

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 986 289**

51 Int. Cl.:

G01B (2012.01)

G01B 9/0209 (2012.01)

B23K 26/03 (2006.01)

B23K 26/046 (2014.01)

B23K 26/06 (2014.01)

B23K 26/04 (2014.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **24.06.2022** E 22181092 (2)

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **01.05.2024** EP 4296612

54 Título: **Aparato de procesamiento láser con módulo de medición y diferencia ajustable de longitud de camino**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
11.11.2024

73 Titular/es:

**RAYLASE GMBH (100.0%)
Argelsrieder Feld 2 + 4
82234 Wessling, DE**

72 Inventor/es:

GHADIMI, REZA

74 Agente/Representante:

ARAUJO EDO, Mario

ES 2 986 289 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

Aparato de procesamiento láser con módulo de medición y diferencia ajustable de longitud de camino

5 Campo de la invención

La presente invención se refiere al campo de la óptica aplica y el procesamiento láser. En particular, la invención se refiere a un módulo de medición y a un sistema de interferometría utilizable con un módulo de procesamiento láser como subsistema óptico ajustable para dirigir un haz de medición a un dispositivo de detección configurado para medir
10 distancias, en particular distancias entre el módulo de procesamiento láser o la unidad de detección del mismo, y la superficie de una pieza de trabajo que se está procesando con láser, dentro de un amplio abanico de distancias medibles. La invención se refiere, además, a un módulo de procesamiento láser que comprende dicho módulo de medición.

15 Antecedentes de la invención

La utilización de láser actualmente es ubicua en la industria del procesamiento de materiales. Son ejemplos pertinentes, la fabricación aditiva (FA), la impresión 3D, la soldadura, el corte, el marcado o el grabado de diferentes materiales, tales como metales o polímeros.

En las técnicas de procesamiento láser, se utiliza un haz láser de trabajo para escanear la superficie del material que va a procesarse con láser, utilizando un sistema de direccionado, por ejemplo, un par XY de espejos giratorios accionados por motores galvanométricos correspondientes. Los espejos giratorios pueden utilizarse para dirigir el haz láser de trabajo a una posición diana deseada de la superficie que debe procesarse con láser de manera que se
20 procese con láser el material de una manera controlada.

En dichas técnicas, generalmente se desea mantener el enfoque del haz láser de trabajo sobre la superficie que va a procesarse con láser con el fin de garantizar una calidad material elevada del producto final. Las variaciones incontroladas en la posición de enfoque pueden estar relacionadas, por ejemplo, con variaciones incontroladas en la cantidad de energía láser transmitida al material en una posición diana dada, lo que puede conducir a irregularidades no deseadas en el producto final, por ejemplo, durante la soldadura, la impresión 3D o el corte de un trozo de material.

Las soluciones conocidas para mantener el enfoque de un módulo de procesamiento láser sobre la superficie diana, es decir, en el campo de trabajo correspondiente, son, por ejemplo, la utilización de lentes F-theta, tal como en el documento KR 2012 0114651 A, y la utilización de un sistema de enfoque con longitud focal variable, por ejemplo mediante una lente móvil integrada en el sistema y configurada para cambiar de posición del enfoque del haz láser de trabajo, tal como, por ejemplo, en el documento US 2014/0263221 A1.

La utilización de lentes F-theta permite enfocar un haz colimado de trabajo en el campo de trabajo (la superficie diana) sin utilizar componentes ópticos móviles. Sin embargo, ello entraña un abanico muy limitado de posibles distancias de trabajo entre el sistema de direccionado y el campo de trabajo, y por lo tanto, un abanico correspondientemente limitado de posibles tamaños de campo de trabajo. Además, las lentes F-theta con componentes ópticos caros.

La utilización de sistemas de enfoque ajustables para la configuración continua de la posición focal del haz de trabajo supera algunas de las desventajas de las lentes F-theta. Un sistema de enfoque ajustable puede alcanzar un abanico más amplio de distancias de trabajo disponibles y, por lo tanto, de posibles tamaños de campo de trabajo, en comparación con una lente F-theta.

Sin embargo, la utilización de sistemas de enfoque ajustable también plantea retos técnicos. Debido a que el sistema de direccionado funciona escaneando el haz láser de trabajo sobre la superficie que se procesa con láser, la distancia óptica real entre el sistema de direccionado y la superficie puede variar. Por ejemplo, dependiendo de la configuración del sistema de direccionado, en particular dependiendo del ángulo de direccionado, dicha distancia óptica real puede variar en el caso de una superficie plana que deba procesarse con láser. De acuerdo con ello, la configuración prefijada del sistema de enfoque ajustable puede almacenarse previamente para la configuración correspondiente del sistema de direccionado, por ejemplo, en un formato de tabla de consulta, con el fin de ajustar dinámicamente la longitud focal del sistema de enfoque a medida que el sistema de direccionado escanea la superficie de trabajo plana.

A modo de ejemplo adicional, incluso para una distancia de trabajo dada entre el sistema de direccionado y la superficie de trabajo, y para un ángulo de direccionado dado, la distancia real entre el sistema de direccionado y un punto en la superficie de trabajo puede estar sujeta a variabilidad incontrolada, por ejemplo debido a irregularidades de la superficie de trabajo mismo, tal como una orientación incorrecta de la superficie de trabajo o variaciones incontroladas en el perfil de alturas de la misma.

Por lo tanto, con el fin de mantener un seguimiento de dichas irregularidades y reaccionar correspondientemente mediante el control del sistema de enfoque ajustable para compensarlas, puede ser importante implementar una detección continua de la distancia. De esta manera, algunos sistemas reguladores de la longitud del camino óptico

incluyen sistemas de detección configurados para medir distancias en tiempo real, por ejemplo basándose en triangulación, en la medición de la distancia de tiempo de vuelo o en la medición de la distancia cromática-confocal. Sin embargo, dichas técnicas de medición de la distancia no son generalmente adecuadas para integrarse en una configuración en el eje (coaxial), en particular para distancias de trabajo grandes.

Sin embargo, el sistema de detección puede estar sujeto a las mismas fuentes de variabilidad y error a las que está sujeto el haz láser de trabajo mismo, lo que puede causar una determinación inexacta y no fiable de la distancia y, en consecuencia, una corrección inexacta de la posición de enfoque del láser de trabajo y, por lo tanto, una mala calidad del láser.

Una posibilidad conocida para implementar un sistema adaptable de medición de la distancia se basa en la utilización de tomografía coherente óptica (TCO). Un ejemplo de la utilización de la TCO para la detección de la distancia en un sistema regulador de la longitud de camino óptico con un sistema ajustable de enfoque se describe en los documentos DE 10 2013 008 269 A y US 2016/059347 A1. Se integra un tomógrafo de coherencia óptica en un aparato de procesamiento láser y se configura para realizar mediciones de distancia basadas en la interferencia entre la luz láser que forma el haz de medición que se propaga a lo largo de la trayectoria del brazo de objeto y que se refleja en la superficie de trabajo, y un haz de referencia obtenido de la misma luz láser y que se propaga a lo largo de la trayectoria del brazo de referencia. El sistema de enfoque ajustable fija una posición focal tanto para el haz de trabajo como para el haz de medición. El sistema incluye un sistema regulador de la longitud del camino óptico configurado para adaptar la longitud variable del camino óptico de la trayectoria del brazo de referencia según la variación de la posición focal, bajo el control de una unidad de control, de manera que la diferencia de longitud de camino óptico entre la trayectoria del brazo de objeto, que depende de la posición focal, y el camino del brazo de referencia, que es ajustable, se mantenga dentro de una longitud de coherencia del tomógrafo de coherencia óptica después de cada variación de la posición local. Sin embargo, la unidad de control no está configurada para controlar en tiempo real la longitud de camino óptico de la trayectoria del brazo de objeto.

Sin embargo, los dispositivos de TCO son equipos ópticos muy caros y su integración en un sistema regulador de la longitud de camino óptico existente puede ser muy compleja. En particular, el dispositivo de TCO descrito en el documento DE 10 2013 008 269 A plantea algunos requisitos al sistema de procesamiento láser en el que debería incorporarse, por ejemplo con respecto a la configuración y características del sistema de enfoque, que también debería ser utilizable por la luz de medición en la va a basarse el dispositivo de TCO para sus mediciones. En general, este sistema adolece de la limitación técnica de que cualesquiera elementos ópticos que interactúen tanto con el haz de medición como con el haz de procesamiento láser deben configurarse correspondientemente, por ejemplo con respecto a sus recubrimientos, para que sean compatibles con dos intervalos de longitud de onda diferentes, lo que habitualmente lleva a condiciones de funcionamiento no óptimas. Además, el dispositivo de TCO descrito en el documento DE 10 2013 008 269 A presenta un intervalo limitado de adaptabilidad a longitudes de camino óptico. Solo las variaciones de longitud de camino óptico de entre aproximadamente 20 mm y aproximadamente 200 mm pueden compensarse según dicho documento.

Además, los documentos DE 10 2013 008 269 A y US 2016/059347 A1 no describen ninguna carcasa dedicada para el módulo de medición del aparato de procesamiento laser con puertos de conexión óptica formados a través de la carcasa.

El documento DE 2019 001858 B3 describe un dispositivo interferométrico de medición óptica con un variador de longitud de camino óptico para ajustar la longitud de camino óptico del brazo de referencia y del brazo de objeto. El cabezal de direccionado del dispositivo solo desvía el haz de medición, pero no el haz de trabajo.

La utilización de un interferométrico como detector de la distancia para un dispositivo de procesamiento láser de una manera no adaptativa también es conocida a partir del documento US 2020/0038954 A1.

El documento US 2015/0230705 A1 describe un aparato oftalmológico interferométrico con un brazo de objeto ajustable y un brazo de referencia fijo.

Se conocen otros dispositivos ópticos a partir de los documentos US 2006/165350 A1 y US 2017/276471 A1. De esta manera, hay espacio para la mejora técnica en el campo de la medición de distancias en los sistemas de procesamiento láser.

Resumen de la invención

La presente invención tiene como objetivo superar las ventajas anteriormente mencionadas de la técnica anterior, en particular mediante la provisión de un módulo de medición que permite que un sistema de detección de un aparato de procesamiento láser implemente una determinación continua exacta y fiable de la distancia, capaz de considerar y compensar las diferentes fuentes de variabilidad de la distancia. Este problema se resuelve mediante un aparato de procesamiento láser según la reivindicación 1, que comprende dicho módulo de medición. En las reivindicaciones dependientes adjuntas se definen realizaciones preferentes de la invención.

Un primer aspecto de la invención se refiere a un módulo de medición en un aparato de procesamiento láser. El aparato de procesamiento láser comprende un módulo de procesamiento láser para el procesamiento láser de una pieza de trabajo en un campo de trabajo, por ejemplo un módulo de FA, y el módulo de medición. El módulo de medición es óptica y mecánicamente acoplable al módulo de procesamiento láser, aunque ambos módulos pueden ser estructuralmente independientes. El módulo de procesamiento láser corresponde a una parte del aparato de procesamiento láser en el que se genera/introduce luz láser y está configurado ópticamente para el procesamiento con láser de la pieza de trabajo en el campo de trabajo, mientras que el módulo de medición corresponde a una parte del aparato de procesamiento láser en el que se genera/introduce y da salida a luz láser y que está configurado ópticamente para realizar mediciones de distancia basadas en el láser, que puede ser utilizado por el aparato de procesamiento láser, por ejemplo para enfocar correctamente un haz de trabajo en el campo de trabajo y/o en la pieza de trabajo. Esta configuración modular puede permitir la integración del módulo de medición según la invención en diferentes módulos de procesamiento láser, y viceversa.

El módulo de medición comprende una carcasa. La carcasa comprende un puerto de conexión, posiblemente un único puerto de conexión. El puerto de conexión está configurado para acoplar ópticamente el módulo de distancia a un dispositivo de detección de distancias. En particular, el puerto de conexión está configurado para recibir y dar salida a luz láser desde y hacia el dispositivo de detección de distancias, que puede incluir o ser acoplable ópticamente a un sensor de interferencia, de manera que el módulo de medición y el dispositivo de detección de distancias puede implementar un interferométrico, en particular para realizar una detección interferométrica de la distancia.

La luz láser que se introduce y/o a la que se da salida hacia el dispositivo de detección de distancias puede ser luz láser adecuada para realizar una medición interferométrica, en particular luz láser coherente, preferentemente luz de baja coherencia de banda ancha. La luz láser introducida desde, y/o a la que se da salida hacia, el dispositivo de detección de distancias puede ser separable, o estar separada, en dos caminos o brazos ópticos paralelos para la realización de una medición interferométrica. La separación de la luz láser en dos caminos ópticos separados puede realizarse fuera del módulo de medición o dentro del módulo de medición.

Por ejemplo, en el caso de que la separación de la luz láser en dos caminos ópticos separados se lleve a cabo fuera del módulo de medición, el puerto de conexión puede estar configurado para introducir y dar salida a la luz láser mediante dos caminos ópticos correspondientes, por ejemplo en la forma de dos haces de luz separados. En el caso de que la separación de la luz láser en dos caminos ópticos separados se lleve a cabo en el módulo de medición, el puerto de conexión puede estar configurado para introducir la luz láser mediante un único camino óptico, por ejemplo en la forma de un solo haz de luz, y el módulo de medición puede comprender un divisor óptico para dividir la luz láser en dos caminos ópticos separados (brazos del interferométrico). En este último caso, el puerto de conexión puede estar configurado para dar salida a la luz láser mediante dos caminos ópticos correspondientes, por ejemplo en la forma de dos haces de luz separados.

La carcasa del módulo de medición comprende, además, un puerto de acoplamiento para acoplar ópticamente el módulo de medición a un módulo de procesamiento láser del aparato de procesamiento láser. En el caso de que el módulo de medición se acople ópticamente al módulo de procesamiento láser mediante el puerto de acoplamiento, puede transmitirse luz láser desde el módulo de medición hasta introducirlo en el módulo de procesamiento láser, y viceversa, a través del puerto de acoplamiento, y a través de un puerto de acoplamiento adicional correspondiente del módulo de procesamiento láser. El módulo de medición puede ser mecánicamente conectable al módulo de procesamiento láser para acoplar ópticamente el módulo de medición al módulo de procesamiento láser.

En el módulo de medición de la invención, hay definidos un primer camino óptico y un segundo camino óptico, por lo menos en parte dentro de la carcasa, para la luz láser recibida y a la que se da salida por el puerto de conexión. El primer camino óptico y el segundo camino óptico pueden estar completamente contenidos dentro de la carcasa. El primer camino óptico y el segundo camino óptico pueden ser independientes y estar separados uno de otro y en particular pueden no solaparse o pueden presentar un solapamiento parcial en partes de los mismos entre el puerto de conexión y un divisor óptico en el que la luz láser recibida a través del puerto de conexión puede dividirse en primer camino óptico y segundo camino óptico.

El primer camino óptico está definido desde el puerto de conexión hasta un reflector óptico de referencia del módulo de medición. El reflector óptico de referencia refleja la luz láser de vuelta al puerto de conexión. El reflector óptico de referencia puede comprender cualquier componente óptico reflectante, en particular un espejo o un retrorreflectante, preferentemente un espejo fijo (inmóvil) o un retrorreflectante fijo (inmóvil). La luz láser recibida a través del puerto de conexión se dirige por el primer camino óptico hasta el reflector óptico de referencia y es reflejada por el reflector óptico de referencia de vuelta al puerto de conexión a través del primer camino óptico. El reflector óptico de referencia está dispuesto a una distancia óptica predefinida respecto al puerto de conexión para que actúe como una referencia para la medición interferométrica, en donde la luz láser recibida y a la que se da salida a través del puerto de conexión y reflejada por el reflector óptico de referencia cubre la distancia óptica predefinida entre el puerto de conexión y el reflector óptico de referencia y de vuelta en un tiempo predefinido correspondiente, posiblemente mediante una o más fibras ópticas configuradas correspondientemente. La distancia óptica predefinida anteriormente mencionada puede estar determinada por una fibra o unas fibras ópticas a través de las que puede propagarse la luz láser entre el puerto

de conexión y el reflector óptico de referencia, por ejemplo por una longitud y/o un índice de refracción de la fibra o fibras ópticas.

De esta manera, el primer camino óptico puede corresponder a lo que se conoce como "brazo de referencia" de un dispositivo óptico interferométrico, en particular de un dispositivo interferométrico que puede estar formado por el módulo de medición y el dispositivo de detección de distancias anteriormente mencionado que puede acoplarse ópticamente al mismo.

El segundo camino óptico está definido entre el puerto de conexión y el puerto de acoplamiento y de vuelta al puerto de conexión. La luz láser recibida a través del puerto de conexión es dirigida a través del segundo camino óptico hasta el puerto de acoplamiento, desde el cual es acoplada a un módulo de procesamiento láser al que el módulo de medición está acoplado ópticamente, y posiblemente mecánicamente. La luz láser recibida en el módulo de procesamiento láser desde el módulo de medición a través del puerto de acoplamiento es dirigida por el módulo de procesamiento láser al campo de trabajo y/o a una pieza de trabajo que se está procesando con el láser, en donde se refleja de vuelta. A continuación, el módulo de procesamiento láser dirige la luz reflejada de vuelta al módulo de medición a través del puerto de acoplamiento. Seguidamente, la luz reflejada es guiada a lo largo del segundo camino óptico de vuelta al puerto de conexión para la transmisión a un dispositivo de detección de distancias que puede acoplarse ópticamente con el puerto de conexión. El dispositivo de detección de distancias seguidamente puede llevar a cabo una medición interferométrica para determinar la distancia basándose en la luz láser recibida del primer camino óptico y del segundo camino óptico.

El segundo camino óptico puede corresponder a lo que se conoce como "brazo de objeto" de un dispositivo óptico interferométrico, en particular del dispositivo interferométrico que puede estar formado por el módulo de medición y el dispositivo de detección de distancias anteriormente mencionado que puede estar ópticamente acoplado al mismo.

El módulo de medición puede considerarse un sistema intermedio regulador de la longitud de camino óptico dispuesto entre un dispositivo de detección de distancias y un módulo de procesamiento láser, en el que el dispositivo de detección de distancias puede estar acoplado ópticamente con el sistema de procesamiento láser mediante el módulo de medición. La luz láser recibida del dispositivo de detección de distancias y/o de una fuente de luz láser correspondiente puede entrar en el módulo de medición y ser transmitida a través del segundo camino óptico y el puerto de acoplamiento hasta el módulo de procesamiento láser, donde puede ser dirigida al campo de trabajo del mismo y/o a una pieza de trabajo que se está procesando con el láser. La luz láser reflejada por el campo de trabajo y/o por la pieza de trabajo seguidamente puede ser dirigida por el módulo de procesamiento láser y el módulo de medición de vuelta al dispositivo de detección de distancias a través del puerto de acoplamiento y el segundo camino óptico, para ser utilizada por el dispositivo de detección de distancias mediante la realización de una medición de la distancia basada en una interferencia de la misma con la luz láser reflejada por el reflector óptico de referencia.

El módulo de medición de la invención comprende, además, un sistema regulador de la longitud del camino óptico configurado para ajustar una diferencia de longitud de camino óptico entre la longitud de camino óptico del primer camino óptico y la longitud de camino óptico del segundo camino óptico.

El primer camino óptico presenta una primera longitud de camino óptico y el segundo camino óptico presenta una segunda longitud de camino óptico, que puede ser diferente de la primera longitud de camino óptico. La diferencia de longitud de camino óptico corresponde a la diferencia entre la primera longitud de camino óptico y la segunda longitud de camino óptico. La monitorización de las variaciones en esta diferencia de longitud de camino óptico puede determinar las distancias basándose en una medición interferométrica utilizando la interferencia entre la luz láser recibida del primer camino óptico y la luz láser recibida del segundo camino óptico, que puede haberse generado originalmente de manera coherente con la luz láser recibida del primer camino óptico. La manera en que puede llevarse a cabo dicha determinación interferométrica de la distancia es bien conocida por el experto en la materia y, por lo tanto, no se explica en detalle en el presente documento.

Una "longitud de camino óptico" puede entenderse en el presente documento como referida al producto de la unidad de longitud por el índice de refracción local integrado para un camino óptico dado. En términos matemáticos, la longitud de camino óptico (LCO) puede expresarse para un medio de índice de refracción constante n para un camino con la longitud geométrica s , como:

$$LCO = n \cdot s.$$

Para un medio con un índice de refracción variable a lo largo de la longitud del camino, la LCO puede expresarse matemáticamente como la integral en el camino:

$$LCO = \int n(s) \cdot ds.$$

El sistema regulador de la longitud del camino óptico está configurado para configurar controlablemente la diferencia de longitud de camino óptico, en particular mediante la modificación controlable de la longitud de camino óptico del

segundo camino óptico, correspondiente al denominado "brazo de objeto". Ello puede implicar configurar y/o modificar controlablemente una longitud de camino geométrico (ver "s" y "d" en las ecuaciones anteriores) del segundo camino óptico y/o el índice de refracción de por lo menos una parte del segundo camino óptico (ver "n" y "n(s)" en las ecuaciones anteriores). Con este fin, el sistema regulador de longitud de camino óptico se integra en el segundo camino óptico, que puede actuar como el brazo de objeto de un dispositivo interferométrico formado por el módulo de medición y por el dispositivo de detección de distancias anteriormente mencionado que puede acoplarse ópticamente al puerto de conexión. En otras palabras, el segundo camino óptico puede extenderse parcialmente a lo largo/dentro del sistema regulador de la longitud del camino óptico. Por ejemplo, el sistema regulador de la longitud del camino óptico puede comprender una pluralidad de elementos reflectantes y/o refractantes, tales como espejos, lentes y/o prismas, en los que la luz láser transmitida por el segundo camino óptico puede ser reflejada y/o refractada.

El sistema regulador de la longitud del camino óptico puede comprender una unidad de control del movimiento configurada específicamente para regular controlablemente la diferencia de longitud de camino óptico mediante la operación de uno o más elementos ópticos, tales como espejos, lentes y/o prismas, del sistema regulador de la longitud del camino óptico, en particular mediante el movimiento de cualquiera de dichos elementos o una combinación de los mismos manual o automáticamente. Por ejemplo, la unidad de control del movimiento del sistema regulador de la longitud del camino óptico, puede estar programado para asociar a cada valor específico de la diferencia de longitud de camino óptico, una configuración correspondiente del elemento o elementos ópticos del sistema regulador de la longitud del camino óptico. Por ejemplo, para implementar un ajuste de la diferencia de longitud de camino óptico de 400 mm, la unidad de control del sistema regulador de la longitud del camino óptico puede mover el elemento o elementos ópticos del mismo de manera que modifique la longitud de camino óptico del segundo camino óptico en 400 mm correspondiente. Ello puede comprender, en particular, el desplazamiento del elemento o elementos ópticos, en particular a lo largo de un camino de cambio predefinido correspondiente, por ejemplo manual o automáticamente.

Las variaciones anteriormente mencionadas en la diferencia de longitud del camino óptico, que pueden en particular ser debidas a variaciones en una variación de la longitud del camino óptico de un haz de medición transmitido a lo largo del segundo camino óptico que se utiliza para llevar a cabo detección de distancias, pueden ser intencionadas o no intencionadas. Un ejemplo de variaciones intencionadas de la diferencia de longitudes de camino óptico puede corresponder, en particular cuando se procesa con láser una pieza de trabajo en un campo de trabajo plano, a un cambio en la configuración de la unidad de direccionado del módulo de procesamiento láser utilizado para escanear el haz de medición, en particular del ángulo de direccionado. En el caso de que la distancia más corta entre el centro óptico de la unidad de direccionado que se está utilizando para escanear el haz de medición por el campo de trabajo, en particular el centro óptico de un espejo móvil (p. ej., un espejo X o Y) del mismo más próximo al campo de trabajo, y el campo de trabajo sea una distancia D, la variación ΔD de la distancia D para un cambio en el ángulo de direccionado α corresponde, según una relación trigonométrica simple, a:

$$\Delta D = \left(\frac{1 - \cos \alpha}{\cos \alpha} \right) D.$$

En consecuencia, en el caso de que el ángulo de direccionado se modifique en un ángulo α , el camino óptico del haz de medición variará en $2\Delta D$. El sistema regulador de la longitud de camino óptico puede utilizarse para compensar esta variación mediante la modificación correspondiente de la longitud del segundo camino óptico en $2\Delta D$, correspondientemente.

Ejemplos de variaciones no intencionadas en la diferencia de la longitud de camino óptico pueden corresponder a irregularidades superficiales de la pieza de trabajo que se esté procesando, por ejemplo de una capa más superior de la pieza de trabajo que se está procesando con láser, o a un campo de trabajo que esté inclinando incidentalmente con respecto a un plano horizontal originalmente deseado.

Un ejemplo adicional de variaciones deseadas en la diferencia de longitud de camino óptico puede corresponder a variaciones deseadas en la "distancia de trabajo", es decir, en la distancia mínima (p. ej., vertical) entre el módulo de procesamiento láser, en particular de una carcasa del mismo, y el campo de trabajo correspondiente. Dichas variaciones pueden tener lugar, por ejemplo, cuando la distancia entre el módulo de procesamiento láser y el campo de trabajo subyacente se modifique intencionadamente, por ejemplo para variar el tamaño del campo de trabajo. En particular, la distancia de trabajo puede incrementarse para operar con un campo de trabajo más grande, y la distancia de trabajo puede reducirse para operar con un campo de trabajo más pequeño.

Según la invención, el primer camino óptico presenta una longitud de camino óptico predefinida fija, que puede venir dado por la posición del reflector óptico de referencia y/o de las propiedades de una o más fibras ópticas por las que puede propagarse la luz láser entre el puerto de conexión y el reflector óptico de referencia, en particular por las longitudes y/o índices de refracción de la misma. El segundo camino óptico presenta una longitud de camino óptico variable, que es ajustable por el sistema regulador de la longitud de camino óptico. Por lo tanto, el sistema regulador de la longitud del camino óptico está configurado para ajustar la longitud de camino óptico del segundo camino óptico. De esta manera, la diferencia de longitud de camino óptico puede ser ajustada por el sistema regulador de longitud de

camino óptico mediante el ajuste correspondiente de la longitud de camino óptico del segundo camino óptico, mientras que la longitud de camino óptico del primer camino óptico se mantiene constante.

De esta manera, el módulo de medición según la invención permite, gracias al sistema regulador de longitud de camino óptico del mismo, utilizar el segundo camino óptico para transmitir un haz de luz láser (un haz de medición) utilizado para llevar a cabo mediciones interferométricas de distancias con un dispositivo de detección de distancias correspondiente y reaccionar a variaciones de la longitud de camino óptico del segundo camino óptico (correspondiente al brazo de objeto del dispositivo interferométrico) mediante el reajuste correspondiente de la longitud de camino óptico del segundo camino óptico de manera que se compensen dichas variaciones. Como resultado, la diferencia global de longitud del camino óptico predeterminada originalmente para el sistema regulador de la longitud del camino óptico puede mantenerse sustancialmente constante incluso después de ocurrir dichas variaciones.

El dispositivo de detección de distancias anteriormente mencionado puede presentar un intervalo de medición (también denominado "profundidad de medición") dentro del cual el dispositivo de detección de distancias puede determinar distancias con una precisión predeterminada. Por ejemplo, el dispositivo de detección de distancias puede estar configurado para detectar una diferencia de longitud de camino óptico igual a cero cuando un objeto esté dispuesto en una posición P, y puede ser capaz de determinar con exactitud variaciones en la posición del objeto dentro de un intervalo de detección $P \pm \Delta$, en el que Δ puede ser, por ejemplo, de entre 4 mm y 15 mm. La capacidad de compensar variaciones en la diferencia de la longitud de camino óptico, en particular para compensar las "variaciones intencionadas" anteriormente descritas, podría permitir utilizar el dispositivo de detección de distancias anteriormente mencionado, al acoplarlo ópticamente al módulo de medición de la invención mediante el puerto de conexión, para llevar a cabo mediciones interferométricas de distancia con la precisión predeterminada a pesar de las variaciones en la longitud de camino óptico del haz de medición. En ausencia del regulador de la longitud del camino óptico, dichas variaciones podrían causar que la posición del objeto se saliese del intervalo de detección, de manera que ya no estaría garantizada la precisión predeterminada. Según la invención, el módulo de medición permite compensar dichas variaciones mediante una variación correspondiente del segundo camino óptico, de manera que si, por ejemplo, un objeto se mueve de una posición P1 a una posición P2, con $P2 - P1 > \Delta$, el segundo camino óptico puede variarse correspondientemente en una distancia $P2 - P1$ y, como resultado, la posición del objeto se encontrará dentro del intervalo de detección $P \pm \Delta$ y podrá detectarse con exactitud dentro de dicho intervalo. En otras palabras, cuando la diferencia de longitud de camino óptico se modifica debido a las variaciones anteriormente indicadas, en particular intencionadamente, puede utilizarse el sistema regulador de la longitud del camino óptico para restituir el valor previo de la diferencia de longitud de camino óptico y pueden continuar realizándose mediciones de la distancia de manera exacta y fiable.

Ventajosamente, el módulo de medición según la invención permite compensar las variaciones en la diferencia global de longitud del camino óptico de un haz de medición utilizado para determinar distancias, posiblemente de forma automática, preferentemente de forma continua (es decir, no necesariamente de manera escalonada), sin necesidad de manipular el interior del módulo de medición y posiblemente sin necesidad de ajustar las configuraciones focales del haz de medición transmitido a través del módulo de medición, en particular a través del segundo camino óptico del mismo.

En comparación con soluciones anteriores conocidas de la técnica anterior, por ejemplo a partir del documento DE 10 2013 008 269 A, que se basan en el ajuste de la longitud del camino óptico del brazo de referencia de un dispositivo interferométrico, la presente invención permite combinar dos funciones en el sistema regulador de la longitud del camino óptico cuando varía la diferencia de longitud del camino óptico, 1) garantizando que la detección de la distancia basada en la interferencia se mantiene totalmente operativa y no pierde exactitud, y 2) garantizando que el haz de medición se mantiene enfocado. Cuando el segundo camino óptico experimenta una variación, por ejemplo por cualquiera de los motivos anteriormente discutidos, un ajuste correspondiente implementado por el sistema regulador de la longitud del camino óptico puede garantizar simultáneamente que la diferencia inicial de longitud del camino óptico en el que puede basarse el dispositivo interferométrico de detección de la distancia permanezca esencialmente constante, garantizando además simultáneamente, sin necesidad de modificar la configuración de un sistema de enfoque, que la posición focal del haz de medición también se mantenga sustancialmente sin cambios.

Por ejemplo, en el caso de que deba modificarse la distancia de trabajo de un módulo de procesamiento láser al que esté acoplado ópticamente el módulo de medición de la invención, por ejemplo incrementarse en 700 mm, el módulo de medición de la invención permite tenerlo en cuenta mediante la operación correspondiente del sistema regulador de la longitud del camino óptico, por ejemplo mediante reducción del segundo camino óptico utilizado por el haz de medición en 700 mm. Como resultado, el dispositivo interferométrico de detección de la distancia conectado al módulo de medición puede continuar operando sin necesidad de ser reconfigurado y tampoco hay necesidad de reconfigurar la configuración de enfoque para el haz de medición. En contraste, en los sistemas como el sistema conocido a partir del documento DE 10 2013 008 269 A, resultaría necesario configurar la configuración de enfoque del sistema de enfoque correspondiente e implementar por separado el ajuste de la longitud del camino óptico del brazo de referencia.

La carcasa del módulo de medición puede encerrar por lo menos algunos de los restantes componentes del módulo de medición. El primer camino óptico y el segundo camino óptico están definidos dentro de la carcasa por lo menos en parte, posiblemente por completo dentro de la carcasa. El sistema regulador de la longitud de camino óptico puede

estar completamente encerrado en la carcasa. El puerto de conexión y el puerto de acoplamiento están formados a través de la carcasa. La carcasa puede ser estanca a los líquidos y/o estanca al polvo. Preferentemente, la carcasa puede proporcionar un grado de hermeticidad según la norma IP64. La carcasa puede comprender medios de unión para unir mecánicamente el módulo de medición al módulo de procesamiento láser, en particular de manera que el módulo de procesamiento láser y el módulo de medición estén acoplados ópticamente mediante el puerto de acoplamiento, tal como se explica posteriormente en mayor detalle.

Según realizaciones preferentes, el sistema regulador de la longitud de camino óptico puede estar configurado para variar la longitud del camino óptico del segundo camino óptico en una variación de la longitud del camino óptico comprendida en el intervalo de entre 20 μm y 1200 mm, preferentemente de entre 40 μm y 750 mm. Ello puede conseguirse mediante un intervalo de ajuste correspondiente del sistema regulador de la longitud de camino óptico, en particular de los elementos ópticos del mismo, tal como las parejas anteriormente descritas de elementos de reflexión y/o parejas de elementos de refracción. La diferencia de longitud del camino óptico es ajustable dentro de los intervalos anteriormente mencionados, permitiendo compensar las variaciones de la longitud del camino óptico del haz de medición en propagación por el segundo camino óptico del módulo de medición de la invención siempre que dichas variaciones estén comprendidas dentro de estos intervalos. En particular, las variaciones de la longitud del camino óptico de 200 mm o superiores, o de 250 mm o superiores, de 500 mm o superiores, o incluso de 700 mm o superiores, pueden ser compensadas por el sistema regulador de la longitud de camino óptico.

Los intervalos de variación de la longitud del camino óptico anteriormente mencionados incluyen valores de variación de la longitud del camino óptico relativamente pequeños, por ejemplo de entre 20 μm y 25 mm, preferentemente de entre 50 μm y 15 mm, valores de variación de la longitud del camino óptico intermedios, por ejemplo de entre 25 mm y 200 mm, y valores de variación de la longitud del camino óptico relativamente grandes, por ejemplo de entre 200 mm y 1200 mm, preferentemente de entre 250 mm y 700 mm. Los valores relativamente pequeños anteriormente indicados pueden corresponder, por ejemplo, a ajustes de la longitud del camino óptico del segundo camino óptico en respuesta a variaciones (intencionadas) de la distancia causadas por variaciones relativamente pequeñas en el ángulo de direccionado, por ejemplo de hasta 25°, del módulo de procesamiento láser al que el módulo de medición puede estar unido y/o a irregularidades (no intencionadas) en la superficie de trabajo, tales como protuberancias o una inclinación. Los valores relativamente intermedios anteriormente indicados pueden corresponder, por ejemplo, a ajustes de la longitud del camino óptico del segundo camino óptico en respuesta a variaciones (intencionadas) de la distancia causadas por variaciones relativamente grandes en el ángulo de direccionado, por ejemplo superiores a 25°, del módulo de procesamiento láser al que el módulo de medición puede estar unido. Los valores relativamente grandes anteriormente indicados pueden corresponder, por ejemplo, a ajustes de la longitud de camino óptico del segundo camino óptico en respuesta a variaciones (intencionadas) de la distancia causadas por variaciones en la distancia de trabajo del módulo de procesamiento láser al que el módulo de medición puede estar unido.

Según realizaciones preferentes, el módulo de medición puede comprender, además, un dispositivo focalizador dispuesto en el segundo camino óptico, en particular entre el puerto de conexión y el sistema regulador de la longitud de camino óptico. Este dispositivo focalizador puede estar configurado para enfocar la luz láser transmitida por el segundo camino óptico, correspondiente, por ejemplo, a un haz de medición utilizado para llevar a cabo una medición de la distancia. Este dispositivo focalizador puede presentar preferentemente una longitud focal fija. Por ejemplo, el dispositivo focalizador puede comprender una o más lentes estáticas y ninguna lente móvil. Sin embargo, en otras realizaciones, el dispositivo focalizador puede presentar una longitud focal variable. Por ejemplo, el dispositivo focalizador puede comprender una o más lentes estáticas y una o más lentes móviles, correspondientes motores galvanométricos para fijar la posición de cada una de las lentes móviles, y una unidad de control correspondiente para ajustar la longitud focal del dispositivo focalizador. El dispositivo focalizador puede entonces ser o comprender un dispositivo focalizador tal como el descrito en el documento WO 2018/078137 A1 del solicitante. El dispositivo focalizador del módulo de medición puede utilizarse para enfocar un haz de medición transmitido por el segundo camino óptico al campo de trabajo y/o a la pieza de trabajo que se esté procesando con láser por un módulo de procesamiento láser del aparato de procesamiento láser, cuando el módulo de medición está ópticamente acoplado, y posiblemente unido mecánicamente, al mismo. Tal como se ha mencionado anteriormente, lo anterior puede garantizar una relación señal-ruido óptica del haz de medición y, por lo tanto, una precisión de medición óptima, incluso para valores grandes del ángulo de direccionado. Además, el dispositivo focalizador puede permitir mantener constante el tamaño del punto del haz de medición para todos los valores el ángulo de direccionado, incluso sobre un campo de trabajo plano.

Según realizaciones preferentes, el sistema regulador de la longitud de camino óptico puede comprender una pluralidad de elementos de reflexión para reflejar la luz láser a lo largo del segundo camino óptico. La pluralidad de elementos de reflexión puede comprender, en particular, un número par de elementos de reflexión. Los elementos de reflexión pueden ser o comprender espejos. La pluralidad de elementos de reflexión puede comprender por lo menos dos elementos de reflexión móviles, en donde la longitud de camino óptico del segundo camino óptico, en particular una extensión o longitud de camino geométrico del mismo, puede ser ajustable, en particular ajustable de manera continua, mediante la configuración de una posición de los dos o más elementos de reflexión móviles. La expresión "de manera continua" puede referirse en el presente documento a la posibilidad de configurar la longitud de camino geométrico anteriormente mencionada del segundo camino óptico en cualquier valor arbitrario deseado dentro de un

intervalo continuo de valores. El elemento o elementos de reflexión móviles pueden estar configurados para moverse simultáneamente y/o en la misma dirección, es decir, para ser comóviles.

Preferentemente, el sistema regulador de la longitud de camino óptico puede comprender por lo menos un par de elementos de reflexión para reflejar la luz láser a lo largo del segundo camino óptico. La extensión (es decir, la longitud de camino geométrico) del segundo camino óptico entre elementos de reflexión de cada uno del par o pares de elementos de reflexión puede ser ajustable, en particular ajustable de manera continua, mediante configuración de una posición relativa, en particular una distancia de separación, entre los elementos de reflexión de cada uno del par o pares de elementos de reflexión. Por lo tanto, el sistema regulador de la longitud de camino óptico puede estar configurado para ajustar la diferencia de longitud de camino óptico mediante la configuración correspondientemente de la posición relativa, en particular la distancia de separación, entre los elementos de reflexión de cada uno del par o pares de elementos de reflexión, modificando de esta manera la diferencia de longitud de camino óptico mediante la modificación de la longitud de camino geométrico del segundo camino óptico.

Especialmente, el número global de elementos de reflexión del módulo de medición según la invención puede ser par o impar, aunque el número de elementos de reflexión óptica del sistema regulador de la longitud de camino óptico puede ser, respectivamente, impar o par. En otras palabras, el módulo de medición puede comprender elementos de reflexión adicionales, tales como espejos, en los que el haz láser que se propaga por el segundo camino óptico puede reflejarse, en donde los elementos de reflexión adicionales posiblemente pueden ser fijos (inmóviles) y/o posiblemente pueden no ser parte de cualquiera del par o pares de elementos de reflexión anteriormente mencionados. El módulo de medición puede comprender, además, elementos ópticos adicionales como parte del primer camino óptico y/o del segundo camino óptico, aparte de los elementos de reflexión adicionales anteriormente mencionados, por ejemplo fibras ópticas por las que puede propagarse luz láser a lo largo del primer camino óptico y/o el segundo camino óptico, correspondientemente.

Preferentemente, cada par de elementos de reflexión puede comprender un elemento de reflexión móvil que puede moverse en una dirección correspondiente al segundo camino óptico. El otro elemento de reflexión de cada par de elementos de reflexión puede ser estático. De esta manera, la diferencia de longitud de camino óptico puede ajustarse simplemente configurando una posición del elemento de reflexión móvil de cada par de elementos de reflexión. Preferentemente, todos los elementos de reflexión móviles pueden ser móviles conjuntamente, simultáneamente y/o en la misma dirección, correspondiente a la dirección del segundo camino óptico. Los elementos de reflexión móviles pueden ser móviles en paralelo unos respecto a otros, aunque no necesariamente en el mismo plano. Diferentes pares de elementos de reflexión pueden definir diferentes segmentos del segundo camino óptico, que pueden ser, en particular, mutuamente paralelos y posiblemente pueden presentar la misma longitud.

Para las realizaciones previamente discutidas, los elementos de reflexión de cada par de elementos de reflexión pueden presentar superficies reflectantes mutuamente paralelas.

En realizaciones preferentes, el sistema regulador de la longitud de camino óptico puede estar configurado para desplazar simultánea y/o igualmente dos o más, preferentemente la totalidad, de los elementos de reflexión móviles. Por ejemplo, el sistema regulador de la longitud de camino óptico puede comprender dos o más pares de elementos de reflexión, en el que una extensión del segundo camino óptico entre elementos de reflexión de cada uno de los dos o más pares de elementos de reflexión puede ser simultáneamente ajustable mediante la configuración igual de una distancia de separación entre dichos elementos de reflexión. Por ejemplo, el sistema regulador de la longitud de camino óptico puede comprender una pluralidad de pares de elementos de reflexión dispuesto unos respecto a otros de manera que definan una pluralidad correspondiente de segmentos paralelos del segundo camino óptico. Cada uno de los dos o más pares de elementos de reflexión puede comprender un elemento de reflexión móvil, que puede ser comóvil con los elementos de reflexión móviles de los pares restantes de elementos de reflexión. De acuerdo con lo anterior, puede implementarse una variación global de la diferencia de longitud de camino óptico, en particular de la longitud de camino óptico del segundo camino óptico, con un valor de $2X$ mediante modificación de la distancia de separación entre los elementos de reflexión de cada uno de los dos o más pares de elementos de reflexión en X/N , donde N es el número de pares de elementos de reflexión. Para el factor de 2 debe considerarse que cada segmento de camino es recorrido dos veces por el haz de luz correspondiente (una vez en camino hacia el campo de trabajo y una vez en el camino de vuelta desde el campo de trabajo). Por ejemplo, en el caso de tres pares de elementos de reflexión, la diferencia de longitud de camino óptico puede reducirse en 900 mm, por ejemplo en respuesta a un incremento de la distancia de trabajo de 450 mm, mediante reducción de la distancia de separación entre los elementos de reflexión de cada uno de los tres pares de elementos de reflexión en 150 mm, por ejemplo mediante desplazamiento de un elemento de reflexión de cada uno de los tres pares, juntos, en 150 mm.

En dichas disposiciones de los elementos de reflexión, los elementos de reflexión de un primer par de elementos de reflexión que forman un primer segmento del segundo camino óptico entre ellos pueden estar dispuestos girados en 90° , respectivamente, con respecto a los elementos de reflexión de un par vecino de elementos de reflexión que forma un segundo segmento del segundo camino óptico entre ellos en paralelo al primer segmento. De manera similar, los elementos de reflexión de un tercer par de elementos de reflexión que forman entre ellos un tercer segmento del segundo camino óptico paralelo al primer y segundo segmentos pueden estar dispuestos girados en 90° ,

respectivamente, con respecto a los elementos de reflexión del segundo par de elementos de reflexión, y de esta manera, sucesivamente.

En realizaciones preferentes, el sistema regulador de la longitud de camino óptico puede comprender por lo menos un par de elementos de reflexión inclinados, en particular uno o dos de dichos pares, en donde cada par está configurado para reflejar múltiplemente la luz láser a lo largo del segundo camino óptico en superficies reflectantes del mismo, en donde las superficies reflectantes de cada uno de los elementos de reflexión de cada uno del par o pares de elementos de reflexión inclinados pueden enfrentarse entre sí y pueden estar orientados en ángulo unos respecto a otros, por ejemplo 5° a 20°, preferentemente 10° a 15°. La extensión (longitud de camino geométrico) del segundo camino óptico entre elementos de reflexión inclinados de cada uno del par o pares de elementos de reflexión mutuamente inclinados puede ser ajustable mediante configuración de la posición relativa entre dichos elementos de reflexión inclinados, preferentemente mediante el movimiento de uno o ambos de dichos elementos de reflexión inclinados. El movimiento de uno o ambos de dichos elementos de reflexión inclinados puede comprender, en particular, la inclinación o desplazamiento de dicho elemento o de dichos dos elementos de entre dichos elementos de reflexión inclinados. Un par de elementos de reflexión inclinados puede referirse en el presente documento a dos elementos de reflexión, por ejemplo espejos, que pueden estar dispuestos uno delante de otro formando un ángulo entre ellos, es decir, no siendo paralelos.

Los dos elementos de reflexión inclinados pueden, en particular, estar dispuestos simétricamente con respecto a un eje de simetría dispuesto entre ambos elementos e reflexión. En otras palabras, los dos elementos de reflexión inclinados pueden estar orientados en ángulo de manera que el haz de luz pueda reflejarse de ida y vuelta varias veces entre las superficies reflectantes de los dos elementos de reflexión, desde una primera reflexión cuando el haz de luz incide por primera vez en uno de los elementos de reflexión inclinados, a una última vez en que el haz de luz resulta reflejado por uno de los elementos de reflexión inclinados.

Debido a que los dos elementos de reflexión de un par de elementos de reflexión inclinados están en ángulo uno respecto a otro, la luz láser puede reflejarse una pluralidad de veces entre los dos elementos de reflexión del par de ida y de vuelta respecto a uno de los elementos de reflexión hasta el otro, y de vuelta entre una primera reflexión y una última reflexión de la luz láser en el par de elementos de reflexión inclinados. En particular, los dos elementos de reflexión de cada par de elementos de reflexión inclinados pueden configurarse para reflejar un haz de luz láser incidente en el par 2, 4, 6, 8, 10 o más veces en cada superficie reflectante. En consecuencia, cada par individual de elementos de reflexión inclinados puede operar funcionalmente como una pluralidad de los pares anteriormente descritos de elementos de reflexión que presentan superficies reflectantes paralelas a pares. Mediante el movimiento de uno o ambos de los elementos de reflexión inclinados del par de elementos de reflexión inclinados uno respecto a otro, puede ajustarse la distancia por la que se propaga un haz de luz que es múltiplemente reflejado por el par de elementos de reflexión inclinados. Esta distancia puede incrementarse, por ejemplo, mediante el incremento de la distancia de separación entre ambos elementos de reflexión inclinados, o mediante el incremento del ángulo relativo entre ambos elementos de reflexión inclinados. A la inversa, puede reducirse la distancia mediante reducción de la distancia de separación entre ambos elementos de reflexión inclinados, o mediante la reducción del ángulo entre ambos elementos de reflexión inclinados.

Debido a las múltiples reflexiones de la luz láser entre cada dos elementos de reflexión de cada par de elementos de reflexión inclinados, un pequeño movimiento de uno de los elementos de reflexión de un par de elementos de reflexión inclinados puede ser suficiente para implementar un ajuste relativamente grande de la longitud de camino óptico del segundo camino óptico. Por ejemplo, en el caso de que dos elementos de reflexión de un par de elementos de reflexión inclinados estén configurados para reflejar un haz de luz láser incidente en el par 4 veces en cada superficie reflectante, un incremento D de la distancia entre los dos elementos de reflexión del par puede causar un incremento de la longitud de camino óptico del segundo camino óptico del orden de $k \cdot D$, donde k puede ser, dependiendo de la configuración y/o de la dirección del movimiento, un número entero con un valor de entre 4 y 12, o superior.

En algunas realizaciones preferentes, el sistema regulador de la longitud de camino óptico puede comprender por lo menos un par de elementos de refracción configurados para transmitir por el mismo la luz láser a lo largo del segundo camino óptico. La extensión (es decir, la longitud de camino geométrico) del segundo camino óptico por los elementos de refracción de cada uno del par o pares de elementos de refracción puede ser ajustable mediante la configuración de la posición relativa de dichos elementos de refracción, en particular mediante el desplazamiento de uno o ambos de dichos elementos de refracción uno respecto al otro, preferentemente mediante el desplazamiento de ambos de dichos elementos de refracción uno respecto al otro. Mediante el desplazamiento de ambos de dichos elementos de refracción uno respecto al otro, puede compensarse y evitarse un desplazamiento incontrolado en la dirección del haz de medición debido a la refracción en uno de dichos elementos de refracción.

Mediante dichos elementos de refracción, puede modificarse la longitud de camino óptico del segundo camino óptico mediante modificación del índice de refracción (ver "n" en las ecuaciones anteriores para la LCO) del medio a través del cual se propaga la luz a lo largo del segundo camino óptico. Los elementos de refracción pueden comprender elementos ópticos de refracción, tales como lentes, primas y/o cuñas. Por ejemplo, cada par de elementos de refracción pueden comprender dos primas poligonales dispuestos mutuamente contiguos por una de sus caras externas, las cuales pueden disponerse, en particular, oblicuamente con respecto al segundo camino óptico, de

manera que la extensión del segundo camino óptico a través de los dos elementos de refracción puede modificarse mediante desplazamiento de los elementos de refracción unos respecto a otros, modificando de esta manera una parte de las caras respectivas en las que se solapan ambos elementos de refracción. Los elementos de refracción del par o pares de elementos de refracción pueden presentar, en particular, un índice de refracción superior al índice de refracción del aire (es decir, con $n > 1$) o superiores al índice de refracción de otras partes del segundo camino óptico.

En realizaciones preferentes de la invención, el módulo de medición puede comprender, además, un dispositivo de detección de distancias acoplado ópticamente al puerto de conexión y configurado para llevar a cabo una detección de la distancia basándose en la interferencia de la luz láser recibido por el dispositivo de detección de distancias procedente del primer camino óptico con la luz láser recibida por el dispositivo de detección de distancias procedente del segundo camino óptico. El dispositivo de detección de distancias puede incluir en particular o ser conectable a un sensor de interferencia configurado para detectar y analizar la interferencia de la luz láser recibida del primer y segundo camino óptico.

El dispositivo de detección de distancias y el módulo de medición pueden ser estructuralmente independientes uno de otro. Por ejemplo, cada uno del dispositivo de detección de distancias y el módulo de medición puede estar encerrados en una carcasa correspondiente.

En realizaciones preferentes de la invención, el módulo de medición puede comprender, además, un puerto de monitorización y un elemento óptico, en donde el elemento óptico puede estar configurado para reflejar una primera parte de luz láser que se propaga a lo largo del segundo camino óptico y para transmitir una segunda parte de dicha luz láser que se propaga a lo largo del segundo camino óptico, de manera que dicha primera o segunda parte se extrae del segundo camino óptico y se dirige hacia el puerto de monitorización. Dicha luz láser puede correspondiente a un haz láser de monitorización utilizado para monitorizar el procesamiento láser realizado por un módulo de procesamiento láser al que puede estar acoplado el módulo de medición. El puerto de monitorización a continuación puede utilizarse para conectar un dispositivo de monitorización óptica para obtener información sobre un procedimiento láser que se está llevando a cabo con un módulo de procesamiento láser al que puede conectarse el módulo de medición de la invención, tal como se explica posteriormente en mayor detalle. El haz láser de monitorización puede ser generado por el dispositivo de monitorización óptica y puede copropagarse con el haz de medición por lo menos por una parte del segundo camino óptico. El elemento óptico, que en particular puede ser o comprende un elemento dicróico, tal como un filtro dicróico, puede corresponder a uno de los elementos de reflexión del módulo de medición, en particular a uno de los elementos de reflexión del sistema regulador de la longitud de camino óptico. El puerto de monitorización y el elemento óptico pueden configurarse para extraer dicha primera o segunda parte del segundo camino óptico en una posición del segundo camino óptico entre el sistema regulador de la longitud de camino óptico y el puerto de conexión. Por ejemplo, en realizaciones que comprende un dispositivo focalizador dispuesto en el segundo camino óptico entre el puerto de conexión y el sistema regulador de la longitud de camino óptico, el puerto de monitorización y el elemento óptico pueden configurarse para extraer dicha primera o segunda parte del segundo camino óptico en una posición del segundo camino óptico entre el dispositivo focalizador y el puerto de conexión. Ello permite extraer luz con fines de monitorización de una manera que no es sensible a variaciones en la longitud del segundo camino óptico, en particular a las variaciones intencionadas y no intencionadas anteriormente mencionadas.

Tal como se ha mencionado anteriormente, el módulo de medición y el dispositivo de detección de distancias pueden en combinación implementar un interferómetro, en donde el primer y segundo caminos ópticos corresponden respectivamente al brazo de referencia y al brazo de objeto del interferómetro. El dispositivo de detección de distancias, en particular el sensor de interferencia del mismo, puede estar configurado para detectar la interferencia de un haz láser correspondiente al brazo de referencia con un haz láser correspondiente al brazo de objeto para llevar a cabo la detección de la distancia basándose en la misma de una manera que es conocida por el experto en la materia de acuerdo con técnicas de interferometría convencionales.

De acuerdo con lo anterior, un sistema de interferómetro puede comprender un módulo de medición tal como se describe en el presente documento, un dispositivo de detección de distancias y un puerto de acoplamiento. El dispositivo de detección de distancias puede corresponder a un dispositivo de detección de distancias de acuerdo con los ejemplos anteriormente descritos.

En cualquier caso, el módulo de medición del sistema de interferómetro define un primer camino óptico correspondiente a un brazo de referencia del sistema de interferómetro y un segundo camino óptico correspondiente a un brazo de objeto del sistema de interferómetro. El módulo de medición comprende un reflector óptico dispuesto en el primer camino óptico para reflejar de vuelta la luz láser recibida a lo largo del primer camino óptico. Además, el módulo de medición comprende un sistema regulador de la longitud de camino óptico configurado para ajustar la longitud de camino óptico del segundo camino óptico, es decir, del brazo de objeto del sistema de interferómetro.

El puerto de acoplamiento del sistema de interferómetro está configurado para acoplar ópticamente el segundo camino óptico con un módulo de procesamiento láser, en particular con un camino de haz de medición del mismo, tal como se ha explicado anteriormente, y se explica posteriormente, en mayor detalle.

El dispositivo de detección de distancias está configurado para llevar a cabo mediciones de la distancia basándose en la interferencia de la luz láser transmitida a lo largo del primer camino óptico con luz láser transmitida a lo largo del segundo camino óptico.

La presente invención se refiere a un aparato de procesamiento láser que comprende un módulo de procesamiento de láser y un módulo de medición tal como se describe en el presente documento, según cualquiera de los ejemplos descritos anteriormente. El módulo de procesamiento láser está configurado para el procesamiento con láser de una pieza de trabajo en un campo de trabajo utilizando un haz de trabajo. El haz de trabajo puede ser un haz láser independiente de un láser que se transmite dentro del módulo de medición, en particular por el segundo camino óptico del módulo de medición. El módulo de medición está ópticamente acoplado con el módulo de procesamiento láser mediante el puerto de acoplamiento del mismo para recibir y dar salida a luz láser desde y hacia el módulo de procesamiento láser en la forma de un haz de medición.

El módulo de procesamiento láser comprende un elemento óptico para reflejar el haz de trabajo o el haz de medición y para transmitir a su través el haz de medición o el haz de trabajo, en cada caso. Por ejemplo, el elemento óptico puede estar configurado para reflejar luz en un intervalo de longitud de onda correspondiente al haz de trabajo y para transmitir luz en un intervalo de longitud de onda correspondiente al haz de medición. Alternativamente, el elemento óptico puede estar configurado para transmitir luz en un intervalo de longitud de onda correspondiente al haz de trabajo y para reflejar luz en el intervalo de longitud de onda correspondiente al haz de medición. El elemento óptico puede comprender, por ejemplo, un elemento dicróico, tal como un filtro dicróico.

El haz de medición puede corresponder a luz en la parte infrarroja del espectro, en particular con longitudes de onda comprendidas en el intervalo de entre 700 nm y 1400 nm, preferentemente de entre 800 nm y 1000 nm, más preferentemente de entre 815 nm y 850 nm, por ejemplo de 830 nm. El haz de trabajo puede corresponder a luz en un intervalo de longitud de onda diferente de, posiblemente mayor o menor que, el intervalo de longitud de onda correspondiente al haz de medición. De esta manera, el elemento óptico del módulo de procesamiento láser puede transmitir una parte del espectro, en particular del espectro infrarrojo, mientras que es reflectante del resto del espectro o por lo menos de una parte del mismo. Como resultado, el haz de medición y el haz de trabajo pueden propagarse por separado en un lado del elemento óptico, antes de ser reflejados o transmitidos a través del elemento óptico, mientras que se propagan a lo largo del mismo camino óptico en el otro lado del elemento óptico, tras ser reflejados o transmitidos a través del elemento óptico.

El módulo de procesamiento láser comprende, además, una unidad de direccionado configurada para desviar el haz de trabajo y el haz de medición hacia y desde la pieza de trabajo y/o el campo de trabajo. La unidad de direccionado puede comprender, por ejemplo, un par de espejos giratoriamente inclinables respecto a ejes mutuamente ortogonales, es decir, una denominada unidad de escaneo XY, que posiblemente incluye galvanómetros correspondientes. La unidad de direccionado puede estar configurada para escanear controlablemente el haz de medición y el haz de trabajo por el campo de trabajo, en el que puede disponerse una pieza de trabajo que está siendo procesada con láser por el módulo de procesamiento láser.

La unidad de direccionado puede estar dispuesta después del elemento óptico a lo largo de los caminos ópticos del haz de medición y del haz de trabajo. De esta manera, el haz de trabajo y el haz de medición pueden ser desviados por la unidad de direccionado hacia un punto diana correspondiente del campo de trabajo después de ser transmitidos a través, o ser reflejados por, el elemento óptico.

El camino del haz de trabajo y el camino del haz de medición están definidos en el módulo de procesamiento láser para el haz de trabajo y el haz de medición, respectivamente. El camino del haz de trabajo está definido de manera que el haz de trabajo pueda ser reflejado/transmitido por el elemento óptico hacia la unidad de direccionado y desviado por la unidad de direccionado a la pieza de trabajo y/o al campo de trabajo.

El haz de medición se propaga en el módulo de medición a lo largo del segundo camino óptico del módulo de medición. Además, el camino del haz de medición está definido de manera que el haz de medición se propaga desde el puerto de acoplamiento del módulo de medición hasta el elemento óptico y hasta la unidad de direccionado y de vuelta al puerto de acoplamiento, siendo transmitido/reflejado por el elemento óptico hacia y desde la unidad de direccionado, siendo desviado por la unidad de direccionado hacia y desde la pieza de trabajo y/o el campo de trabajo, y siendo reflejado de vuelta por la pieza de trabajo y/o por el campo de trabajo. De esta manera, el camino del haz de medición y el segundo camino de haz pueden considerarse diferentes porciones de un camino óptico global por el que se propaga el haz de medición en el módulo de procesamiento láser y el módulo de medición, respectivamente.

De esta manera, el haz de trabajo en primer lugar se propaga desde una entrada, por la que pueda alimentarse el haz de trabajo al módulo de procesamiento láser (o desde una fuente de luz correspondiente) hasta el elemento óptico, en el que el haz de trabajo se refleja o transmite hacia la unidad de direccionado, que a continuación desvía el haz de trabajo hacia un punto diana correspondiente en la pieza de trabajo y/o en el campo de trabajo para procesar con el láser un material de trabajo mediante la transmisión de energía térmica al mismo.

El haz de medición correspondiente a luz láser que se alimenta al módulo de medición por el puerto de conexión y se propaga a lo largo del segundo camino óptico del mismo, inclusive a través del sistema regulador de la longitud de camino óptico, después hacia el interior del módulo de procesamiento láser a través del puerto de acoplamiento hacia el elemento óptico, en donde el haz de medición se transmite o se refleja, respectivamente (si el haz de trabajo se refleja, el haz de medición puede transmitirse, y viceversa) hacia la unidad de desviación, que desvía el haz de medición en la misma dirección que el haz de trabajo para llevar a cabo una medición, por ejemplo una medición de distancia.

El haz de trabajo y el haz de medición, por lo tanto, presentan un camino común entre el elemento óptico y la pieza de trabajo. En el punto de la pieza de trabajo en la que incide el haz de medición, el haz de medición se refleja de vuelta hacia la unidad de direccionado por lo menos en parte, a continuación se desvía de vuelta hacia el elemento óptico y se transmite o se refleja, dependiendo del caso, hacia el puerto de acoplamiento, a través del cual el haz de medición reentra en el módulo de medición, se propaga de vuelta a lo largo del segundo camino óptico y alcanza el puerto de conexión para ser transmitida a un dispositivo de detección en el que puede analizarse la interferencia del haz de medición con la luz láser que se propaga a lo largo del primer camino óptico del módulo de medición a fin de llevar a cabo la detección de la distancia.

Ventajosamente, el módulo de medición permite adaptar la longitud del camino óptico del haz de medición con el fin de mantenerla sustancialmente constante, por ejemplo en un valor predefinido, a pesar de las variaciones en la longitud global del camino óptico en el que se propaga el haz de medición, por ejemplo debido a variaciones en la distancia de trabajo del módulo de procesamiento láser, en donde la distancia de trabajo puede entenderse en el presente documento como una distancia mínima/más corta entre la carcasa del módulo de procesamiento láser y el campo de trabajo del mismo. Las ventajas técnicas del módulo de medición según la invención, por lo tanto, se aprovechan para un aparato de procesamiento láser.

En realizaciones preferentes, el aparato de procesamiento láser puede comprender, además, el dispositivo de detección de distancias descrito anteriormente para un módulo de medición. El dispositivo de detección de distancias puede estar acoplado ópticamente al puerto de conexión del módulo de medición y puede estar configurado para determinar, basándose en la interferencia del haz de medición con luz láser que se propaga en el módulo de medición a lo largo del primer camino óptico, variaciones de una distancia entre el campo de trabajo y/o la pieza de trabajo y la unidad de direccionado, en particular entre el centro óptico de un espejo de la unidad de direccionado más próxima al campo de trabajo y una posición del campo de trabajo en la que incide el haz de medición. Adicional o alternativamente, el dispositivo de detección de distancias puede estar configurado para determinar dicha distancia (en términos absolutos o relativos) basándose en la interferencia del haz de medición por luz láser que se propaga en el módulo de medición a lo largo del primer camino óptico.

La determinación de la distancia de trabajo puede comprender determinar el valor absoluto de la distancia de trabajo, por ejemplo 700 mm. La determinación de la variación en la distancia de trabajo puede comprender la determinación del cambio en la distancia de trabajo, por ejemplo una variación de la distancia de trabajo de 300 mm cuando se incrementa la distancia de trabajo de 700 mm a 1000 mm, una variación de la distancia de trabajo de 2,6 mm a 7 mm debido a una variación del ángulo de direccionado de 5° (p. ej., con respecto a un ángulo de direccionado de 0° a una distancia de trabajo de 700 mm), o una variación de la distancia de entre 50 μ m y 10 mm debido a irregularidades superficiales de la superficie más externa del material de trabajo de la pieza de trabajo que se procesa con láser. El dispositivo de detección de distancias puede ser un componente del aparato de procesamiento láser que permite la utilización del haz de medición transmitido a través del módulo de medición para llevar a cabo mediciones de la distancia, que puede utilizarse posteriormente para controlar correspondientemente el módulo de procesamiento láser y/o el módulo de medición.

La expresión "unidad de control" tal como se utiliza en la presente memoria puede referirse a una unidad basada en hardware o en software, que posiblemente incluya una unidad de procesamiento, configurada específicamente para controlar una entidad o dispositivo adicional tal como se describe en el presente documento. La unidad de control puede, por ejemplo, ser o estar comprendida en una tarjeta o módulo de control, tal como una tarjeta de control SP-ICE.

La información obtenida por el dispositivo de detección de distancias, en particular relacionada con una distancia o una variación de distancia, puede utilizarse para controlar el aparato de procesamiento láser basado en la misma, por ejemplo para enfocar correctamente el haz de trabajo en el campo de trabajo y/o en la pieza de trabajo considerando información en tiempo real sobre la distancia real entre la unidad de direccionado del aparato de procesamiento láser y el campo de trabajo y/o la pieza de trabajo.

Según realizaciones preferentes, el aparato de procesamiento láser puede comprender, además, una unidad de control configurada para controlar el sistema regulador de la longitud de camino óptico del módulo de medición basándose en una variación de distancia de trabajo del módulo de procesamiento láser. La distancia de trabajo puede referirse en el presente documento a la distancia mínima (posiblemente vertical) entre el campo de trabajo, en particular el centro del mismo, y el módulo de procesamiento láser, por ejemplo la carcasa del mismo. Esta variación de la distancia puede ser detectada por el dispositivo de detección de distancias anteriormente mencionado. Sin

embargo, este no es necesariamente el caso, ya que la variación de la distancia de trabajo también puede detectarse alternativamente, por ejemplo mediante la comunicación directa con una plataforma ajustable y configurable a diferentes alturas para implementar diferentes distancias de trabajo, o mediante la entrada por el usuario.

La unidad de control o una unidad adicional de control puede estar configurada adicionalmente para compensar la variación de la longitud de camino óptico del camino del haz de medición debido a dicha variación de la distancia de trabajo mediante el control del sistema regulador de la longitud de camino óptico para ajustar correspondientemente la longitud del camino óptico del segundo camino óptico, por ejemplo moviendo correspondientemente uno o más elementos de reflexión y/o elementos de refracción del sistema regulador de la longitud de camino óptico. Como consecuencia de la variación de la distancia de trabajo del módulo de procesamiento láser, por ejemplo, cuando el módulo de procesamiento láser va a utilizarse para un uso diferente a un uso previo, que posiblemente requiere un tamaño diferente del campo de trabajo, el campo de trabajo puede estar más próximo o más distante al módulo de procesamiento láser, lo que significa que la longitud del camino óptico del camino del haz de medición correspondientemente puede ser más corto o más largo que en la situación en la que tuvo lugar la variación de la distancia de trabajo. La unidad de control o la unidad adicional de control puede estar configurada para controlar el sistema regulador de la longitud de camino óptico para ajustar la longitud de camino óptico del segundo camino óptico, de manera que se compense el cambio causado por la variación en la distancia de trabajo. Por ejemplo, si la distancia de trabajo se ha incrementado en una cantidad D , la unidad de control puede controlar el sistema regulador de la longitud de camino óptico para acortar la longitud del camino óptico del segundo camino óptico en una cantidad D . Como resultado, la longitud del camino óptico del camino del haz de medición puede ser sustancialmente igual que antes de que tuviese lugar la variación en la distancia de trabajo.

La unidad de control o una unidad adicional de control (diferente de la unidad de control anteriormente mencionada) puede estar configurada adicionalmente para controlar el sistema regulador de la longitud de camino óptico del módulo de medición basándose en la variación en una configuración de direccionado de la unidad de direccionado del módulo de procesamiento láser, por ejemplo basándose en la variación del ángulo de direccionado. Esta variación de la distancia puede detectarse mediante el dispositivo de detección de distancias anteriormente mencionado. Sin embargo, este no es necesariamente el caso, ya que la variación en la configuración de direccionado de la unidad de direccionado del módulo de procesamiento láser también puede detectarse alternativamente, por ejemplo mediante comunicación directa con la unidad de direccionado o mediante una entrada de usuario.

La unidad de control o una unidad adicional de control puede estar configurada adicionalmente para compensar una variación de la longitud del camino óptico del camino del haz de medición debido a dicha variación en la configuración de direccionado de la unidad de direccionado mediante el control del sistema regulador de la longitud de camino óptico para ajustar correspondientemente la longitud del camino óptico del segundo camino óptico, por ejemplo mediante el movimiento correspondiente de uno o más elementos de reflexión y/o elementos de refracción del sistema regulador de la longitud de camino óptico. Por ejemplo, tal como se ha explicado anteriormente, si se incrementa el ángulo de direccionado para desviar el haz de medición y/o el haz de trabajo hasta una posición en el campo de trabajo más distante del centro del campo de trabajo (correspondiente a un ángulo de direccionado de 0°), la longitud del camino óptico del camino del haz de medición se incrementa eficazmente (ver la fórmula proporcionada anteriormente de ΔD). La unidad de control o la unidad adicional de control seguidamente puede estar configurado para controlar el sistema regulador de la longitud de camino óptico del módulo de medición a fin de modificar la longitud del camino óptico del segundo camino óptico con el fin e compensar dicha variación, en el presente caso de ejemplo mediante acortamiento correspondiente de la longitud de camino óptico del segundo camino óptico. Como resultado, puede restituirse la longitud de camino óptico del camino del haz de medición antes de la variación en la configuración de direccionado de la unidad de direccionado.

Según realizaciones preferentes, la unidad de control o una unidad adicional de control (diferente de la unidad de control anteriormente mencionada) puede estar configurada para controlar el sistema regulador de la longitud de camino óptico del módulo de medición basándose en la distancia determinada por el dispositivo de detección de distancias y/o en la variación en la distancia determinada por el dispositivo de detección de distancias. La unidad de control puede permitir el ajuste de la longitud del camino óptico del segundo camino óptico del módulo de medición como función de dicha distancia y/o de dicha variación de la distancia determinada por el dispositivo de detección. Por ejemplo, el sistema regulador de la longitud de camino óptico puede controlarse basándose en la detección, por el dispositivo de detección de distancias, de las irregularidades/protrusiones de la superficie de la pieza de trabajo que se está procesando con láser de 1 mm, para ajustar la longitud de camino óptico del segundo camino óptico correspondientemente en 1 mm.

Según realizaciones preferentes, el aparato de procesamiento láser, en particular el módulo de procesamiento láser, puede comprender, además, un dispositivo focalizador de haz de trabajo configurado para enfocar el haz de trabajo. Preferentemente, el dispositivo focalizador de haz de trabajo puede estar configurado para enfocar únicamente el haz de trabajo, es decir, no el haz de medición, que puede enfocarse según la presente invención mediante un dispositivo focalizador dedicado que está comprendido en el módulo de medición. Preferentemente, el haz de medición puede no propagarse a través del dispositivo focalizador del haz de trabajo.

El dispositivo focalizador del haz de trabajo puede presentar una longitud focal variable y preferentemente puede estar dispuesto en el camino del haz de trabajo entre el elemento óptico y una fuente o una entrada del haz de trabajo, a partir de la cual puede originarse el haz de trabajo. Lo anterior significa que el módulo de procesamiento láser puede corresponder a un módulo de procesamiento láser con pre-enfoque, por ejemplo similar al descrito en el documento WO 2018/078137 A1. La unidad de control anteriormente descrita (o una unidad adicional de control) puede estar configurada para controlar el dispositivo con pre-enfoque, posiblemente basándose en una distancia, y/o una variación de la distancia, determinada por el dispositivo de detección de distancia. Adicional o alternativamente, el aparato de procesamiento láser, en particular el módulo de procesamiento láser puede comprender una lente F-theta configurada para enfocar el haz de trabajo.

En realizaciones preferente de la invención, el módulo de medición puede comprender el dispositivo focalizador descrito anteriormente para el módulo de medición, que puede estar configurado para enfocar el haz de medición en el campo de trabajo y/o en la pieza de trabajo, en particular en una posición correspondiente a un enfoque del haz de trabajo. Al mantenerse enfocado en el campo de trabajo y/o en la pieza de trabajo, gracias al dispositivo focalizador y a la compensación que permite el sistema regulador de la longitud de camino óptico, el haz de medición permite llevar a cabo mediciones de distancia con una relación de señal-ruido optimizada y con una exactitud mejorada, incluso para valores grandes del ángulo de direccionado.

Según realizaciones preferentes, el haz de medición puede estar formado por luz en un intervalo de longitud de onda de entre 700 nm y 1400 nm, preferentemente de entre 800 nm y 1000 nm, más preferentemente de entre 815 nm y 850 nm, por ejemplo de 830 nm. Además, el haz de trabajo puede estar formado por luz en un intervalo de longitud de onda diferente del intervalo de longitud de onda del haz de medición, por ejemplo de entre 1000 nm y 1100 nm, posiblemente utilizando un láser YAG. Sin embargo, el haz de trabajo puede estar formado por luz en otros intervalos de longitud de onda, tales como de entre 500 nm y 550 nm.

En realizaciones preferentes, la distancia mínima entre el campo de trabajo y el módulo de procesamiento láser, en particular una carcasa del mismo (es decir, la distancia de trabajo) puede ser variable dentro de un intervalo de entre 200 mm y 1200 mm, preferentemente de entre 250 mm y 750 mm, más preferentemente de entre 300 mm y 700 mm. Tal como se ha indicado anteriormente, el sistema regulador de la longitud de camino óptico del módulo de medición puede estar configurado para implementar compensaciones de la longitud del camino óptico del haz de medición, que se transmite a lo largo del segundo camino óptico, correspondiente a dichos intervalos.

El tamaño del campo de trabajo asociado al módulo de procesamiento láser puede ser variable dentro de un intervalo de entre 200x200 mm² y 1400x1400 mm², en particular como función de la distancia de trabajo. El tamaño del campo de trabajo puede ser proporcional a la distancia de trabajo. Por ejemplo, un campo de trabajo de dimensiones de 250x250 mm² puede estar asociado a una distancia de trabajo de 250 mm, mientras que una distancia de trabajo de 1000 mm puede estar asociada a unas dimensiones del campo de trabajo de 850x850 mm². Especialmente, el campo de trabajo puede ser cuadrado, aunque este no es necesariamente el caso. Según otras realizaciones relacionadas, el campo de trabajo puede ser rectangular, poligonal o circular.

En realizaciones preferentes de la invención, el módulo de medición comprende la carcasa descrita anteriormente y el módulo de procesamiento láser puede comprender una carcasa adicional que encierre por lo menos algunos de los componentes restantes del módulo de procesamiento láser. El camino del haz de trabajo y el camino del haz de medición pueden definirse dentro de la carcasa del módulo de procesamiento láser por lo menos en parte. En particular, el camino del haz de trabajo puede estar completamente comprendido dentro de la carcasa del módulo de procesamiento láser. El haz de medición puede estar parcialmente comprendido en la carcasa del módulo de procesamiento láser y parcialmente comprendido en la carcasa del módulo de medición, en donde la sección del haz de medición comprendida en la carcasa del módulo de medición corresponde al segundo camino óptico del módulo de medición.

Puede haber formado un puerto de acoplamiento adicional conectable al puerto de acoplamiento del módulo de medición, a través de la carcasa del módulo de procesamiento láser. Preferentemente, la carcasa del módulo de procesamiento láser puede ser estanca a los líquidos y/o estanca al polvo, en particular de acuerdo con la norma IP64.

Preferentemente, el módulo de medición y el módulo de procesamiento láser pueden ser mutuamente unibles, en particular mecánicamente. La carcasa del módulo de medición puede ser unible a la carcasa del módulo de procesamiento láser, en particular de manera que el módulo de medición pueda disponerse en contigüidad al módulo de procesamiento láser. En el caso de que el módulo de procesamiento láser y el módulo de medición se unan entre sí, el módulo de medición, en particular el segundo camino óptico, puede acoplarse ópticamente al módulo de procesamiento láser mediante el puerto de acoplamiento del módulo de medición y el puerto (adicional) de acoplamiento del módulo de procesamiento láser.

Breve descripción de los dibujos

Fig. 1 muestra una vista esquemática de un módulo de medición que incluye elementos de reflexión móviles que pueden incluirse en un aparato de procesamiento láser según algunas realizaciones de la invención.

- Fig. 2 muestra el módulo de medición de la fig. 1 tras modificar la posición de los elementos de reflexión del mismo para modificar la longitud de camino óptico del segundo camino óptico.
- Fig. 3 muestra una vista esquemática de un módulo de medición que incluye un elemento de refracción móvil que puede incluirse en un aparato de procesamiento láser según algunas realizaciones de la invención.
- Fig. 4 muestra el módulo de medición de la fig. 3 tras modificar la posición de un elemento de refracción del mismo para modificar la longitud de camino óptico del segundo camino óptico.
- Fig. 5 muestra una vista esquemática de un módulo de medición que incluye un par de elementos de reflexión inclinados que pueden incluirse en el aparato de procesamiento láser según algunas realizaciones de la invención.
- Fig. 6 muestra una vista esquemática de un módulo de medición que incluye elementos de reflexión móviles y dos pares de elementos de reflexión inclinados que pueden incluirse en el aparato de procesamiento láser según algunas realizaciones de la invención.
- Fig. 7 muestra una vista esquemática de un aparato de procesamiento láser según realizaciones de la invención que incluyen el módulo de medición de las figs. 3 y 4.
- Fig. 8 muestra otra vista esquemática de un aparato de procesamiento láser según realizaciones de la invención que incluye el módulo de medición de las figs. 3 y 4.
- Fig. 9 muestra una vista esquemática de un aparato de procesamiento láser según realizaciones de la invención.

Descripción de realizaciones preferentes de la invención

Para los fines de promover la comprensión de los principios de la invención, a continuación se hace referencia a realizaciones preferentes específicas ilustradas en los dibujos, y se utilizará terminología específica para describirlos. Sin embargo, se entenderá que de esta manera no se pretende limitación alguna del alcance de la invención; dichas alteraciones y modificaciones adicionales en los aparatos ilustrados y dichas aplicaciones adicionales de los principios de la invención tal como se ilustra en ellas se encuentran contempladas tal como concebiría bajo condiciones normales, ahora o en el futuro, un experto en la materia a la que se refiere la invención dentro del alcance definido mediante las reivindicaciones.

La fig. 1 muestra una vista esquemática de un módulo de medición 10 que puede incluirse en un aparato de procesamiento láser según una realización de la invención. El módulo de medición 10 comprende una carcasa 11 en la que hay formado un puerto de conexión 12 y un puerto de acoplamiento 14. El puerto de conexión 12 permite acoplar ópticamente el módulo de medición 10 a un dispositivo de detección de distancias. El puerto de acoplamiento 14 permite acoplar ópticamente el módulo de medición 10 a un módulo de procesamiento láser de un aparato de procesamiento láser en el que el módulo de medición 10 puede estar integrado.

El módulo de medición 10 define un primer camino óptico P1 y un segundo camino óptico P2 para luz láser recibida y emitida por el puerto de conexión 12. El primer camino óptico P1 y el segundo camino óptico P2 pueden considerarse el brazo de referencia y el brazo de objeto, respectivamente, de una configuración interferométrica.

El primer camino óptico P1 está definido entre el puerto de conexión 12 y el reflector óptico de referencia 16. El reflector óptico de referencia 16 puede ser, por ejemplo, un espejo fijo configurado para determinar la longitud de camino óptico del primer camino óptico según un valor predefinido. En la fig. 1, el primer camino óptico P1 comprende una fibra óptica F1 opcional, por la que la luz láser introducida y emitida por el puerto de conexión 12 se propaga hasta y desde los reflectores ópticos 16 de referencia, en donde se refleja de vuelta dicha luz láser. El primer camino óptico P1, por lo tanto, presenta una longitud de camino óptico fija.

El segundo camino óptico P2 está definido entre el puerto de conexión 12 y el puerto de acoplamiento 14. La luz láser recibida a través del puerto de conexión 12 se propaga desde el puerto de conexión 12 hasta el puerto de acoplamiento 14 y devuelta al puerto de conexión 12 a través del segundo camino óptico P2.

El módulo de medición 10 comprende, además, un sistema regulador 20 de la longitud de camino óptico. Una porción del segundo camino óptico P2 se extiende a través del sistema regulador 20 de la longitud de camino óptico, que está configurado para ajustar la longitud de camino óptico del segundo camino óptico P2. El segundo camino óptico P2, por lo tanto, presenta una longitud de camino óptico variable que es ajustable por el sistema regulador 20 de la longitud de camino óptico. Mediante el ajuste de la longitud de camino óptico del segundo camino óptico P2, el sistema regulador 20 de la longitud de camino óptico puede ajustar una diferencia de longitud de camino óptico entre la longitud de camino óptico fija del primer camino óptico P1 y la longitud de camino óptico variable del segundo camino óptico

P2, para influir de esta manera en las mediciones interferométricas llevadas a cabo utilizando el primer camino óptico P1 y el segundo camino óptico P2, como el brazo de referencia y el brazo de objeto, respectivamente, de una configuración interferométrica, en particular de manera que dicha diferencia pueda mantenerse constante a pesar de otras fuentes de variabilidad de la distancia geométrica u óptica externas al módulo de medición 10 y/o de manera que los objetos que vayan a detectarse para la medición de la distancia se mantengan dentro de un intervalo de medición dentro del cual el dispositivo de detección de distancias que se está utilizando garantiza una medición predefinida de las mediciones.

En la fig. 1, el segundo camino óptico P2 comprende una fibra óptica F2 opcional, por la que la luz láser introducida y emitida a través del puerto de conexión 12 se propaga entre el puerto de conexión 12 y el sistema regulador 20 de la longitud de camino óptico. Además, el módulo de medición 10 comprende en el presente ejemplo un dispositivo 18 de enfoque dispuesto en el segundo camino óptico P2 entre el puerto de conexión 12 y el sistema regulador 20 de la longitud de camino óptico, y configurado para fijar una posición focal del haz de luz láser que se propaga a través del segundo camino óptico P2. El dispositivo 18 de enfoque preferentemente presenta una longitud focal fija.

En la fig. 1, el sistema regulador 20 de la longitud de camino óptico comprende tres pares de espejos para reflejar la luz láser a lo largo del segundo camino óptico P2. Un primer par de espejos 22a, 22b, un segundo par de espejos 22c, 22d, y un tercer par de espejos 22e, 22f, define tres porciones mutuamente paralelas, respectivamente, del segundo camino óptico P2. Una primera porción del segundo camino óptico P2 se extiende entre los espejos 22a y 22b es paralela a la segunda porción del segundo camino óptico P2 que se extiende entre los espejos 22c y 22d, y una tercera porción del segundo camino óptico P2 que se extiende entre los espejos 22e y 22f.

Los espejos 22a-22f están dispuestos de manera que las superficies reflectantes de los espejos de cada par son mutuamente paralelas y enfrentadas entre sí, es decir, las superficies de reflexión de los espejos 22a y 22b son mutuamente paralelas y están enfrentadas entre sí, al igual que las superficies de reflexión de los espejos 22c y 22d, y de los espejos 22e y 22f, en donde las superficies de reflexión de los espejos 22c y 22d están girados 90° en el sentido de las agujas del reloj con respecto a las superficies de reflexión de los espejos 22a, 20b, respectivamente, y en donde las superficies reflectantes de los espejos 22e y 22f están orientadas como las superficies reflectantes de los espejos 22a y 22b, respectivamente.

El módulo de medición 10 comprende, además, un espejo adicional 23 configurado para dirigir el segundo camino óptico P2 procedente del sistema regulador 20 de la longitud de camino óptico, en particular del espejo 22F, hacia el puerto de acoplamiento 14. En la fig. 1, una superficie reflectante del espejo 23 está orientada como la superficie reflectante del espejo 22d, de manera que la luz láser que se propaga a través del segundo camino óptico P2 continúa para ser dirigida hacia y desde el puerto de acoplamiento 14, con independencia de la posición de los espejos móviles 22b, 22d, 22f y 23.

Cada uno de los tres pares de espejos del módulo de medición 10 del ejemplo ilustrado en la fig. 1 comprende un espejo fijo y un espejo móvil. La posición de los espejos 22a, 22c y 22e es fija, mientras que los espejos 22b, 22d y 22f son móviles con respecto a los espejos fijos 22a, 22c y 22e, de manera que se ajusta la distancia respectiva entre los espejos fijos correspondientes 22a, 22c y 22e, y los espejos móviles correspondientes 22b, 22d y 22f. El espejo 23 también es móvil. En la fig. 1, los espejos móviles 22b, 22d, 22f y 23 pueden moverse simultáneamente y juntos, por una misma distancia, de manera que los espejos de cada uno de los tres pares anteriormente mencionados de espejos estén dispuestos a la misma distancia mutua, en donde dicha distancia puede reducirse o incrementarse selectivamente mediante la fijación correspondiente de la posición de los espejos móviles 22b, 22d, 22f y 23 en la dirección horizontal.

En el caso de que los espejos móviles 22b, 22d, 22f y 23 se alejen de los espejos fijos 22a, 22c y 22e (p. ej., horizontalmente a la derecha en la vista esquemática de la fig. 1), se incrementa la longitud de camino óptico del segundo camino óptico P2. Por el contrario, si se desplazan los espejos móviles 22b, 22d, 22f y 2e hacia los espejos fijos 22a, 22c y 22e (p. ej., horizontalmente a la izquierda en la vista esquemática del a fig. 1), se reduce la longitud de camino óptico del segundo camino óptico P2. Más específicamente, en el ejemplo de la fig. 1, si los espejos móviles 22b, 22d, 22f y 23 se aleja de los espejos fijos 22a, 22c y 22e (p. ej., horizontalmente a la derecha en la vista esquemática de la fig. 1) en una distancia 8D, debido a que el incremento de distancia D se cuenta dos veces para cada uno de los espejos móviles 22b, 22d, 22f y 23 en vista del segmento correspondiente del segundo camino óptico P2 y del hecho de que la luz se transmite en ambos sentidos, hacia y desde el puerto de conexión 12, a lo largo del segundo camino óptico P2.

La fig. 2 ilustra el estado del módulo de medición 10 de la fig. 1 después de que los espejos móviles 22b, 22d, 22f y 23 hayan sido alejados de los espejos fijos 22a, 22c y 22e con respecto a esa situación en la fig. 1 con el fin de incrementar la longitud de camino óptico del segundo camino óptico P2.

Para cualesquiera realizaciones del módulo de medición 10 de la presente invención, el movimiento (p. ej., desplazamiento y/o inclinación) de los elementos ópticos del sistema regulador 20 de la longitud de camino óptico puede implementarse mediante un conjunto correspondiente de unidades motoras (no mostradas en los dibujos), incluyendo posiblemente galvanómetros, configurados para mover los elementos ópticos del sistema regulador 20 de

la longitud de camino óptico, por ejemplo los espejos móviles 22b, 22d, 22f y 23 en el caso de los ejemplos ilustrados en las figs. 1 y 2.

En los ejemplos ilustrados en las figs. 1 y 2, el sistema regulador 20 de la longitud de camino óptico está configurado para ajustar la longitud de camino óptico del segundo camino óptico P2 mediante el ajuste de la longitud de camino geométrico del segundo camino óptico P2 mediante el movimiento correspondiente de los espejos móviles 22b, 22d, 22f y 23. Lo anterior permite ajustar en continuo la longitud de camino óptico del segundo camino óptico P2, por ejemplo dentro de un intervalo de variaciones de la longitud del camino óptico de entre 40 μm y 750 mm. En algunos ejemplos, el sistema regulador 20 de la longitud de camino óptico puede permitir el ajuste de las variaciones de longitud del camino óptico con una precisión de ± 5 mm manualmente o utilizando un motor paso a paso. Pueden conseguirse ajustes más finos utilizando un piezómetro o un galvanómetro.

La fig. 3 muestra una vista esquemática de un ejemplo relacionado de un módulo de medición 10 según la invención, en el que el sistema regulador 20 de la longitud de camino óptico comprende un par de elementos 26a y 26b de refracción a través de los cuales se propaga el segundo camino óptico P2. Los elementos de refracción 26a y 26b son ambos móviles uno respecto al otro, tal como se indica en la fig. 3 mediante las flechas correspondientes. El sistema regulador 20 de la longitud de camino óptico puede ajustar la longitud del camino óptico del segundo camino óptico P2 mediante el ajuste de la longitud de una porción del segundo camino óptico P2 que se extiende a través de los elementos de refracción 26a, 26b, que presentan un índice de refracción superior al índice de refracción del aire, es decir, presentan $n > 1$ (o superior al índice de refracción de otras porciones del segundo camino óptico). En otros ejemplos relacionados, solo uno de los elementos de refracción 26a, 26b puede ser móvil con respecto al otro de los elementos de refracción 26a, 26b. Sin embargo, el hecho de que ambos elementos de refracción 26a, 26b sean móviles, tal como en el ejemplo mostrado en la fig. 3, puede compensar ventajosamente y evitar un desplazamiento del haz láser transmitido a través del segundo camino óptico P2 causado por refracción.

La fig. 4 ilustra el estado del módulo de medición 10 de la fig. 3 después de que los elementos de refracción 26a y 26b hayan sido movidos uno respecto al otro (en comparación con la situación en la fig. 3) con el fin de incrementar la longitud de camino óptico del segundo camino óptico P2. En el caso de que los elementos de refracción móviles 26a y 26b se hayan movido uno respecto a otro tal como se muestra en la fig. 4, la extensión de la porción del segundo camino óptico P2 que se extiende a través de los elementos de refracción 26a y 26b que presentan un índice de refracción superior a 1 (o superior al índice de refracción de otras porciones del segundo camino óptico) se incrementa, incrementando correspondientemente de esta manera la longitud de camino óptico del segundo camino óptico P2. De manera similar, pudo reducirse la longitud de camino óptico del segundo camino óptico P2 mediante el movimiento de los elementos de refracción móviles 26a y 26b uno respecto a otro de manera que se reducía la extensión de la porción del segundo camino óptico P2 que se extendía a través de los elementos de refracción 26a y 26b.

En los ejemplos ilustrados en las figs. 3 y 4, los elementos de refracción 26a y 26b son prismas triangulares que se han dispuesto en posición mutuamente contigua en una de sus caras externas, que se han dispuesto oblicuamente con respecto a la dirección del segundo camino óptico P2. La porción del segundo camino óptico P2 que se extiende a través de los elementos de refracción 26a y 26b puede ajustarse mediante el ajuste correspondiente de la posición relativa de ambos elementos de refracción, 26a y 26b, modificando de esta manera una porción de las caras contiguas de los mismos en los que se solapan ambos elementos de refracción 26a y 26b.

En los ejemplos ilustrados en las figs. 3 y 4, todos los elementos aparte del sistema regulador 20 de la longitud de camino óptico pueden ser idénticos a los elementos restantes descritos para el ejemplo discutido con respecto a las figs. 1 y 2, o corresponden al mismo, para el que se utilizan los mismos números de referencia. Dichos elementos no se explican nuevamente por brevedad. También debe señalarse que la localización del primer camino óptico P1 y el segundo camino óptico P2, que se indica explícitamente en la fig. 1, no se indica explícitamente en los dibujos restantes para facilitar la representación.

La fig. 5 muestra una vista esquemática de otro ejemplo relacionado del módulo de medición 10 de la invención, en el que el sistema regulador 20 de la longitud de camino óptico está configurado de manera diferente que el sistema regulador 20 de la longitud de camino óptico de los ejemplos previamente discutidos. En el presente caso, el módulo de medición 10 comprende una pluralidad de espejos fijos 21a, 21b, 21c, 21d y 23, en el que la luz láser es reflejada a lo largo del segundo camino óptico P2. Además, el sistema regulador 20 de la longitud de camino óptico comprende un par de espejos inclinados 24a, 24b que están configurados para reflejar múltiplemente un haz de luz láser que se propaga a través del segundo camino óptico P2 en superficies reflectantes del mismo.

Los espejos 24a y 24b están dispuestos de manera que las superficies reflectantes de los mismos están una frente a otra y en ángulo una respecto a otra, por ejemplo formando un ángulo de aproximadamente 8° , de manera que un haz de luz láser que se propaga a través del segundo camino óptico P2, en particular entre el espejo 20, 21c y 21d, se refleja múltiples veces, de ida y de vuelta, entre los espejos 24a y 24b, tal como se muestra en la fig. 5. El ángulo entre los espejos 24a y 24b ha sido exagerado en la fig. 5 con fines ilustrativos.

En este caso, el sistema regulador 20 de la longitud de camino óptico puede ajustar la longitud de camino óptico del segundo camino óptico P2 mediante la configuración de la posición relativa entre los dos elementos de reflexión

inclinados 24a y 24b, por ejemplo moviendo el espejo 24a con respecto al espejo 24b, tal como se indica en la fig. 5 mediante una flecha. El espejo 24b también puede ser móvil o puede ser fijo. Al mover los espejos 24a y 24b uno respecto al otro, la longitud de cada uno de los múltiples segmentos del segundo camino óptico P2 que se extiende entre los espejos 24a, 24b se modifica correspondientemente. Debido a que un haz de luz láser transmitido a lo largo del segundo camino óptico P2 se refleja múltiples veces entre los espejos inclinados 24a y 24b, puede conseguirse un ajuste global de la longitud de camino óptico del segundo camino óptico P2 que puede implementarse en los ejemplos que comprenden una pluralidad de espejos móviles, como por ejemplo, los ejemplos ilustrados en las figs. 1 y 2, mediante el movimiento de solo uno de los espejos inclinados 24a, 24b en el ejemplo de la fig. 5.

La utilización de diferentes elementos de reflexión y elementos de refracción tal como se ha discutido previamente con respecto a los ejemplos ilustrados en las figs. 1 a 5 no es mutuamente excluyente y el experto en la materia entenderá que pueden combinarse los diferentes tipos de elementos de reflexión y/o elementos de refracción dados a conocer en el presente documento libremente en un módulo de medición según la presente invención. Ello significa, en particular, que las diferentes configuraciones del sistema regulador 20 de la longitud de camino óptico discutidas anteriormente con respecto a los ejemplos ilustrados en las figs. 1 a 5 pueden combinarse entre sí. Por ejemplo, la fig. 6 muestra una vista esquemática de un módulo de medición 10 según un ejemplo adicional de la invención, en el que el sistema regulador 20 de la longitud de camino óptico integra un conjunto de espejos móviles, de manera similar al sistema de espejos utilizado en los ejemplos de las figs. 1 y 2, y dos pares de espejos inclinados similares al par de espejos inclinados del ejemplo de la fig. 5.

En el módulo de medición 10 mostrado en la fig. 6, el sistema regulador 20 de la longitud de camino óptico comprende una pluralidad de espejos móviles 22b, 22d, 22f y 22h, una pluralidad de espejos estáticos 21a, 21c, 21e y 23, y dos pares 24-1 y 24-2 de espejos inclinados. De acuerdo con lo anterior, el sistema regulador 20 de la longitud de camino óptico del presente ejemplo puede ajustar la longitud de camino óptico del segundo camino óptico P2 de diferentes maneras.

En el ejemplo de la fig. 6, una primera manera de ajustar la longitud de camino óptico del segundo camino óptico P2 es mediante la modificación de la posición de los espejos móviles 22b, 22d, 22f y 22h, lo que resulta en una modificación correspondiente de la longitud de camino óptico del segundo camino óptico P2. Los espejos móviles 22b, 22d, 22f y 22h pueden moverse juntos, simultáneamente, en la misma dirección. Si el bloque que comprende los espejos móviles 22b, 22d, 22f y 22h se desplaza en la dirección horizontal, tal como se indica en la fig. 6 mediante una flecha, en una distancia D, la longitud de camino óptico del segundo camino óptico P2 se modifica correspondientemente en una distancia 8D (4D en la dirección hacia adelante y 4D en la dirección hacia atrás).

Una segunda manera de ajustar la longitud de camino óptico del segundo camino óptico P2 en el ejemplo de la fig. 6 es mediante la utilización de los dos pares 24-1 y 24-2 de espejos inclinados. El primer par 24-1 de espejos inclinados comprende un espejo fijo 24-1b y un espejo móvil 24-1a. El segundo par 24-2 de espejos inclinados comprende un espejo fijo 24-2b y un espejo móvil 24-2a. Los espejos móviles 24-1a y 24-2a pueden moverse juntos, simultáneamente y/o en la misma dirección, según corresponda.

En cualquiera de los ejemplos del módulo de medición 10 descrito con respecto a las figs. 1 a 6, la carcasa 11 es preferentemente estanca a los líquidos y/o estanca al polvo, en particular de acuerdo con la norma IP64.

La fig. 7 muestra una vista esquemática de un aparato 1 de procesamiento láser según la invención que incluye un módulo de procesamiento láser 30, un módulo de medición 10 y un dispositivo de detección de distancias 40. El módulo de procesamiento láser 30 está configurado para el procesamiento por láser de una pieza de trabajo P que se coloca en un campo de trabajo 37 asociado al módulo de procesamiento láser 30. El campo de trabajo 37 puede definirse en una plataforma móvil configurada para sujetar la pieza de trabajo P y/o capas de material de trabajo para formar la pieza de trabajo P, posiblemente a diferentes alturas configurables con respecto al módulo de procesamiento láser 30.

La pieza de trabajo puede ser, por ejemplo, un objeto que se esté fabricando aditivamente con el módulo de procesamiento láser 30, o un dispositivo electrónico o parte de dispositivo, tal como una batería o parte de batería, en la que el módulo de procesamiento láser 30 puede estar implementando un procedimiento de soldadura láser.

El módulo de procesamiento láser 30 está configurado para procesar por láser la pieza de trabajo P en el campo de trabajo 37 mediante escaneo de un haz de trabajo W de luz láser sobre el campo de trabajo 37 para interactuar térmicamente con el material de trabajo del que está constituido la pieza de trabajo P. El haz de trabajo W se introduce en el módulo de procesamiento láser 30 a través de una entrada 38. En otras realizaciones relacionadas, la entrada 38 puede incluir o sustituirse por una fuente de luz láser para generar el haz de trabajo W.

El módulo de procesamiento láser 30 comprende un elemento óptico 32, por ejemplo un espejo dicróico, que es reflectante del haz de trabajo W y está configurado para reflejar el haz de trabajo W hacia una unidad de direccionado 34, que está configurada para escanear el haz de trabajo W en el campo de trabajo 37 a través de una ventana 33 transparente al láser que se forma en la carcasa 31 del módulo de procesamiento láser 30. La unidad de direccionado

34 comprende un par de espejos 34a y 34b móviles en XY. La carcasa 31 encierra los componentes restantes del módulo de procesamiento láser 30.

El módulo de medición 10 del aparato 1 puede corresponder a un módulo de medición 10 según cualquiera de las realizaciones de la presente invención, en particular según cualquiera de las realizaciones de ejemplo discutidas anteriormente con respecto a las figs. 1 a 6. En la realización de ejemplo específica mostrada en la fig. 7, el módulo de medición 10 corresponde al módulo de medición 10 de las figs. 3 y 4, aunque lo anterior debe entenderse como un ejemplo no limitativo.

El módulo de medición 10 está ópticamente acoplado con el módulo de procesamiento láser 30 mediante el puerto de acoplamiento 14 y mediante un puerto de acoplamiento 39 correspondiente del módulo de procesamiento láser 30 que está formado a través de la carcasa 31 del módulo de procesamiento láser 30. La carcasa 31 puede ser estanca a los líquidos y/o estanca al polvo, en particular de acuerdo con la norma IP64.

El módulo de medición 10 está mecánicamente acoplado con el módulo de procesamiento láser 30 mediante un acoplamiento mecánico entre la carcasa 11 del módulo de medición 10 y la carcasa 31 del módulo de procesamiento láser 30, de manera que el módulo de medición 10 esté dispuesto en contigüidad al módulo de procesamiento láser 30.

Tal como puede observarse en la fig. 7, el haz de luz láser que se propaga a través del segundo camino óptico P2 del módulo de medición 10 está ópticamente acoplado a través del puerto de acoplamiento 14 y a través del puerto de acoplamiento 39 en el interior del módulo de procesamiento láser 30 en la forma de un haz de medición M, que se transmite a través del elemento óptico 32 hacia la unidad de direccionado 34 del módulo de procesamiento láser 30. La unidad de direccionado puede escanear, por lo tanto, el campo 32 de trabajo tanto con el haz de trabajo W como con el haz de medición M. El espejo dicróico 32 es transmisor del haz de medición M.

Según algunos ejemplos, el haz de trabajo puede estar formado por luz láser con una longitud de onda entre 1000 nm y 1100 nm, mientras que el haz de medición puede estar formado de luz láser con una longitud de onda entre 810 nm y 850 nm. En la realización mostrada en la fig. 7, el espejo dicróico es reflectante de longitudes de onda entre 1030 nm y 1090 nm y transmisor de longitudes de onda entre 400 nm y 950 nm.

El dispositivo de detección de distancias 40 está ópticamente acoplado al puerto de acoplamiento 12 del módulo de medición 10. En la realización de ejemplo mostrada, el dispositivo de detección de distancias 40 incluye una fuente de luz láser para generar luz láser coherente que genera los haces láser que se propagan a lo largo del primer camino óptico P1 y el segundo camino óptico P2 del módulo de medición 10. Además, el dispositivo de detección de distancias 40 comprende un sensor de interferencia configurado para llevar a cabo mediciones de detección de la distancia basándose en la interferencia de la luz láser que se propaga a través del primer camino óptico P2 del módulo de medición 10 con la luz láser que se propaga a través del segundo camino óptico P2 del módulo de medición 10 (correspondiente al haz de medición M).

De esta manera, el dispositivo de detección de distancias 40 y el módulo de medición 10 implementan, en combinación, un sistema interferométrico, en el que el primer camino óptico P1 forma el brazo de referencia del sistema interferométrico y el segundo camino óptico P2 forma el brazo de objeto del sistema interferométrico. Debido a la configuración del módulo de medición 10, el brazo de referencia de este sistema interferométrico presenta una longitud fija del camino óptico, mientras que la longitud de camino óptico del brazo de objeto, que es seguida por el haz de medición M, es ajustable por el sistema regulador 20 de la longitud de camino óptico del módulo de medición 10.

La luz láser transmitida a través del puerto de acoplamiento 14 entre el módulo de medición 10 y el módulo de procesamiento láser 30 forma el haz de medición M que es utilizado en el aparato 1 de procesamiento láser, en particular por el dispositivo de detección de distancias 40, para llevar a cabo mediciones de distancia.

El haz de medición M, tras alcanzar la pieza de trabajo P y/o el campo de trabajo 37, es reflejado de vuelta pasada la unidad de direccionado 34 y pasado el elemento óptico 32 hasta el interior del módulo de medición 10, en donde se propaga nuevamente (hacia atrás) a lo largo del segundo camino óptico P2 hasta el interior del dispositivo de detección de distancias 40. Basándose en la comparación interferométrica entre el haz de medición M recibido a través del segundo camino óptico P2 y el haz correspondiente de luz láser que se propaga a lo largo del primer camino óptico P2, el dispositivo de detección de distancias 40 puede llevar a cabo mediciones de distancia, por ejemplo para determinar variaciones en la distancia entre la pieza de trabajo P y/o el campo de trabajo 37 y la unidad de direccionado 34. Adicional o alternativamente, el dispositivo de detección de distancias 40 puede estar configurado para determinar los valores absolutos de dichas distancias.

Las diferentes distancias relacionadas con el procesamiento por láser de la pieza de trabajo P por el módulo de procesamiento láser 30 pueden variar durante el procedimiento de procesamiento por láser. Por ejemplo, la distancia WD de trabajo correspondiente a la distancia mínima entre el campo de trabajo 37 o la pieza de trabajo P y el módulo de procesamiento láser 30, pueden variar. Por ejemplo, el aparato 1 de procesamiento láser puede utilizarse con una distancia de trabajo $WD=200$ mm para un primer uso y puede utilizarse con una distancia de trabajo $WD=1000$ mm

para un segundo uso diferente del primer uso. En consecuencia, el campo de trabajo 37 y/o la pieza de trabajo P podrían ya no estar dentro del intervalo de distancias ópticas del dispositivo de detección de distancias 40 en el que el dispositivo de detección de distancias 40 garantiza la detección de la distancia con una precisión dada. El módulo de medición 10 de la presente invención permite compensar dicha variación en la distancia de trabajo WD mediante la adaptación correspondiente de la longitud de camino óptico del segundo camino óptico P2 para garantizar que el dispositivo de detección de distancias 40 puede continuar funcionando bajo condiciones de detección óptimas con independencia de la concurrencia de dichas fuentes de variabilidad de la distancia, es decir, que el campo de trabajo 37 y/o la pieza de trabajo P se mantengan dentro del intervalo de detección óptima del dispositivo de detección de distancias incluso después de modificar la distancia de trabajo.

Por ejemplo, si se modifica la distancia WD de trabajo, por ejemplo desde un valor $WD=300$ mm a un valor $WD=1000$ mm, o a la inversa, ello causa una modificación correspondiente de la longitud del camino óptico del haz de medición M de 700 mm. En consecuencia, si el dispositivo de detección de distancias 40 se había configurado inicialmente para llevar a cabo una detección precisa de la distancia a una distancia óptica respecto al dispositivo de detección de distancias 40 correspondiente a la distancia de trabajo $WD=300$ dentro de un intervalo de detección de ± 10 mm, las detecciones de la distancia por el dispositivo de detección de distancias 40 ya no serán posibles o por lo menos no con la misma precisión cuando la distancia de trabajo adopte el valor $WD=1000$ mm, ya que el campo de trabajo 37 y/o la pieza de trabajo P estarán fuera del intervalo de detección del dispositivo de detección de distancias 40. Además, si el haz de medición M estaba enfocada en el campo de trabajo 37 y/o en la pieza de trabajo P par aun valor inicial de la distancia de trabajo $WD=300$ mm, la modificación de la distancia WD de trabajo puede causar que el haz de medición pierda enfoque y ello conduzca a una relación señal-ruido empeorada para el dispositivo de detección de distancias 40, que ya no podrá funcionar bajo condiciones de detección óptimas. Con el fin de compensar lo anterior, el sistema regulador 20 de la longitud de camino óptico del módulo de medición 10 de la invención puede operarse para compensar la modificación en la longitud de camino óptico del haz de medición M debido a la modificación de la distancia WD de trabajo, mediante el ajuste correspondiente de la longitud de camino óptico del segundo camino óptico P2 dentro del módulo de medición 10, de manera que la diferencia entre la longitud fija del camino óptico del primer camino óptico P1 y la longitud e camino óptico del segundo camino óptico P2 adopte nuevamente el valor inicial. Una vez dicha compensación por el sistema 20 de compensación de la longitud del camino óptico sea implementada, las detecciones de distancia por el dispositivo de detección de distancias 40 continuará siendo posible con la misma precisión que para el valor inicial de la distancia de trabajo, ya que el campo de trabajo 37 y/o la pieza de trabajo P se encontrarán nuevamente dentro del intervalo de detección del dispositivo de detección de distancias 40. Además, el haz de medición M se enfocará nuevamente de manera automática en el haz 37 de trabajo y/o en la pieza de trabajo P para la nueva distancia WD de trabajo y el dispositivo de detección de distancias 40 continuará funcionando con una relación señal-ruido óptica y, por lo tanto, con una precisión óptima. Especialmente, ello no requiere operar el dispositivo 18 de enfoque y/o el dispositivo de detección de distancias 40, o modificar la configuración de los mismos.

Operando de la misma manera, el módulo de medición 10 de la invención puede compensar las variaciones en la longitud del camino óptico del haz de medición debido al desvío/inclinación accidental del campo de trabajo 37 (ver el desvío respecto al plano horizontal X ilustrado en la fig. 7).

El dispositivo de detección de distancias 40 puede estar configurado para llevar a cabo mediciones de la distancia, por ejemplo para determinar la distancia entre la pieza de trabajo P y/o el campo de trabajo 37, y de la unidad de direccionado 34, y/o variaciones den dicha distancia debidas a un desvío/inclinación accidental del campo de trabajo 37 (ver el desvío respecto al plano horizontal X ilustrad en la fig. 7) y/o debdo a la presencia de irregularidades superficiales 35 en el campo de trabajo 37 y/o en la pieza de trabajo P. El dispositivo de detección de distancias 40 también puede llevar a cabo mediciones de la distancia para detectar el valor absoluto de la distancia WD de trabajo o variaciones en la distancia WD de trabajo.

El módulo de procesamiento láser 30 comprende un dispositivo 36 de enfoque dispuesto entre la entrada 38 y el elemento óptico 32 que está configurado para enfocar el haz de trabajo W en el campo de trabajo 37 y/o en la pieza de trabajo P. El dispositivo 36 de enfoque está comprendido dentro de la carcasa 31 del módulo de procesamiento láser 30. El dispositivo 36 de enfoque puede corresponder, en particular, a una unidad de enfoque (ver "Fokussierungsvorrichtung") tal como se da a conocer en el documento WO 2018/078137 A1. Especialmente, el módulo de medición 10 incluye el dispositivo 18 de enfoque, que puede estar configurado para (en combinación con el sistema regulador 20 de la longitud de camino óptico) enfocar el haz de medición M en el campo de trabajo 37 y/o en la pieza de trabajo P, en particular de manera que la posición del foco del haz de medición M corresponda a la posición del foco del haz de trabajo W. De eta manera, el haz de trabajo W y el haz de medición M pueden ser enfocados por dispositivos de enfoque correspondientes 36 y 18, respectivamente. Ello permite ajustar la configuración de enfoque del dispositivo 36 de enfoque para el haz de trabajo W sin afectar a la configuración de enfoque del haz de medición M. Además, el dispositivo 36 de enfoque no necesita adaptarse al dispositivo de detección de distancias 40, y viceversa.

La fig. 8 muestra una realización relacionada del aparato 1 de procesamiento láser mostrado en la fig. 7, que incluye el módulo de procesamiento láser 30, el módulo de medición 10 y el dispositivo de detección de distancias 40. En la realización mostrada en la fig. 8, el aparato 1 de procesamiento láser incluye, además, una unidad 56 de control que está operativamente conectada a la unidad de direccionado 34, en particular con cada uno de los espejos 34a y 34b,

con la unidad 36 de enfoque, con el dispositivo de detección de distancias 40, con el dispositivo 18 de enfoque, y con el sistema regulador 20 de la longitud de camino óptico. La unidad 56 de control puede ser, por ejemplo, una tarjeta de control SP-ICE.

La fig. 8 ilustra esquemáticamente una fuente adicional de variabilidad de la distancia que puede ser compensada por el sistema regulador 20 de la longitud de camino óptico del módulo de medición 10. Debido a que la unidad de direccionado 34 del módulo de procesamiento láser 30 opera en diferentes ángulos α de direccionado para escanear el haz de medición M sobre el campo de trabajo 37 plano, el enfoque del haz de medición M define una trayectoria circular S. En consecuencia, si no se implementa ninguna compensación, con ángulos de direccionado crecientes, es decir, en posiciones periféricas en el campo de trabajo 37 distantes del centro del campo de trabajo 37, la longitud de camino óptico del haz de medición M puede variar incontroladamente. Por ejemplo, a medida que se incrementa el ángulo α de direccionado, puede incrementarse la longitud de camino óptico del haz de medición M en un factor de $\left(\frac{1-\cos \alpha}{\cos \alpha}\right)$. Como resultado, en particular para valores elevados del ángulo α de direccionado, el campo de trabajo 37 y/o la pieza de trabajo P pueden salir del intervalo de detección del dispositivo de detección de distancias 40, en el que el dispositivo de detección de distancias 40 puede estar configurado para llevar a cabo detecciones precisas de la distancia. En consecuencia, las detecciones de la distancia por el dispositivo de detección de distancias 40 pueden perder precisión o incluso dejar de ser posibles. Además, el haz de medición M puede desenfocarse cada vez más.

Para compensar lo anterior de manera que las detecciones de la distancia por el dispositivo de detección de distancias 40 continúe siendo posible incluso para valores grandes del ángulo α de detección (es decir, incluso en una región periférica del campo de trabajo 37) con tanta precisión como para valores más pequeños del ángulo α de direccionado (es decir, en una región central del campo de trabajo 37) y de manera que el haz de medición M se mantenga enfocado en el campo de trabajo 37 plano con independencia de la configuración de la unidad de direccionado 34, es decir, con independencia del ángulo α de direccionado, la unidad 56 de control está configurada para controlar correspondientemente el sistema regulador 20 de la longitud de camino óptico del módulo 10 de medición dependiendo de la función del ángulo α de direccionado implementada por la unidad de direccionado 34. Por ejemplo, para cada configuración de la unidad de direccionado 34, la unidad 56 de control puede estar configurada para compensar una variación correspondiente de la longitud de camino óptico del haz de medición M mediante el control correspondiente del sistema regulador 20 de la longitud de camino óptico para ajustar la longitud de camino óptico del segundo camino óptico P2 de manera que la diferencia entre la longitud del camino óptico fijo del primer camino óptico P2 y la longitud del camino óptico variable del segundo camino óptico P2 se mantenga constante para todos los valores del ángulo α de direccionado.

Adicional o alternativamente, la unidad 56 de control puede estar configurada para controlar el sistema regulador 20 de la longitud de camino óptico basándose en la distancia y/o variación de la distancia determinada por el dispositivo de detección de distancias 40 y/o para compensar cualquiera de las posibles fuentes de variabilidad de la distancia discutidas anteriormente para la realización de la fig. 7, por ejemplo como una función de la distancia WD de trabajo.

Por ejemplo, si se modifica la distancia WD de trabajo, la unidad 56 de control puede detectar esta variación, por ejemplo mediante una entrada por el usuario, mediante comunicación directa con una plataforma móvil en la que puede definirse el campo de trabajo 37 (la distancia WD de trabajo corresponde en este caso a una distancia entre la plataforma móvil y el módulo de procesamiento láser 30) y la unidad 56 de control puede entonces controlar el sistema regulador 20 de la longitud de camino óptico correspondientemente para ajustar la longitud de camino óptico del segundo camino óptico P2 con el fin de compensar la variación en la distancia WD de trabajo tal como se ha explicado anteriormente.

En referencia nuevamente a la fig. 7, una desalineación del campo de trabajo 37 con respecto a una alineación objetivo pretendida del mismo, por ejemplo con respecto a una alineación horizontal según un plano horizontal X mostrado en la fig. 7, puede conducir a variaciones no intencionadas en la distancia entre la unidad de direccionado 34 y el campo de trabajo 37. A modo de ejemplo adicional, la presencia de irregularidades superficiales 35 en el campo de trabajo 37 o en la superficie superior de la pieza de trabajo P también puede conducir a variaciones no intencionadas en la distancia entre la unidad de direccionado 34 y el campo de trabajo 37. Cualquiera de estas fuentes de variación de la distancia está asociada a una variación (no intencionada) correspondiente de la longitud total del camino óptico del haz de medición M, que sin embargo no afecta sustancialmente a la detección de distancias por el dispositivo de detección de distancias 40 con la condición de que la variación no intencionada de la longitud total del camino óptico del haz de medición M no conduzca a que el campo de trabajo 37 y/o la pieza de trabajo P salgan del intervalo de detección del dispositivo de detección de distancias 40. En los casos en que tales variaciones no intencionadas de la longitud total del camino óptico del haz de medición M puedan llevar a que el campo de trabajo 37 y/o la pieza de trabajo P salgan del intervalo de detección del dispositivo de detección de distancias 40, el sistema regulador 20 de la longitud de camino óptico puede utilizarse para compensar la variación no intencionada de la distancia, posiblemente en tiempo real.

La unidad 56 de control puede estar configurada para operar el sistema regulador 20 de la distancia de camino óptico para ajustar correspondientemente la longitud de camino óptico del segundo camino óptico P2 bajo la condición de que una variación de la longitud total del camino óptico del haz de medición M superior a un umbral predeterminado

correspondiente al intervalo de detección del dispositivo 40 de detección de la distancia, sea detectada, en particular por el dispositivo de detección de distancias 40.

Por ejemplo, en el caso de que la distancia entre la unidad de direccionado 34 y el campo de trabajo 37 varíe debido a una irregularidad 35 en la superficie del campo de trabajo 37 o de la pieza de trabajo P, o debido a una desalineación del campo de trabajo 37 mismo (ver la fig. 7), ello podría ser detectado por el dispositivo de detección de distancias 40, y la unidad 56 de control puede controlar el sistema regulador 20 de la distancia de camino óptico para ajustar correspondientemente la longitud de camino óptico del segundo camino óptico P2 en caso necesario para mantener el campo de trabajo 37 y/o la pieza de trabajo P dentro del intervalo de detección del dispositivo de detección de distancias 40. En caso contrario, si la compensación no es necesaria para mantener el campo de trabajo 37 y/o la pieza de trabajo P dentro del intervalo de detección del dispositivo de detección de distancias 40, la unidad 56 de control no necesitará operar el sistema regulador 20 de la longitud de camino óptico.

La fig. 9 muestra una vista esquemática de una realización relacionada de un aparato 1 de procesamiento láser similar al aparato de procesamiento láser ilustrado en la fig. 8, aunque en el que el módulo de medición 10 corresponde al módulo de medición de la fig. 6 y no al módulo de medición de las figs. 3 y 4. En la presente realización, el sistema regulador 20 de la longitud de camino óptico puede operarse para ajustar la longitud de camino óptico del segundo camino óptico P2 mediante el movimiento de los espejos móviles 22b, 22d, 22f y 22h (ver la fig. 6) o mediante el movimiento de los espejos inclinados móviles 24-1a y 24-2a.

La unidad 56 de control de la realización mostrada en la fig. 9 puede estar configurada para controlar el sistema regulador 20 de la longitud de camino óptico para ajustar la longitud de camino óptico del segundo camino óptico P2 mediante el movimiento de los espejos móviles 22b, 22d, 22f y 22h en el caso de que la variación de la distancia que va a compensarse esté causada, por ejemplo, por un cambio en la distancia WD de trabajo, por ejemplo en un intervalo de entre 200 mm y 750 mm, debido a que esta compensación no requiere posiblemente velocidades de compensación elevadas y/o ajuste fino en tiempo real. En el caso de que la variación de la distancia que va a compensarse corresponda a un cambio en la configuración de la unidad de direccionado 34 (ver la fig. 8), p. ej., a un cambio en el ángulo α de direccionado, a una desalineación del campo de trabajo 37 y/o a la presencia de irregularidades superficiales 35 en el campo de trabajo 37 o en una superficie más externa de la pieza de trabajo P, cuya variación de la distancia puede estar, por ejemplo, comprendida en el intervalo de entre 20 mm y 50 mm, la unidad 56 de control puede estar configurada para operar el sistema regulador 20 de la longitud de camino óptico para compensar dichas variaciones de la distancia con rapidez, en tiempo real, posiblemente durante una operación de escaneo de la unidad de direccionado 34, mediante un ajuste correspondiente de la longitud de camino óptico del segundo camino óptico P2 mediante el movimiento de los espejos inclinados móviles 24-1a y 24-2a. En este caso, mediante el movimiento de un número reducido de espejos, en particular dos espejos, con una masa total reducida, puede implementarse en tiempo real un ajuste fino rápido de la longitud de camino óptico del segundo camino óptico P2, por ejemplo en un tiempo de reacción de entre 2 ms y 5 ms.

Tal como se muestra en la fig. 9, el módulo de medición 10 puede incluir un elemento dicróico 64 configurado para extraer una parte de la luz láser (un subintervalo de longitudes de onda de la misma) que se propaga a lo largo del segundo camino óptico P2 mediante un puerto 62 de monitorización formado en la carcasa 11 del módulo de medición. Un dispositivo 600 de monitorización óptica puede entonces conectarse al puerto 62 de monitorización y utilizarse para obtener información sobre el procedimiento con láser que se está llevando a cabo con el módulo de procesamiento láser 30, utilizando la luz extraída a través del puerto 62 de monitorización. El dispositivo 60 de monitorización óptica genera un haz láser de monitorización que se copropaga con el haz de medición M a lo largo del camino del haz de medición, hasta el campo de trabajo 37 y de vuelta, para monitorizar el procesamiento láser realizado por el haz de trabajo W del módulo 38 de procesamiento láser. El haz láser de monitorización puede presentar una longitud de onda diferente de la longitud de onda del haz de medición M y/o del haz de trabajo W, por ejemplo una longitud de onda de 633 nm. El dispositivo 60 de monitorización óptica puede ser o comprender una cámara. El haz láser de monitorización corresponde a dicha parte del haz de luz láser que se propaga a lo largo del segundo camino óptico P2 que es extraído por el elemento dicróico 64.

En la realización de ejemplo mostrada en la fig. 9, el elemento dicróico 64 sustituye al espejo 23 de la fig. 3. El elemento dicróico 64 está configurado para reflejar el haz de medición M procedente del puerto de acoplamiento 14 hacia el sistema regulador 20 de la dirección de camino óptico y para transmitir el haz láser de monitorización, procedente del puerto de acoplamiento 14 hacia el puerto 62 de monitorización.

En otras realizaciones relacionadas, en lugar de sustituir el espejo 23 de la fig. 3, el elemento dicróico 64 puede estar dispuesto en una posición alternativa, indicada en la fig. 9 mediante una flecha negra entre el puerto de conexión 12 y el dispositivo 18 de enfoque para extraer luz del haz de medición entre el dispositivo 18 de enfoque y el puerto de conexión 12. En realizaciones similares, el elemento dicróico 64 puede disponerse entre el dispositivo 18 de enfoque y el sistema regulador 20 de la longitud de camino óptico para extraer luz del haz de monitorización en el mismo. Estas configuraciones presentan la ventaja de que la luz extraída puede mantenerse dentro del intervalo de detección del dispositivo 60 de monitorización óptica y enfocarse con independencia de posibles variaciones de la longitud de camino óptico del haz de medición M, debido a que dichas variaciones pueden ser compensadas por el sistema regulador 20 de la longitud de camino óptico.

REIVINDICACIONES

1. Aparato (1) de procesamiento láser, que comprende:
 un módulo de procesamiento láser (30) para el procesamiento con láser de una pieza de trabajo (P) en un campo de trabajo (37) utilizando un haz de trabajo (W), y
 un módulo de medición (10), en el que el módulo de medición (10) comprende:
 una carcasa (11) que comprende un puerto de conexión (12) para acoplar ópticamente el módulo de medición (10) a un dispositivo de detección de distancias y a un puerto de acoplamiento (14), en el que el puerto de conexión (12) y el puerto de acoplamiento (14) están formados a través de la carcasa (11),
 en donde un primer camino óptico (P1) y un segundo camino óptico (P2) para la luz láser están definidos dentro de la carcasa (11) para la luz láser recibida y emitida por el puerto de conexión (12), en donde el primer camino óptico (P1) está definido entre el puerto de conexión (12) y un reflector óptico de referencia (16) del módulo de medición (10),
 en donde el reflector óptico de referencia (16) refleja la luz láser de vuelta al puerto de conexión (12), en donde el segundo camino óptico (P2) está definido entre el puerto de conexión (12) y el puerto de acoplamiento (14), y de vuelta al puerto de conexión (12),
 y en donde el módulo de medición (10) comprende, además, un sistema regulador de la longitud de camino óptico (20) configurado para ajustar una diferencia de longitudes de camino óptico entre la longitud de camino óptico del primer camino óptico (P1) y la longitud de camino óptico del segundo camino óptico (P2),
 en donde el primer camino óptico (P1) presenta una longitud de camino óptico predefinida fija y en donde el segundo camino óptico (P2) presenta una longitud de camino óptico variable y ajustable por el sistema regulador de la longitud de camino óptico (20),
 en donde el módulo de medición (10) está acoplado ópticamente al módulo de procesamiento láser (30) por el puerto de acoplamiento (14) del mismo para recibir y emitir luz láser desde y hacia el módulo de procesamiento láser (30) en la forma de un haz de medición (M),
 en donde el módulo de procesamiento láser (30) comprende:
 un elemento óptico (32) para reflejar el haz de trabajo (W) o el haz de medición (M) y para transmitir a su través el haz de medición (M) o haz de trabajo (W), respectivamente, y
 una unidad de direccionado (34) para desviar el haz de trabajo (W) y el haz de medición (M) hasta y desde la pieza de trabajo (P) y/o el campo de trabajo (37),
 en donde un camino del haz de trabajo y un camino del haz de medición están definidos en el módulo de procesamiento láser (30) para el haz de trabajo (W) y el haz de medición (M), respectivamente, en donde el camino del haz de trabajo está definido de manera que el haz de trabajo (W) es reflejado/transmitido por el elemento óptico (32) hacia la unidad de direccionado (34) y es desviado por la unidad de direccionado (34) hacia la pieza de trabajo (P) y/o el campo de trabajo (37),
 en donde el haz de medición (M) se propaga en el módulo de medición (10) a lo largo del segundo camino óptico (P2) del módulo de medición (10), en donde el camino del haz de medición está definido de manera que el haz de medición (M) se propaga desde el puerto de acoplamiento (14) del módulo de medición (10) hasta el elemento óptico (32) y hasta la unidad de direccionado (34) y de vuelta al puerto de acoplamiento (14), siendo transmitido/reflejado por el elemento óptico (32) hacia y desde la unidad de direccionado (34), siendo desviado por la unidad de direccionado (34) hacia y desde la pieza de trabajo (P) y/o el campo de trabajo (37), y siendo reflejado de vuelta por la pieza de trabajo (P) y/o por el campo de trabajo (37).
2. Aparato de procesamiento láser según la reivindicación 1, en el que el sistema regulador de la longitud de camino óptico (20) está configurado para variar la longitud de camino óptico del segundo camino óptico (P2) en una variación de la longitud de camino óptico comprendida en el intervalo de entre 20 μm y 1200 mm, preferentemente de entre 40 μm y 750 mm.
3. Aparato de procesamiento láser según la reivindicación 1 o 2, en el que el módulo de medición (10) comprende, además, un dispositivo focalizador (18) dispuesto en el segundo camino óptico (P2), en particular entre el puerto de conexión (12) y el sistema regulador de la longitud de camino óptico (20), configurado para enfocar la luz láser transmitida por el segundo camino óptico (P2), en donde el dispositivo focalizador (18) preferentemente presenta una longitud focal fija.
4. Aparato de procesamiento láser según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el sistema regulador (20) de longitud de camino óptico comprende una pluralidad de elementos de reflexión (22a, 22b, 22c, 22d, 22e, 22f) para reflejar la luz láser a lo largo del segundo camino óptico (P2), en el que la pluralidad de elementos de reflexión (22a, 22b, 22c, 22d, 22e, 22f) comprende por lo menos dos elementos de reflexión móviles (22b, 22d, 22f), en el que la longitud de camino óptico del segundo camino óptico (P2) es ajustable, en particular ajustable de manera continua, mediante configuración de la posición de los dos o más elementos de reflexión móviles (22b, 22d, 22f),
 en el que el sistema regulador de la longitud de camino óptico (20) preferentemente comprende por lo menos un par de elementos de reflexión (22a, 22b, 22c, 22d, 22e, 22f) para reflejar la luz láser a lo largo del segundo camino óptico (P2), en el que la extensión del segundo camino óptico (P2) entre elementos

- de reflexión (22a, 22b, 22c, 22d, 22e, 22f) de cada uno de por lo menos un par de elementos de reflexión preferentemente es ajustable, en particular ajustable de manera continua, mediante la configuración de la posición relativa, en particular la distancia de separación, entre los elementos de reflexión (22a, 22b, 22c, 22d, 22e, 22f) de cada uno del par o pares de elementos de reflexión,
 5 en el que cada par de elementos de reflexión (22a, 22b, 22c, 22d, 22e, 22f) más preferentemente comprende un elemento de reflexión móvil (22b, 22d, 22f) que puede moverse en una dirección correspondiente al segundo camino óptico (P2), y/o
 en el que el sistema regulador (20) de la longitud de camino óptico está preferentemente configurado para desplazar simultánea y/o igualmente dos o más, preferentemente la totalidad, de los elementos de
 10 reflexión móviles (22b, 22d, 22f),
 en el que la totalidad de los elementos de reflexión móviles (22b, 22d, 22f) preferentemente pueden moverse juntos en la misma dirección.
5. Aparato de procesamiento láser según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el sistema regulador de la longitud de camino óptico (20) comprende por lo menos un par de elementos de reflexión (24a, 24b) inclinados para reflejar múltiplemente la luz láser a lo largo del segundo camino óptico (P2) en sus superficies reflectantes, en el que las superficies reflectantes de cada uno de los elementos de reflexión de cada uno del par o pares de elementos de reflexión inclinados están una frente a otra y en ángulo una respecto a la otra, en donde la extensión del segundo camino óptico (P2) entre los elementos de reflexión (24a, 24b) inclinados de cada uno del par o pares de elementos de reflexión mutuamente inclinados es ajustable mediante la configuración de la posición relativa entre dichos elementos de reflexión (24a, 24b) inclinados, preferentemente mediante el movimiento de ambos elementos indicados (24a, 24b) de reflexión inclinados.
6. Aparato de procesamiento láser según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el sistema regulador de la longitud de camino óptico (20) comprende por lo menos un par de elementos de refracción (26a, 26b) para transmitir a su través la luz láser a lo largo del segundo camino óptico (P2), en el que la extensión del segundo camino óptico (P2) a través de los elementos de refracción (26a, 26b) de cada uno del par o pares de elementos de refracción (26a, 26b) es ajustable mediante configuración de la posición relativa de dichos elementos de refracción (26a, 26b), preferentemente mediante el movimiento de ambos elementos indicados (26a, 26b) de refracción uno respecto a otro.
7. Aparato de procesamiento láser según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el módulo de medición (10) comprende, además, un dispositivo de detección de distancias (40), en particular un dispositivo de detección que incluye o es conectable a un sensor de interferencia, ópticamente acoplado al puerto de conexión (12) y configurado para detectar una distancia en base a una interferencia de la luz láser recibida por el dispositivo de detección de distancias (40) procedente del primer camino óptico (P1) con la luz láser recibida por el dispositivo de detección de distancias (40) procedente del segundo camino óptico (P2).
8. Aparato de procesamiento láser según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el módulo de medición (10) comprende, además, un puerto (62) de monitorización y un elemento óptico (64) configurado para reflejar una primera parte de la luz láser que se propaga a lo largo del segundo camino óptico (P2) y para transmitir una segunda parte de dicha luz láser que se propaga a lo largo del segundo camino óptico (P2), de manera que dicha primera o segunda parte es extraída del segundo camino óptico (P2) y dirigida hacia el puerto (62) de monitorización.
9. Aparato de procesamiento láser según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el reflector óptico de referencia (16) es un espejo inmóvil fijo o un retrorreflector inmóvil fijo.
10. Aparato de procesamiento láser según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la carcasa (11) es estanca a líquidos y/o estanca al polvo.
11. Aparato (1) de procesamiento láser según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende, además, el dispositivo de detección de distancias (40) según la reivindicación 7, en el que el dispositivo de detección de distancias (40) está configurado para determinar variaciones en la distancia entre la pieza de trabajo (P) y/o el campo de trabajo (37) y la unidad de direccionado (34) y/o para determinar dicha distancia (D) basándose en una interferencia del haz de medición con la luz láser que se propaga en el módulo de medición (10) a lo largo del primer camino óptico (P1) del mismo.
12. Aparato (1) de procesamiento láser según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende, además, una unidad de control (56) configurada para controlar el sistema regulador (20) de la distancia de camino óptico del módulo de medición (10) basándose en una distancia determinada por el dispositivo de detección de distancias y/o en una variación de distancia determinada por el dispositivo de detección de distancias (40), y/o
 en el que la unidad de control (56) o una unidad adicional de control está configurada para controlar el sistema regulador (20) de longitud del camino óptico del módulo de medición (10) basándose en una variación de una distancia de trabajo (WD) del módulo de procesamiento láser (30), en el que la distancia

de trabajo (WD) corresponde a la distancia mínima entre el campo de trabajo (37) y el módulo de procesamiento láser (30), en el que la unidad de control (52) o la unidad adicional de control está configurada para compensar la variación de la longitud del camino óptico del camino del haz de medición debido a dicha variación de la distancia de trabajo (WD), mediante el control del sistema regulador de la longitud de camino óptico (20) para ajustar correspondientemente la longitud del camino óptico del segundo camino óptico (P2), y/o

en el que la unidad de control (56), o una unidad adicional de control, está configurada para controlar el sistema regulador (20) de la distancia del camino óptico del módulo de medición (10) basándose en la variación en la configuración de direccionado de la unidad de direccionado (34) del módulo de procesamiento láser (30), en el que la unidad de control (56), o una unidad adicional de control, está configurada para compensar la variación en la longitud de camino óptico del camino del haz de medición debido a dicha variación en la configuración de direccionado de la unidad de direccionado (34) mediante el control del sistema regulador (20) de la distancia de camino óptico para ajustar correspondientemente la longitud del camino óptico del segundo camino óptico (P2).

13. Aparato (1) de procesamiento láser según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el módulo de procesamiento láser (30) comprende un dispositivo (36) de enfoque del haz de trabajo para enfocar el haz de trabajo (W), en el que el dispositivo (36) de enfoque del haz de trabajo presenta una longitud focal variable y está dispuesto preferentemente en el camino del haz de trabajo entre el elemento óptico (32) y una fuente o entrada (38) del haz de trabajo (W), y/o en el que el módulo de medición (10) comprende el dispositivo focalizador (18) como el definido en la reivindicación 3, en donde el dispositivo focalizador (18) está configurado para enfocar el haz de medición (M) en el campo de trabajo (37) y/o en la pieza de trabajo (P), en particular en la posición correspondiente a un foco del haz de trabajo (W).

14. Aparato (1) de procesamiento láser según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el haz de medición (M) está formado por luz en el intervalo de longitud de onda de entre 700 nm y 1400 nm, en el que el haz de trabajo (W) está formado preferentemente por luz en un intervalo de longitud de onda diferente del intervalo de longitud de onda del haz de medición.

15. Aparato (1) de procesamiento láser según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el módulo de procesamiento láser (30) comprende una carcasa (31) que encierra por lo menos algunos de los restantes componentes del módulo de procesamiento láser (30), en el que el camino del haz de trabajo y el camino del haz de medición están definidos dentro de la carcasa (31) del módulo de procesamiento láser (30) por lo menos en parte, en el que hay un puerto de acoplamiento (39) adicional que es conectable al puerto de acoplamiento (14) a través de la carcasa (31) del módulo de procesamiento láser (30), en el que la carcasa (31) del módulo de procesamiento láser (30) preferentemente es estanca a los líquidos y/o estanca al polvo, en el que el módulo de medición (10) y el módulo de procesamiento láser (30) preferentemente son mutuamente conectables, en donde la carcasa (11) del módulo de medición (10) preferentemente es conectable a la carcasa (31) del módulo de procesamiento láser (30), en particular de manera que el módulo de medición (10) es disponible contiguamente al módulo de procesamiento láser (30).

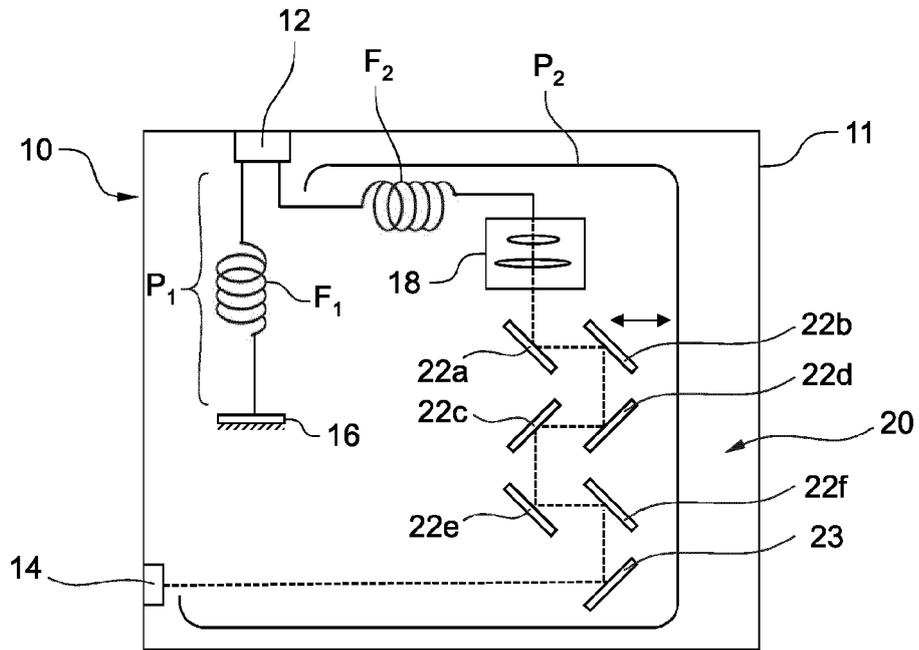


Fig. 1

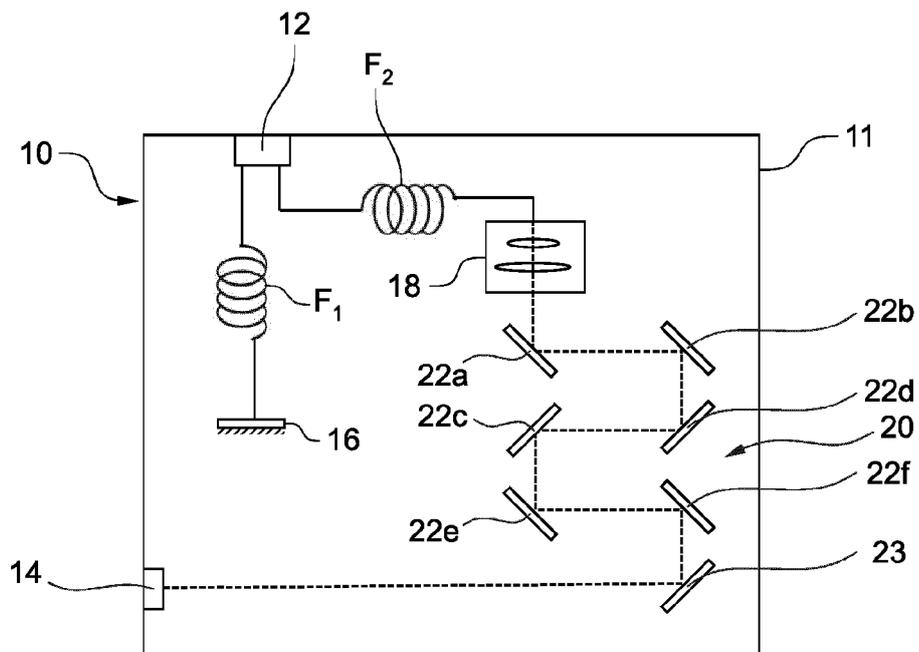


Fig. 2

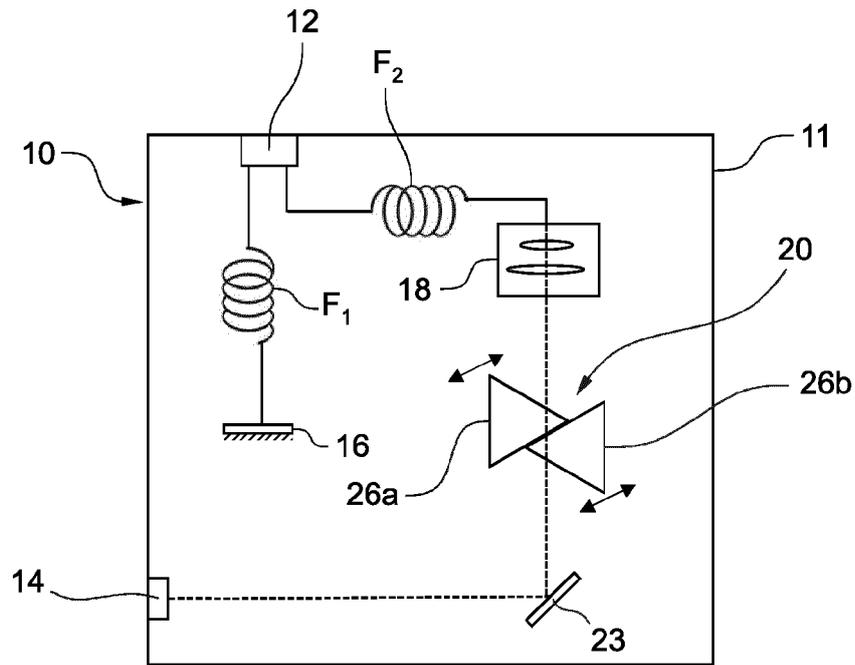


Fig. 3

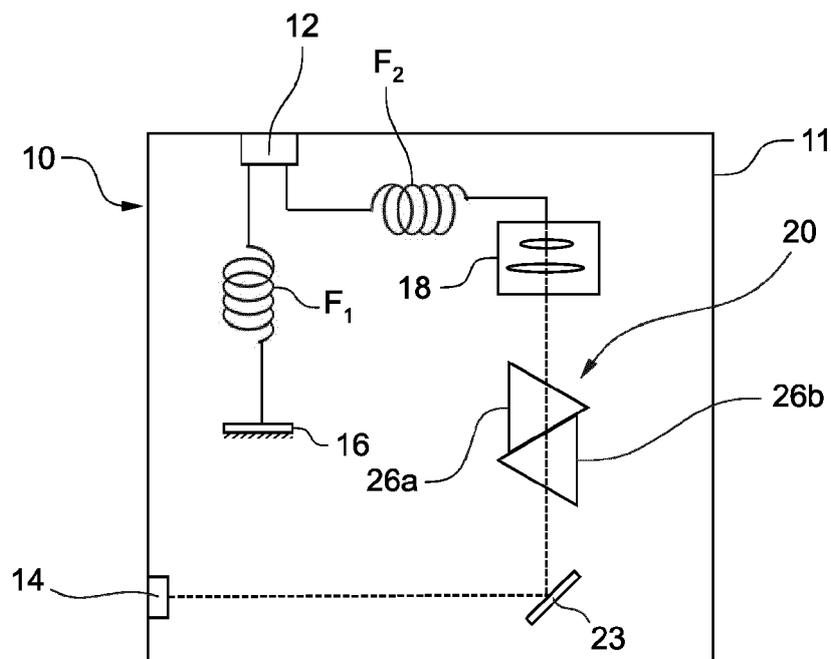


Fig. 4

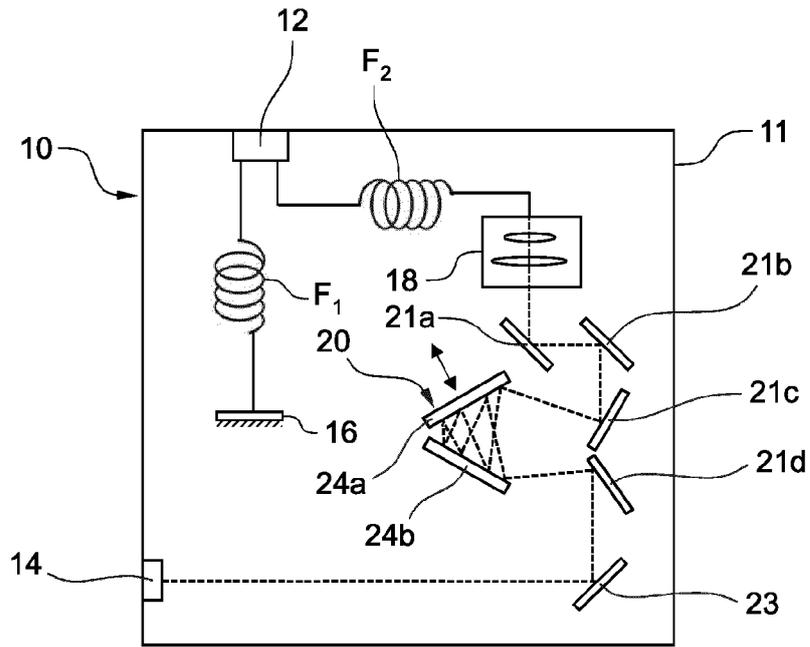


Fig. 5

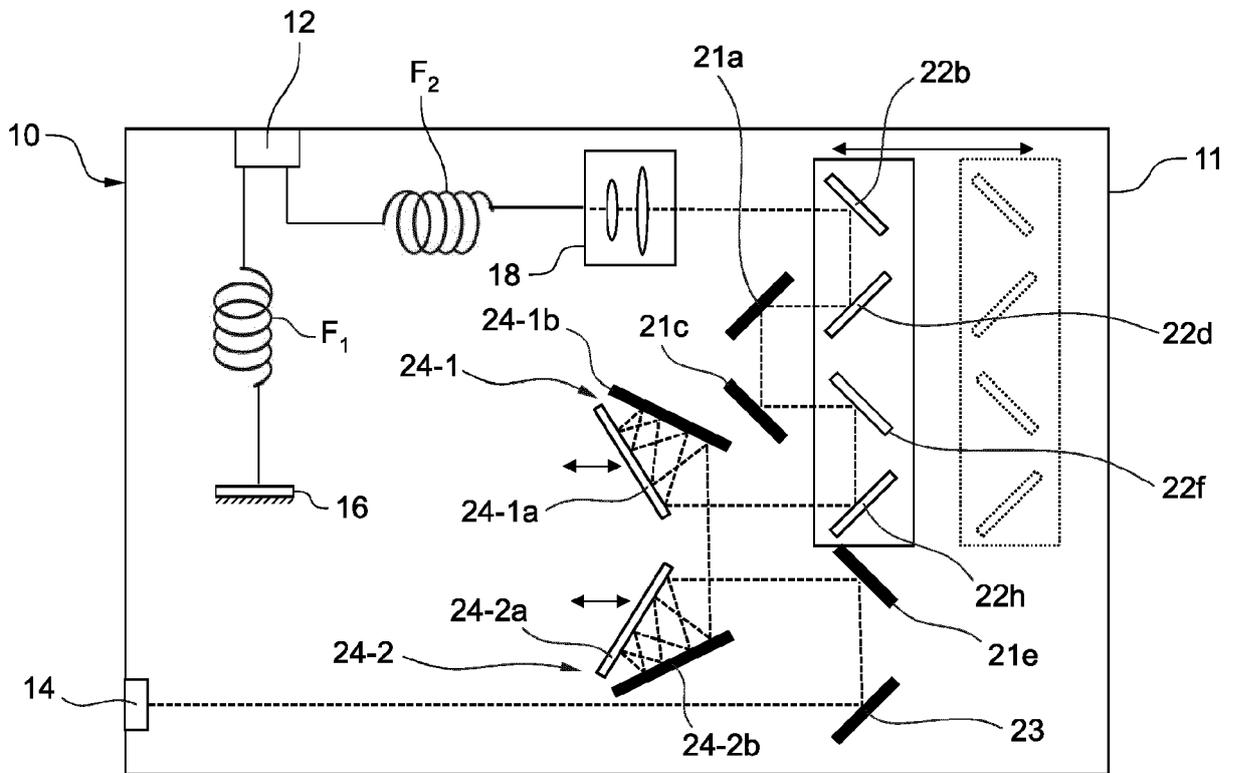


Fig. 6

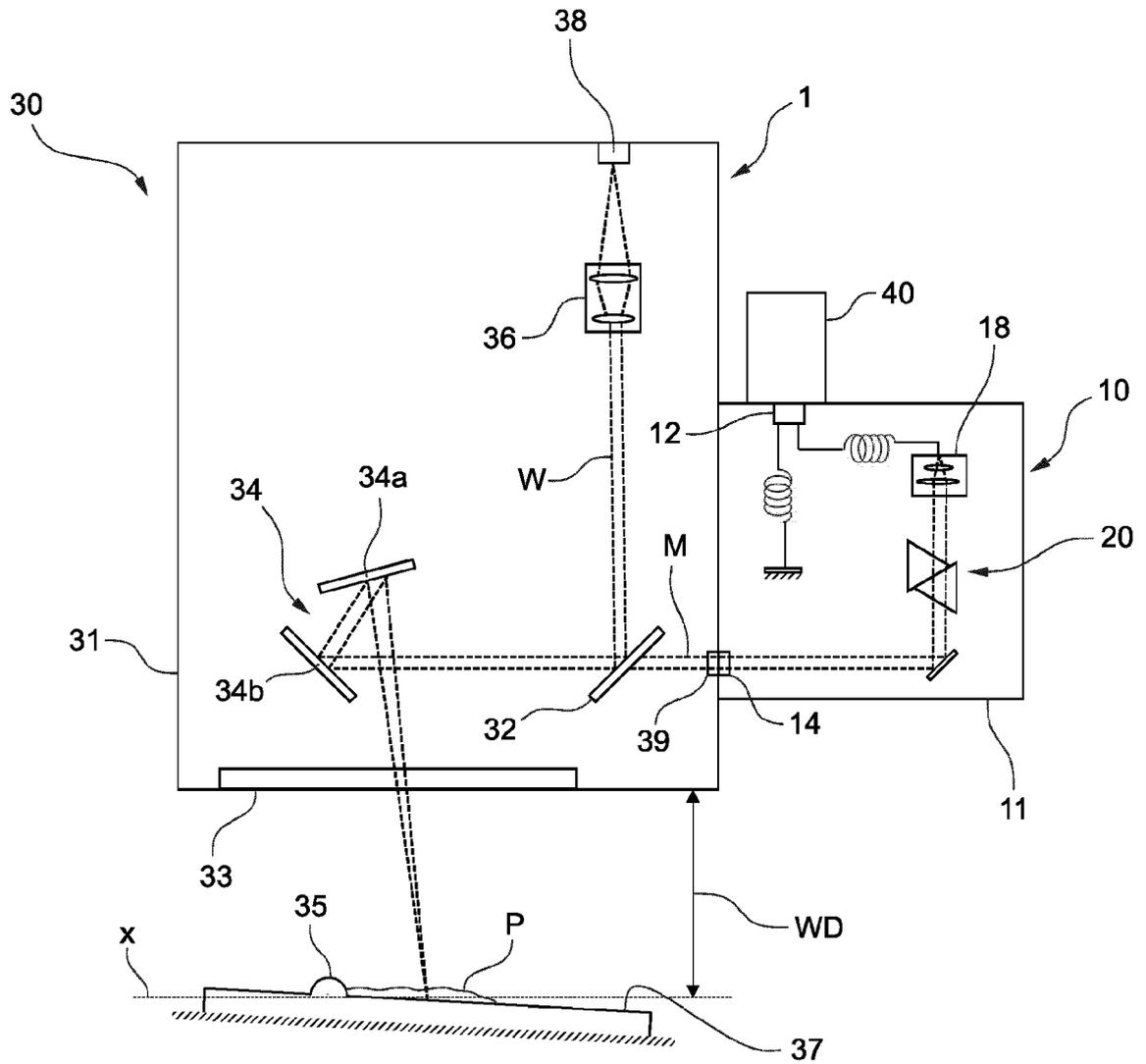


Fig. 7

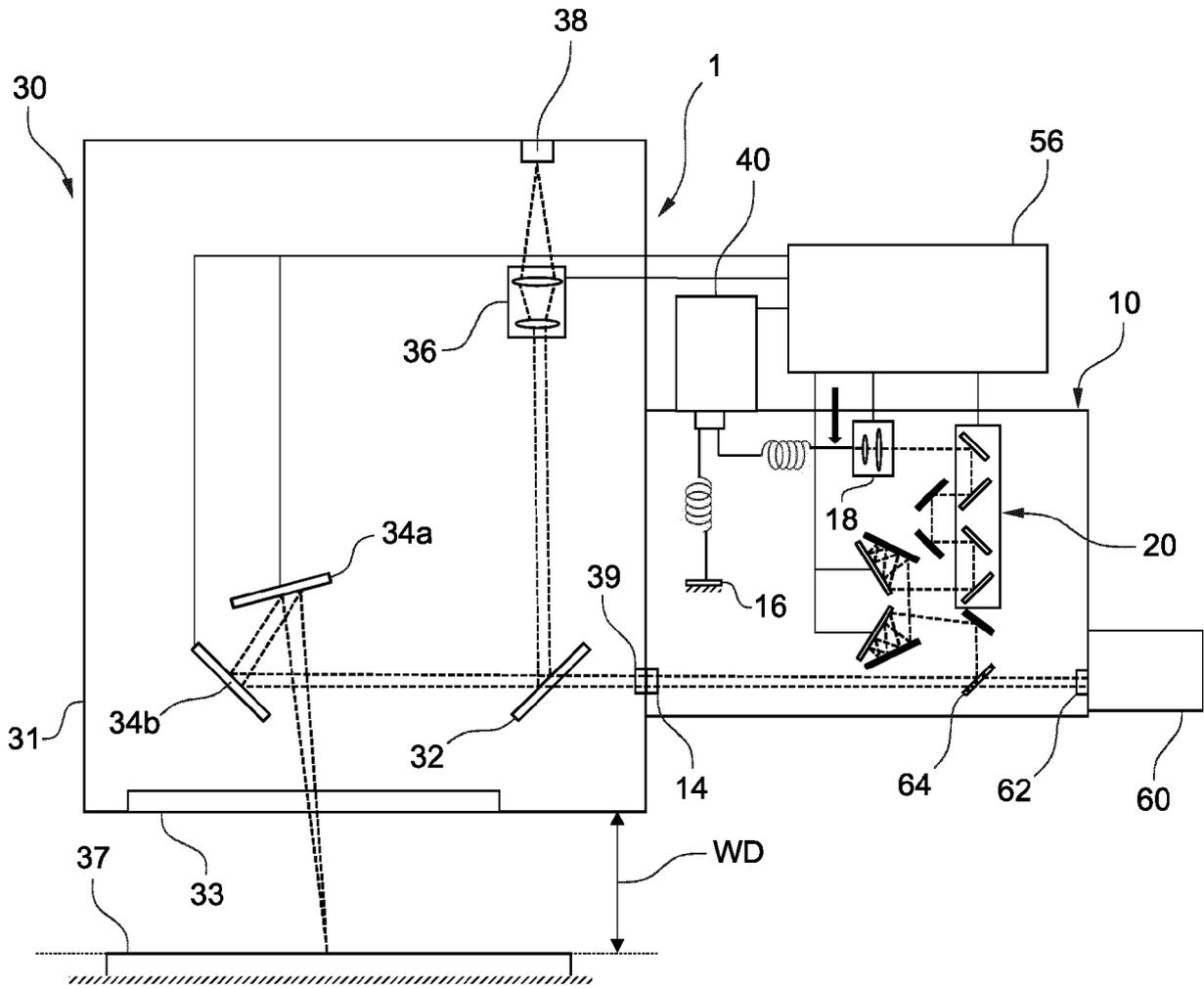


Fig. 9