relación a la base. En este caso puede tratarse de un robot industrial, cuyo bastidor base constituye la base y cuya cadena cinemática es utilizada como unidad cinemática. En el extremo móvil de la unidad de cinemática, el dispositivo según la invención está fijado entonces para la estructuración por interferencia (estando realizado el dispositivo preferentemente rígido en relación con el miembro final de la unidad o cadena cinemática).

En comparación con los dispositivos conocidos por el estado de la técnica para la estructuración por interferencia, el dispositivo según la invención presenta una serie de ventajas esenciales.

Según la invención la construcción de un sistema óptico compacto para la generación de patrones de interferencia uni o bidimensionales permite proporcionar la estructuración directa de materiales de muestra muy diferentes. La invención se caracteriza así, en particular, por un aumento significativo de la velocidad de procesamiento en la estructuración de superficies, así como por una estructura relativamente simple. Incluso grandes superficies pueden ser estructuradas de forma rápida con la presente invención.

Especialmente ventajosa es asimismo la variante según la invención de la unidad de movimiento basada en un galvanómetro. Para una estructuración rápida de muestras planas en dos dimensiones serían necesarios movimientos de la mesa en el intervalo de algunos metros por segundo (lo que mecánicamente solo se puede conseguir con dificultad). Por la disposición y separación adecuadas de los elementos de desviación del rayo, sin embargo, ya en caso de variaciones angulares pequeñas en la posición de los elementos de desviación del rayo en

el lado de salida (es decir, en la zona del volumen de muestra) se puede conseguir un gran desplazamiento del patrón de interferencia o del foco del rayo y, por tanto, un barrido rápido de una superficie suficientemente grande. Pueden evitarse por completo según la invención movimientos rápidos de grandes masas (masa de la mesa). Especialmente en esta forma de realización son posibles, por tanto, velocidades de estructuración extremadamente altas emparejadas con desviaciones muy rápidas de rayo (y por tanto velocidades de procesamiento de la superficie elevadas).

Una ventaja particular es además que cuando la muestra es movida continuamente, el rayo láser puede ser posicionado sobre la superficie de la muestra independientemente del movimiento de la muestra. Por tanto, es posible, por ejemplo irradiar un lugar de muestra varias veces (con varios impulsos de láser) antes de que se cambie el lugar de irradiación.

La presente invención permite una disposición y alineación muy variables de los diferentes elementos ópticos (prisma, lente cilíndrica, ...) en la trayectoria del rayo láser, de manera que es posible una focalización exacta y reproducible en el volumen de muestra (así, la extensión del haz de rayos en la zona de interferencia puede ser ajustada en la primera dirección espacial entre 10 y 500 μm , y en la segunda dirección espacial entre 1 y 500 mm, con una generación simultánea de altas densidades de energía en el intervalo entre 0,1 y 10 J/cm^2). El periodo del patrón de interferencia puede ser ajustado entre 0,1 y 100 μm .

Según la invención pueden ser movidos selectivamente el rayo láser o la muestra (preferiblemente también ambos). Esto permite una estructuración simultánea de una pluralidad de estructuras de líneas o de puntos en la superficie de la muestra (es posible sin más introducir simultáneamente estructuras de varios miles de líneas o de puntos).

En el marco del dispositivo según la invención pueden ser utilizados en particular también sistemas de láser con altas frecuencias de impulsos (en el rango de kilohercios) con simultáneamente una energía de impulso baja. Son posibles velocidades de estructuración extremadamente altas (así, puede ser estructurado un metro cuadrado de superficie de la muestra en el intervalo entre unos pocos segundos y aproximadamente un minuto). Por tanto, en comparación con los dispositivos existentes para la estructuración por interferencia se puede multiplicar la velocidad de procesamiento.

Un dispositivo según la invención se puede realizar de una forma muy compacta; por tanto, en particular es posible una integración del dispositivo según la invención en un sistema de robot industrial.

Con el dispositivo según la invención y el método según la invención se pueden estructurar en plano los más diversos materiales y materias: son por tanto igualmente posible aplicaciones tribológicas y mecánicas de las muestras estructuradas, como por ejemplo, ópticas o biológicas.

A continuación se describirá la presente invención con referencia a varios ejemplos de realización. Muestran así:

Las Figuras 1a/1b, un primer dispositivo según la invención para la estructuración por interferencia, la Figura 2, un segundo dispositivo según la invención basado en un escáner de galvanómetro, la Figura 3, un tercer dispositivo según la invención basado en un escáner de galvanómetro de desviación únicamente unidimensional, la Figura 4, un primer dispositivo según la invención, que utiliza dos biprismas en la trayectoria del rayo, la Figura 5, un segundo dispositivo según la invención, que utiliza dos biprismas en la trayectoria del rayo, las Figuras 6a/6b, varios dispositivos según la invención, en los que la unidad de movimiento mueve el espacio de muestra o la muestra dispuesta en su interior, así como la integración de un dispositivo según la invención en un robot industrial, la Figura 7, una realización particularmente ventajosa de la invención con una unidad de escáner de galvanómetro bidimensional, y una mesa x-y para mover la muestra, como unidad de movimiento, las Figuras 8a/8b, varios ejemplos para las estructuras de depresión introducidas por las estructuraciones por láser según la invención en las superficies de muestra procesadas, la Figura 9, un ejemplo de los parámetros de láser seleccionables en el marco de la invención y de las velocidades de procesamiento individuales que se consiguen con ellos, y la Figura 10, un ejemplo de otro dispositivo según la invención, en el que el elemento de focalización está realizado de dos partes, estando realizado entre las dos partes del elemento de focalización un espejo deflector giratorio por medio de un accionamiento de galvanómetro, como unidad de movimiento.

Las Figuras 1a y 1b muestran un primer dispositivo según la invención, que está dispuesto fijo en un sistema de coordenadas universal (sistema de coordenadas cartesianas (x, y, z)). La Figura 1a muestra a la izquierda una vista en la dirección del eje y (primera dirección espacial), la Figura 1a muestra a la derecha una vista lateral en la dirección contraria al eje x (en dirección contraria a la segunda dirección espacial). Mientras no se diga otra cosa a continuación, todos los elementos ópticos en la trayectoria del rayo citados en los ejemplos de realización están dispuestos centrados sobre el eje óptico (pero este no tiene por qué ser el caso). Como láser 1 (no mostrado aquí) es empleado un sistema de láser de fibra con una duración de impulso en el intervalo entre 1 femtosegundo y 1000

microsegundos, con una longitud de onda en el intervalo entre 150 nm y 13000 nm y con una frecuencia de repetición de impulsos en el intervalo entre 1 Hz y 200 MHz. Preferiblemente se trata aquí de un sistema de láser de fibra con una duración de impulso de 20 ns, una longitud de onda de 1064 nm, y una frecuencia de repetición de impulsos de 5 KHz.

5 En la trayectoria del rayo del láser 1 está dispuesto en primer lugar un colimador 12 para generar un haz de rayos láser paralelos con un diámetro de 7 mm (el doble de la anchura a media altura). En la trayectoria del rayo después del colimador - visto en la dirección del rayo – sigue en primer lugar una lente cóncava 11a (por ejemplo, con una distancia focal de -150 mm), y a continuación un expansor del rayo 11 que comprende una lente convexa 11b (por ejemplo, con una distancia focal de 200 mm), con el que puede ser expandida la anchura del rayo en ambas direcciones espaciales. Después del expansor del rayo 11, el diámetro medio de rayo es de 14 mm (del haz de rayos 2 paralelo como antes).

10 En la trayectoria del rayo entre el colimador 12 y el expansor del rayo 11 puede también estar dispuesto un estenopo cuadrado (no mostrado aquí), con el que la sección transversal del rayo redonda tras el colimador 12 se convierte en una sección transversal del rayo cuadrada.

15 El haz de rayos paralelos 2 ensanchado de la radiación láser es dirigido después del expansor del rayo 11 al elemento de focalización 3 en forma de una lente cilíndrica, cuyo eje de cilindro está dispuesto en la dirección x.

20 La distancia focal de la lente cilíndrica 3 es elegida, de modo que coincida con la distancia de la lente cilíndrica 3 desde un volumen de muestra o desde una muestra P (visto a lo largo del eje óptico o del eje z de la estructura). Por tanto, la radiación láser 2, vista en la dirección y, es focalizada con precisión sobre la superficie que va a ser procesada de la muestra P.

25 En la trayectoria del rayo después de la lente cilíndrica 3 está dispuesto un biprisma 4, de manera que la superficie 4a opuesta a su ángulo obtuso y sea perpendicular al eje óptico de la estructura y se enfrente al elemento de focalización 3. El ángulo γ es aquí de 170° . Las dos superficies que abarcan el ángulo obtuso y son perpendiculares al plano x-z. Por la selección adecuada del ángulo γ , el biprisma está realizado y dispuesto de tal manera que el haz de rayos láser incidente 2 es dividido por el biprisma en dos haces de rayos 2a y 2b, que – vistos en la dirección de la segunda dirección espacial x- se superponen por debajo del ángulo β . En la zona de solapamiento de los dos haces de rayos 2a, 2b se produce, por tanto, la interferencia de la radiación láser 2 (esta zona de solapamiento dibujada aquí con líneas de trazos se denominará por tanto a continuación también zona de interferencia 6).

30 Dentro de la zona de interferencia 6, una muestra plana P (aquí una placa de plástico delgada) está colocada perpendicular al eje óptico del dispositivo mostrado dentro del volumen de muestra 5. En el caso mostrado, por tanto, la zona en la que se produce la interferencia de los dos haces de rayos parciales 2a y 2b (zona de interferencia 6), puede considerarse como parte del volumen de muestra 5, en el que está dispuesta la muestra P.

35 Por la elección adecuada de los parámetros del láser (compárese con anterior, así como con la Figura 9) y por colocación de la muestra P con la separación de la distancia focal de la lente cilíndrica 3 puede ser generada, por tanto, en los máximos de intensidad de la interferencia una densidad de energía local en la superficie de la muestra, que sea suficiente para evaporar localmente el material P y por tanto para introducir de acuerdo con el patrón de intensidad, una estructura de profundidad en la superficie de la placa P.

40 De la ley de la refracción se deduce que:

$$n_4 \times \text{sen}[(180 - \gamma)/ 2] = n_{\text{aire}} \times \text{sen}(\beta)$$

45 50 siendo $n_{\text{aire}} = 1$ (índice de refracción en el aire), $n_4 =$ índice de refracción en el vidrio utilizado para el biprisma 4 (aquí: $n = 1,45$ para un biprisma de cristal de cuarzo) y β (aquí: $7,2^\circ$) y γ (aquí 170°) los ángulos descritos anteriormente. Para el periodo p de las estructuras de interferencia introducidas en superficie P de la muestra (véase la Figura 1b) resulta en el caso presente de acuerdo con:

$$55 \quad p = \frac{\lambda}{2 \times \text{sen}\left(\frac{\beta}{2}\right)}$$

un valor de $13,5 \mu$ (a una longitud de onda de 1064 nm). La extensión de la estructura de interferencia en la dirección de la primera dirección espacial y, debido a la focalización con el elemento 3, es aquí de $50 \mu\text{m}$, la extensión de la zona de interferencia en la dirección de la segunda dirección espacial x, inducida por el ancho medio del rayo b (después de la expansión del rayo) en la dirección x y el ángulo obtuso γ del biprisma 4, es aquí de 7 mm. Los parámetros b, γ , β y los valores focales de la lente cilíndrica 3, así como las distancias de los elementos ópticos utilizados en la trayectoria del rayo son ajustados de manera que exactamente en el foco de la lente 3 se produzca la máxima extensión de la zona de interferencia 6 en la dirección x.

5 Variando correspondientemente la distancia focal de la lente 3, el ángulo γ y/o la anchura del rayo b , la extensión de la estructura de interferencia que estructura la superficie de la muestra P en la dirección y puede ser fácilmente variada en el intervalo desde algunos micrómetros hasta algunos milímetros y en la dirección x fácilmente en el intervalo desde algunos milímetros hasta algunos centímetros. (Cuanto mayor sea el ancho del rayo b , más máximos de interferencia individuales presenta la estructura de interferencia con el mismo periodo p : al aumentar el ancho b aumenta, por tanto, la extensión de la estructura de interferencia en la dirección x).

10 Es esencial para la presente invención ahora la provisión de una unidad de movimiento 7, que en el ejemplo de realización mostrado está realizada como mesa de desplazamiento x - y (sobre la que está fijada la muestra P y cuya superficie de mesa está dispuesta paralela al plano x - y). Esta mesa está designada aquí por el número de referencia 9 y está dispuesta en el volumen de muestra 5, así como en la zona de interferencia 6. Alternativamente a ello, puede también, por supuesto, utilizarse por ejemplo una mesa giratoria, sobre la que está fijada la muestra P y cuyo eje de rotación está dispuesto en la dirección z (es decir, paralelo al eje óptico del dispositivo mostrado). Por el movimiento correspondiente de la muestra P en el espacio de muestra 5 (por el movimiento de la mesa 9) entre los impulsos de láser que se suceden individualmente se pueden introducir una amplia variedad de estructuras uni o bidimensionales diferentes en la superficie de la muestra P, en función de la selección concreta de las velocidades de avance o rotación de la mesa, de la duración de impulso de un impulso láser y de la frecuencia de repetición de impulsos de los impulsos láser (véanse también las Figuras 8a y 8b). Lo que aquí es esencial siempre es que, debido a la focalización 3 en la dirección y , la densidad de energía en los máximos del patrón de interferencia 6 es suficientemente alta para evaporar localmente el material de la muestra P.

25 Como alternativa a la disposición mostrada en la Figura 1a es también posible disponer el elemento de focalización 3 - visto en la dirección del rayo 2 – después del biprisma 4 (véase también la Figura 4: se realiza en primer lugar la división del haz de rayos expandido 2 en los dos haces parciales de rayos 2a y 2b, antes de que se realice una focalización de estos dos haces de rayos 2a, 2b en la dirección de la primera dirección espacial).

30 Por la elección adecuada de la distancia del extremo de la fibra del láser 1 desde el elemento de focalización 3 (o desde el primer prisma 4) y mediante el uso de una lente de colimador realizada de forma adecuada, también es posible conseguir una expansión del rayo sin el uso del expansor de rayo 11 mostrado.

35 La Figura 2 muestra otro ejemplo de realización de la presente invención, en el que la unidad de movimiento 7 está realizada de una manera especialmente ventajosa sobre la base de un escáner de galvanómetro. La construcción y la disposición de este dispositivo son esencialmente similares a las del ejemplo de realización mostrado en la Figura 1, de modo que a continuación solo se describirán las diferencias.

40 En la trayectoria del rayo delante del expansor del rayo 11 o de su primera lente 11a, el dispositivo mostrado está construido como sigue. Como láser 1 se emplea un láser de disco pulsado, de modo que a este láser en la trayectoria del rayo le sigue en primer lugar un obturador 17, con el que pueden ser usados los impulsos de láser individuales. Para ajustar una sección transversal de rayo adecuada (aquí: redonda) sigue un diafragma 18 antes de que la radiación láser sea dirigida sobre una disposición de galvanómetro 7 que comprende dos espejos móviles 8a, 8b. Los dos espejos 8a, 8b están dispuestos, respectivamente, basculantes en torno a un eje de giro de forma conocida para el experto, de modo que por variación de los ajustes angulares de los dos espejos 8a, 8b, puede provocarse una desviación del rayo láser 2 en la dirección de la primera y/o la segunda dirección espacial. El ajuste del ángulo γ o el posicionamiento de los dos elementos de desviación del rayo 8a, 8b puede realizarse con ayuda de un accionamiento de galvanómetro conocido para el experto, no mostrado aquí.

50 Por tanto, mediante la unidad de movimiento 7 basada en un escáner de galvanómetro que se muestra, por variación de las posiciones de los espejos, el rayo láser 2 puede ser basculado antes de su incidencia sobre la primera lente 11a del expansor del rayo 11 un ángulo discrecional con respecto al eje óptico del dispositivo mostrado (o de los elementos 11a, 11b, 3, 4, 5) o con respecto a la dirección z . En otras palabras, por la unidad de movimiento 7 se produce en el presente caso una desviación muy rápida del rayo láser 2 en la dirección y y/o en la dirección x (que aquí está caracterizada por la denominación Δy y Δx). Así, dependiendo de la posición angular instantánea de los dos espejos 8a, 8b, vista en la dirección x y/o en la dirección y , el rayo láser 2 incide con diferente(s) ángulo(s) de incidencia y/o lugar(es) de incidencia sobre la superficie de la lente cóncava 11a del expansor del rayo 11 enfrentada a la unidad de movimiento 7. De esta forma se realiza también por el lado de salida de los elementos 3, 4 una desviación correspondiente.

60 Por tanto, mediante la unidad de movimiento 7 basada en un escáner de galvanómetro se realiza en el caso mostrado (para un volumen de muestra fijo 5 o muestra P fija) una desviación del rayo láser 2 (o de los haces parciales de rayos láser 2a, 2b) en el sistema de coordenadas universal (x , y , z), de modo que por la variación adecuada de las posiciones de los espejos casi cualesquiera estructuras discretas pueden ser introducidas de forma plana en la muestra P.

Al igual que en el ejemplo de realización mostrado en la Figura 1, aquí la distancia de trabajo w (distancia entre el vértice del ángulo obtuso del biprisma 4 y la muestra P vista en la dirección del eje óptico) es ajustada de manera que la muestra P sea dispuesta exactamente en la zona de máximo solapamiento de los dos haces parciales de rayos 2a, 2b. Esto permite la utilización de la extensión máxima a de la zona de interferencia 6 en la dirección x para la estructuración de la superficie de la muestra. (La distancia de trabajo w de la máxima extensión de la zona de interferencia a desde el vértice del ángulo obtuso y del prisma 4 puede ser ajustada a través de la anchura del rayo b en la dirección x : cuanto mayor sea b , mayor será w .)

La Figura 3 muestra otro ejemplo de realización, cuya estructura coincide esencialmente con la mostrada en la Figura 2, de modo que a continuación se describirán de nuevo solo las diferencias. En lugar de una unidad de movimiento 7 basada en un escáner de galvanómetro que desvía el rayo láser 2 en las dos direcciones x e y , aquí en la unidad de movimiento 7 está previsto únicamente un espejo móvil individual 8, con el que solamente puede realizarse una desviación Δy del rayo láser en la dirección y . Por tanto, únicamente pueden ser variados el lugar de incidencia y el ángulo de incidencia del rayo láser 2 sobre la lente 11a en la dirección y . Por consiguiente, (si no está prevista también una mesa de desplazamiento para la muestra P) se produce únicamente un cambio del patrón de interferencia 6 en la dirección y y a lo largo de la superficie de la muestra.

Como muestra la Figura 3, es posible también una disposición invertida (vista en la dirección del eje óptico) del biprisma 4 en la trayectoria del rayo después del elemento de focalización 3. La superficie plana 4a más alejada del vértice del ángulo obtuso y está aquí dispuesta igualmente paralela al plano x - y , pero ahora no se enfrenta a la lente cilíndrica 3, sino a la muestra P. Sin embargo, esto tiene el inconveniente de que con una intensidad demasiado alta de la radiación láser a través de la interferencia del rayo 2a, 2b, que se realiza ya dentro del biprisma 4 (véanse las líneas de trazos), pueden producirse eventualmente daños en el prisma 4. Por regla general es preferible, por tanto, la disposición del biprisma 4 mostrada en la Figura 2.

La Figura 4 muestra otro ejemplo de realización cuya estructura corresponde esencialmente a la del ejemplo de realización de la Figura 2, de manera que ahora solo se describirán las diferencias. (Los elementos 1, 17, 18, 8a y 8b no se muestran aquí por simplicidad; el primer elemento en la trayectoria del rayo después del expansor del rayo 11 es, por tanto, el segundo biprisma 13, véase a continuación)

Como muestra la Figura 4, los elementos 3 y 4 pueden estar dispuestos también en la dirección del eje óptico, de manera que en primer lugar sean generados los dos haces parciales de rayos 2a, 2b que inciden o interfieren 6 con el ángulo de incidencia β relativamente entre sí sobre el volumen de muestra 5, antes de que se realice la focalización en la primera dirección espacial y con ayuda de la lente cilíndrica 3.

Sin embargo, la diferencia esencial con la estructura mostrada en la Figura 2 es que la radiación láser 2, desviable tanto en la dirección x como en la dirección y por medio de la disposición de galvanómetro bidimensional 7, 8a, 8b, es desviada por el lado de salida del rayo del expansor del rayo 11 sobre un segundo prisma adicional 13, que está dispuesto entre los elementos 11 y 4 en la trayectoria del rayo (y centrado sobre el eje óptico). También este biprisma 13 con su plano opuesto al ángulo obtuso se enfrenta al expansor de rayo 11, apunta pues con su vértice en la dirección de la muestra P (de igual modo que el primer biprisma 4). Con el segundo biprisma 13 es dividida la radiación láser 2 en dos haces de rayos 2a', 2b', de manera que estos dos haces de rayos (vistas en la dirección x) están completamente separados uno de otro antes de que incidan sobre la superficie plana 4a opuesta al ángulo obtuso y del primer biprisma. El primer biprisma 4 está dispuesto en este caso de modo que los dos haces parciales de rayos 2a' y 2b' ya separados que inciden con diferentes ángulos, son dirigidos como haces de rayos 2a, 2b sobre el volumen de muestra 5, de modo que interfieren 6 como se ha descrito anteriormente.

La disposición mostrada en la Figura 4 con dos biprismas 4, 13 tiene la ventaja de que la zona de interferencia 6 está realizada a una mayor distancia del primer biprisma 4, de modo que resulta una distancia de trabajo mayor w (véase la Figura 2). La distancia de trabajo w puede ser ajustada mediante la distancia w' de los dos prismas 4, 13 en la dirección del eje óptico.

La Figura 5 muestra otro ejemplo de realización, cuyo dispositivo está realizado esencialmente como el dispositivo mostrado en la Figura 4, pero aquí se omitió el expansor del rayo 11 situado entre los elementos 7 y 13.

La Figura 6a muestra esquemáticamente qué unidades de movimiento 7 pueden ser realizadas en el lado de salida del rayo del elemento de focalización 3 y del primer prisma 4, es decir, para mover la muestra y/o el volumen de muestra 5 en la primera y/o la segunda dirección espacial. Como ya se ha descrito anteriormente, estas también pueden ser combinadas con componentes de unidad de movimiento 8a, 8b...basados en escáner de galvanómetro por el lado de entrada del rayo de los elementos 3, 4, de manera que en una forma especialmente ventajosa es posible tanto un movimiento del volumen de muestra o de la muestra, así como de la radiación láser 2. Los movimientos del escáner de galvanómetro o de los componentes basados en escáner de galvanómetro 8a, 8b ... y la(s) unidad(es) de movimiento en el lado de salida del rayo (por ejemplo, mesa de desplazamiento x - y) pueden realizarse asimismo de forma sincronizada.

La Figura 6a-a) muestra esquemáticamente la provisión de una mesa de traslación 7, con la que puede ser movida la muestra P únicamente en la dirección y, esto es solo pueden ser estructuradas en la superficie de la muestra estructuras de patrón uni y bidimensionales (véanse las Figura 8a-a y 8a-d).

5 En el caso bosquejado en la Figura 6a-b) está prevista una mesa de traslación como unidad de movimiento 7, con la que la muestra P puede ser movida tanto en la dirección x como en la dirección y, de modo que puedan ser producidas también estructuras de patrón bidimensionales.

10 La Figura 6a-c) muestra la provisión de una mesa de rotación como unidad de movimiento 7, cuyo eje de rotación es perpendicular al plano x-y, con la que la muestra P puede, por tanto, girar en la dirección α (véase la flecha) alrededor del eje óptico. (Con ello pueden realizarse, por ejemplo, las estructuras de patrón mostradas en la Figura 8b-v y 8b-vi).

15 La Figura 6a-d) muestra finalmente, una unidad de movimiento 7 realizada como rodillo giratorio 10, estando el eje de rotación A de este rodillo 10 dispuesto paralelo a la dirección x, de modo que mediante la rotación Θ en torno al eje de rotación A, la superficie del rodillo tiene un componente de movimiento en la dirección y y/o la dirección z. La muestra P a ser estructurada puede ser fijada sobre la superficie lateral del rodillo 10; entonces será estructurada perpendicularmente a la dirección x por la rotación del rodillo un ángulo θ .

20 Como muestra la Figura 6b-f), la unidad de movimiento 7 puede estar realizada por el lado de salida del rayo también como unidad de transporte de rodillo a rodillo. La muestra P está en este caso fijada plana sobre una cinta transportadora, que es transportada por sectores, paralelamente al plano x-y en la dirección y. Se realiza, pues, una estructuración unidimensional de la muestra P en la dirección y.

25 Como muestra la Figura 6b-e), según la invención puede también ser realizado un robot industrial para la estructuración por interferencia. El robot tiene un bastidor base 14 dispuesto fijo en el sistema de coordenadas universal, en el que está fijada la cadena cinemática¹⁵ del robot que comprende varios miembros, de manera que el extremo 16 de esta cadena cinemática más alejado del bastidor base pueda ser movido en el espacio por traslación y rotación con respecto al sistema de coordenadas universal. En este extremo 16 de la cadena cinemática 15 del robot puede fijarse de forma rígida uno de los dispositivos para la estructuración por interferencia representados en los ejemplos de realización descritos anteriormente.

Especialmente ventajoso para ello es el uso de un láser 1 basado en fibra; la conducción del haz se realiza a continuación mediante una fibra realizada adecuadamente en la cadena cinemática.

35 La disposición mostrada es operada ventajosamente, de manera que el dispositivo para la estructuración por interferencia fijado rígidamente en el extremo 16 es dirigido inicialmente por el movimiento de la cadena cinemática 15 como se desee con respecto a la muestra P a ser procesada. La muestra P y el dispositivo para la estructuración por interferencia están entonces después de esta alineación en una posición definida con precisión inmóviles uno con respecto en el sistema de coordenadas universal, de modo que a continuación el sistema de coordenadas (x, y, z) del dispositivo para la estructuración por interferencia coincide con el sistema de coordenadas universal. La estructuración de la muestra P se realiza entonces como se describe en los ejemplos de realización precedentes.

45 La Figura 7 esboza finalmente una forma de realización especialmente ventajosa de la presente invención, en la que la unidad de movimiento 7 une por el lado de entrada del rayo varios elementos de desviación del rayo 8a, 8b con accionamiento de galvanómetro con una mesa de desplazamiento 9 dispuesta por el lado de salida del rayo, sobre la que está dispuesta la muestra P desplazable en la dirección x y la dirección y en el volumen de muestra o en la zona de interferencia 6. La estructura corresponde, por tanto, esencialmente al caso mostrado en la Figura 2 (en el que aquí adicionalmente sigue existiendo la mesa de desplazamiento 9 del lado de salida del rayo), de manera que a continuación solo se describirán las diferencias.

50 En la trayectoria del rayo 2 entre el expansor del rayo 11a, 11b y la lente cilíndrica 3 está dispuesto aquí un sistema de lentes adicional 19, 20.

55 Con el dispositivo mostrado en la Figura 7 pueden ser estructuradas por interferencia muestras P muy diferentes de materiales poliméricos, de cerámica, metal o también de plástico.

60 La Figura 8a muestra diferentes estructuras de interferencia (en adelante también denominadas patrones) que pueden ser introducidas por los dispositivos descritos anteriormente de acuerdo con la invención en diferentes materiales o muestras P (metal, cerámica, polímeros, ...):

Patrón unidimensional de tipo línea con distancia d periódica (correspondiente al periodo de patrón p de la Figura 1b), véase (a).

Patrones unidimensionales de tipo cruz que se pueden conseguir por radiaciones múltiples (después de la rotación de la muestra) a partir de patrones de líneas según (a). Asimismo son posibles ángulos de rotación discrecionales (por ejemplo, 30°, 60° o 90°) de la muestra P, véase (b).

5 Patrones de tipo de cruz con diferentes intervalos de línea combinados, que se pueden conseguir por variación de las longitudes de onda λ (por ejemplo, con base en un oscilador óptico-paramétrico OPO del láser 1) y/o por variación del ángulo β , véase (c).

10 Diversas disposiciones de depresiones (agujeros) con diferentes distancias d_1 y d_2 , en donde d_1 o d_2 corresponde al periodo p de la estructura de interferencia, véanse (d), (e) y (f). Así, por ejemplo, en el caso (d) la distancia d_1 del agujero en la dirección x puede corresponder al período de la estructura de interferencia p (véase la Figura 1b), mientras que la distancia de los agujeros de estructura en la dirección y (es decir, d_2) puede ser ajustada por la desviación del rayo láser en la dirección y a través de un espejo 8, como se muestra en la Figura 3 (la distancia d_2 es determinada así por la disposición geométrica de los elementos individuales, la velocidad de movimiento del espejo 8, así como la frecuencia de repetición de impulsos del impulso láser).

15 La Figura 8b muestra otros ejemplos de estructuración, (i) a (vi), que son posibles según la invención. Así, en (i) se realiza el ajuste del periodo p de la estructura de interferencia en la dirección x a través del ángulo β (es decir, mediante la forma del prisma o la elección adecuada del ángulo γ del prisma), de modo que el láser se hace funcionar continuamente y , por ejemplo, realiza un desplazamiento continuo de la muestra P durante el procesamiento en la dirección y y con ayuda de una mesa de traslación. En el caso (ii) el desplazamiento de la muestra se realiza, además, con un componente x (d es aquí la distancia transversal de líneas de estructuración colindantes; el ángulo α resulta por la relación de las velocidades de desplazamiento de la mesa en la dirección x y la dirección y). Los casos (iii) y (iv) fueron estructurados correspondientemente, pero aquí con láser de fibra pulsado. (La distancia del agujero de estructuración en la dirección y en este caso depende de la frecuencia de repetición w_r de los impulsos y de la velocidad de barrido s de la desviación basada en galvanómetro en la dirección y , así como de la disposición geométrica ab.) Los casos (V) y (VI) muestran el procesamiento cuando se utiliza una mesa de rotación en lugar de una mesa de traslación (véase también la Figura 1a) en caso de utilizar radiación láser pulsada con diferentes velocidades de rotación: (v) muy lento, (vi) más rápido. Naturalmente son posibles también combinaciones de las variantes de procesamiento mostradas - (vii) -.

20 La duración del impulso puede estar entre un femtosegundo y 500 milisegundos, los sistemas de láser pueden tener longitudes de onda en la región UV, VIS o IR (por ejemplo, 266, 355, 532 o 1064 nm). Son concebibles frecuencias de repetición de impulsos desde algunos hercios hasta 200 MHz.

25 Si se utiliza un láser de fibra con una potencia de 500 vatios, una duración de impulso de 20 ns, una frecuencia de repetición de impulsos $w_r = 10$ KHz, una energía de impulso de 50 mJ y una longitud de onda $\lambda = 1064$ nm, entonces con una realización y disposición adecuadas de los elementos ópticos en la trayectoria del rayo puede generarse una extensión del patrón de interferencia en la dirección y de 200 μm , una extensión en la dirección x de 10 mm y un período (distancia entre máximos de intensidad adyacentes) $p = 15$ μm . La superficie estructurada con un impulso es, por tanto, de aproximadamente 0,02 cm^2 , lo que con una energía de impulso de 50 mJ corresponde a una fluencia de 2,5 J/cm^2 . Si, visto en la dirección y , se desea conseguir una yuxtaposición sin huecos de las estructuras de impulsos individuales (cada una con una longitud de 200 μm) (es decir, una estructuración eficiente de la superficie de la muestra sin solapamiento de las estructuras introducidas por los impulsos que se suceden directamente en el tiempo), entonces resulta la velocidad de desviación necesaria en la dirección y y de acuerdo a 200 $\mu\text{m} \times 10$ kHz a 2 m/s. Tal velocidad de estructuración se puede realizar de forma particularmente ventajosa por las estructuras basadas en galvanómetro mostradas en la figura 2 y la figura 3, ya que en este caso únicamente es necesario un movimiento de espejo, pero no el movimiento de grandes masas como en el caso de las unidades de movimiento basadas en la mesa de desplazamiento.

30 La figura 9 muestra ejemplos correspondientes, estando denominada aquí la extensión de la estructura de interferencia en el plano x - y (figura 1b) como "magnitud de focalización". Las velocidades de barrido indicadas del control de galvanómetro en el lugar de la muestra P se dan de nuevo sin solapamiento (y con estructuras de depresión introducidas directamente colindantes por impulsos láser adyacentes en el tiempo).

35 La figura 10 muestra otro ejemplo de realización de un dispositivo según la invención, en el que el elemento de focalización 3 está realizado de dos partes y en el que la unidad de movimiento 7 tiene un espejo individual (elemento de desviación del rayo 8) que puede girar con ayuda de un accionamiento de galvanómetro, que está dispuesto entre las dos partes 3a, 3b del elemento de focalización.

40 En la trayectoria del rayo después del láser 1 está realizado un expansor del rayo de dos partes 11a, 11b (que está realizado y dispuesto como el expansor del rayo mostrado en la figura 1). En la trayectoria del rayo después del expansor del rayo 11a, 11b, está dispuesto ahora en primer lugar el biprisma 4 (cuya superficie 4a opuesta al ángulo obtuso - aquí no mostrada - está dirigida hacia el láser). En la trayectoria del rayo después del biprisma 4 sigue la primera parte 3a del elemento de focalización, que está realizada como lente cilíndrica. La lente cilíndrica 3a focaliza

(mostrado de forma similar a la figura 1a) la radiación láser en una primera dirección espacial (esta indicación de la primera dirección espacial se refiere aquí a la radiación láser después de la reflexión en el espejo de desviación del rayo 8 - véase más abajo -, de modo que aquí también, como en el caso mostrado en la figura 1a, referido al plano de la muestra, se realiza una focalización en la dirección y, de modo que esto corresponde antes de la desviación del rayo por el elemento 8 a una focalización en la dirección z).

En la trayectoria del rayo después de la primera parte 3a del elemento de focalización 3 sigue la unidad de movimiento 7, que aquí está realizada como espejo 8 individual, basculante o giratorio, cuyo eje de basculación o giro está situado en la segunda dirección espacial (dirección x). En la trayectoria del rayo después de la unidad de movimiento sigue la segunda parte del elemento de focalización 3, que está realizado aquí como objetivo F-Theta. Este objetivo 3b tiene un tamaño suficiente y una disposición tal que el espejo giratorio 8 dirige el rayo láser a través de una gran zona angular sobre la cara trasera del objetivo 3b más alejada de la muestra P y que el objetivo 3b a través de toda la región angular barrida así por el espejo 8 se ocupa siempre de que el rayo láser sea focalizado en el volumen de muestra sobre la muestra P allí dispuesta o sobre su superficie a ser estructurada (independientemente del recorrido del rayo láser entre el láser y la muestra P que depende de la posición angular instantánea del espejo).

Por tanto, el elemento de focalización está formado aquí por dos partes 3a, 3b, de modo que la unidad de movimiento 7 se encuentra entre las dos partes (visto en la trayectoria del rayo). La segunda parte 3b o el objetivo F-Theta (que puede estar realizado como objetivo F-Theta cilíndrico, telecéntrico o cilíndrico-telecéntrico) dispuesto por el lado de salida del rayo de la unidad de movimiento 7 mantiene así el foco del rayo láser sobre toda la zona que puede ser barrida (campo de barrido) en uno y el mismo plano, concretamente la superficie de la muestra P.

Si el objetivo F-Theta 3b es cilíndrico o cilíndrico-telecéntrico, entonces con un ajuste adecuado puede también asumir la focalización de la radiación láser en la primera dirección espacial. La lente cilíndrica 3a puede entonces ser omitida. (Un objetivo F-Theta mantiene el foco del rayo láser en todo el campo de exploración en un plano. Por tanto, estos objetivos son denominados también óptica de campo plano. También un objetivo F-theta telecéntrico mantiene el foco del rayo láser en todo el campo de exploración en un plano. Además mantiene el rayo láser perpendicular al campo de exploración).

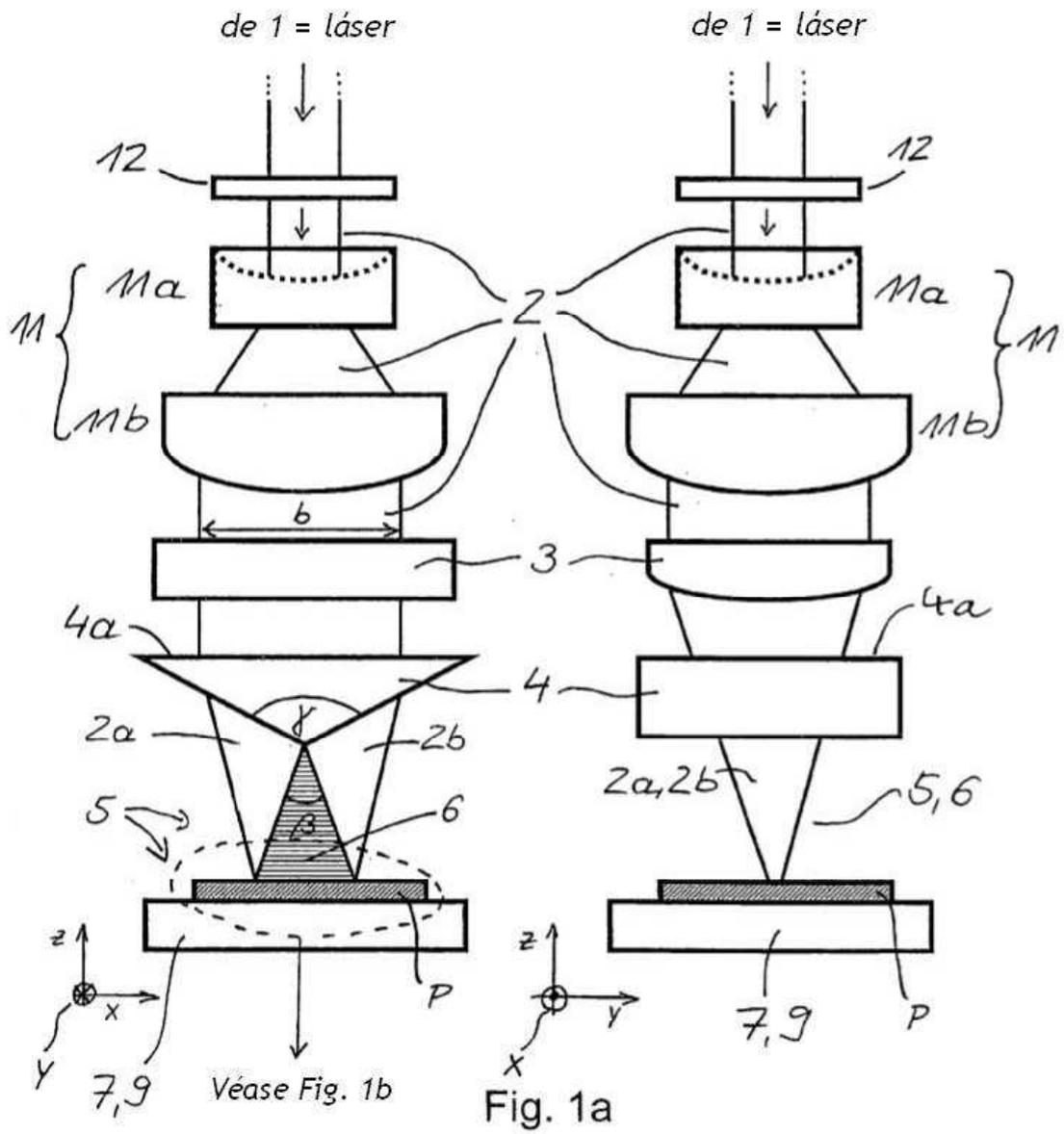
Para ello puede que sea necesario controlar con precisión el ancho del rayo en el lado incidente del objetivo 3b (en la dirección y), para que el objetivo 3b no se estropee.

Sería ventajoso en la estructura mostrada en la figura 10 como alternativa, también el uso de lentes unidimensionales (lente cóncava 11a y lente cóncava 11b), es decir, el uso de lentes que influyan en la trayectoria del rayo (expansión del haz) únicamente en la segunda dirección espacial x (no mostrado aquí).

REIVINDICACIONES

- 5 1. Dispositivo para estructuración por interferencia de una muestra plana (P) con un láser (1), un volumen de muestra (5), en el que puede ser colocada o está colocada la muestra plana (P) en la zona de interferencia (6), una
10 unidad de movimiento (7), con la que el/los haz/haces de rayos de la radiación láser (2) puede(n) ser movido(s), preferiblemente puede(n) ser movido(s) en la primera, la segunda o la primera y la segunda dirección espacial (x, y), y/o con la que puede ser movida una/la muestra (P) en el volumen de muestra (5), preferiblemente pueda ser movida en la primera, la segunda o en la primera y la segunda dirección espacial (x, y), y **caracterizado por** un
15 elemento de focalización (3, 3a, 3b) de una o varias partes dispuesto en la trayectoria del rayo del láser, con el que la radiación láser (2) puede ser focalizada en una primera dirección espacial (y), pero sin ser focalizada en la dirección perpendicular a esta primera dirección espacial (y), y un primer prisma (4) dispuesto en la trayectoria del rayo del láser, en particular un biprisma, con el que la radiación láser (2) puede ser dirigida en una segunda dirección espacial (x), preferiblemente ortogonal a la primera dirección espacial (x), con dos haces de rayos (2a, 2b) sobre el volumen de muestra (5), de manera que los dos haces de rayos (2a, 2b) interfieren dentro del volumen de muestra (5) en una zona de interferencia (6).
- 20 2. Dispositivo según la reivindicación anterior, **caracterizado por que** el elemento de focalización (3, 3a, 3b) es una lente cilíndrica, una lente cilíndrica (3a) con un objetivo F-Theta (3b) dispuesto detrás de esta en la trayectoria del rayo o un objetivo F-Theta cilíndrico y/o por que el elemento de focalización (3, 3a, 3b) está realizado de tal manera que con él además también el foco de la radiación láser puede ser mantenido a través de una zona, preferiblemente toda ella, que puede ser barrida por medio de la unidad de movimiento (7) exactamente en un plano dentro del volumen de muestra (5), preferiblemente sobre una superficie de una/la muestra colocada en el volumen de muestra (5).
- 25 3. Dispositivo según una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado por que** la unidad de movimiento (7) comprende al menos un, preferiblemente varios, elemento(s) de desviación del rayo (8, 8a, 8b) móvil(es) dispuesto(s) en la trayectoria del rayo del láser (1), en particular giratorio(s) y/o basculante(s), en particular espejo(s) y/o prisma(s) especular(es), con el /los que el/los haz/haces de rayos de la radiación láser (2) puede(n) ser movido(s) en la primera, la segunda o la primera y la segunda dirección espacial (x, y).
- 30 4. Dispositivo según la reivindicación anterior, **caracterizado por que** el/los elemento(s) de desviación del rayo pueden ser posicionados y/o son graduables angularmente por medio de un accionamiento de galvanómetro y/o por que el/ los elemento(s) de desviación de rayo está(n) dispuesto(s) en la trayectoria del rayo después del láser (1), antes del elemento de focalización (3) y antes del primer prisma (4) y puede(n) ser controlado(s), de modo que el ángulo de incidencia y/o el lugar de incidencia del haz de rayos (2) que incide sobre el elemento óptico que sigue al/a los elemento(s) de desviación del rayo en la trayectoria del rayo, en particular el elemento de focalización (3) o el primer prisma (4), sea/sean variables.
- 35 5. Dispositivo según una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado por que** la unidad de movimiento (7) presenta una unidad de desplazamiento móvil (9), en particular una mesa desplazable, una mesa giratoria y/o una unidad de transporte de rodillo a rodillo, con la que la muestra (P) puede ser desplazada en el volumen de muestra (5) en el plano (x, y) de la primera y la segunda dirección espacial por traslación y/o por rotación, en el que la unidad de desplazamiento (9) está realizada preferiblemente, de tal manera que con ella la muestra (P) en el volumen de muestra (5) pueda ser desplazada además también perpendicularmente a este plano (x, y).
- 40 6. Dispositivo según una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado por que** la unidad de movimiento (7) presenta una unidad de rotación giratoria (10), en particular un rodillo cilíndrico, con la que la muestra (P) en el volumen de muestra (5) puede ser girada alrededor de un eje (A) situado preferiblemente en el plano (x, y) de la primera y la segunda dirección espacial.
- 45 7. Dispositivo según una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado por que** el elemento de focalización (3) está dispuesto en la trayectoria del rayo del láser antes del primer prisma (4) o por que el elemento de focalización (3) está dispuesto en la trayectoria del rayo del láser después del primer prisma (4).
- 50 8. Dispositivo según una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado por que**, en la trayectoria del rayo del láser (1), en particular antes del elemento de focalización (3), antes del primer prisma (4) y/o antes del/de los elemento(s) de desviación del rayo (8, 8a 8b), está dispuesto un expansor de rayo (11), que preferiblemente - visto en la dirección del rayo - comprende una lente cóncava (11a) seguida de una lente convexa (11b) o dos lentes convexas, con el que preferiblemente la extensión de un/el/los haz/haces de rayos de la radiación láser puede(n) ser expandido(s) únicamente en la segunda dirección espacial (x), pero no en la primera dirección espacial (y), preferiblemente puede(n) ser expandido(s) en paralelo, y/o por que en la trayectoria del rayo del láser (1), en particular antes del elemento de focalización (3), antes del primer prisma (4) y eventualmente también antes del expansor de rayo (11) y/o antes del/de los elemento(s) de desviación del rayo (8, 8a, 8b) está dispuesto un colimador (12).
- 55 60 65

- 5 9. Dispositivo según una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado por que** en la trayectoria del rayo del láser (1) antes del primer prisma (4) está dispuesto otro segundo prisma (13), en particular un segundo biprisma, con el que la radiación láser (2) puede ser dividida en dos haces de rayos (2a', 2b'), de tal modo que estos haces de rayos estén separados entre sí, al menos parcialmente, preferiblemente por completo, antes de que incidan en el primer prisma (4) y puedan ser llevados por este último al volumen de muestra (5) para la interferencia.
- 10 10. Dispositivo según la reivindicación anterior, **caracterizado por que** en la trayectoria del rayo del láser, el segundo prisma (13) está dispuesto antes del primer prisma (4), y este antes del elemento de focalización (3) o por que en la trayectoria del rayo del láser, el segundo prisma (13) está dispuesto antes del elemento de focalización (3) y este antes del primer prisma (4).
- 15 11. Dispositivo según una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado por que** el láser (1)
- es un láser pulsado, en particular un láser de fibra pulsado,
 - genera impulsos con una duración de pulso mayor o igual a 0,01 ns y/o menor o igual a 1000 ns, preferiblemente mayor o igual a 6 ns y/o menor o igual a 100 ns,
 - genera impulsos con una frecuencia de repetición de impulsos mayor o igual a 1 Hz y/o menor o igual a 100 MHz, preferiblemente mayor o igual a 1 kHz y/o menor o igual a 50 kHz,
- 20 y/o
- presenta una longitud de onda en la región IR, en la región UV o en la región visible, preferiblemente desde 355 nm hasta 1064 nm.
- 25 12. Dispositivo según una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado por que** en la trayectoria del rayo del láser (1) y, preferiblemente antes del elemento de focalización (3) y del primer prisma (4), está(n) dispuesto(s) uno o varios de los siguientes elementos:
- 30
- un multiplicador de frecuencia,
 - un modulador acústico-óptico,
 - un obturador mecánico,
 - un homogeneizador de rayos realizado para generar un perfil de intensidad esencialmente constante a través de la sección transversal del rayo
- 35 y/o
- un polarizador.
- 40 13. Sistema para la estructuración por interferencia, en particular un robot industrial para la estructuración por interferencia, con una base (14) dispuesta fija en el sistema de coordenadas universal, en particular un bastidor base del robot industrial, y una unidad cinemática (15) unida a la base (14), movable con uno de sus extremos (16) con respecto a la base (14), en particular la cadena cinemática del robot industrial, en el que en el extremo móvil (16) de la unidad cinemática está fijado un dispositivo según una de las reivindicaciones anteriores.
- 45 14. Método para la estructuración por interferencia de una muestra plana (P), **caracterizado por que** la estructuración de la muestra (P) se realiza mediante el uso de un dispositivo o de un sistema según una de las reivindicaciones anteriores.



de Fig. 1a

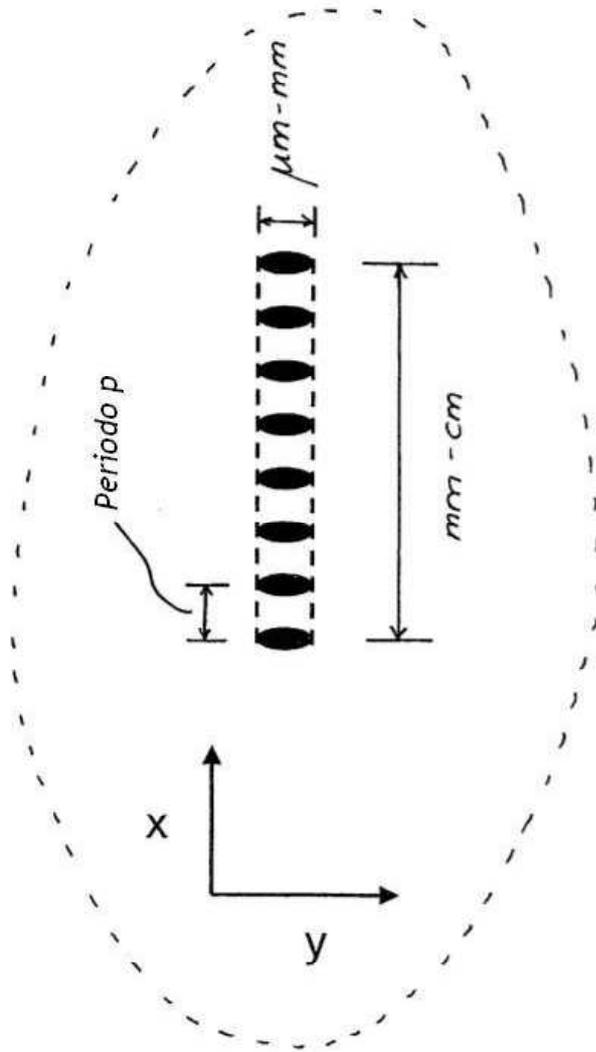
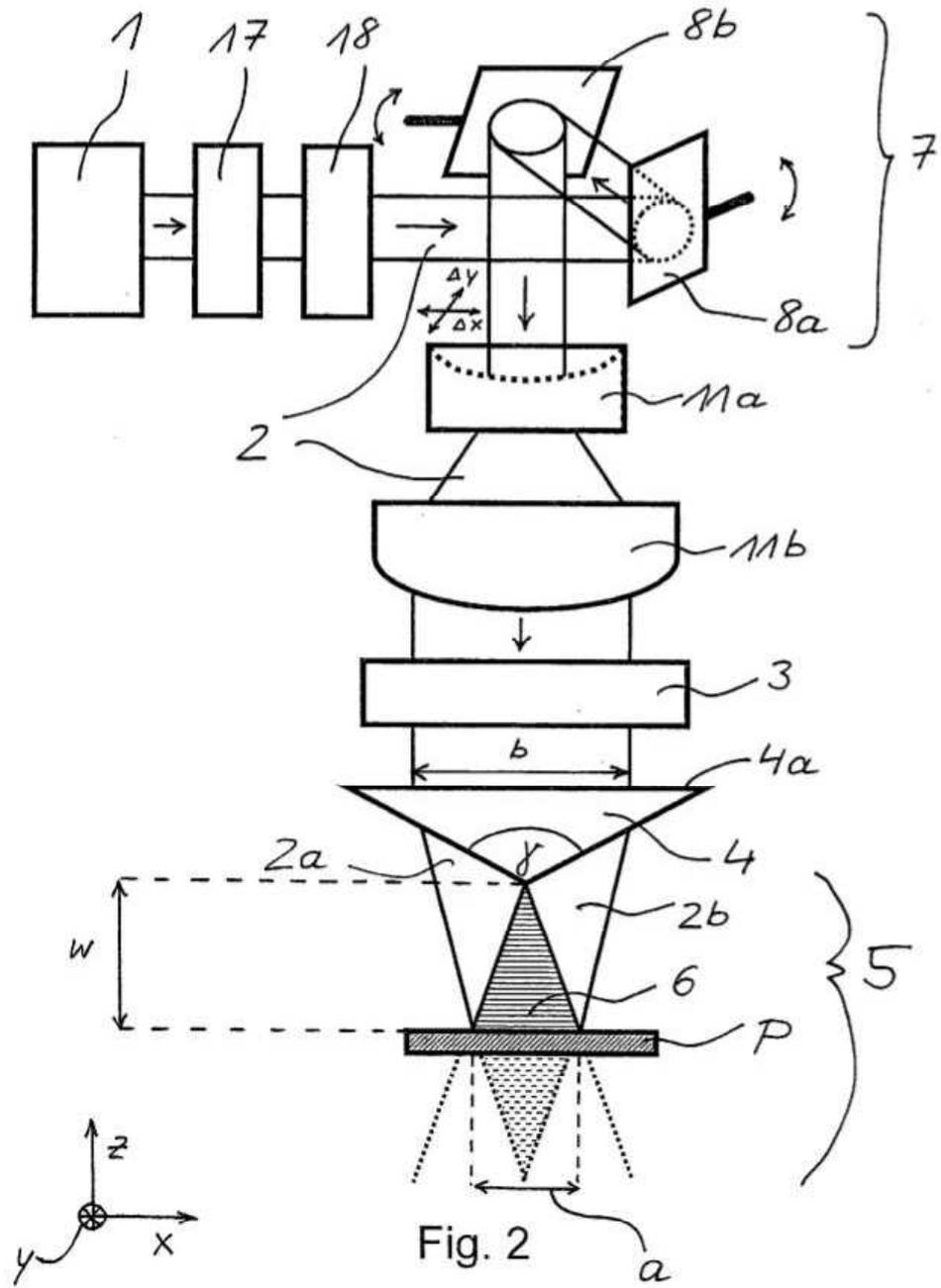


Fig. 1b

$$p = \frac{\lambda}{2 \sin(\beta/2)}$$



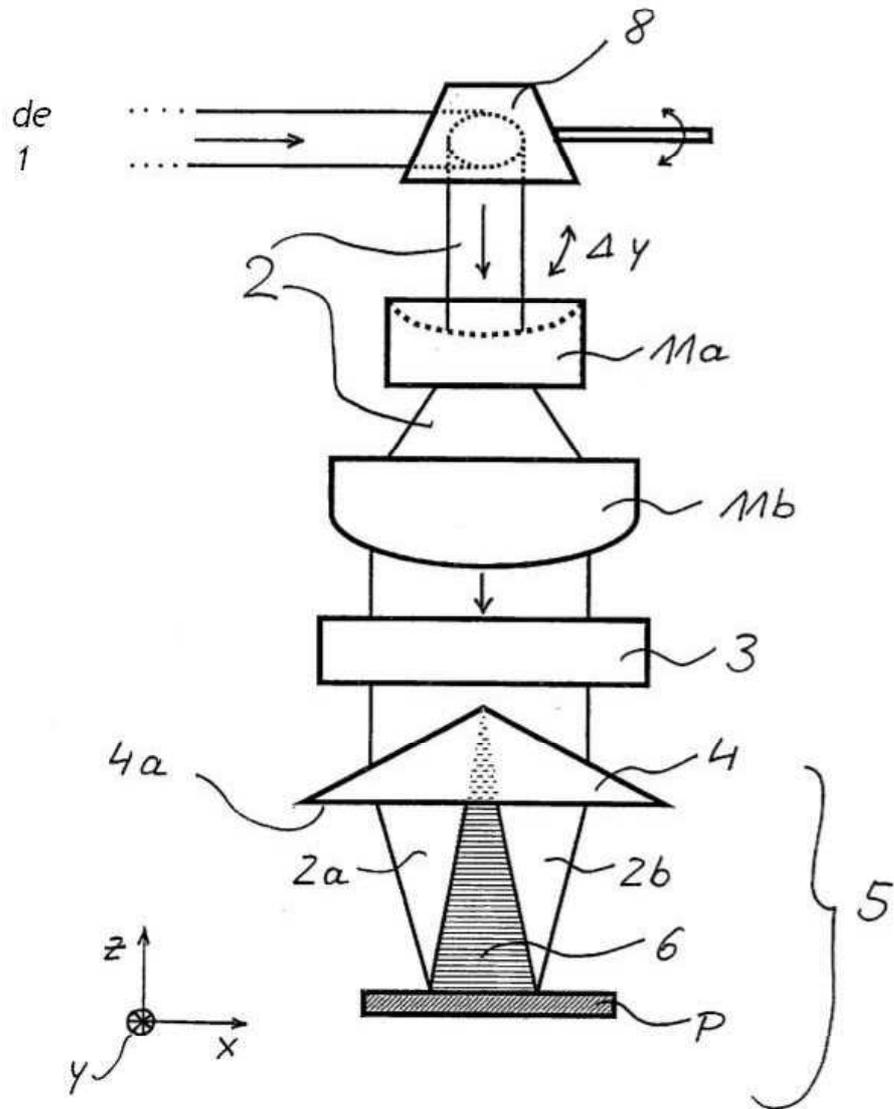


Fig. 3

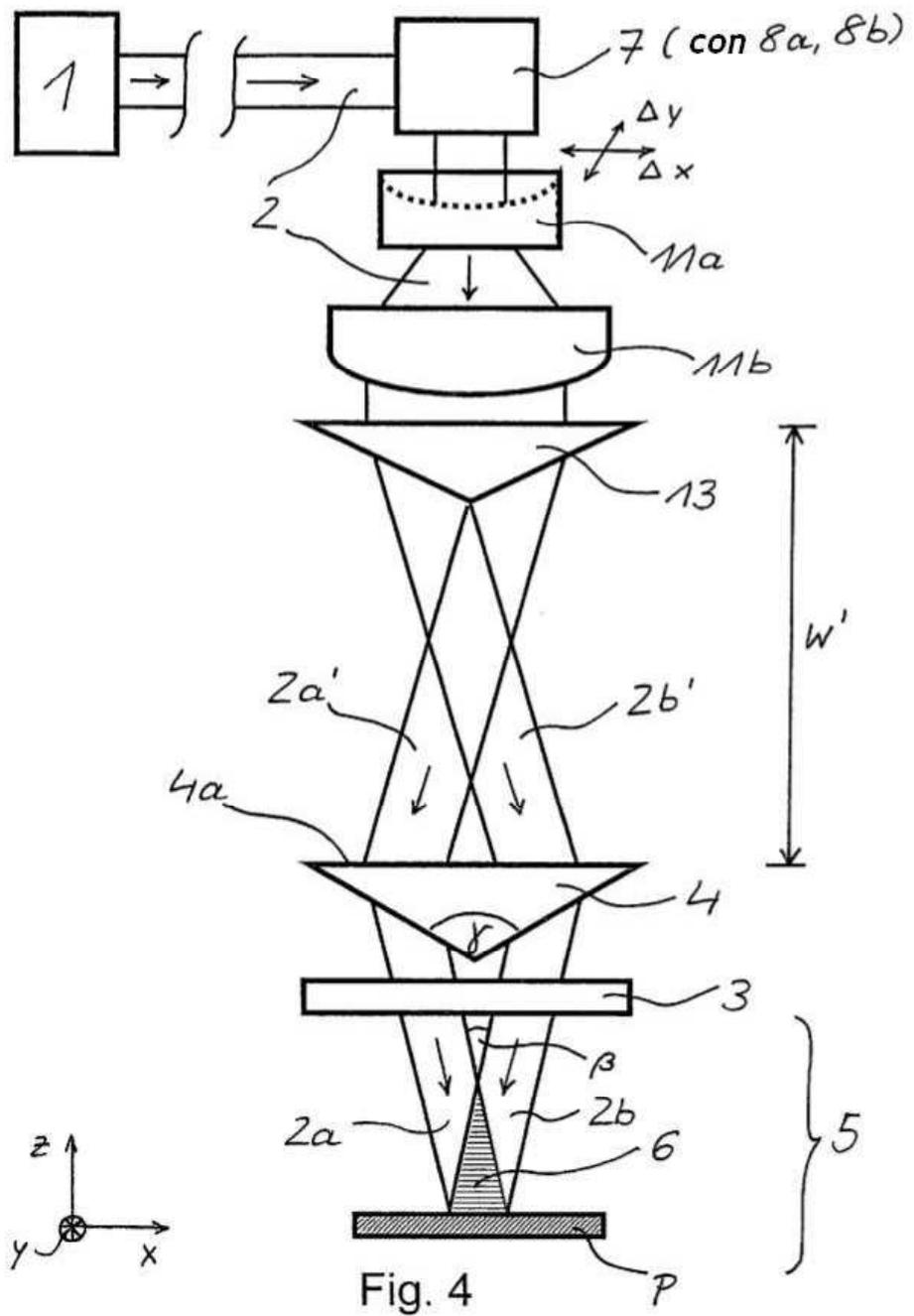


Fig. 4

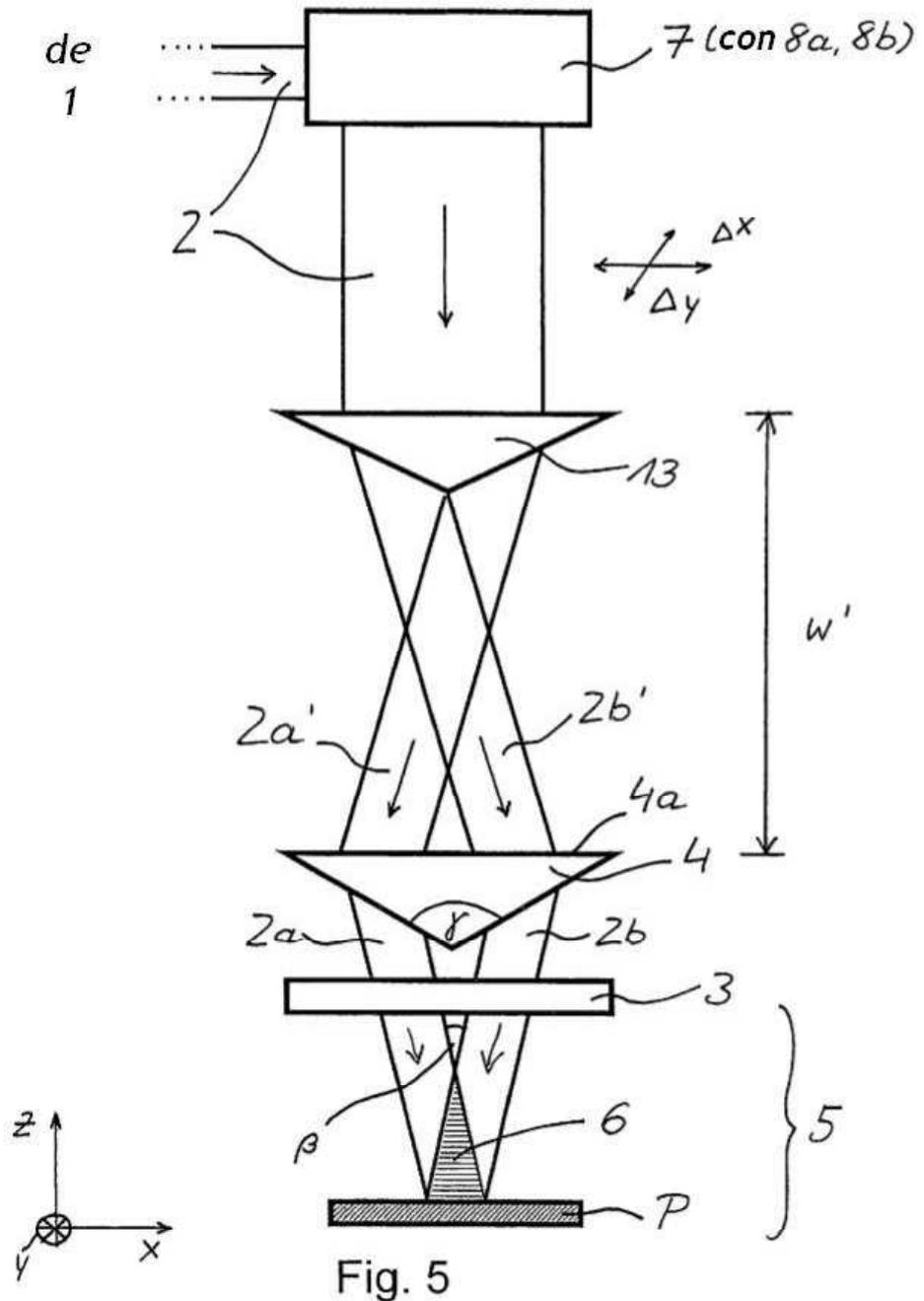


Fig. 5

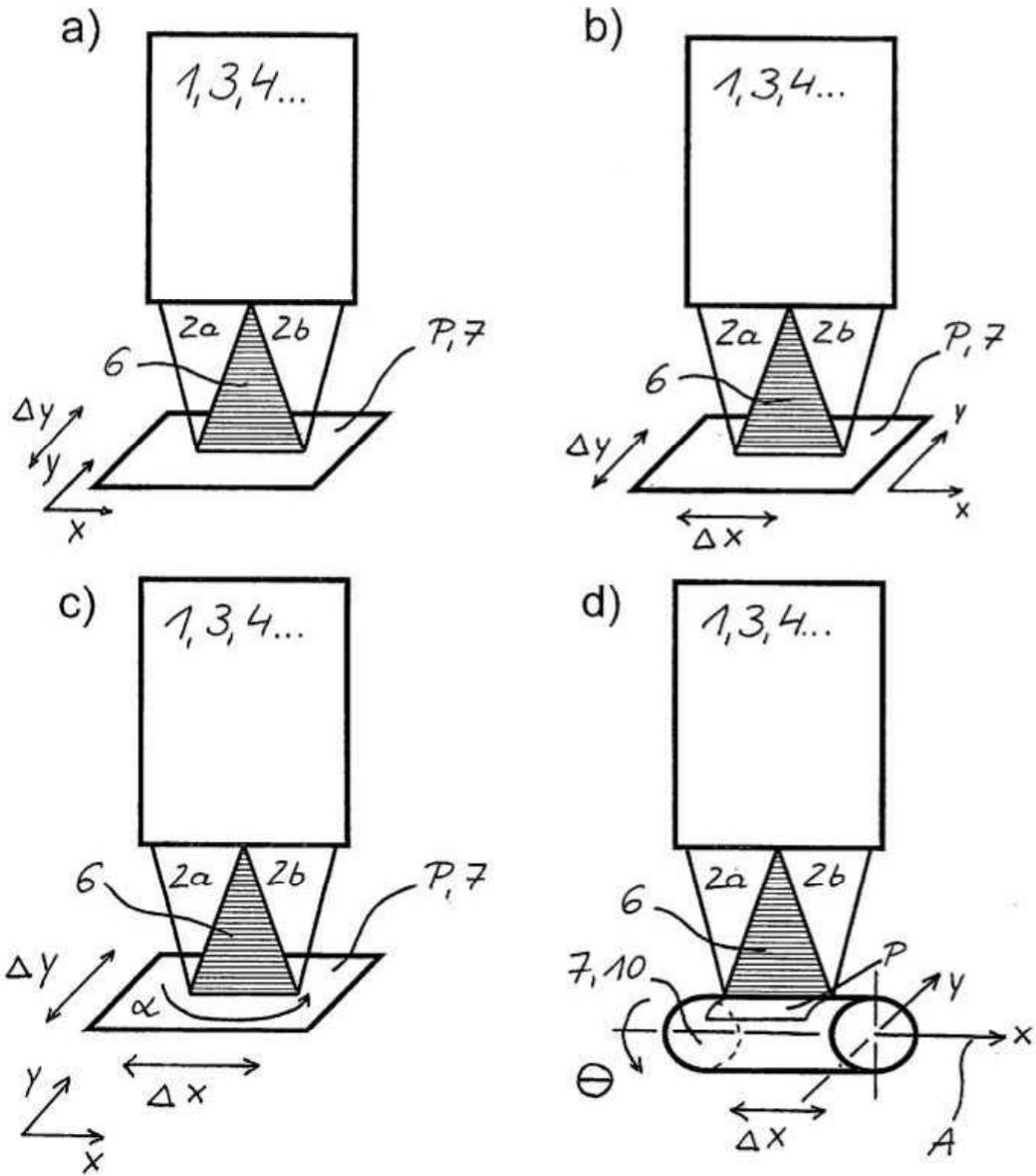
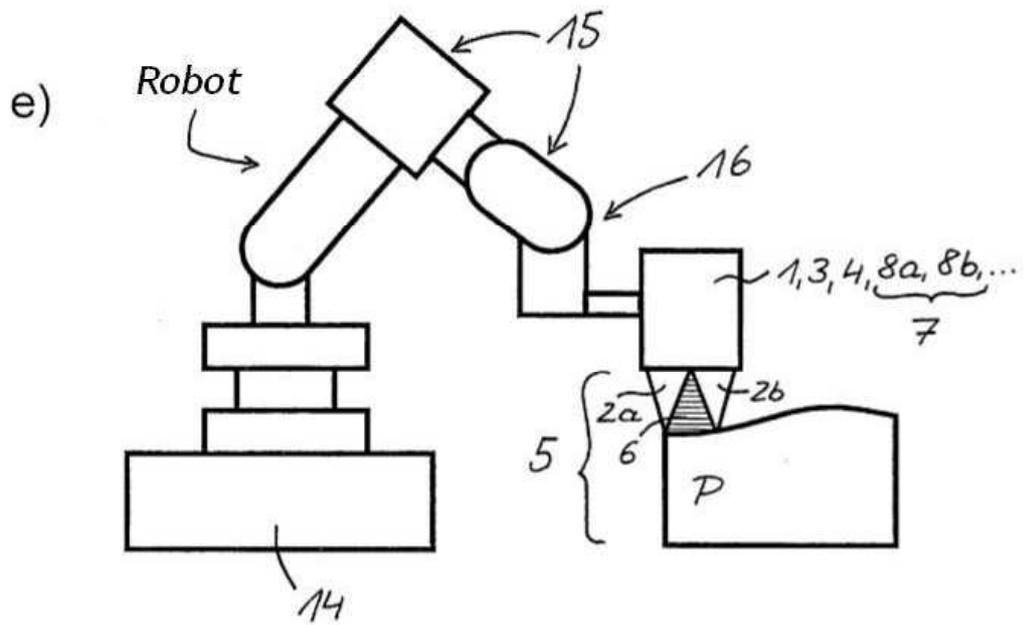


Fig. 6a



f) De rodillo a rodillo

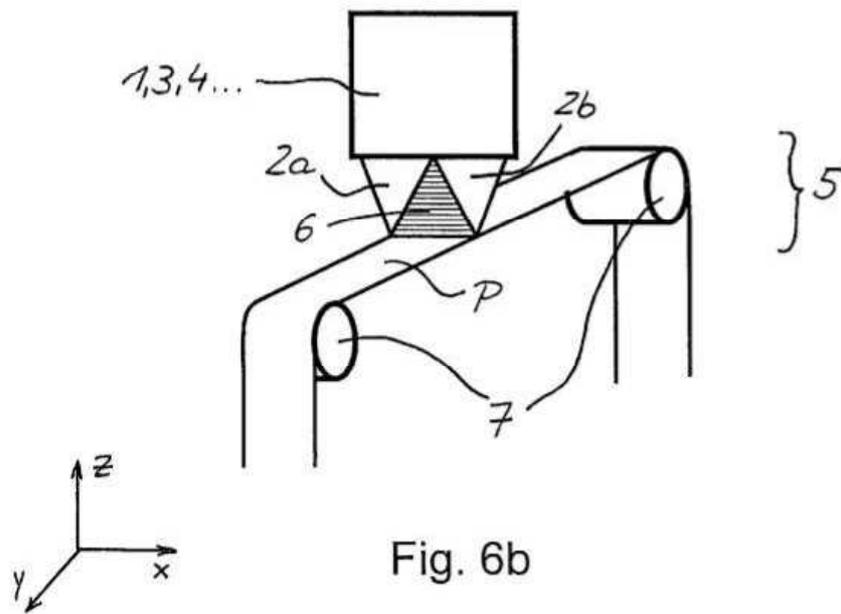
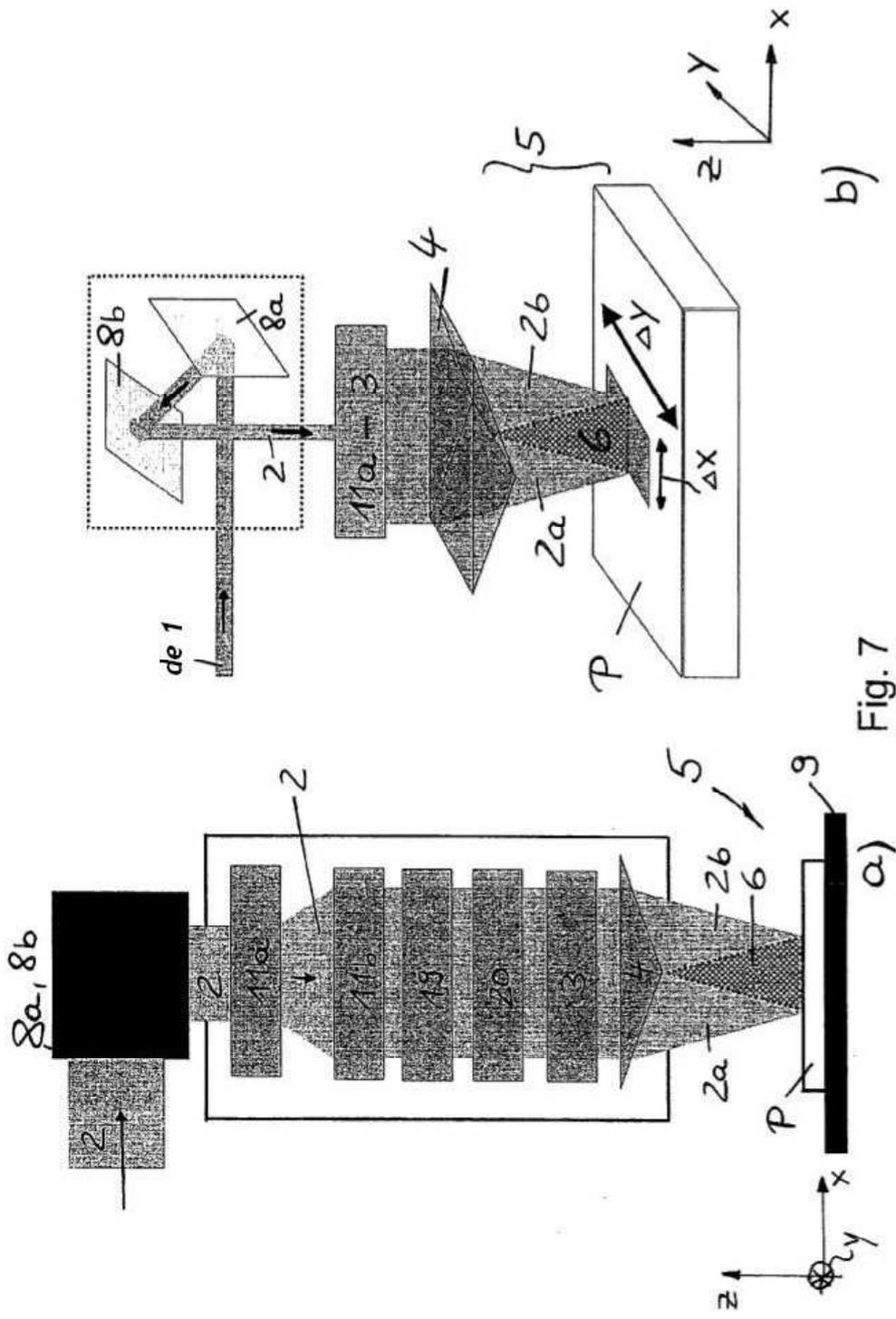


Fig. 6b



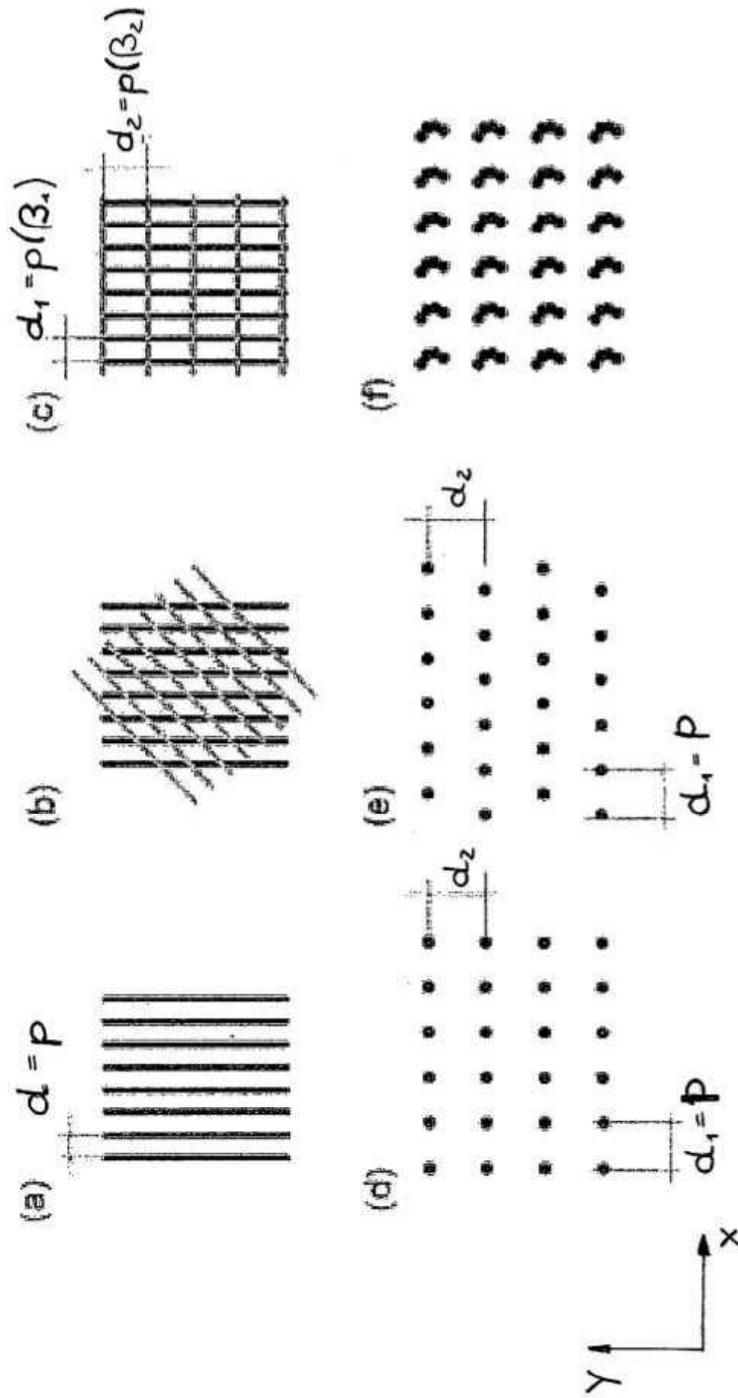


Fig. 8a

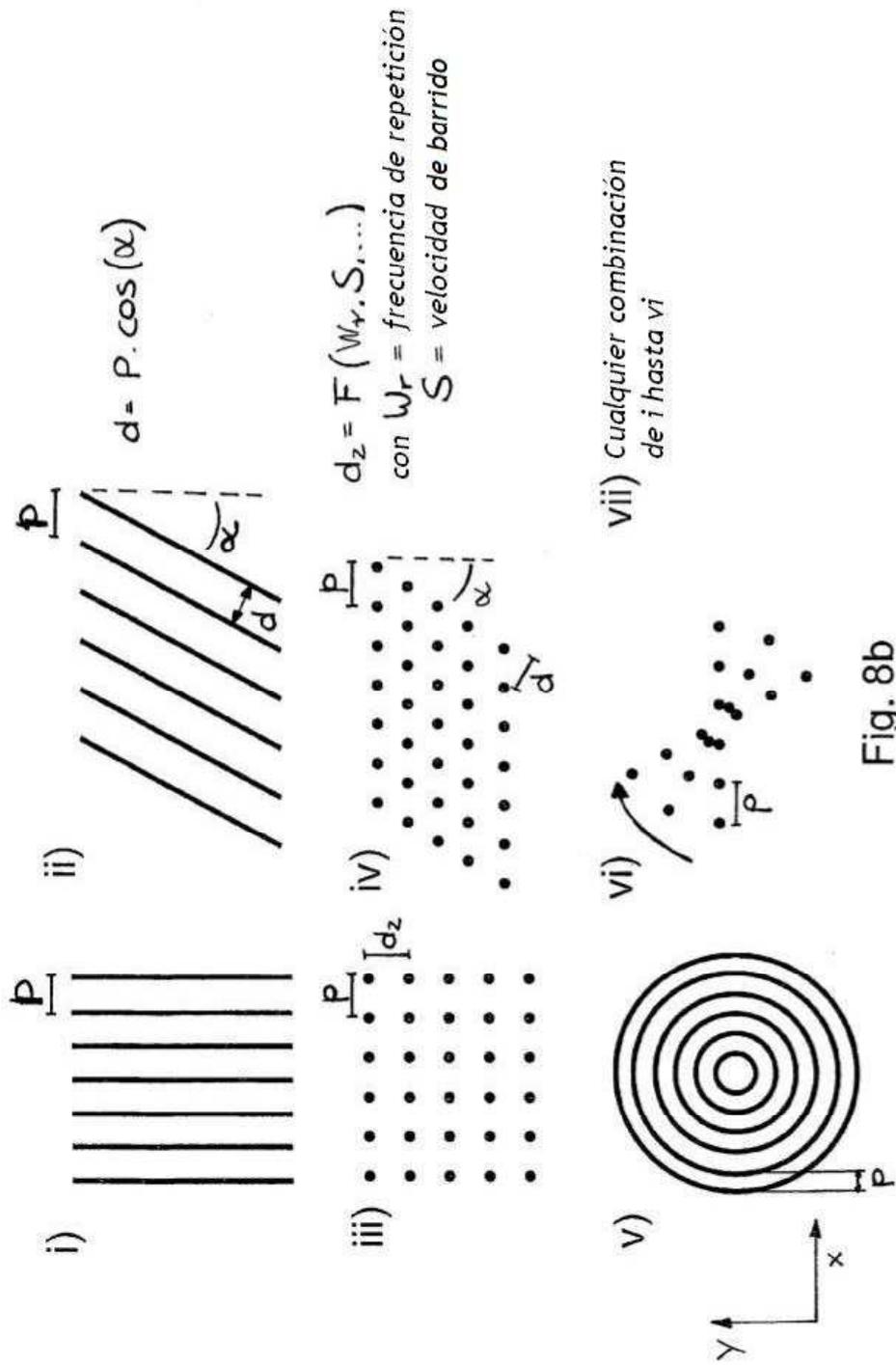


Fig. 8b

Tasa de repetición de impulsos [KHz]	Energía de impulso [mJ]	Magnitud de focalización		Fluencia [J/cm ²]	Velocidad de barrido [m/s] a 0 % de solapamiento	Velocidad máxima de introducción del patrón [m ² /min] a 0 % de solapamiento
		Longitud en x [mm]	Longitud en y [μm]			
10	50	13	400	1,0	4	3,12
20	10	10	100	1,0	2	1,2
50	2	5	40	1,0	2	1,7
10	100	250	40	1,0	0.4	6

Fig. 9

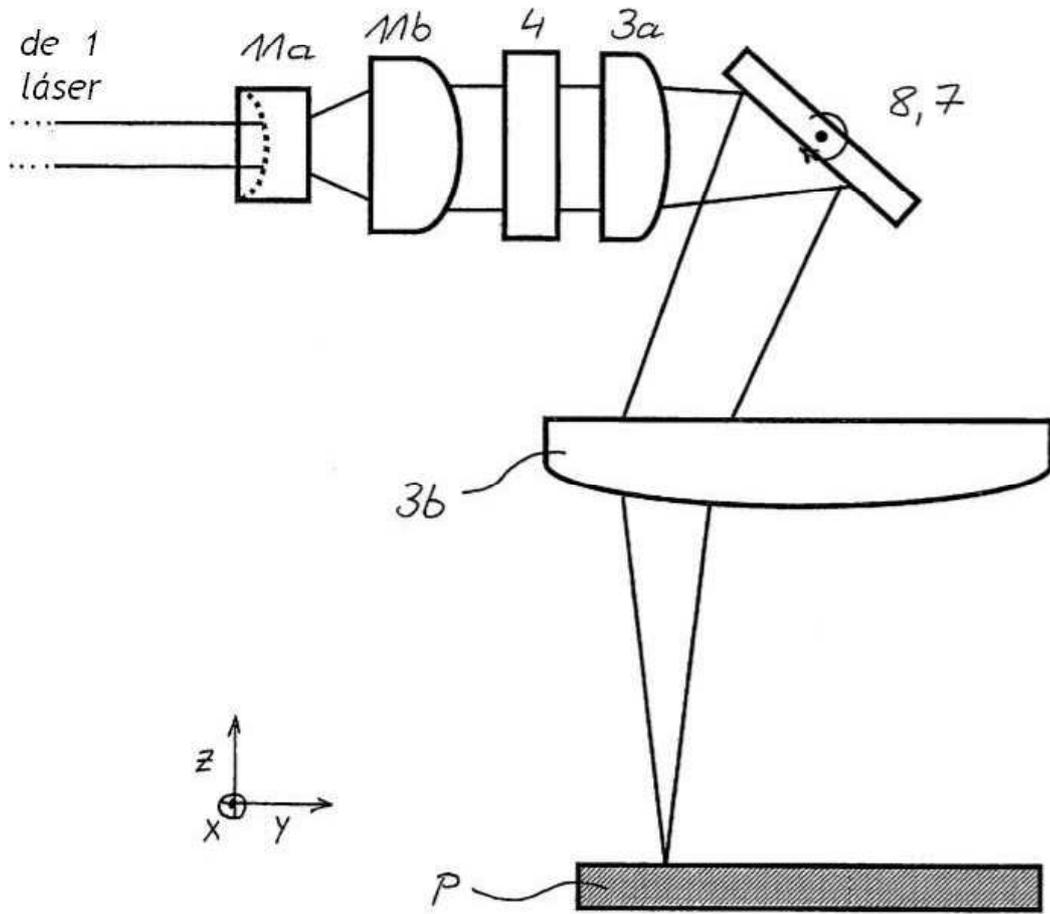


Fig. 10