

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 699 694**

51 Int. Cl.:

G01D 5/347 (2006.01)

G01D 5/38 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **04.05.2011** E 11164731 (9)

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **29.08.2018** EP 2388558

54 Título: **Dispositivo óptico de medición de posición**

30 Prioridad:

21.05.2010 DE 102010029211

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

12.02.2019

73 Titular/es:

**DR. JOHANNES HEIDENHAIN GMBH (100.0%)
Dr. Johannes-Heidenhain-Strasse 5
83301 Traunreut, DE**

72 Inventor/es:

**HOLZAPFEL, WOLFGANG;
HERMANN, MICHAEL y
SÄNDIG, KARSTEN**

74 Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

ES 2 699 694 T3

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

DESCRIPCIÓN

Dispositivo óptico de medición de posición

5 La presente invención se refiere a un dispositivo óptico de medición de posición.

En relación con los dispositivos de medición de posición ópticos para detectar movimientos relativos del estándar de medición y unidad de exploración a lo largo de dispositivos de medición curvilíneos, se han de distinguir dos tipos básicos:

- 10
- a) dispositivos de medición de posición ópticos con estándares de medición en forma de graduaciones radiales dispuestas en discos graduados;
 - b) dispositivos de medición de posición ópticos con estándares de medición en forma de graduaciones de tambor dispuestas en tambores divisores.
- 15

En el caso de los primeros dispositivos de medición de posición ópticos mencionados, que comprenden como estándar de medición un disco graduado con una graduación radial fina, usualmente las tolerancias de montaje del estándar de medición respecto de la unidad de exploración son extremadamente pequeñas. Esto se debe a la fuerte caída de la señal, que ya con pequeñas desviaciones de posición radiales, tangenciales o longitudinales de la graduación radial de la posición de montaje teórica debido a las deformaciones del frente de onda asociadas da como resultado los haces de rayos parciales que participan en la generación de señales que se llevan a la superposición de interferencia. Las constantes de red que se modifican radialmente de la graduación radial ocasionan en este caso fuertes deformaciones del frente de onda. Esto significa que los frentes de onda de los haces de rayos parciales difractados de la graduación radial en parte presentan considerables desviaciones de los frentes de onda planos.

20

25

Similares problemas aparecen también en caso de dispositivos de medición de posición ópticos de la segunda categoría mencionada, en los que el estándar de medición está dispuesto como la llamada graduación de tambor en el contorno exterior de un tambor en rotación o bien de un cilindro en rotación. Aquí, la graduación de tambor curvilínea causa asimismo una distorsión de los frentes de onda en los haces de rayos parciales que se usan para la generación de señales.

30

Este tipo de deformaciones del frente de onda ya dan como resultado también la posición de construcción ideal del estándar de medición y, a continuación, se denominan deformaciones nominales del frente de onda. En el caso de una posición de construcción no ideal, se producen deformaciones del frente de onda adicionales originadas por las tolerancias. Las distintas deformaciones del frente de onda que aparecen en los haces de rayos parciales utilizados para la generación de señales son así significativamente responsables de la caída de la señal mencionada al principio en las señales de posición generadas. La consecuencia es una calidad de señal claramente desmejorada de tales dispositivos de medición de posición ópticos.

35

40

En dispositivos de medición de posición ópticos de alta resolución para detectar movimientos lineales de desplazamiento de estándar de medición y unidad de exploración, se conoce, además, el uso de retrorreflectores en forma de prismas triples; a modo de ejemplo, se remite en este caso al documento EP 387 520 A2. En el caso de la ruta del haz de exploración allí propuesta, se difracta un haz de rayos colimado de una fuente de luz láser en la red lineal del estándar de medición en haces de rayos parciales de orden de difracción +1 y -1. Luego se desvían los haces de rayos parciales por medio de uno o varios retrorreflectores en forma de prismas triples nuevamente a la red lineal del estándar de medición. Después de otra difracción en el estándar de medición, se llevan los dos haces de rayos parciales en un lugar de superposición a la interferencia. Mediante el uso de uno o varios retrorreflectores configurados como prismas triples, se asegura que también en cualquier inclinación del estándar de medición respecto de la unidad de exploración los dos haces de rayos parciales después de la segunda difracción en la red lineal del estándar de medición conserven su dirección. Entonces no aparece una inclinación del frente de onda de los haces de rayos parciales de interferencia. De ello resulta un contraste máximo de interferencia en el área de superposición de los haces de rayos parciales de interferencia. De esta manera, se pueden obtener básicamente grandes tolerancias de montaje incluso en los períodos de división más finos del estándar de medición y grandes superficies de exploración, es decir, grandes secciones transversales de haces en el sitio del estándar de medición. Fundamentalmente, sin embargo, las buenas propiedades de tales dispositivos de medición de posición ópticos se basan en el hecho de que los frentes de onda de los haces de rayos parciales quedan lo más parejos posible tanto después de la difracción en la red lineal del estándar de medición como también después de la reflexión en el retrorreflector. De esta manera, se compensan las inclinaciones del frente de onda como consecuencia de una inclinación del estándar de medición en forma ideal mediante los retrorreflectores usados.

45

50

55

60

Si ahora se han de usar también dispositivos de medición de posición ópticos de alta resolución para detectar movimientos relativos del estándar de medición y unidad de exploración a lo largo de dispositivos de medición curvilíneos, es decir, sistemas con red radial o graduaciones de tambor, en combinación con retrorreflectores, entonces se suscitan determinados problemas. En el documento US 5.442.172, se analizan estos problemas y se proponen supuestas soluciones. Así se debe reducir la influencia de las deformaciones del frente de onda que

65

- perjudican la calidad de la señal según este documento, al proponer una unidad reflectora ideal. Ella comprende una combinación de una lente esférica y un prisma triangular de cristal que está dispuesto en el plano focal de la lente. Sin embargo, se da un análisis más preciso de la óptica de exploración propuesta porque siempre resulta una caída significativa de la señal con un desajuste del estándar de medición y la unidad de exploración. A esto se añade que,
- 5 en el caso de la unidad retrorrefletores ideal propuesta, el foco del haz está en el canto superior del prisma triangular de cristal y, por ello, se debe fabricar sin ningún error en esta área. En esta área, no puede haber inhomogeneidades como, por ejemplo, inclusiones, contaminación o también afloramientos. Debido a los altos requerimientos de fabricación de tal parte constructiva, es así extremadamente costosa.
- 10 El documento EP 1 901 041 A2 divulga un dispositivo óptico de medición de posición de alta resolución que permite una generación de señales de exploración de fase desplazada sin el uso de componentes ópticos de polarización. Los problemas previamente discutidos asociados con los dispositivos de medición curvilíneos no se abordan en este escrito y, en consecuencia, tampoco se solucionan.
- 15 La tarea de la presente invención consiste en indicar un dispositivo óptico de medición de posición de alta resolución para detectar la posición relativa de una unidad de exploración y un estándar de medición que se puede mover para ello en una dirección de medición curvilínea con grandes tolerancias de montaje.
- 20 Esta tarea se soluciona según la invención mediante un dispositivo óptico de medición de posición con las características de la reivindicación 1.
- Formas de realización ventajosas de los dispositivos de medición de posición ópticos de la invención resultan de las medidas en las reivindicaciones secundarias.
- 25 El dispositivo óptico de medición de posición según la invención comprende una unidad de exploración y un estándar de medición, en donde la unidad de exploración y el estándar de medición se pueden mover a lo largo de un dispositivo de medición curvilíneo uno respecto del otro. A través del dispositivo de medición de posición según la invención se puede detectar la posición relativa de la unidad de exploración y el estándar de medición. Del lado de la unidad de exploración, están previstas al menos una unidad reflectora y una unidad de detección. La unidad
- 30 reflectora está compuesta por un primer corrector frontal de onda, un inversor de la dirección de los haces y un segundo corrector frontal de onda. La unidad reflectora está dispuesta y/o configurada en la unidad de exploración de modo tal que los haces de rayos primero pasan por una primera combinación de estándar de medición y primer corrector frontal de onda, luego por el inversor de la dirección de los haces se produce una retrorreflexión de haces de rayos parciales en la dirección estándar de medición y los haces de rayos parciales pasan luego por una segunda combinación de estándar de medición y segundo corrector frontal de onda, antes de que los haces de rayos parciales luego incidan sobre la unidad de detección. A través de la unidad reflectora se asegura que las deformaciones del frente de onda de los haces de rayos parciales, que resultan a través de la primera difracción en el estándar de medición, se convierten en deformaciones del frente de onda, que compensan las deformaciones del frente de onda resultantes de los haces de rayos parciales en la segunda difracción en el estándar de medición. A través del primer corrector frontal de onda se produce una conversión de los frentes de onda que salen de la primera combinación de estándar de medición y primer corrector frontal de onda en haces de rayos parciales colimados con frentes de onda planos. A través del segundo corrector frontal de onda se produce una conversión de los frentes de onda que salen de la segunda combinación de estándar de medición y segundo corrector frontal de onda en haces de rayos parciales colimados con frentes de onda planos, de modo que los frentes de onda de los haces de rayos parciales que se superponen después de la segunda difracción en el estándar de medición son iguales en el lugar de la superposición. En este caso, se prevé que la primera combinación de estándar de medición y primer corrector frontal de onda en el orden de estándar de medición-primer corrector frontal de onda esté dispuesta en la dirección de propagación de los rayos y la segunda combinación de estándar de medición y segundo corrector frontal de onda en el orden de segundo corrector frontal de onda-estándar de medición esté dispuesta en la dirección de propagación de los rayos.
- 50 Alternativamente, se puede prever que la primera combinación de estándar de medición y primer corrector frontal de onda en el orden de primer corrector frontal de onda-estándar de medición esté dispuesta en la dirección de propagación de los rayos y la segunda combinación de estándar de medición y segundo corrector frontal de onda en el orden de estándar de medición-segundo corrector frontal de onda esté dispuesta en la dirección de propagación de los rayos.
- 55 Con preferencia, el inversor de la dirección de los haces se configura de modo tal que se produzca una inversión de la dirección de los rayos respecto de los haces de rayos parciales reflejados en dos direcciones ortogonales.
- 60 En una realización posible, el inversor de la dirección de los haces puede estar configurado como espejo triple o como prisma triple.
- 65 Además, el inversor de la dirección de los haces puede comprender una combinación de una lente y un espejo reflector.

Es posible que los correctores frontales de onda y/o la lente del inversor de la dirección de los haces estén configurados como elementos ópticos refractivos.

5 Los correctores frontales de onda pueden estar configurados como elementos ópticos difractivos.

Además, es posible que los correctores frontales de onda y la lente del inversor de la dirección de los haces estén configurados como elemento óptico difractivo.

10 Además, se puede prever que los correctores frontales de onda estén configurados en cada caso como elementos combinados ópticos difractivos en forma de redes de exploración, que también presentan al menos una de las siguientes funcionalidades ópticas adicionales en los haces de rayos parciales incidentes:

- 15 - un efecto óptico de deflexión,
- un efecto óptico de separación o recombinación,
- un efecto óptico de enfoque sobre el espejo reflector.

En este caso, el espejo reflector y los elementos ópticos difractivos pueden estar dispuestos en lados opuestos de una placa transparente de exploración.

20 En otra realización, el estándar de medición se configura como graduación radial sobre un disco graduado que rota alrededor de un eje de rotación y se dispone concéntricamente alrededor del eje de rotación.

25 Alternativamente, se puede prever que el estándar de medición se configure como graduación de tambor sobre el contorno exterior de un tambor divisor rotativo, en donde el eje de rotación coincide con el eje longitudinal del tambor divisor.

En este caso, es ventajoso cuando los elementos ópticos en la unidad de exploración se configuran y disponen de modo tal que el haz de rayos emitido de la fuente de luz bajo un ángulo diferente de 90° indica sobre la graduación de tambor.

30 La óptica de exploración de los dispositivos de medición de posición ópticos según la invención se basa así en la conformación especial de la unidad reflectora. Ella asegura que los haces de rayos parciales difractados del estándar de medición se vuelvan a reflejar en el estándar de medición de modo que luego presenten en la superposición frentes de onda idénticos. Con ello, se garantiza un contraste máximo de interferencias durante la generación de señales de interferencia. Esto queda asegurado tanto para la posición de montaje ideal del estándar de medición, como también para pequeñas desviaciones causadas por la tolerancia. Mediante la óptica de exploración del dispositivo de medición de posición según la invención, se corrigen por ello en forma confiable las deformaciones del frente de onda nominales como también las causadas por la tolerancia. Así se puede evitar una caída de la señal en caso de un ajuste relativo eventualmente no óptimo del estándar de medición y la unidad de exploración, es decir, se garantiza la gran tolerancia deseada de montaje.

Más allá de ello, por medio de las medidas según la invención se puede lograr una clara simplificación de la construcción de la óptica de exploración, es decir, se puede producir con bajo costo.

45 Además, se ha de mencionar que, en el caso de dispositivos de medición de posición según el estado de la técnica, aumentan las deformaciones del frente de onda con períodos de división decrecientes. Por esta razón, en el caso de tolerancias de montaje y operativas predeterminadas, así como tamaños de campo de exploración razonables, el período de división del estándar de medición y con ello la resolución del dispositivo de medición de posición está limitado. A través de las medidas según la invención, se pueden usar ahora también períodos de división más pequeños de lado del estándar de medición, es decir, la resolución se puede ampliar considerablemente.

Otras ventajas así como detalles de la presente invención resultan de la siguiente descripción de ejemplos de realización por medio de las figuras acompañantes.

55 En este caso, muestran

Las Figuras 1a-1e: en cada caso, una representación distinta para explicar las deformaciones del frente de onda que aparecen con una retrorreflexión en los haces de rayos parciales usados para generar señales;
 60 la Figura 2, 3a, 3b: cada una, una parte de la ruta del haz de exploración de una primera realización del dispositivo óptico de medición de posición según la invención en distintas vistas;
 la Figura 4: una vista en planta de los correctores frontales de onda de la primera realización del dispositivo óptico de medición de posición según la invención;
 la Figura 5: otra representación de la ruta del haz de exploración de la primera realización del dispositivo óptico de medición de posición según la invención;
 65 las Figuras 6, 7a, 7b: cada una, una parte de la ruta del haz de exploración de una segunda realización del dispositivo óptico de medición de posición según la invención en distintas vistas;

la Figura 8: una vista esquematizada de los correctores frontales de onda de la segunda realización del dispositivo óptico de medición de posición según la invención;
 la Figura 9, 10a, 10b: cada una, una parte de la ruta del haz de exploración de una tercera realización del dispositivo óptico de medición de posición según la invención en distintas vistas;
 la Figura 11a, 11b: cada una, una parte de la ruta del haz de exploración de una conversión de la tercera realización del dispositivo óptico de medición de posición según la invención en distintas vistas;
 la Figura 12: una vista esquematizada de la división de la red de la realización del dispositivo óptico de medición de posición según la invención de las Figuras 11a, 11b;
 la Figura 13, 14a, 14b: cada una, una parte de la ruta del haz de exploración de una cuarta realización del dispositivo óptico de medición de posición según la invención en distintas vistas;
 la Figura 15: una representación esquematizada de la ruta del haz de exploración de una primera variante de la quinta realización del dispositivo óptico de medición de posición según la invención;
 la Figura 16: una representación esquematizada de la ruta del haz de exploración de una segunda variante de la quinta realización del dispositivo óptico de medición de posición según la invención;
 la Figura 17: una representación esquematizada de la ruta del haz de exploración de una tercera variante de la quinta realización del dispositivo óptico de medición de posición según la invención;
 la Figura 18: distintas relaciones geométricas en la variante de la Figura 17;
 las Figuras 19, 20a, 20b: cada una, una parte de la ruta del haz de exploración de una sexta realización del dispositivo óptico de medición de posición según la invención en distintas vistas.

Antes de describir detalladamente distintos ejemplos de realización del dispositivo óptico de medición de posición según la invención, se explica primero por medio de las Figuras 1a-1c la problemática respecto de las deformaciones del frente de onda que aparecen durante una retrorreflexión en los haces de rayos parciales utilizados para generar señales. Por medio de las Figuras 1d y 1e, se describe el enfoque de solución según la invención.

La Figura 1a muestra en un esquema el caso ideal en el que los dos haces de rayos parciales S_{in1} , S_{in2} colimados que participan en la generación de señales, que se propagan en la dirección de una unidad reflectora R conformada como prisma triple, presentan en cada caso un frente de onda plano W_{in1} , W_{in2} . Desde la unidad reflectora R, se invierten estos haces de rayos parciales S_{in1} , S_{in2} con referencia a sus direcciones de expansión y sus frentes de onda y luego pasan de regreso como haces de rayos parciales S_{out1} , S_{out2} otra vez con frentes de onda planos W_{out1} , W_{out2} antiparalelos a la dirección de incidencia.

Como se mencionó al comienzo, en los interesantes dispositivos de medición de posición ópticos, tanto debido a los estándares de medición curvilíneos usados para la generación de señales en forma de divisiones de red radiales o bien graduaciones de tambor como también debido a un montaje erróneo eventual del estándar de medición, existen frentes de onda W_{in1} , W_{in2} no planos, deformados en los dos haces de rayos parciales S_{in1} , S_{in2} que participan en la generación de señales. Este caso se visualiza en la Figura 1b. En la retrorreflexión a través de la unidad reflectora ya no se invierten más los frentes de onda no planos, como puede verse de la Figura 1b. Esto significa que queda un frente de onda convexo (cóncavo) observado en la dirección de expansión después de la retrorreflexión. Así quedan considerables deformaciones en los frentes de onda W_{out1} , W_{out2} de los haces de rayos parciales S_{out1} , S_{out2} emergentes. En la siguiente superposición no representada de estos haces de rayos parciales S_{out1} , S_{out2} resulta por ello sólo un contraste de interferencia muy bajo; una intensidad de señal sólo muy pequeña en las señales de posición generadas es la consecuencia no deseada.

Por el contrario, sería deseable una unidad reflectora R', que presente un efecto óptico sobre uno o varios haces de rayos parciales S_{in} incidentes, tal como se representa en la Figura 1c. Conforme a ello, la unidad reflectora R' debería invertir cualquier frente de onda deformado W_{in} de un haz de rayos parciales S_{in} incidente. En especial, se debería invertir la dirección del haz del haz de rayos parciales S_{in} incidentes, sin modificar el lugar del haz, de modo que el haz de rayos parciales incidente vuelva como se ve después de la retrorreflexión.

Estas unidades reflectoras ideales se denominan elementos de fases conjugadas y se pueden lograr sólo con elementos de la óptica no lineal, lo cual no es practicable debido a otras desventajas en un dispositivo óptico de medición de posición.

De acuerdo con la presente invención, se prevé por ello una solución tal como se indica en forma esquematizada en las Figuras 1d y 1e. La Figura 1d muestra en este caso el efecto óptico de una unidad reflectora 2000 configurada según la invención sobre un haz de rayos parciales S_{in} incidente del estándar de medición 1000 (graduación radial o graduación de tambor) o bien su frente de onda W_{in} para el caso de un montaje ideal del estándar de medición 1000. En la Figura 1e, se visualizan las correspondientes relaciones para el caso de un estándar de medición 1000 montado no ideal.

De acuerdo con la Figura 1d, el frente de onda W_{in} del haz de rayos parciales S_{in} incidente en el estándar de medición 1000 curvilíneo configurado como graduación radial o graduación de tambor 1000 en la primera difracción experimenta una distorsión del frente de onda W_{in} originalmente plano en un frente de onda W_{in}' deformado o bien curvilíneo. El correspondiente haz de rayos parciales S_{in}' se propaga luego en la dirección de la unidad reflectora 2000 configurada según la invención, que en principio comprende un primer corrector frontal de onda 2100, un

inversor de la dirección de los haces 2300, así como un segundo corrector frontal de onda 2200. En la Figura 1d, se representan los dos correctores frontales de onda 2100, 2200 por simplicidad como único componente óptico, en la realización concreta de un dispositivo óptico de medición de posición según la invención, se prevén para ello usualmente dos elementos componentes separados.

5 A través del primer corrector frontal de onda 2100, se produce primero una conversión del haz de rayos parciales incidente S_{in}' con el frente de onda W_{in}' deformado en un haz de rayos parciales S_{in}'' con un frente de onda W_{in}'' plano. El haz de rayos parciales S_{in}'' llega luego al inversor de la dirección de los haces 2300, que retrorrefleja el haz de rayos parciales S_{in}'' incidente como haz de rayos parciales S_{out} emergente con un frente de onda W_{out} plano, es decir, lo retrorrefleja en la dirección de incidencia.

10 Luego, este haz de rayos parciales S_{out} pasa por el segundo corrector frontal de onda 2200, que convierte el haz de rayos parciales S_{out} incidente con el frente de onda W_{out} plano en un haz de rayos parciales S_{out}' con un frente de onda W_{out}' deformado definido. La deformación del frente de onda resultante a través del segundo corrector frontal de onda 2200 se produce de modo tal que compense la deformación del frente de onda que aparece después de la segunda difracción en el estándar de medición 1000. Después de la segunda difracción en el estándar de medición 2000, se sigue propagando así un haz de rayos parciales S_{out}'' con un frente de onda W_{out}'' plano. Análogamente, la unidad reflectora 2000 actúa sobre otro haz de rayos parciales no representado, de modo que, después de la segunda difracción en el estándar de medición 1000, se pueden llevar dos haces de rayos parciales con frentes de onda planos a una superposición de interferencia.

15 En la Figura 1e, se representa el mecanismo de acción análogo de la unidad reflectora 2000 para el caso de que el estándar de medición 1000 no se monte de modo ideal, de modo que, además de las deformaciones del frente de onda nominales, también haya adicionalmente deformaciones del frente de onda causadas por la tolerancia en los haces de rayos parciales usados para la generación de señales. Esta deformación del frente de onda adicional se indica en la Figura 1e mediante el frente de onda W_{in}' inclinado del haz de rayos parciales S_{in}' después de la primera difracción en el estándar de medición 1000. Al pasar por la primera corrección del frente de onda 2100, se convierte e frente de onda W_{in}' deformado del haz de rayos parciales S_{in}' en un frente de onda W_{in}'' plano, luego el haz de rayos parciales W_{in}'' es retrorreflejado por el inversor de la dirección de los haces 2300. El haz de rayos parciales S_{out} retrorreflejado con el frente de onda W_{out} llegue luego al segundo corrector frontal de onda 2200. Éste transforma el frente de onda W_{out} incidente del haz de rayos parciales S_{out} nuevamente de modo definido, de manera que un haz de rayos parciales S_{out} con el correspondiente frente de onda W_{out}' deformado se sigue propagando en la dirección del estándar de medición 1000. Debido a la distorsión del frente de onda definido a través del segundo corrector frontal de onda 2200, resulta después de la segunda difracción en el estándar de medición 1000 finalmente el haz de rayos parciales S_{out}'' emergente con un frente de onda W_{out}'' plano, que a su vez se puede llevar con otro haz de rayos parciales no representado a la superposición de interferencia.

25 La unidad reflectora 2000 representada en la Figura 1e proporciona sólo frentes de onda planos de los haces de rayos parciales S_{out}'' emergentes, cuando la deformación del frente de onda causada por la tolerancia sólo aparece como inclinación del frente de onda y no como curvatura adicional del frente de onda. En este punto, la unidad reflectora 2000 de la Figura 1e se distingue de la unidad reflectora R' de la Figura 1c. En la práctica, sin embargo, la parte dominante de la deformación del frente de onda causada por la tolerancia es una inclinación del frente de onda, de modo que la unidad reflectora 2000 configurada según la invención de la Figura 1e muestra el efecto óptico deseado por último.

30 En base a los principios y reflexiones previamente explicados, se describen a continuación ahora varios ejemplos de realización concretos del dispositivo óptico de medición de posición según la invención.

35 Primer ejemplo de realización

Un primer ejemplo de realización del dispositivo óptico de medición de posición según la invención se ha de explicar a continuación por medio de las Figuras 2-5.

40 La ruta del haz de exploración principal de este ejemplo de realización se describe en principio con ayuda de las Figuras 2, 3a y 3b. La Figura 2 muestra una vista radial del correspondiente dispositivo óptico de medición de posición en el plano y-z; perpendicular a este plano, está orientada la dirección de medición (curvilínea) x. Las Figuras 3a y 3b muestran vistas en sección tangenciales del dispositivo óptico de medición de posición a lo largo de las líneas de corte AA' o bien BB' indicadas en la Figura 2.

45 El dispositivo óptico de medición de posición representado comprende una unidad de exploración 20 así como un estándar de medición 10 que se mueve a lo largo del dispositivo de medición x curvilíneo. El estándar de medición 10 está configurado en este caso como graduación radial, que está dispuesto sobre un disco graduado 11. El disco graduado 11 rota alrededor del eje de rotación RA, alrededor del cual está dispuesto concéntricamente el estándar de medición 10 o bien la graduación radial.

50 De la exploración óptica del estándar de medición 10, se generan señales de posición altamente precisas respecto del movimiento de rotación de la unidad de exploración 20 y el estándar de medición 10. La unidad de exploración

20 y el estándar de medición 10 se unen en este caso, por ejemplo, con piezas de máquinas no representadas que rotan en forma opuesta alrededor del eje de rotación RA. Las señales de posición generadas con ayuda del dispositivo según la invención se llevan a una electrónica secuencial –asimismo no representada-, que controla así, por ejemplo, el posicionamiento de las correspondientes piezas de la máquina.

5 El estándar de medición 10 se conforma de modo conocido como graduación de reflexión que presenta radialmente al eje de rotación RA estructuras de graduación dispuestas periódicamente en forma de sectores con propiedades de reflexión alternantes. Los períodos de graduación típicos de estándares de medición 10 apropiados son de aproximadamente 1-4 μm .

10 La unidad de exploración 20 dispuesta estacionariamente en el presente ejemplo comprende una serie de elementos ópticos, cuyas funciones particulares se explican en la siguiente descripción de la ruta del haz de exploración para generar señales de posiciones dependientes del desplazamiento.

15 Un haz de rayos S polarizado lineal emitido por una fuente de luz 21 se colima primero a través de una óptica de colimador 22 y llega al estándar de medición 10 o bien la graduación radial sobre el disco graduado 11 que se mueve alrededor del eje de rotación RA. Como fuente de luz, se puede usar, por ejemplo, un diodo láser, que emite radiación con la longitud de onda $\lambda = 780 \text{ nm}$.

20 Cabe señalar que la fuente de luz 21 en el dispositivo óptico de medición de posición según la invención básicamente no tiene que estar directamente dispuesto en la unidad de exploración; alternativamente a la variante representada, también se podría prever disponer la fuente de luz de modo externo y llevar su radiación emitida de la unidad de exploración a través de conductores de onda luminosa apropiados.

25 Mediante la difracción resultante en el estándar de medición 10 en el orden de difracción +1 y -1, se generan dos haces de rayos parciales TS1a, TS2a, que se retrorreflejan en la dirección de la unidad de exploración 20. Estos haces de rayos parciales TS1a, TS2a presentan debido a la conformación del estándar de medición 10 a lo largo de una línea curvilínea deformaciones nominales del frente de onda como también deformaciones del frente de onda eventualmente causadas por la tolerancia debido al montaje no ideal del estándar de medición 10.

30 En la unidad de exploración 20, los haces de rayos parciales TS1a, TS2a llegan a primeros correctores frontales de onda 24.1a, 24.2a, que están dispuestos en un lado de una placa de exploración 23. A través de los primeros correctores frontales de onda 24.1a, 24.2a, se corrigen los frentes de onda deformados de los haces de rayos parciales TS1a, TS2a. Luego se siguen propagando los haces de rayos parciales colimados TS1a, TS2a con frentes de onda planos en la dirección del inversor de la dirección de los haces 26.1, 26.2. Los inversores de la dirección de los haces 26.1, 26.2 se configuran en el presente ejemplo como prismas triples, que retrorreflejan los haces de rayos parciales TS1a, TS2a incidentes como haces de rayos parciales TS1b, TS2b emergentes en la dirección del estándar de medición 10. En este caso, los haces de rayos parciales TS1b, TS2b se trasladan en dirección radial, es decir, en la dirección y indicada, como puede verse aproximadamente en la Figura 2. Luego pasan los dos haces de rayos parciales TS1b, TS2b por placas $\Lambda/4$ 25.1, 25.2, a través de las cuales se convierten los dos haces de rayos parciales TS1b, TS2b originalmente polarizados lineales en haces de rayos parciales TS1b, TS2b polarizados circulares derechos e izquierdos. Luego los haces de rayos parciales TS1b, TS2b llegan a los segundos correctores frontales de onda 24.1b, 24.2b. Ellos distorsionan los frentes de onda de los dos haces de rayos parciales TS1b, TS2b de modo tal que, después de la segunda difracción en el estándar de medición 10, ambos haces de rayos parciales TS1b, TS2b se vuelven a colimar y se superponen de modo colineal en el sitio de la superposición.

35 Luego se produce la detección de señales de posición de fase desplazada del par de haces de rayos parciales TS1b, TS2b superpuestos. Los dos haces de rayos parciales TS1b, TS2b se propagan después de la segunda difracción en el estándar de medición 10 de modo colineal en la dirección de la unidad de exploración 20, donde coinciden en una red de separación 27. La red de separación 27 separa los dos haces de rayos parciales TS1b, TS2b superpuestos incidentes en otros tres pares de haces de rayos parciales, que se propagan en la dirección de una unidad de detección y llegan a polarizadores 28.1-28.3 dispuestos en distintas direcciones espaciales, que poseen diferentes direcciones de polarización. A través de elementos detectores 29.1-29.3 corriente abajo de los polarizadores 28.1-28.3, se produce finalmente la detección de las señales de posición de fase desplazada; en el presente ejemplo, resultan en este caso tres señales de posición de fase desplazada 120° . La unidad de detección comprende en este ejemplo de realización, en consecuencia, además de los elementos detectores 29.1-29.3, también los polarizadores 28.1-28.3 y la red de separación 27.

40 De acuerdo con la descripción anterior de la ruta del haz de exploración, se usan según la invención unidades reflectoras que comprenden en cada caso primeros y segundos correctores frontales de onda 24.1a, 24.1b, 24.2a, 24.2b, así como un inversor de la dirección de los haces 26.1, 26.2 dispuesto entre medio. La unidad reflectora o bien los correspondientes componentes de ella ejercen efectos ópticos definidos sobre los haces de rayos parciales TS1a, TS2a o bien TS1b, TS2b incidentes con los frentes de onda distorsionados. A través de los correspondientes efectos ópticos, se asegura que, mediante las deformaciones del frente de onda existentes en los haces de rayos parciales TS1a, TS2a o bien TS1b, TS2b usados para la generación de señales no resulta un empeoramiento de la calidad de las señales.

5 Así se produce a través de los primeros correctores frontales de onda 24.1a, 24.2a una conversión de los frentes de onda deformados de los haces de rayos parciales TS1a, TS2a incidentes en haces de rayos parciales colimados con frentes de onda planos; a través de los segundos correctores frontales de onda 24.1b, 24.2b, se produce una distorsión de los frentes de onda planos de los haces de rayos parciales TS1b, TS2b incidentes de modo tal que los frentes de onda de los haces de rayos parciales que se superponen TS1b, TS2b después de la segunda difracción en el estándar de medición 10 son iguales en el lugar de la superposición.

10 Además, los inversores de la dirección de los haces 26.1, 26.2 usados en el presente ejemplo se configuran de modo tal que se produzca una inversión de la dirección de los rayos respecto de los haces de rayos parciales reflejados TS1a, TS2a en dirección radial y tangencial, es decir, en las direcciones y y x indicadas, que están orientadas ortogonalmente entre sí.

15 A través de una configuración tal de la unidad reflectora, se asegura en consecuencia que se convierta una eventual deformación del frente de onda en los haces de rayos parciales TS1a, TS2a, que resulta por la primera difracción en el estándar de medición 10, en una deformación del frente de onda en los haces de rayos parciales TS1b, TS2b, que compensa la deformación del frente de onda debido a la segunda difracción en el estándar de medición 10.

20 Como inversores de la dirección de los haces 26.1, 26.2 con efecto óptico de retroreflexión, se prevén en las unidades reflectoras del presente ejemplo de realización prismas triples; alternativamente, también sería posible también el uso de espejos triples en este lugar.

25 Los correctores frontales de onda 24.1a, 24.1b, 24.2a, 24.2b están configurados en el primer ejemplo de realización representado como elementos ópticos difractivos en forma de redes de exploración. Se explican más detalles por medio de la Figura 4, que muestra una vista en planta de una placa de exploración 23 con los cuatro correctores frontales de onda 24.1a, 24.1b, 24.2a, 24.2b dispuestos encima.

30 En una buena aproximación, es posible configurar los correctores frontales de onda 24.1a, 24.1b, 24.2a, 24.2b como redes de exploración radiales con el mismo período de graduación que el estándar de medición radial 10 sobre el disco graduado 11. En este caso, los correctores frontales de onda 24.1a, 24.1b configurados como redes de exploración radiales sobre la placa de exploración 23 están dispuestos paralelamente opuestos al estándar de medición 10 configurado como graduación radial sobre el disco graduado 11 a la distancia de desplazamiento $\Delta x = -x_L$. La distancia de desplazamiento Δx designa en este caso la distancia determinada en la dirección de medición x de una marca de graduación que está en el medio en el haz de rayos del estándar de medición 10 a una marca de red paralela del corrector frontal de onda 24.1a, 24.1b. Los correctores frontales de onda 24.2a, 24.2b están dispuestos contrariamente desplazados en la distancia de desplazamiento $\Delta x = +x_L$. La distancia de desplazamiento $|\Delta x| = x_L$ requerida se determina por desviación del haz de la red radial sobre el disco graduado 11 en el radio medio de exploración R_A a la altura de la placa de exploración 23 según la siguiente ecuación 1:

$$x_L = \frac{D}{\sqrt{\left(\frac{2\pi R_A}{N\lambda}\right)^2 - 1}} \quad (\text{Ec. 1})$$

con:

- 45 D: distancia de exploración eficaz entre el estándar de medición y los correctores frontales de onda
- R_A: radio medio de exploración
- λ: longitud de onda de la fuente de luz
- N: número de las marcas del estándar de medición sobre el disco graduado

50 Los elementos ópticos difractivos sobre la placa de exploración 23 o bien las correspondientes redes de exploración radiales, a través de las que se configuran los correctores frontales de onda 24.1a, 24.1b, 24.2a, 24.2b, se ejecutan preferiblemente como estructuras de fase. En una variante simple, se prevén, por ejemplo, estructuras de fase con una profundidad de fase de 180° y un ancho de banda local, que es igual al ancho de rendija local. Alternativamente, también se podrían usar estructuras de fase ranuradas. A través de ellas, también son suprimibles los órdenes de difracción no requeridos, con lo cual se puede realizar otro aumento de las intensidades de las señales en las señales de posición generadas.

60 Además de la funcionalidad óptica discutida hasta ahora, los correctores frontales de onda 24.1a, 24.1b, 24.2a, 24.2b del presente ejemplo de realización presentan otro efecto óptico. Así, poseen también un efecto óptico de deflexión medio de modo tal que los haces de rayos parciales TS1a, TS2a o bien TS1b, TS2b incidentes se desvían paralelamente al eje óptico OA. A continuación, respecto de los correctores frontales de onda también se habla por ello de elementos combinados ópticos difractivos en forma de redes de exploración.

Como se puede ver de la Figura 4 y la vista en la Figura 5, los haces de rayos parciales TS1a o bien TS2a están desplazados ligeramente hacia adentro en la altura de la placa de exploración 23 en cada caso respecto de los haces de rayos parciales TS1b o bien TS2b en dirección x. Este desplazamiento garantiza que, en las constantes de red locales radialmente distintas y con ello también los distintos ángulos de desviación, los haces de rayos parciales TS1b y TS2b coincidan en el mismo lugar, es decir, el lugar de superposición, en el estándar de medición 10 y así se superpongan sin desplazamiento del haz. La ubicación correspondientemente optimizada (X_{P1}, Y_{P1}) o bien (X_{P2}, Y_{P2}) de los inversores de la dirección de los haces 26.1, 26.2 o bien de los prismas triples previstos para ello en este ejemplo, resulta según las siguientes relaciones 2.1 - 2.3:

$$X_{P1} = -X_L \quad (\text{Ec. 2.1})$$

$$X_{P2} = +X_L \quad (\text{Ec. 2.2})$$

$$Y_{P1} = Y_{P2} = R_A \quad (\text{Ec. 2.3})$$

Estas relaciones 2.1 - 2.3 rigen para un sistema de coordenadas cuyo centro está en el medio del disco graduado 11, cuyo eje x coincide con la dirección de medición x y cuyo eje z está orientado ortogonal al estándar de medición 10. Este sistema de coordenadas se usa también en el curso de la ulterior descripción.

En el plano x-y de la Figura 4, las puntas de los inversores de la dirección de los haces 26.1, 26.2 configurados como prismas triples están simétricas entre los sitios de coincidencia de los haces de rayos parciales TS1a y TS1b o bien TS2a y TS2b en los correctores frontales de onda 24.1a, 24.1b, 24.2a, 24.2b.

Los frentes de onda de los haces de rayos TS1a y TS2a en el lugar de los primeros correctores frontales de onda 24.1a, 24.2a se pueden determinar numéricamente de modo conocido a través de los llamados métodos Raytracing o mediante propagación de ondas. Cuando se equipara la fase de red de los correctores frontales de onda 24.1a o bien 24.2a a estos frentes de onda, se pueden calcular estructuras difractivas aún más ideales. Resultan de ello estructuras de redes de exploración ligeramente distorsionadas y nuevamente desplazadas. Estos correctores frontales de onda 24.1a y 24.2a optimizados generan en la posición de montaje nominal frentes de onda planos ideales en los haces de rayos parciales participantes de la generación de señales.

También los segundos correctores frontales de onda 24.1b o bien 24.2b se pueden optimizar de modo análogo. Para ello, se calculan los frentes de onda por medio de retropropagación de haces de rayos parciales colimados ideales a partir de la unidad de detección a través del estándar de medición 10 o bien la graduación radial del disco graduado 11 de vuelta a los correctores frontales de onda 24.1b o bien 24.2b y las fases de red de los correctores frontales de onda 24.1b o bien 24.2b se equiparan nuevamente con estos frentes de onda. Los métodos de cálculo usados en este caso se conocen de la bibliografía relevante respecto de elementos ópticos difractivos. Los cálculos precisos dan nuevamente como resultado estructuras de redes de exploración ligeramente distorsionadas y radiales desplazadas.

Como los inversores de la dirección de los haces 26.1, 26.2 o bien los prismas triples previstos para ello convierten frentes de onda planos nuevamente en frentes de onda planos, no se perturba la corrección del frente de onda. Durante el pasaje a través del corrector frontal de onda 24.1b o bien 24.2b, se predistorsiona por ello el frente de onda de modo tal que, después de la segunda difracción en el estándar de medición 10, resulta para ambos haces de rayos parciales TS1b, TS2b un frente de onda plano.

Mediante de la unidad reflectora configurada según la invención, se puede asegurar así una completa corrección del frente de onda en la posición de montaje nominal de todos los componentes del dispositivo de medición de posición (corrección del frente de onda nominal) y con ello, máximo contraste de interferencia y máxima intensidad de señal de las señales de posición generadas. Frente a la corrección del frente de onda conocida del estado de la técnica con lentes esféricas y prismas triangulares de cristal, esto representa una clara mejora.

Otra exigencia importante para la unidad reflectora es que los frentes de onda deberían poderse corregir cuando el estándar de medición 10 o bien el disco graduado se desplaza o inclina ligeramente de la posición de montaje nominal. En este caso, sobre todo el desplazamiento radial y tangencial del estándar de medición 10 es particularmente crítico para la calidad de señal resultante. En el marco de la presente invención, se reconoció que en especial mediante la elección de un inversor de la dirección de los haces 26.1, 26.2 apropiado en la unidad reflectora se pueden corregir deformaciones del frente de onda ocasionadas de este modo. Así, como inversor de la dirección de los haces ideal es apropiado un elemento retrorreflector como, por ejemplo, el prisma triple previsto en el primer

ejemplo de realización de la invención. Este convierte las inclinaciones de los rayos determinadas por los gradientes del frente de onda de los haces de rayos parciales incidentes en iguales en iguales inclinaciones de los rayos de los haces de rayos parciales emergentes. De esta manera, se corrigen las deformaciones del frente de onda adicionales, que se producen por pequeños errores de montaje de los dos haces de rayos parciales de interferencia (corrección del frente de onda causado por la tolerancia). El contraste de interferencia claramente elevado lleva a una baja caída de la intensidad de señal causada por la tolerancia en las señales de posición o inversamente a las grandes tolerancias de montaje. En especial, la tolerancia de montaje radial y tangencial se amplía considerablemente respecto de las soluciones conocidas del estado de la técnica. Además de los prismas triples previstos en el primer ejemplo de realización, también se puede prever en este caso una conformación alternativa de los inversores de la dirección de los haces 26.1, 26.2, tal como se continúa explicando por medio de los siguientes ejemplos.

Segundo ejemplo de realización

La ruta del haz de exploración de un segundo ejemplo de realización del dispositivo óptico de medición de posición según la invención está representada en las Figuras 6, 7a y 7b en forma de esquema; estas Figuras corresponden en este caso a las representaciones de la ruta del haz de exploración del primer ejemplo de realización. En la Figura 8, se muestra un corrector frontal de onda para la segunda realización del dispositivo óptico de medición de posición según la invención. A continuación, se discuten únicamente las diferencias relevantes del primer ejemplo ya explicado en detalle.

Así, se prevé por un lado la configuración de los inversores de la dirección de los haces diseñados en el primer ejemplo de realización como prismas triples de modo alternativo. Según ello, en el segundo ejemplo de realización, los inversores de la dirección de los haces se configuran en cada caso como combinación de una lente esférica 226.1a, 226.2a y un espejo reflector 226.1, 226.2 dispuesto en el plano focal de la lente. En el curso de los rayos, en este caso en la dirección de propagación de los rayos pasan primero la lente 226.1a, 226.2a, luego el espejo reflector 226.1, 226.2 y finalmente otra vez la lente 226.1a, 226.2a.

Además, los correctores frontales de onda 224.1a, 224b, 224.2a, 224.2b de las unidades reflectoras no se configuran como elementos ópticos difractivos en forma de redes de exploración, sino como elementos ópticos refractivos. Ellos no presentan contrariamente al primer ejemplo de realización ninguna función óptima media de desviación para dirigir la ruta del rayo paralelamente al eje óptico OA. Más bien, se mantiene en el plano x-z la dirección del rayo media del estándar de medición 210 hasta los espejos reflectores 226.1, 226.2.

En la Figura 8, se representan en forma esquemática dos correctores frontales de onda 224.1a, 224.1b de este ejemplo de realización. La corrección del frente de onda necesario se ocasiona aquí por una pequeña función de desviación (local) dependiente del lugar que se logra por refracción en forma de montura sobre la placa de exploración 223.1 con su inclinación superficial diferente y que equivale a aquella de los elementos ópticos difractivos o bien las redes de exploración del primer ejemplo de realización. Con una posición radial decreciente (valores y crecientes), la desviación tangencial en la dirección del eje óptico OA se intensifica.

La fabricación de los correctores frontales de onda refractivos 224.1a, 224.1b se puede llevar a cabo, por ejemplo, mediante prensado de los correspondientes componentes en una forma negativa apropiada o por fresado y posterior pulido local. Además, también una varilla de vidrio rectangular también podría convertirse en una hélice por deformación en caliente y luego se puede aplanar en la parte posterior y pulir.

A excepción de los componentes previamente explicados, el segundo ejemplo de realización coincide en principio con el primer ejemplo de realización.

Tercer ejemplo de realización

La construcción fundamental de un tercer ejemplo de realización del dispositivo óptico de medición de posición según la invención se visualiza en las Figuras 9, 10a y 10b. Estas representaciones corresponden en este caso nuevamente a las representaciones de la ruta del rayo de exploración del primer y del segundo ejemplo de realización. A continuación, se explican únicamente las diferencias significativas con los ejemplos de realización anteriores.

El haz de rayos emitido por una fuente de luz 321 configurado como diodo láser se colima mediante una óptica de colimador 322 y lleva al disco graduado 311. Sobre el disco graduado 311 está dispuesto nuevamente el estándar de medición 310 configurado como graduación radial. Los haces de rayos parciales desviados en el orden de difracción +/-1 coinciden entonces en primeras redes de exploración 324.1a o bien 324.2a, es decir, en elementos ópticos difractivos.

Las redes de exploración 324.1a, 324.2a combinan en este ejemplo de realización distintas funciones ópticas, es decir, se configuran nuevamente como elementos combinados ópticos difractivos. Por un lado, contienen en cada caso una funcionalidad de corrector frontal de onda y de desviación según el primer ejemplo de realización. Así se desvían los haces de rayos parciales incidentes paralelamente al eje óptico OA y los frentes de onda de los haces de rayos parciales se corrigen de modo tal que primero son planos. Adicionalmente, las redes de exploración

324.1a, 324.2a contienen una funcionalidad de lente óptica, a través de la cual los haces de rayos parciales se enfocan en los espejos reflectores 326.1, 326.2. La ubicación (X_{P1}, Y_{P1}) , (X_{P2}, Y_{P2}) de los correspondientes focos de la lente resulta aquí según las siguientes relaciones 3.1 - 3.3:

$$X_{P1} = -X_L \quad (\text{Ec. 3.1})$$

$$X_{P2} = +X_L \quad (\text{Ec. 3.2})$$

$$Y_{P1} = Y_{P2} = R_A \quad (\text{Ec. 3.3})$$

5 Las redes de exploración 324.1a, 324.2a reúnen conforme a ello las funciones ópticas de los correctores frontales de onda con la funcionalidad óptica del elemento de lente del inversor de la dirección de los haces a partir del ejemplo de realización anterior.

10 Para implementar distintas funcionalidades ópticas en un único elemento óptico difractivo o bien las redes de exploración, se añaden los distintos desplazamientos de fase, que debe producir cada elemento óptico o bien la función óptica y estos desplazamientos de fase se equiparan a la función de fase del elemento óptico difractivo correspondiente. Esta función de fase indica luego directamente la estructura de un elemento óptico difractivo trazado con los típicos perfiles en forma de diente de sierra o se cuantifica para describir, por ejemplo, elementos
15 ópticos difractivos binarios o de cuatro etapas. Son particularmente económicas en este caso las estructuras de red de fase binaria con una profundidad de fase de 180° .

A través de las redes de exploración 324.1a o bien 324.2a, se enfocan los haces de rayos parciales sobre los
20 espejos reflectores 326.1 o bien 326.2 y llegan después de la reflexión a otras redes de exploración 324.1b y 324.2b. Estas redes de exploración 324.1b y 324.2b contienen asimismo otra vez varias funciones ópticas. A través de una funcionalidad de la lente óptica allí conformada se vuelven a colimar primero los haces de rayos parciales y luego se predistorcionan a través de la funcionalidad óptica de un corrector frontal de onda y una función de desviación de modo tal que los haces de rayos parciales se coliman después de una nueva difracción en el estándar de medición 310, pero se siguen propagando en un ángulo del haz α respecto del eje óptico OA. El ángulo del haz α resultante se determina aquí de modo tal que ambos haces de rayos parciales se superponen por completo en una red combinada 327 en la parte inferior de la placa de exploración 323. La red combinada 327 mezcla de modo conocido ambos haces de rayos parciales y genera en los órdenes de difracción 0 y +/-1 resultantes haces de rayos parciales de fase desplazada que son detectados por los elementos detectores 329.1-329.3 de la unidad de detección. Los
25 componentes ópticos de polarización no son necesarios en este ejemplo de realización para la generación de las señales de posición de fase desplazada. La unidad de detección comprende por ello en este ejemplo de realización únicamente los elementos detectores 329.1-329.3. Un desplazamiento de fase de los haces de rayos parciales de preferiblemente 120° se puede lograr mediante una elección apropiada de la profundidad de fase y ancho de banda de la red combinada 327, tal como se revela, por ejemplo, en el documento EP 0 163 362 B1. La constante de red de la red combinada 327 se mide de modo tal que los haces de rayos parciales incidentes se desvían por difracción en un primer orden de difracción paralelamente al eje óptico OA.
35

El inversor de la dirección de los haces de este ejemplo de realización está compuesto así por la funcionalidad de lente óptica de las redes de exploración 324.1a, 324.2a y el espejo reflector 326.1, 326.2. En el curso del haz, pasan en la dirección de propagación de los rayos la lente óptica o bien las redes de exploración 324.1a, 324.2a, el espejo reflector 326.1, 326.2 y luego otra vez la lente óptica o bien las redes de exploración 324.1a, 324.2a.
40

Variante convertida del tercer ejemplo de realización

Si en el tercer ejemplo de realización previamente explicado se prescinde de la condición de que los haces de rayos parciales se propagan dentro de la placa de exploración 323 paralelamente al eje óptico OA, entonces resulta una variante convertida del tercer ejemplo de realización, que está representada en las Figuras 11a y 11b.
45

Aquí, las redes de exploración 324.1a', 324.2a', así como 324.1b', 324.2b' contienen las funcionalidades ópticas previamente explicadas. Sin embargo, la funcionalidad de desviación óptica media en dirección de medición x de las redes de exploración 324.1a', 324.2a' es menor y la de las redes de exploración 324.1b', 324.2b' es más grande, de modo que los haces de rayos parciales en la red combinada 327' se superponen otra vez. En esta variante del dispositivo óptico de medición de posición según la invención, los haces de rayos parciales corren como se ve dentro de la placa de exploración 323' transversales al eje óptico OA.
50

El desplazamiento en dirección y entre el curso del haz de la fuente de luz 321' hasta la primera difracción en el estándar de medición 310' y el curso del haz después de la segunda difracción en el estándar de medición 310' se determina mediante la elección de la posición y los focos de la lente de la funcionalidad óptica de la lente de las redes de exploración 324.1a', 324.2a' así como 324.1b', 324.2b'. Este desplazamiento de los cursos del haz se
55

selecciona al menos de modo tal que el curso del haz desde la fuente de luz 321' hasta la primera difracción en el estándar de medición 310' no se superponga con el curso del haz después de la segunda difracción en el estándar de medición 310'. Pero el desplazamiento también se puede seleccionar para que en el estándar de medición 310' se incorpore una huella de graduación adicional no representada en el radio R_A. Una huella de graduación de este tipo podría utilizarse para generar una señal de impulso de referencia, tal como se revela, por ejemplo, en el documento EP 1 923 673 A2 de la solicitante.

El cálculo de la función de fase de las redes de exploración 324.1b' o bien 324.2b' se produce análogamente al primer ejemplo de realización. Por retropropagación del haz de rayos colimado desde los elementos detectores 329.1'-329.3' de la unidad de detección hasta las redes de exploración difractivas 324.1b' o bien 324.2b', se calcula una primera deformación del frente de onda o bien un desplazamiento de fase. Por propagación hacia adelante del foco a los espejos reflectores 326.1' o bien 326.2', se calcula un segundo desplazamiento de fase. La diferencia de ambos desplazamientos de fase corresponde entonces precisamente a aquella fase que ha de introducir el elemento óptico difractivo correspondiente, representando así la función de fase de este elemento óptico difractivo.

En la Figura 12, se representa una estructura muy amplificada de las redes de exploración 324.1a', 324.1b' y las redes de exploración 324.2a' y 324.2b' simétricas especulares de esta variante del dispositivo óptico de medición de posición según la invención.

Mediante la combinación de las distintas funcionalidades ópticas en estructuras de exploración difractivas o bien las redes de exploración, se puede configurar esta realización del dispositivo óptico de medición de posición según la invención en forma muy compacta y económica. Como además los espejos reflectores 326.1', 326.2' se colocan monolíticamente sobre la placa de exploración 323', resulta una construcción simple, robusta, no sensible a las oscilaciones y temperaturas de la unidad de exploración 320'.

Para la ulterior reducción de las deformaciones del frente de onda causadas por la tolerancia se mostró ventajoso seleccionar las longitudes focales de las lentes, que se configuran integradas en las primeras y las segundas redes de exploración 324.1a', 324.2a', 324.1b' y 324.2b', en forma no idéntica, sino algo diferente. Cuando f₁ designa la longitud focal de la primera lente, entonces también la combinación de ambas lentes debe transformar un haz de rayos parciales colimado nuevamente en un haz de rayos parciales colimado, es decir, debe regir:

$$f_1 + f_2 = 2 \cdot D_A \quad (\text{Ec. 4})$$

con:

- f₁ = longitud focal de la primera lente
- f₂ = longitud focal de la segunda lente
- r₁ = radio de exploración del primer sitio de exploración en el estándar de medición
- r₂ = radio de exploración del segundo sitio de exploración en el estándar de medición
- D_A = espesor de la placa de exploración

Es particularmente favorable cuando se selecciona una relación de las longitudes focales f₁/f₂ de acuerdo con la correspondiente relación de los radios de exploración r₁ o bien r₂ del primer o bien del segundo sitio de exploración en el estándar de medición 310 según la siguiente relación 5:

$$f_1 / f_2 = r_1 / r_2 \quad (\text{Ec. 5})$$

Mediante esta condición, se caracteriza un llamado telescopio de Kepler, que presenta una relación de imagen negativa y que representa el primer sitio de exploración exterior reducido al segundo interior (o alternativamente el sitio de exploración interior ampliado al sitio de exploración exterior). En el caso de un desplazamiento radial o tangencial pequeño del disco graduado 311, se producen inclinaciones locales del frente de onda, que se reducen con un mayor radio. Esta dependencia es compensada por la condición anterior según la ecuación 5, cuando las modificaciones de la dirección del haz antes de la lente de focal larga del sitio de exploración exterior se traducen en mayores modificaciones de la dirección del haz después de la lente de focal larga para el siguiente sitio de exploración interior. Esta optimización se puede seguir refinando, determinando dentro de cada sitio de exploración longitudes focales de lente locales f₁(x,y) o bien f₂(x',y'), que satisfacen la ecuación 4 para cada primer sitio de exploración (x,y) y el correspondiente segundo sitio de exploración (x',y'), y más allá de ello, las modificaciones locales de la dirección del haz para la dirección radial y tangencial se traslada en cada caso de un modo tal desde el primer al segundo sitio de exploración que compensan óptimamente la dependencia radial arriba mencionada de las inclinaciones del frente de onda. De esta manera, se logran nuevamente tolerancias de montaje ampliadas.

Cuarto ejemplo de realización

La construcción básica de un cuarto ejemplo de realización del dispositivo óptico de medición de posición según la invención se visualiza en las Figuras 13, así como 14a y 14b. Las representaciones corresponden a las representaciones de la ruta del haz de exploración de los ejemplos de realización precedentes. A continuación,

nuevamente se explicarán sólo las diferencias relevantes de los ejemplos de realización anteriores.

5 En el cuarto ejemplo de realización del dispositivo óptico de medición de posición según la invención, ahora una fuente de luz divergente ilumina el estándar de medición 410 sobre el disco graduado 411. Preferiblemente, se usa aquí como fuente de luz una llamada fuente de luz VCSEL (Vertical Cavity Surface Emitting Laser). En consecuencia, no se prevé una óptica de colimador.

10 El haz de rayos divergentes se difracta en el estándar de medición 410 en los órdenes de difracción +/-1 o bien se separa. Las primeras redes de exploración 424.1a, 424.2a combinan en este caso nuevamente varias funcionalidades ópticas. Así, además se conforma la funcionalidad óptica de una lente para la colimación de los haces de rayos parciales divergentes, la funcionalidad óptica de una corrección del frente de onda para las deformaciones del frente de onda mediante el estándar de medición 410 configurado como graduación radial sobre el disco graduado 411, así como la funcionalidad óptica de una lente de enfoque, que enfoca los haces de rayos parciales en el centro de la parte superior de la placa de exploración 424. Después de la reflexión de los haces de rayos parciales en el espejo reflector 426, los haces de rayos parciales llegan a segundas redes de exploración 424.1b, 424.2b, que asimismo presentan varias funcionalidades ópticas. Así coliman las segundas redes de exploración 424.1b, 424.2b los haces de rayos parciales divergentes, se someten a una corrección del frente de onda para la posterior difracción en el estándar de medición 410 o bien graduación radial y enfocan los haces de rayos parciales en los elementos detectores 429.1-429.3 de la unidad de detección. Finalmente, una red combinada 427 lleva ambos haces de rayos parciales a la interferencia.

25 La particularidad de este ejemplo de realización radica en la exploración diametral del estándar de medición 410 sobre el disco graduado 411. De esta manera, se evitan eventuales errores de medición con un desplazamiento del disco graduado 411 en el plano xy. También en esta realización, el inversor de la dirección de los haces ideal es un retrorreflector, que está compuesto como en el tercer ejemplo de realización por la funcionalidad óptica de lente de las redes de exploración 424.1a, 424.2a, 424.1b, 424.2b y el espejo reflector 426. En el curso del haz, pasan nuevamente la lente óptica o bien las redes de exploración 424.1a, 424.2a, el espejo reflector 426 y luego otra vez la lente o bien las redes de exploración 424.1b, 424.2b.

30 De acuerdo con los ejemplos de realización previamente explicados, en los que el dispositivo óptico de medición de posición según la invención comprende una graduación radial explorada como estándar de medición, hay una serie de distintas posibilidades de realización para la unidad reflectora en la unidad de exploración. Sin embargo, sobre todas las distintas posibilidades de realización, se garantizan las siguientes funcionalidades ópticas de la unidad reflectora:

- 35
- Una modificación de la dirección del haz radial (tangencial) pequeña del haz de rayos parciales incidentes se traduce en una modificación de la dirección del haz radial (tangencial) esencialmente opuesta del haz de rayos parciales emergentes.
 - 40 - Una modificación de la posición del haz radial (tangencial) pequeña del haz de rayos parciales incidentes se traduce en una modificación de la posición del haz esencialmente opuesta del haz de rayos parciales emergentes.
 - La deformación del frente de onda, que se produce por la primera difracción en la graduación radial, se traduce en una deformación del frente de onda, que compensa la deformación del frente de onda por la segunda difracción en la graduación radial.

45 Quinto ejemplo de realización
 A continuación, se describirán ahora diversas variantes de un quinto ejemplo de realización del dispositivo óptico de medición de posición según la invención. Se distinguen de los ejemplos explicados hasta ahora esencialmente porque el estándar de medición explorado se configura como graduación de tambor sobre el contorno exterior de un tambor divisor rotativo. El eje de rotación coincide en este caso con el eje longitudinal del tambor divisor.

55 La construcción de una primera y una segunda variante del quinto ejemplo de realización se representa en las Figuras 15 y 16 en forma de esquema. Estas dos variantes se distinguen porque la dirección de medición de la exploración en la variante según la Figura 15 se orienta en dirección tangencial x y en la variante según la Figura 16, en dirección axial y. Esto significa que, a través del dispositivo óptico de medición de posición según la invención de acuerdo con la Figura 15, se puede determinar el ángulo azimutal del tambor divisor rotativo 510, por el contrario, a través de la variante según la Figura 16, el desplazamiento axial del tambor divisor 510'.

60 En principio, la exploración en estas dos variantes del quinto ejemplo de realización corresponde a la exploración explicada en los anteriores ejemplos de realización, en especial respecto de la configuración de una unidad reflectora con primeros y segundos correctores frontales de onda, así como un inversor de la dirección de los haces. A continuación se abordarán por ello sólo brevemente algunos aspectos dignos de mencionarse de estas variantes.

65 El haz de rayos colimado mediante una óptica de colimador 522, 522' llega al tambor divisor 510, 510', en cuyo contorno exterior está dispuesto el estándar de medición 511, 511' en forma de una graduación de tambor. El estándar de medición 511 en la Figura 15 posee en este caso líneas de red de graduación en dirección axial, en el

estándar de medición 511' en la Figura 16, están dispuestas líneas de red de graduación orientadas en dirección tangencial. Los haces de rayos parciales desviados en el orden de difracción +/-1 o bien separados experimentan por reflexión en la graduación de tambor curvilínea una deformación de sus correspondientes frentes de onda.

5 En el caso de la variante según la Figura 16, el haz de rayos colimado incidente sobre el estándar de medición 511' no toca el tambor divisor 510' en su vértice. Los órdenes de difracción reflejados por el estándar de medición 511' o bien los haces de rayos parciales experimentan aquí adicionalmente una inclinación en dirección x perpendicular a la dirección de medición.

10 Los elementos ópticos difractivos o bien las redes de exploración 524.1a, 524.2a o bien 524.1a', 524.2a' compensan mediante su función de fase seleccionada de modo correspondiente estas deformaciones del frente de onda así como en el caso de la Figura 16, la inclinación resultante del haz y los haces de rayos parciales se enfocan en los espejos reflectores 526.1, 526.2 o bien 526.1', 526.2'. Desde allí, los haces de rayos parciales divergentes llegan a las redes de exploración 524.1b, 524.2b o bien 524.1b', 524.2b' asimismo configuradas como elementos ópticos difractivos. Su función de fase es en este caso idéntica hasta en el correspondiente signo con la función de fase de las primeras redes de exploración 524.1a, 524.2a o bien 524.1a', 524.2a'. Después de una nueva reflexión en el estándar de medición 511 o bien 511', los dos haces de rayos parciales poseen nuevamente frentes de onda planos e interfieren luego entre sí. Las redes de exploración 524.1a, 524.2a o bien 524.1a', 524.2a' combinan nuevamente las funcionalidades ópticas de un corrector frontal de onda, una lente y una desviación de haces.

20 La función de lente formada en las redes de exploración 524.1a, 524.2a o bien 524.1a', 524.2a' se puede configurar como en el segundo, tercer y cuarto ejemplo de realización como función de lente esférica. Sin embargo, con una exploración del tambor divisor 510, 510' según las Figuras 15 y 16 aparecen distorsiones del frente de onda esencialmente sólo en dirección tangencial. En dirección axial, el tambor divisor 510, 510' es recto y el efecto de deflexión del estándar de medición 511, 511' o bien la graduación de tambor es constante. Esto sugiere que una retrorreflexión en dirección axial no es indispensable. Sin embargo, aquí hay que tener en cuenta que se requiere una retrorreflexión perpendicular a la dirección de medición en cada caso, a fin de reducir la conocida sensibilidad a la inclinación de la óptica de exploración alrededor del eje óptico OA ("inclinación Moire"). En este sentido, se remite expresamente al documento DE 10 2005 029 917 A1 de la solicitante. De ello se desprende que se puede prescindir de una completa retrorreflexión sólo en el caso de una exploración de un tambor divisor 510' en la variante de la Figura 16 con una dirección de medición axial. En todos los otros casos, incluyendo la exploración de graduaciones radiales, es necesario un inversor de la dirección de los haces con una retrorreflexión completa. La retrorreflexión completa, como se describió arriba, se puede realizar a través de un prisma triple, un espejo triple, una combinación de lente esférica y espejo reflector, así como a través de una combinación de un prisma triangular de cristal y una lente cilíndrica con efecto de lente paralelo al canto superior. Para la retrorreflexión monoaje no completa, por el contrario, se necesita un prisma triangular de cristal o una combinación de lente cilíndrica y espejo reflector. La orientación de la retrorreflexión monoaje en la variante según la Figura 16 se debe realizar de modo tal que el canto superior del prisma triangular de cristal esté orientado en dirección axial o bien la lente cilíndrica se enfoque en dirección tangencial.

40 Como en el primer ejemplo de realización antes explicado en las dos variantes según las Figuras 15 y 16, la generación de las señales de posición de fase desplazada se realiza con óptica de polarización. Asimismo, sin embargo, también aquí análogamente al tercer ejemplo de realización, las señales de posición de fase desplazada se pueden obtener en forma difractiva a través de una ruta del haz de exploración con una red combinada conformada de modo adecuado.

50 Eventualmente, la correspondiente tarea de medición puede requerir calcular tanto el desplazamiento axial como también el ángulo azimutal del tambor divisor 510 o bien 510'. En este caso, es posible reunir los estándares de medición 511 y 511' y diseñarlos como graduación de red cruzada sobre el contorno exterior de un tambor divisor. De esta manera, se reduce tanto el espacio de construcción necesario para el dispositivo óptico de medición de posición según la invención, como también el momento de inercia del tambor divisor. Además, en este caso, también se puede determinar con el uso de un total de seis unidades de exploración la completa ubicación de seis dimensiones del tambor divisor.

55 Una tercera variante de la quinta realización del dispositivo óptico de medición de posición según la invención está representada parcialmente en la Figura 17; la Figura 18 sirve para la ulterior explicación de las reglas geométricas de dimensionamiento de esta variante. Esta variante del dispositivo óptico de medición de posición según la invención se puede usar como la segunda variante recién explicada con una graduación de red cruzada no representada para detectar tanto el desplazamiento axial como también el ángulo azimutal del tambor divisor 610 o bien 510' o bien determinar a través de seis unidades de exploración 620 la ubicación en seis dimensiones del tambor divisor 611. Para ello, se usa una exploración, cuya dirección de medición se tuerce alrededor de la superficie perpendicular de la circunferencia exterior del tambor. Esto se logra mediante una orientación de las marcas de graduación del estándar de medición 610 al disponerlas asimismo torcida alrededor de la superficie perpendicular nombrada. Una torsión simétrica de ambas direcciones de medición de una graduación de red cruzada alrededor de aproximadamente +/-45° tiene la ventaja en este caso de que no se deben fabricar diferentes unidades de exploración duales con distintos elementos ópticos difractivos en la placa de exploración. Más bien se

pueden usar unidades de exploración idénticas, pero opuestas rotadas a la dirección normal mencionada.

5 En otra conformación de este tipo del estándar de medición, debido al desplazamiento lateral de los puntos de intersección de los haces de rayos parciales explorados con una iluminación perpendicular respecto de la placa de exploración, los dos haces de rayos parciales de primer orden retrorreflejados del estándar de medición coincidirían asimétricamente sobre la placa de exploración. De ello se concluye que las dos primeras redes de exploración 10
atravesadas 624.1a, 624.2a, que deben corregir, entre otras, la distorsión de los frentes de onda, asimismo tampoco serían iguales después de la reflexión. De ello sigue una fuerte deformación distinta de los frentes de onda de los dos haces de rayos parciales que interfieren entre sí con un montaje no ideal o en caso de una desviación de la longitud de onda de la fuente de luz de la longitud de onda asumida en el diseño. Esto llevaría así a una rápida reducción del grado de modulación y con ello, del tamaño de la señal de las señales de posición generadas.

15 Esta asimetría de los primeros elementos ópticos difractivos 624.1a y 624.2a y la tolerancia de montaje reducida asociada se puede anular por una incidencia oblicua del rayo de iluminación S y por una salida asimismo oblicua de los dos haces de rayos parciales TS que interfieren entre sí, tal como se visualiza en la Figura 17 y en la parte superior de la Figura 18.

20 Esto se logra aproximadamente al seleccionar el punto de paso a través de la placa de exploración 623 y el ángulo de incidencia ε_B del rayo de iluminación S de modo tal que el orden 0 del haz de rayos parciales retrorreflejado por el estándar de medición 610 o bien la graduación de tambor caiga en forma perpendicular y central entre las dos primeras redes de exploración 624.1a y 624.2a, como se indica en la Figura 18.

Por ello, el ángulo de incidencia ε_B del rayo de iluminación S se selecciona preferiblemente de la siguiente manera:

$$\varepsilon_B = \arctan\left(\frac{2x_0\sqrt{R^2 - x_0^2}}{R^2 - 2x_0^2}\right)$$

25 (Ec. 6)

con:

30 x_0 = lugar de exploración en la primera difracción en el estándar de medición en dirección x
R = radio del tambor divisor

Para mayores radios de tambor R, rige aproximadamente:

$$\varepsilon_B = \frac{2x_0}{R}$$

35 (Ec. 6.1)

La coordenada x para el punto de intersección del rayo de iluminación S mediante la parte inferior de la placa de exploración 623 resulta para:

$$x_B = \frac{x_0R^2 - 2x_0(D_L + R)\sqrt{R^2 - x_0^2}}{2x_0^2 - R^2}$$

40 (Ec. 7)

con:

D_L = distancia de exploración entre vértice del tambor divisor y placa de exploración

45 Para radios grandes de tambor R, rige aproximadamente:

$$x_B = x_0\left(2\frac{D_L + R}{R} - 1\right)$$

(Ec. 7.1)

50 La coordenada y del punto de intersección del rayo de iluminación S mediante la parte inferior de la placa de exploración 623 corresponde al valor medio de las coordenadas y de las primeras redes de exploración 624.1a y

624.2a según:

$$y_B = \frac{y_{624.1a} + y_{624.2a}}{2} \quad (\text{Ec. 8})$$

5 Las correspondientes magnitudes geométricas (ángulo de reflexión; coordenadas de intersección) para los haces de rayos emergentes que interfieren TS resultan según:

$$x_D = -x_B \quad (\text{Ec. 9.1})$$

10
$$y_D = \frac{y_{624.1b} + y_{624.2b}}{2} \quad (\text{Ec. 9.2})$$

$$\varepsilon_D = \varepsilon_B \quad (\text{Ec. 9.3})$$

15 El uso de una iluminación oblicua es útil para todas las exploraciones en las que la dirección de medición no corre en dirección tangencial o axial. Así se pueden poner redes de exploración 624.1a, 624.2a así como 624.1b, 624.2b de conformación simétrica; además, se dispone de grandes tolerancias respecto de la ubicación nominal del tambor divisor. En este caso, es conveniente elegir el primer y el segundo punto de exploración en el estándar de medición 610 o bien en el tambor divisor en dirección x en forma simétrica alrededor del vértice del tambor. Esto lleva a que los correctores frontales de onda adopten la corrección de los frentes de onda curvilíneos por la curvatura del tambor, la inclinación del frente de onda se compensa con la iluminación oblicua.

20 Como en el primer ejemplo de realización descrito con una exploración de red radial, se demuestra para la exploración del tambor que un retroreflector representa la solución ideal para el inversor de la dirección de los haces. Esto se debe al hecho de que en caso de desviaciones del tambor divisor de su ubicación nominal aparecen deformaciones del frente de onda causadas por la tolerancia, que representan esencialmente inclinaciones del frente de onda y con ello, inclinaciones de los rayos. Mediante la retroreflexión, se invierten estas inclinaciones de los rayos, de modo que después de una nueva difracción en el estándar de medición 610 se vuelven a anular y llevan a una interferencia óptima de los dos haces de rayos parciales.

30 Sexto ejemplo de realización

Por medio de las Figuras 19, 20a y 20b, se describe finalmente un sexto ejemplo de realización del dispositivo óptico de medición de posición según la invención.

35 En los ejemplos de realización explicados hasta ahora, siempre se preveía que el estándar de medición, los dos correctores frontales de onda y el inversor de la dirección de los haces son atravesados en dirección de propagación de los haces en el siguiente orden por los haces de rayos o bien haces de rayos parciales:

estándar de medición (primera difracción) - primer corrector frontal de onda - inversor de la dirección de los haces - segundo corrector frontal de onda - estándar de medición (segunda difracción)

40 Según este orden estaban dispuestos los distintos elementos en el dispositivo óptico de medición de posición según la invención.

45 En el marco de la presente invención, sin embargo, también es posible que estos elementos también puedan ser atravesados en el siguiente orden por los haces de rayos o bien los haces de rayos parciales:

primer corrector frontal de onda - estándar de medición (primera difracción) - inversor de la dirección de los haces - estándar de medición (segunda difracción) - segundo corrector frontal de onda

50 En general, se puede decir que según la invención la unidad reflectora en la unidad de exploración está dispuesta y/o configurada de modo tal que los haces de rayos primero atraviesen una primera combinación de estándar de medición y un primer corrector frontal de onda, luego a través del inversor de la dirección de los haces se produce una retroreflexión de haces de rayos parciales en la dirección estándar de medición y los haces de rayos parciales atraviesan luego una segunda combinación de estándar de medición y segundo corrector frontal de onda, antes de que los haces de rayos parciales luego lleguen a la unidad de detección.

55 Un ejemplo de realización del dispositivo óptico de medición de posición, en el que los haces de rayos atraviesan los

distintos elementos mencionados en segundo lugar, está representado en las Figuras 19, 20a y 20b.

5 El haz de rayos emitido por la fuente de luz 621 se colima a través de la óptica de colimador 622 y llega a una primera red de exploración 624a, que está dispuesta sobre una placa de exploración 623. A través de la primera red de exploración 624a se divide el haz de rayos incidentes en dos haces de rayos parciales reflejados de orden de difracción +/-1. Los dos haces de rayos parciales inciden luego sobre el estándar de medición 610 configurado como graduación radial sobre el disco graduado 611. Allí se reflejan los haces de rayos parciales nuevamente en el orden de difracción +/-1 y se retrorreflejan como se ve en la Figura 20a en la dirección de medición x esencialmente en forma opuesta a la dirección de incidencia. Los haces de rayos parciales retrorreflejados inciden luego sobre el inversor de la dirección de los haces configurado como prisma triple, del que nuevamente se retrorreflejan en la dirección del estándar de medición 610. Después de la nueva difracción de los haces de rayos parciales en el estándar de medición 610, llegan a una segunda red de exploración 624b, que superpone los dos haces de rayos parciales y lleva a la interferencia. Como en el tercer ejemplo de realización anterior, la segunda red de exploración se configura de modo tal que en el orden de difracción 0 y +/-1 salen preferiblemente tres haces de rayos de fase desplazada en 120° que son detectados a través de los elementos detectores 629.1-629.3 de la unidad de detección.

20 La primera red de exploración 624a reúne a su vez distintas funcionalidades ópticas. Así, actúa como red de separación, que divide el haz de rayos incidente de la fuente de luz 621 en dos haces de rayos parciales. Con esta separación está ligada al mismo tiempo una funcionalidad de desviación simétrica para los dos haces de rayos parciales. Además, la primera red de separación 624a actúa como primer corrector frontal de onda. De esta manera, los frentes de onda emergentes de los dos haces de rayos parciales están tan distorsionados que después de la difracción en el estándar de medición 610 configurado como graduación radial hay haces de rayos parciales colimados, que llegan al inversor de la dirección de los haces configurado como prisma triple. A su vez, se asegura así que la retrorreflexión se realice con frentes de onda planos de los haces de rayos parciales implicados.

25 De modo similar, también la segunda red de exploración 624b reúne distintas funcionalidades ópticas. Así, la segunda red de exploración 624b actúa como segundo corrector frontal de onda, que transforma los frentes de onda de los haces de rayos parciales, que se distorsionan debido a la segunda difracción en el estándar de medición, nuevamente en frentes de onda planos. Además, la segunda red de exploración 624b actúa en este ejemplo de realización también como red combinada, que lleva a los dos haces de rayos parciales a la interferencia y los transforma en tres haces de rayos emergentes de fase desplazada.

30 Contrariamente a los ejemplos de realización descritos hasta ahora de los dispositivos de medición de posición ópticos según la invención, a los dos haces de rayos parciales separados no se asigna aquí ninguna red de exploración separada. Por ello, es necesario que la primera y la segunda red de exploración 624a, 624b en este ejemplo de realización corrijan cada una ambos haces de rayos parciales respecto de sus correspondientes frentes de onda. Para ello, se configuran la primera y la segunda red de exploración 624a, 624b como estructuras difractivas.

35 Como ventaja especial de la sexta realización del dispositivo óptico de medición de posición según la invención, se ha de mencionar finalmente que presenta un componente particularmente compacto.

40 Además de los distintos ejemplos de realización explicados hasta ahora con detalle del dispositivo óptico de medición de posición según la invención, resultan en el marco de la presente invención de hecho otras posibilidades de realización. A continuación se han de indicar brevemente diversas variantes.

45 En caso de que aproximadamente la ubicación azimutal del primer sitio de exploración en el caso de una graduación radial explorada se desvíe notoriamente de la ubicación azimutal del segundo sitio de exploración de la graduación radial, entonces los gradientes del frente de onda de los dos sitios de exploración con un desplazamiento del disco graduado de la ubicación nominal ya no tienen la misma orientación. Más bien, están torcidos uno respecto del otro y están modificados en su tamaño. Por ello, se deben incorporar medios ópticos adicionales tales como prismas (por ejemplo, DovePrisma) o dispositivos especulares, para transferirlos correspondientemente, es decir, a fin de garantizar la rotación óptima de la imagen y la escalada.

50 En vez de usar correctores frontales de onda y lentes puramente refractivos o puramente difractivos, también se pueden usar elementos refractivos y difractivos mixtos. Además, también se pueden emplear ópticas especulares apropiadamente configuradas para ello.

55 El estándar de medición explorado asimismo se puede configurar de hecho de modo alternativo, a saber, como estándar de medición a trasluz.

60 El concepto de exploración según la invención se puede usar además de la exploración de la graduación radial o de tambor, también para la exploración de otras estructuras de graduación no homogéneas.

65 Además es posible configurar el inversor de la dirección de los haces no sólo como prisma triple, espejo triple o lente

con espejo. También se puede usar para ello una combinación de un prisma triangular de cristal a 90° y una lente cilíndrica, en donde la acción de la lente se orienta paralela al canto superior y el canto superior debe estar dispuesto en el plano focal de la lente, etc.

REIVINDICACIONES

- 5 1. Dispositivo óptico de medición de posición para detectar la posición relativa de una unidad de exploración (20; 220; 320; 420; 520; 520'; 620; 2000) y un estándar de medición (10; 210; 310; 410; 510; 510'; 610; 1000), en donde la unidad de exploración (20; 220; 320; 420; 520; 520'; 620; 2000) y el estándar de medición (10; 210; 310; 410; 510; 510'; 610; 1000) se pueden mover uno respecto del otro a lo largo de un dispositivo de medición curvilíneo (x) y en donde
- 10 - la unidad de exploración (20; 220; 320; 420; 520; 520'; 620; 2000) presenta al menos una unidad reflectora (2000) y una unidad de detección y la unidad reflectora (2000) está compuesta por un primer corrector frontal de onda (2100), un inversor de la dirección de los haces (2300) y un segundo corrector frontal de onda (2200) y
- 15 - la unidad reflectora (2000) en la unidad de exploración (20; 220; 320; 420; 520; 520'; 620; 2000) está dispuesta y/o configurada de modo tal que el haz de rayos pasan primero por una primera combinación de estándar de medición (10; 210; 310; 410; 510; 510'; 610; 1000) y un primer corrector frontal de onda (2100), luego a través del inversor de la dirección de los haces (2300) se produce una retroreflexión de haces de rayos parciales en la dirección del estándar de medición (10; 210; 310; 410; 510; 510'; 610) y los haces de rayos parciales pasan luego por una segunda combinación de estándar de medición (10; 210; 310; 410; 510; 510'; 610; 1000) y un segundo corrector frontal de onda (2200), antes de que los haces de rayos parciales incidan luego sobre la unidad de detección, en donde
- 20 - a través de la unidad reflectora (2000) se asegura que las deformaciones del frente de onda de los haces de rayos parciales, que resultan a través de la primera difracción en el estándar de medición (10; 210; 310; 410; 510; 510'; 610; 1000), se convierten en deformaciones del frente de onda, que compensan las deformaciones del frente de onda resultantes de los haces de rayos parciales en la segunda difracción en el estándar de medición (10; 210; 310; 410; 510; 510'; 610), donde
- 25 - a través del primer corrector frontal de onda (2100) se produce una conversión de los frentes de onda que salen de la primera combinación de estándar de medición (10; 210; 310; 410; 510; 510'; 610) y un primer corrector frontal de onda (2100) en haces de rayos parciales colimados con frentes de onda planos y
- 30 - a través del segundo corrector frontal de onda (2200) se produce una conversión de los frentes de onda que salen de la segunda combinación de estándar de medición (10; 210; 310; 410; 510; 510'; 610) y segundo corrector frontal de onda (2200) en haces de rayos parciales colimados con frentes de onda planos, de modo que los frentes de onda de los haces de rayos parciales que se superponen después de la segunda difracción en el estándar de medición (10; 210; 310; 410; 510; 510'; 610) son iguales en el lugar de la superposición y en donde
- 35 ya sea
- 40 - la primera combinación de estándar de medición (10; 210; 310; 410; 510; 510'; 610) y primer corrector frontal de onda (2100) está dispuesta en el orden de estándar de medición (10; 210; 310; 410; 510; 510'; 610) de primer corrector frontal de onda (2100) en la dirección de propagación de los rayos y
- 45 - la segunda combinación de estándar de medición (10; 210; 310; 410; 510; 510'; 610) y segundo corrector frontal de onda (2200) está dispuesta en el orden de segundo corrector frontal de onda (2200) - estándar de medición (10; 210; 310; 410; 510; 510'; 610) en la dirección de propagación de los rayos o
- 50 - la primera combinación de estándar de medición (10; 210; 310; 410; 510; 510'; 610) y primer corrector frontal de onda (2100) está dispuesta en el orden de primer corrector frontal de onda (2100) - estándar de medición (10; 210; 310; 410; 510; 510'; 610) en la dirección de propagación de los rayos y
- 55 - la segunda combinación de estándar de medición (10; 210; 310; 410; 510; 510'; 610) y segundo corrector frontal de onda (2200) está dispuesta en el orden de estándar de medición (10; 210; 310; 410; 510; 510'; 610) - segundo corrector frontal de onda (2200) en la dirección de propagación de los rayos.
- 55 2. Dispositivo óptico de medición de posición según la reivindicación 1, en donde el inversor de la dirección de los haces (2300) se configura de modo tal que se produzca una inversión de la dirección de los rayos respecto de los haces de rayos parciales reflejados en dos direcciones ortogonales.
- 60 3. Dispositivo óptico de medición de posición según al menos una de las reivindicaciones 1-2, en donde el inversor de la dirección de los haces (2300) está realizado como espejo triple o como prisma triple.
- 60 4. Dispositivo óptico de medición de posición según al menos una de las reivindicaciones 1-2, en donde el inversor de la dirección de los haces (2300) está realizado como combinación de una lente y un espejo reflector.
- 65 5. Dispositivo óptico de medición de posición según la reivindicación 4, en donde los correctores frontales de onda (2100; 2200) y/o la lente del inversor de la dirección de los haces (2300) están realizados como elementos ópticos refractivos.
- 65 6. Dispositivo óptico de medición de posición según la reivindicación 3 ó 4, en donde los correctores frontales de

onda (2100, 2200) están realizados como elementos ópticos difractivos.

5 7. Dispositivo óptico de medición de posición según la reivindicación 6, en donde los correctores frontales de onda (2100, 2200) y la lente del inversor de la dirección de los haces (2300) están realizados como elemento óptico difractivo.

10 8. Dispositivo óptico de medición de posición según la reivindicación 6, en donde los correctores frontales de onda (2100, 2200) están realizados cada uno como elementos combinados ópticos difractivos están realizados en forma de redes de exploración, que presentan además al menos una de las siguientes funcionalidades ópticas adicionales para los haces de rayos parciales incidentes:

- 15
- un efecto óptico de deflexión,
 - un efecto óptico de separación o recombinación,
 - un efecto óptico de enfoque sobre el espejo reflector

9. Dispositivo óptico de medición de posición según al menos una de las reivindicaciones 5-8, en donde el espejo reflector y los elementos ópticos difractivos están dispuestos en lados opuestos de una placa transparente de exploración (23; 223; 323; 423; 523; 523'; 623).

20 10. Dispositivo óptico de medición de posición según al menos una de las reivindicaciones 1-9, en donde el estándar de medición (10; 210; 310; 410) está configurado como graduación radial sobre un disco graduado que rota alrededor de un eje de rotación (11; 211; 311; 411) y que está dispuesto concéntricamente alrededor del eje de rotación.

25 11. Dispositivo óptico de medición de posición según al menos una de las reivindicaciones 1-9, en donde el estándar de medición (510; 510'; 610) está configurado como graduación de tambor sobre el contorno exterior de un tambor divisor rotativo (511; 511'; 611), en donde el eje de rotación coincide con el eje longitudinal del tambor divisor.

30 12. Dispositivo óptico de medición de posición según la reivindicación 11, en donde los elementos ópticos en la unidad de exploración (620) están configurados y dispuestos de modo tal que el haz de rayos emitido de la fuente de luz es incidente bajo un ángulo diferente de 90° en la graduación de tambor.

FIG. 1a

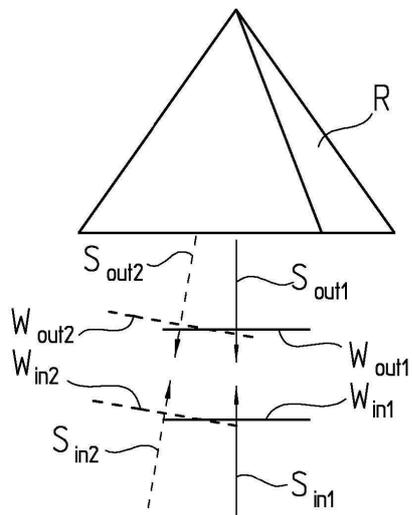


FIG. 1b

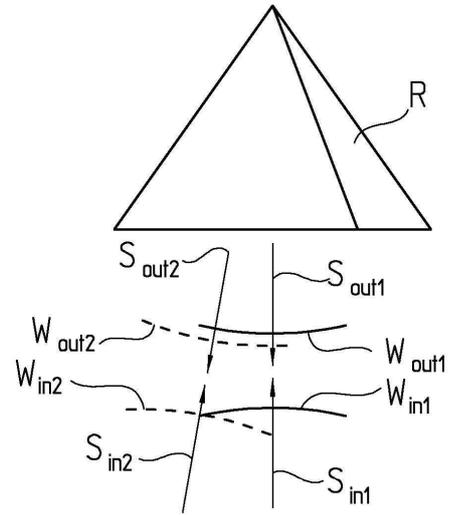


FIG. 1c

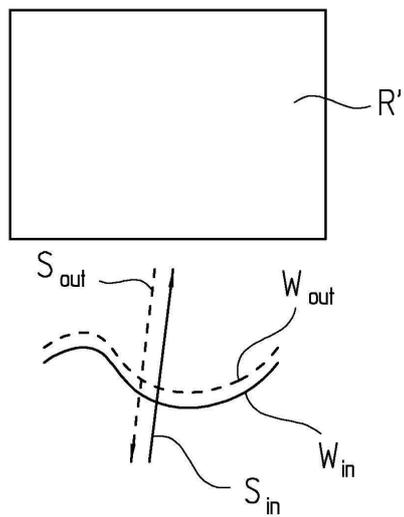


FIG. 1d

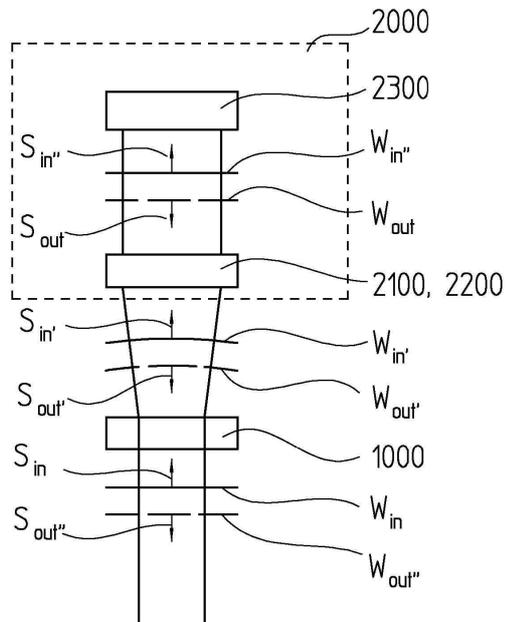


FIG. 1e

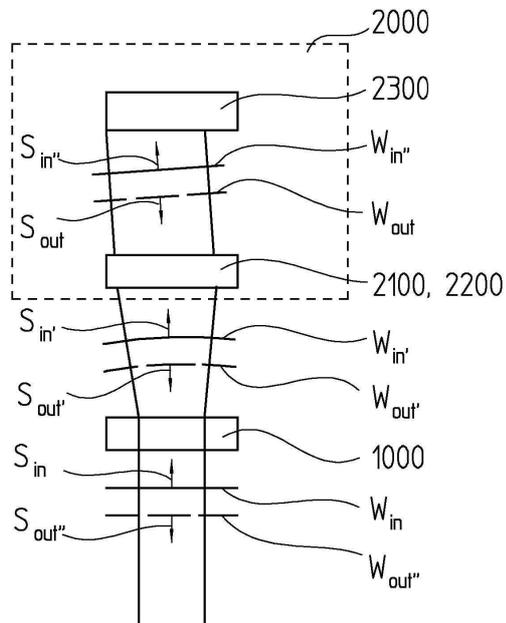


FIG. 2

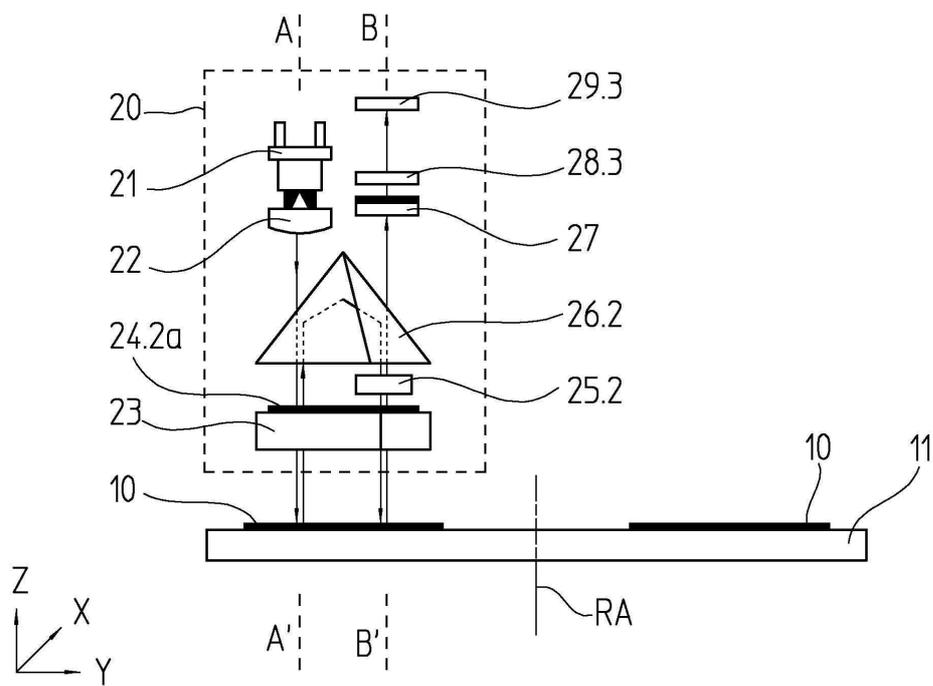


FIG. 3a

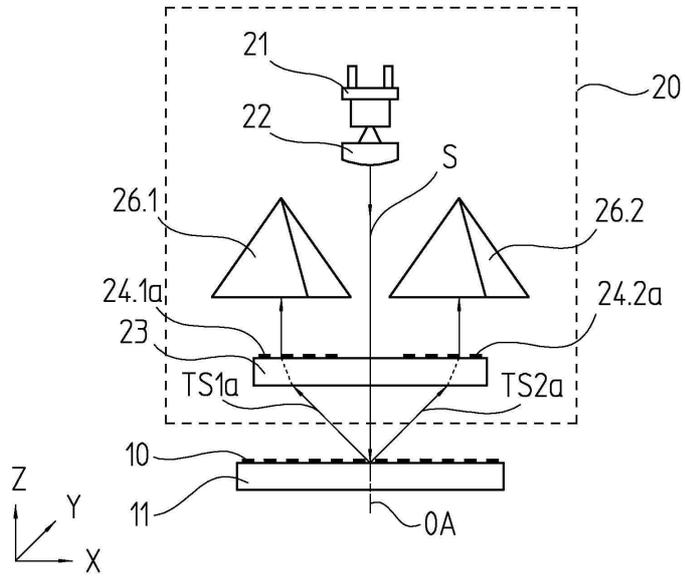


FIG. 3b

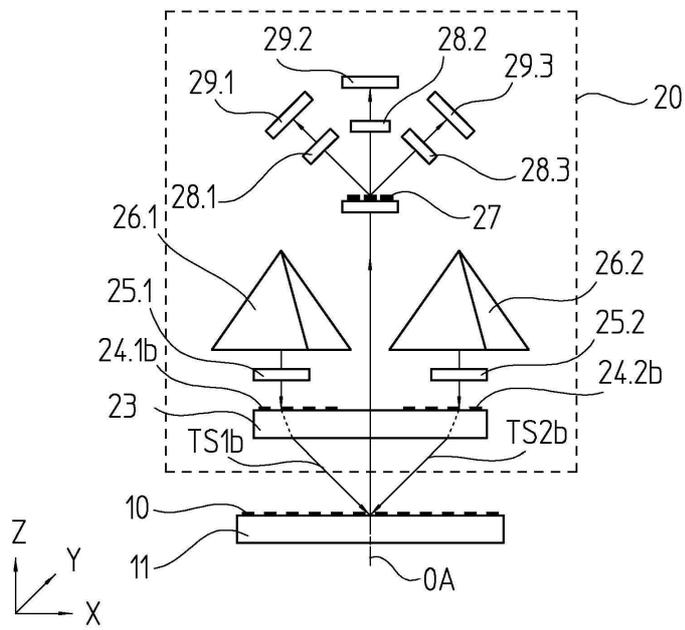


FIG. 4

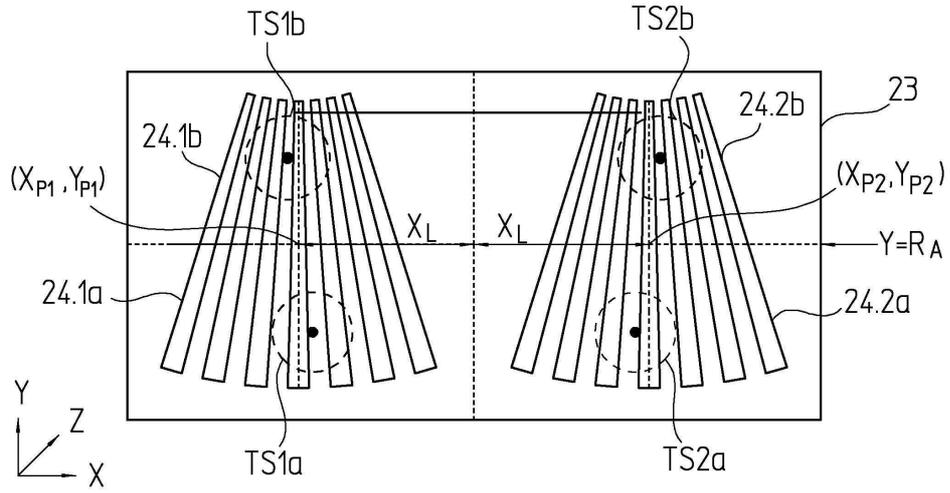


FIG. 5

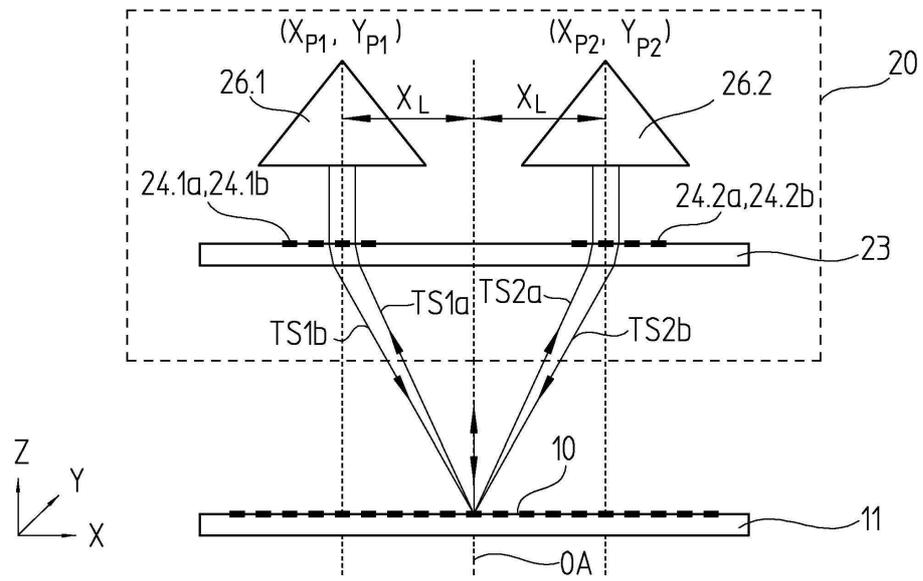


FIG. 6

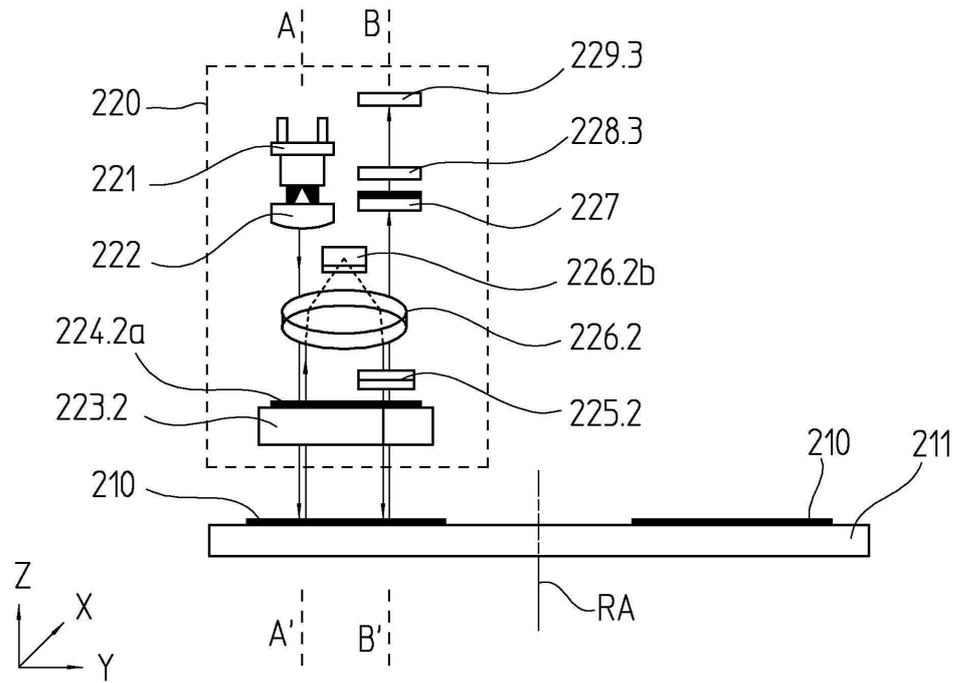


FIG. 7a

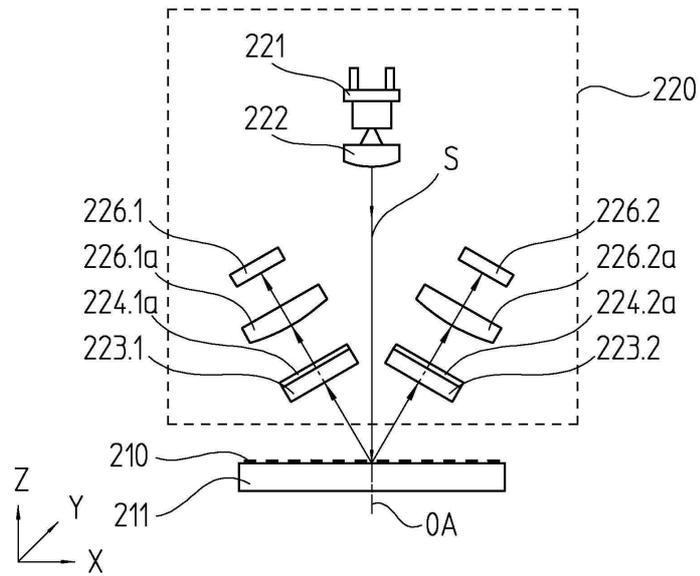


FIG. 7b

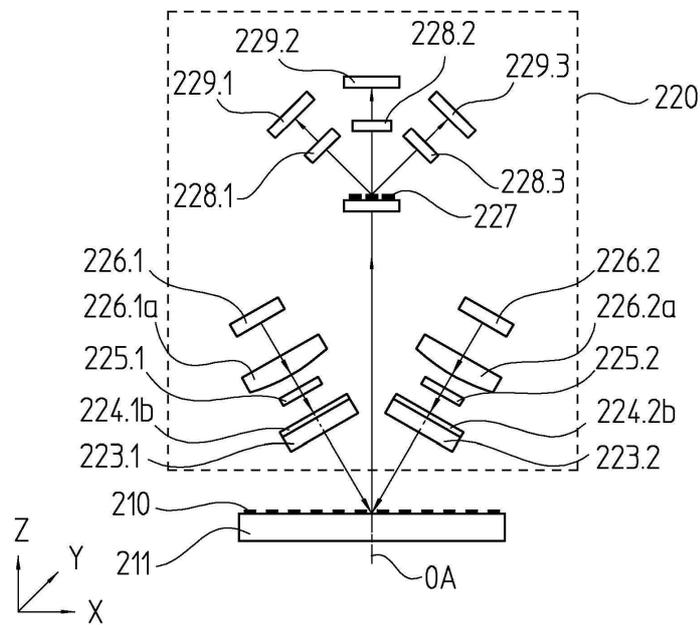


FIG. 8

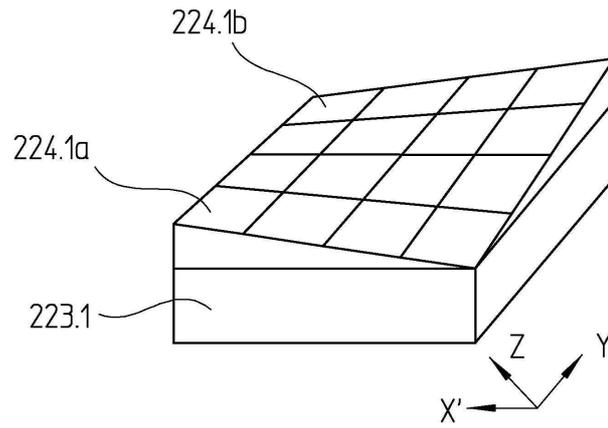


FIG. 9

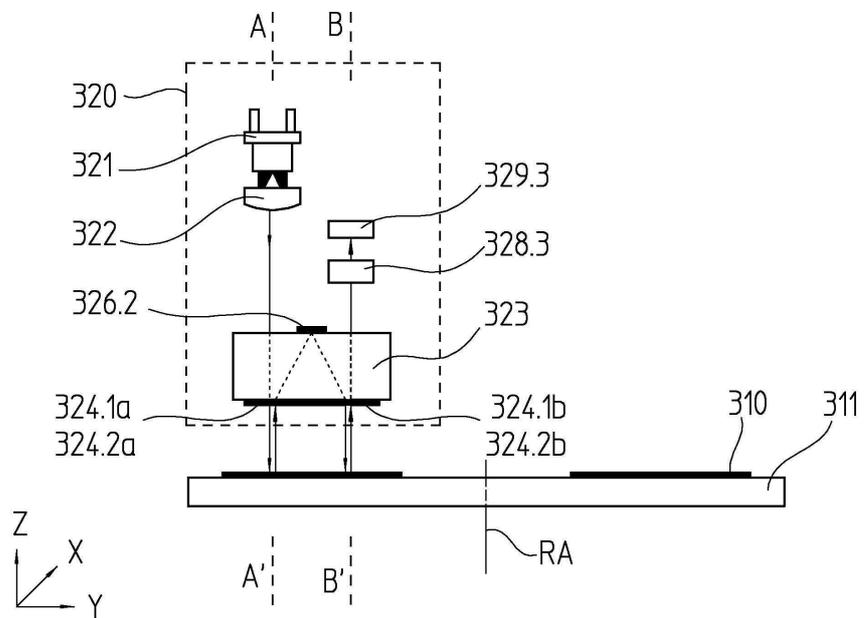


FIG. 10a

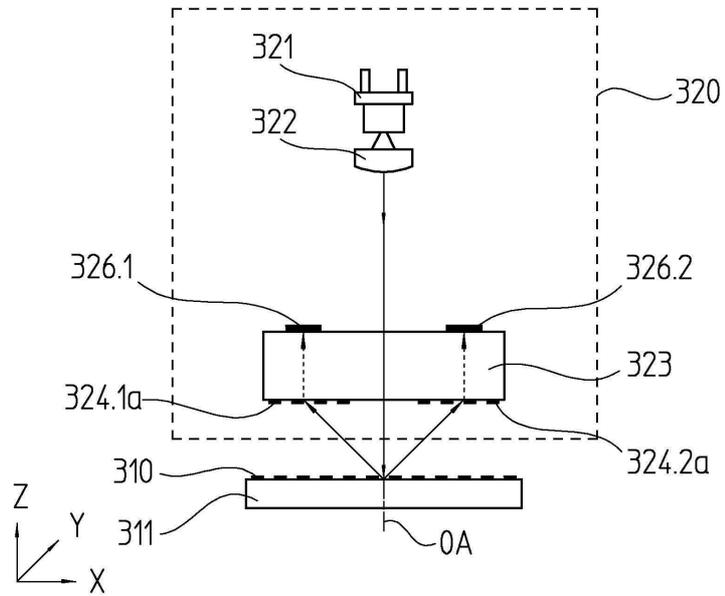


FIG. 10b

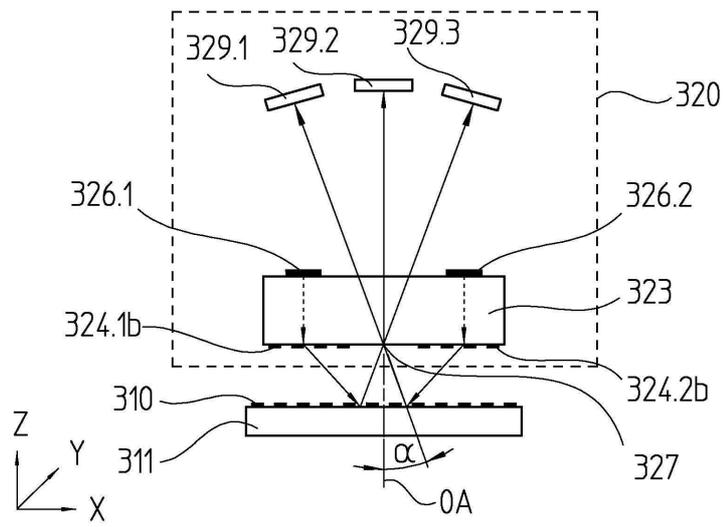


FIG. 11a

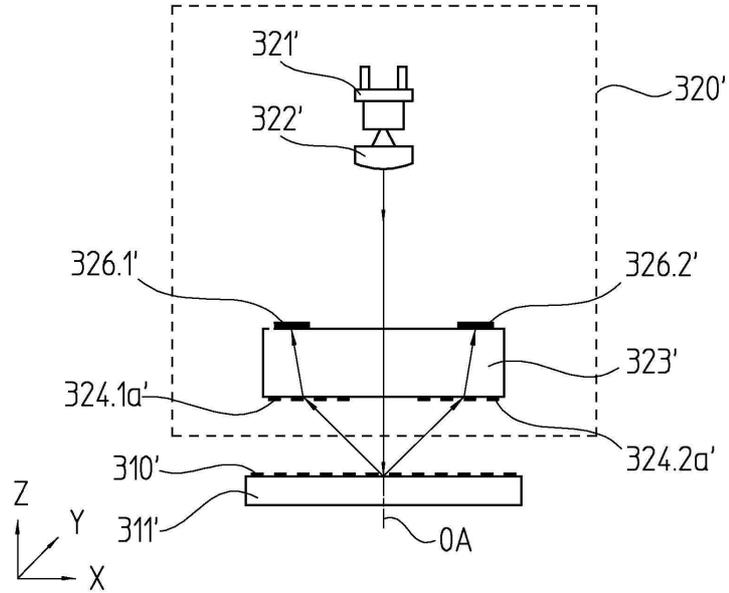


FIG. 11b

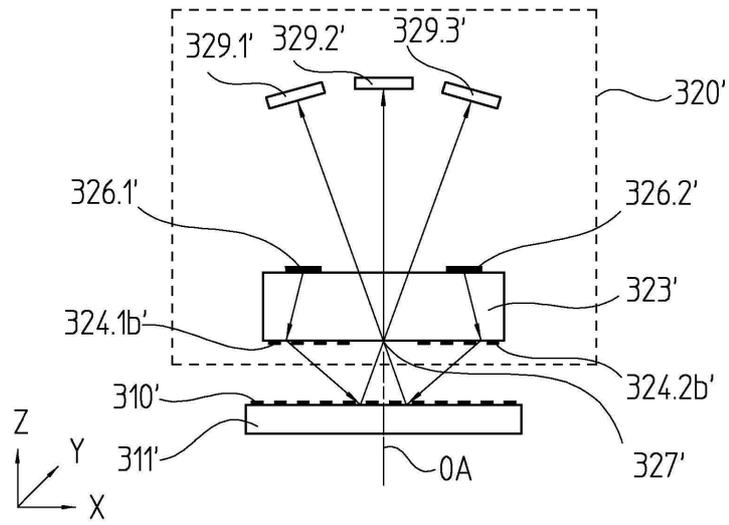


FIG. 12

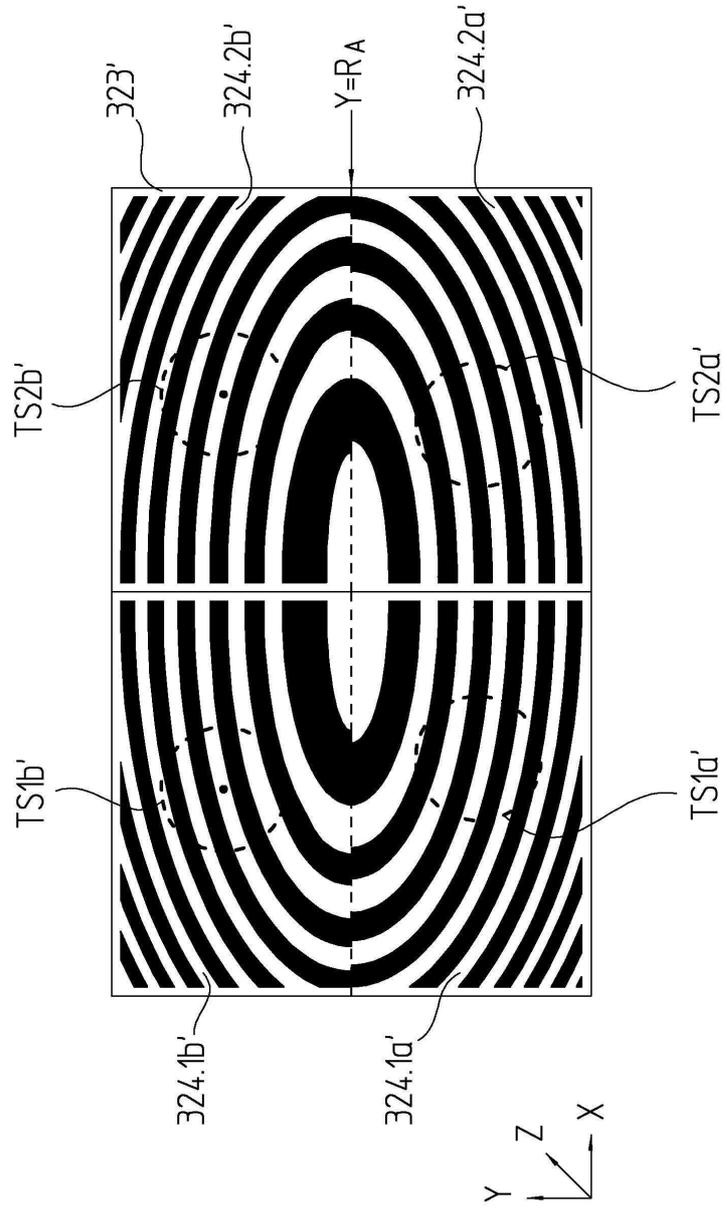


FIG. 13

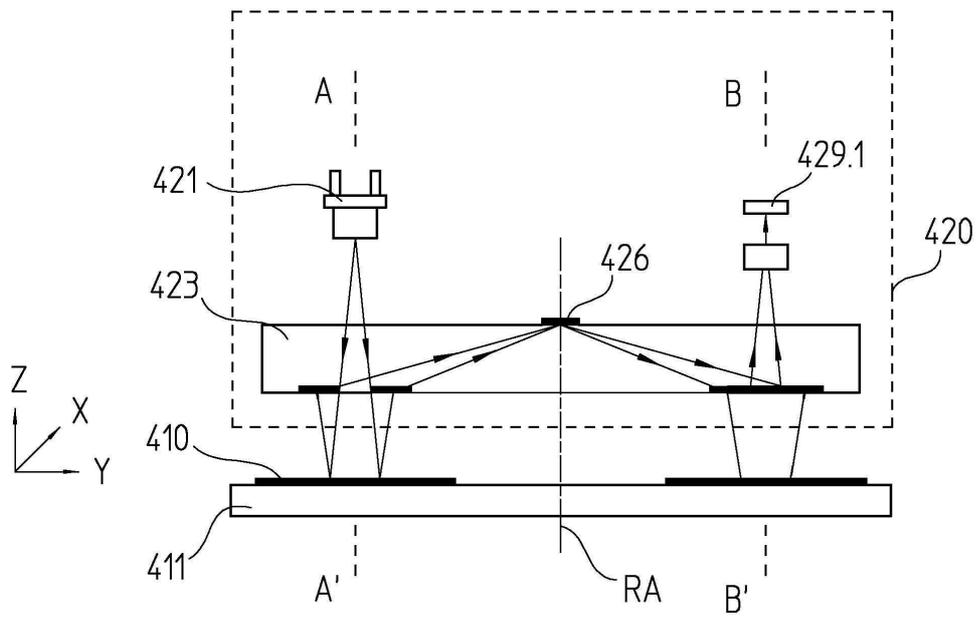


FIG. 14a

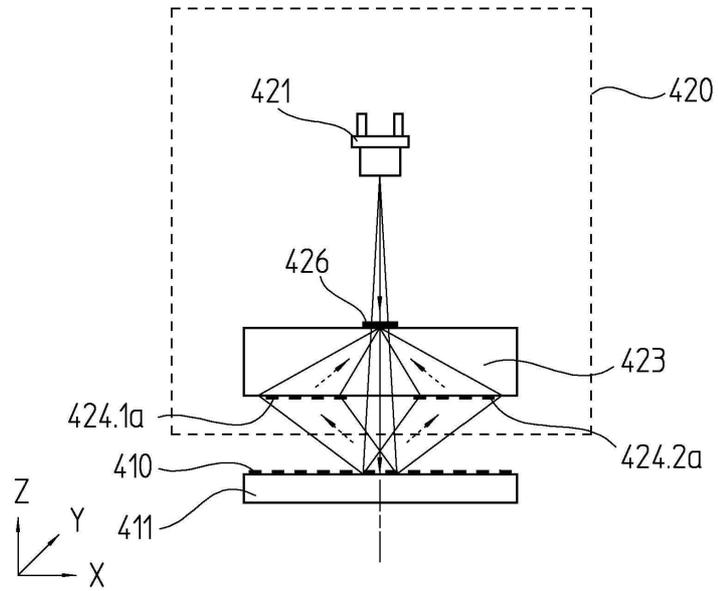


FIG. 14b

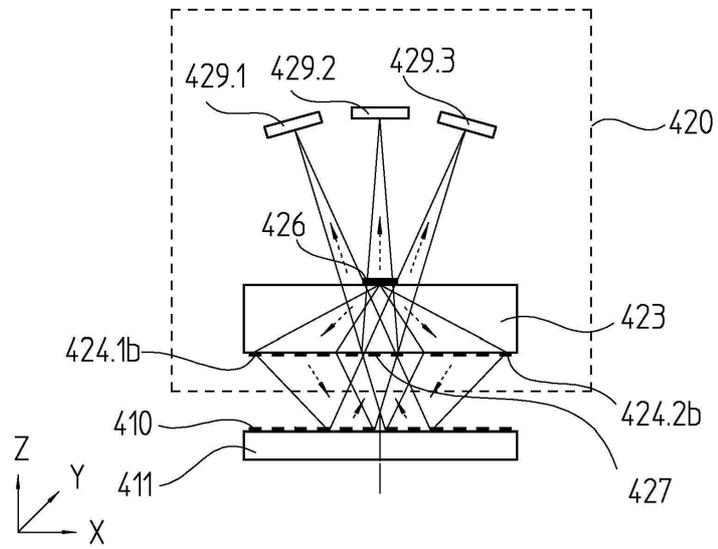


FIG. 15

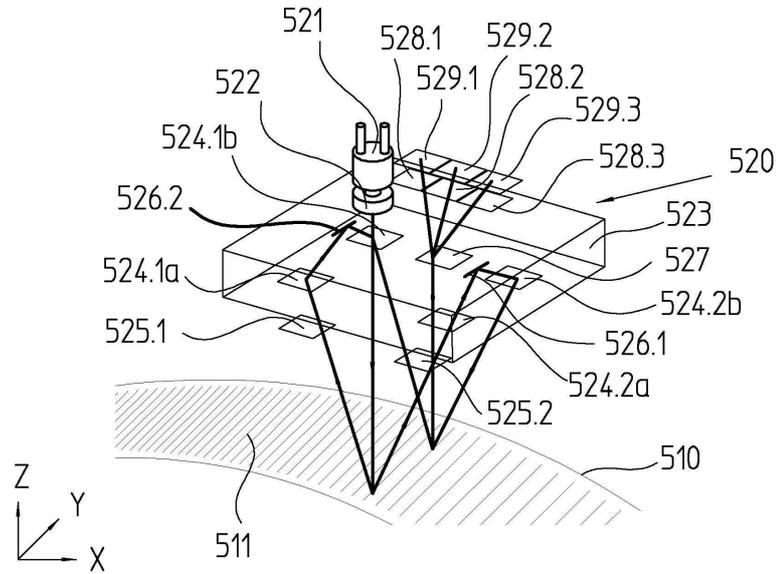


FIG. 16

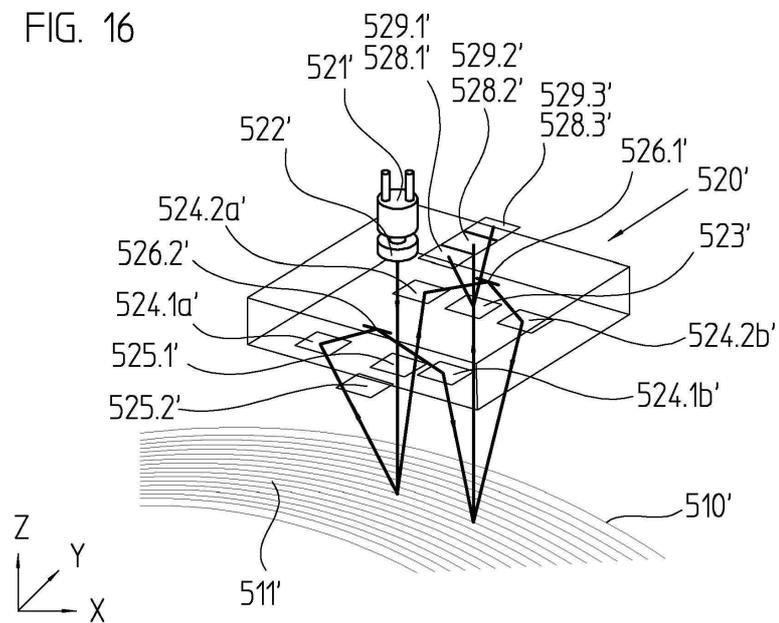


FIG. 17

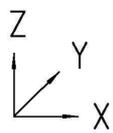
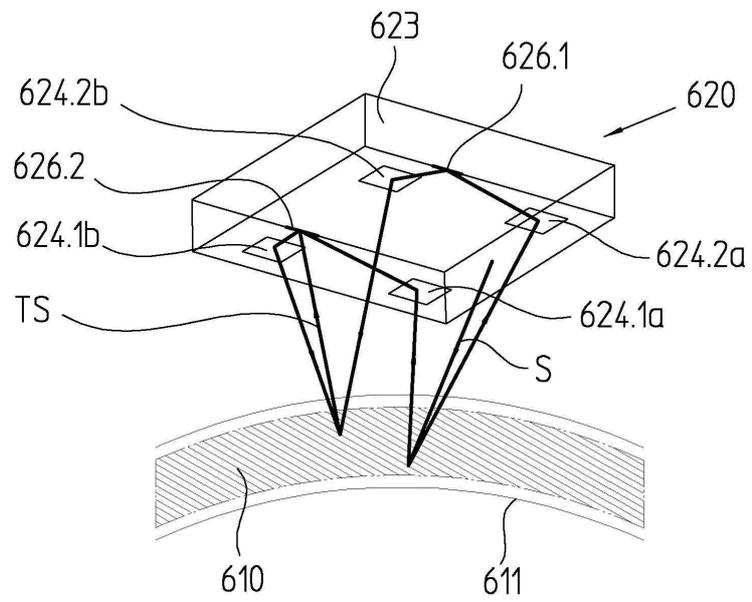


FIG. 18

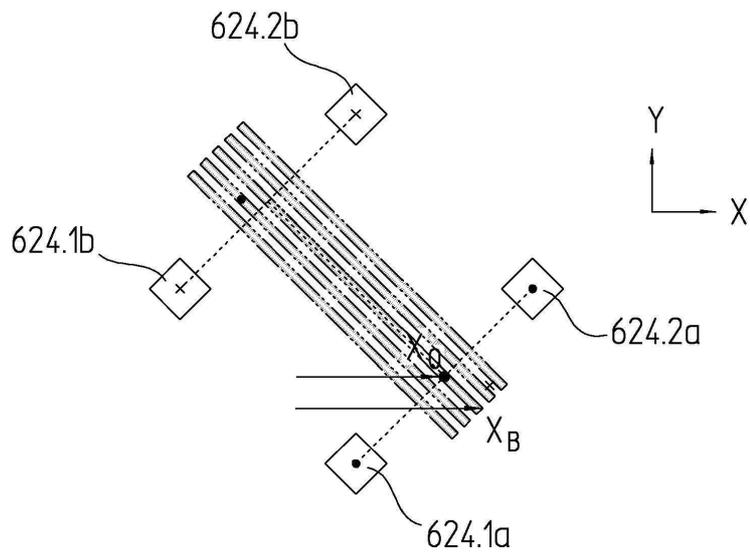
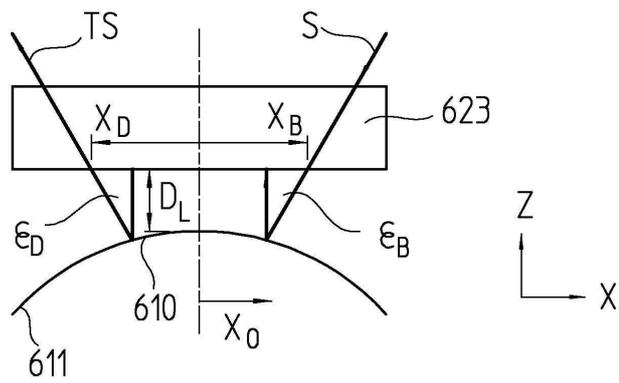


FIG. 19

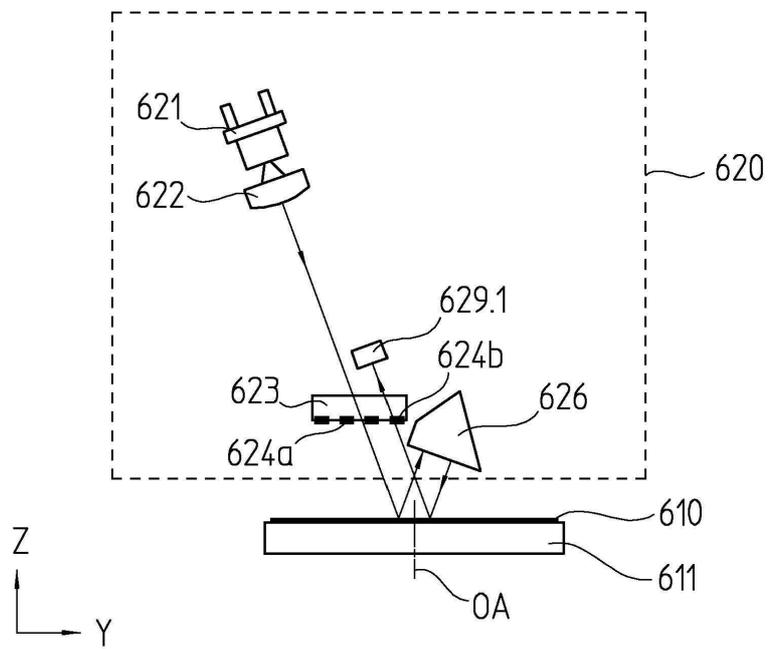


FIG. 20a

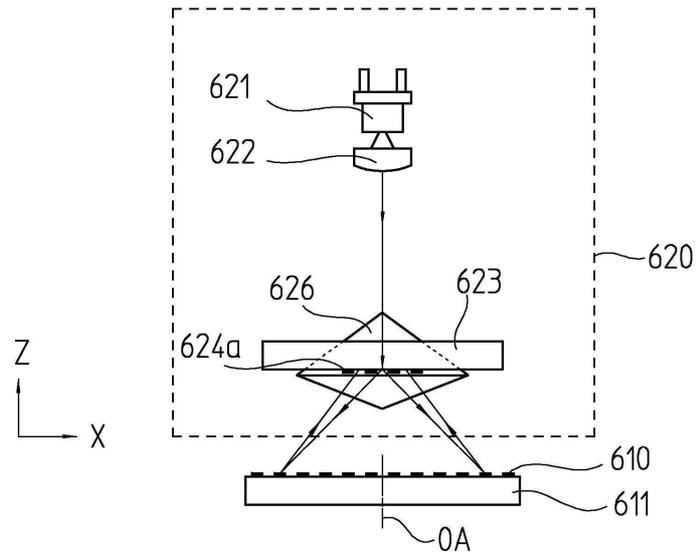


FIG. 20b

