

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 672 977**

51 Int. Cl.:

**G01D 5/26** (2006.01)

**G01D 5/38** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **27.01.2014 E 14152674 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **23.05.2018 EP 2765394**

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

30 Prioridad:

**06.02.2013 DE 102013201904**

**05.11.2013 DE 102013222383**

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

**19.06.2018**

73 Titular/es:

**DR. JOHANNES HEIDENHAIN GMBH (100.0%)**

**Dr. Johannes-Heidenhain-Strasse 5**

**83301 Traunreut, DE**

72 Inventor/es:

**SÄNDIG, KARSTEN**

74 Agente/Representante:

**UNGRÍA LÓPEZ, Javier**

**ES 2 672 977 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).

## DESCRIPCION

Dispositivo óptico de medición de la posición

5 La presente invención se refiere a un dispositivo óptico de medición de la posición de acuerdo con el preámbulo de la reivindicación 1.

10 Los dispositivos ópticos de medición de la posición conocidos comprenden una incorporación de medición así como una unidad de exploración móvil con relación a ella. En la unidad de exploración están dispuestos, en general, una fuente de luz, elementos detectores optoelectrónicos así como otros componentes ópticos como lentes, rejillas, etc. Para determinados casos de aplicación, sin embargo, una unidad de exploración con todos estos componentes puede estar constituida, dado el caso, demasiado voluminosa. Además, también es posible una influencia no deseada de los componentes activos de una unidad de exploración de este tipo a través de campos electromagnéticos de interferencia o temperaturas elevadas en determinadas aplicaciones. Además, a través de la pérdida de potencia eléctrica de la fuente de luz se puede producir una influencia térmica sobre la exactitud de la medición.

20 Por lo tanto, se han conocido soluciones para dispositivos ópticos de medición de la posición, en las que en el lugar de medición propiamente dicho se disponen sólo la incorporación de medición explorada así como una cabeza de exploración de fibra óptica pasiva, móvil con respecto a ella. Los otros componentes activos, que son relevantes para la función de la exploración, como fuente de luz y elementos optoelectrónicos de detección se disponen separados en el espacio desde el lugar de medición y están conectados a través de fibras de guías de luz con la cabeza de exploración de fibra óptica. De esta manera, se puede realizar un sistema de estructura extraordinariamente compacta en el lugar de medición propiamente dicho. Además, se pueden reducir al mínimo las influencias de interferencia sobre los diferentes componentes activos sobre el lado de exploración.

30 Un dispositivo de medición de la posición de este tipo se propone, por ejemplo, en el documento DE 10 2007 024 349 A1 de la solicitante. El dispositivo de medición de la posición publicado en esta publicación comprende, además de una incorporación de medición, configurada como incorporación de medición por reflexión, una cabeza de exploración de fibra óptica desplazable con relación a ella en al menos una dirección de medición. A continuación de la cabeza de exploración de fibra óptica están dispuestos, alejados en el espacio, otros componentes del dispositivo de medición de la posición, conectados a través de una fibra de guía de luz adecuada. A estos componentes pertenecen, por ejemplo, la fuente de luz necesaria para la exploración óptica, varios elementos detectores optoelectrónicos así como, dado el caso, otros componentes activos para la generación de señales y el procesamiento de señales. La cabeza de exploración de fibra óptica puramente pasiva comprende, además, una placa de exploración así como el extremo de una fibra de guía de luz para la alimentación de la iluminación y el retorno de los haces de rayos que generan señales. Para generar varias señales de exploración desplazadas de fases está prevista una codificación dependiente de la longitud de onda de las señales de exploración. A tal fin, se ilumina la placa de exploración de banda ancha y la placa de exploración está constituida por una pluralidad de células elementales, que están constituidas en cada caso por varias zonas, que son transparentes para diferentes zonas de longitudes de ondas del espectro de iluminación. A tal fin, las diferentes zonas por cada célula individual de la placa de exploración están configuradas, por ejemplo, como etalones parciales con diferentes longitudes de ondas de transmisión. El principio de exploración utilizado en el documento DE 10 2007 024 349 A1 no se puede utilizar ahora, sin embargo, en conexión con periodos de división muy pequeños en el lado de la incorporación de medición por reflexión. Del motivo de ello es que los etalones parciales no se pueden hacer discrecionalmente pequeños, manteniendo al mismo tiempo su permeabilidad dependiente de la longitud de onda.

50 Por lo demás, se conoce un dispositivo óptico de medición de la posición de este tipo a partir del documento EP 1 887 324 A1. La cabeza de exploración de fibra óptica pasiva de este dispositivo de medición de la posición es especialmente adecuada para la exploración interferencial de una incorporación de medición por reflexión con un periodo de exploración muy pequeño. Tres señales de exploración desplazadas de fases son alimentadas en este caso por medio de máscaras de fases adecuadas a tres canales de transmisión separados de una fibra óptica.

55 La presente invención tiene el problema de crear un dispositivo óptico de medición de la posición con una cabeza de exploración de fibra óptica pasiva, a través de la cual es posible una medición de la posición de alta resolución.

Este cometido se soluciona por medio de un dispositivo óptico de medición de la posición con las características de la reivindicación 1.

60 Las formas de realización ventajosas de los dispositivos ópticos de medición de la posición de acuerdo con la invención se deducen a partir de las medidas en las reivindicaciones dependientes.

El dispositivo óptico de medición de la posición de acuerdo con la invención sirve para la generación de varias señales de exploración desplazadas de fases con respecto a la posición relativa de una cabeza de exploración de

fibra óptica y una incorporación de medición por reflexión móvil con relación a ella en al menos una dirección de medición. En la cabeza de exploración de fibra óptica está dispuesta una placa de exploración delante del extremo del lado de la incorporación de medición de una fibra de guía de luz; se realiza una codificación dependiente de la longitud de onda de las señales de exploración desplazadas de fases. La placa de exploración está configurada de tal forma que

- un haz de rayos que inciden sobre la placa de exploración experimenta una disociación en al menos dos haces parciales de rayos, que impulsan la incorporación de medición por reflexión y a continuación interfieren para la generación de las señales de exploración desplazadas de fases reuniéndolas entre sí, y
- los haces parciales de rayos recorren diferentes longitudes de trayectos ópticos entre la disociación y la reunificación.

En una forma de realización ventajosa, la placa de exploración está configurada, además, de tal forma que al menos dos haces de rayos parciales entre la placa de exploración y la incorporación de medición por reflexión se propagan simétricamente con respecto a una perpendicular a la placa de exploración e impulsan la incorporación de medición por reflexión bajo su ángulo-Littrow. Con preferencia, la incorporación de medición por reflexión utilizada presenta las máximas eficiencias de difracción en el orden de difracción +/-1.

Puede estar previsto que la fibra de guía de luz esté configurada como fibra multimodo, a través de la cual se pueden transmitir tanto el haz de rayos utilizado para la iluminación hacia la cabeza de exploración de fibra óptica como también el haz de rayos parciales reunificado fuera de la cabeza de exploración de fibra óptica.

Además, es posible que en el extremo alejado de la incorporación de medición de la fibra de guía de luz estén dispuestas

- una fuente de luz de banda ancha espectral o
- varias fuentes de luz, que emiten radiación de diferentes longitudes de ondas, cuya radiación se puede acoplar como haz de rayos de iluminación a través de medios de acoplamiento en la fibra de guía de luz.

En este caso, en el extremo alejado de la incorporación de medición de la fibra de guía de luz puede estar dispuesta una instalación de detección que comprende

- medios de disociación para la separación dependiente de la longitud de onda de los haces de rayos parciales reunificados así como
- varios elementos detectores optoelectrónicos, a los que se pueden alimentar los haces de rayos parciales separados y que convierten los haces de rayos parciales detectados en señales eléctricas de exploración desplazadas de fases.

De manera más ventajosa, la placa de exploración está configurada como sustrato transparente en forma de placa, en el que

- sobre el lado de la placa de exploración, que está dirigido hacia la fibra de guía de luz, está dispuesta una primera rejilla de transmisión, que disocia el haz de rayos que incide sobre ella en al menos dos haces de rayos parciales difractados, que se propagan en delante de forma asimétrica con respecto a una perpendicular a la placa de exploración y
- sobre el lado de la placa de exploración, que está dirigido hacia la incorporación de medición por reflexión está dispuesta una segunda rejilla de transmisión, que desvía los haces de rayos parciales que inciden desde la primera rejilla de transmisión sobre ella, de tal manera que éstos se propagan simétricos entre sí con relación a una perpendicular a la placa de exploración entre la placa de exploración y la incorporación de medición por reflexión e impulsan la incorporación de medición por reflexión bajo su ángulo-Littrow.

Con ventaja, la primera rejilla de transmisión y la segunda rejilla de transmisión están configuradas, respectivamente como rejillas de fases.

Puede estar previsto que la primera rejilla de transmisión y la segunda rejilla de transmisión presenten una curva periódica de fases a lo largo de la dirección de medición.

Por lo demás, es posible configurar la primera rejilla de transmisión de tal manera que a través de ella resulte una acción colimadora sobre el haz de rayos que incide sobre ella.

Con preferencia, para el ajuste de una exploración múltiple de las porciones de las señales que contribuyen a las señales de exploración desplazadas de fases se selecciona de forma adecuada el espesor de la placa de exploración y/o los parámetros de las rejillas de transmisión dispuestas sobre ella.

En otra forma de realización puede estar previsto que un haz de rayos polarizado lineal incida sobre la placa de

exploración, en el que

- sobre el lado de la placa de exploración, que está dirigido hacia la fibra de guía de luz, está dispuesta una primera rejilla de transmisión, que disocia el haz de rayos que incide sobre ella en al menos dos haces de rayos parciales difractados
- sobre el lado de la placa de exploración, que está dirigido hacia la incorporación de medición por reflexión, está dispuesto un elemento birrefringente, en el que los haces de rayos parciales disociados se propagan en adelante de manera asimétrica con respecto a una perpendicular de la placa de exploración y después de abandonar la placa de exploración se propagan de forma simétrica entre sí con respecto a la perpendicular de la placa de exploración entre la placa de exploración y la incorporación de medición por reflexión e impulsan la incorporación de medición por reflexión bajo su ángulo-Littrow.

Con ventaja, para el ajuste de una exploración múltiple de las porciones de las señales que contribuyen a las señales de exploración desplazadas de fases se selecciona de manera adecuada el espesor del elemento birrefringente.

Además, puede estar previsto que los medios de disociación comprendan varias rejillas de difracción dispuestas unas detrás de las otras en la trayectoria de los rayos.

Además, es posible que en el extremo de la fibra de guía de luz, que está alejado de la incorporación de medición, esté dispuesta una capa anti-reflexiva y/o la fibra de guía de luz presente allí un afilado inclinado.

A través del dispositivo óptico de medición de la posición de acuerdo con la invención se puede realizar ahora también una determinación de la posición de alta resolución con una cabeza de exploración de fibra óptica pasiva, es decir, que se pueden explorar incorporaciones de medición por reflexión con periodos de división muy pequeños con la ayuda de la cabeza de exploración de fibra óptica.

Como otra ventaja se puede mencionar que en virtud de las vías que se extienden simétricas de los haces de rayos parciales disociados entre la cabeza de exploración de fibra óptica y la incorporación de medición por reflexión resulta una insensibilidad alta del sistema frente a oscilaciones de la distancia de exploración; en particular, la posición indicada es independiente de la distancia de exploración.

La cabeza de exploración de fibra óptica pasiva del dispositivo óptico de medición de la posición de acuerdo con la invención presenta, además, una estructura especialmente sencilla y está construida muy compacta.

Otros detalles y ventajas de la presente invención se explicarán con la ayuda de la siguiente descripción de ejemplos de realización del dispositivo de medición de la posición de acuerdo con la invención en conexión con las figuras. En este caso:

La figura 1 muestra una representación esquemática de un primer ejemplo de realización del dispositivo de medición de la posición de acuerdo con la invención.

Las figuras 2a, 2b muestran, respectivamente, en forma esquemática la curva de las fases de la primera y de la segunda rejillas de transmisión sobre el lado superior y el lado inferior de la placa de exploración del primer ejemplo de realización.

La figura 3 muestra una representación parcial esquemática de un segundo ejemplo de realización del dispositivo de medición de la posición de acuerdo con la invención.

La figura 4 muestra en forma esquemática la curva de fases de la primera rejilla de transmisión sobre el lado superior de la placa de exploración del segundo ejemplo de realización.

La figura 5 muestra una representación parcial esquemática de un tercer ejemplo de realización del dispositivo de medición de la posición de acuerdo con la invención.

La figura 6 muestra en forma esquemática la curva de fases de la primera rejilla de transmisión sobre el lado superior de la placa de exploración del tercer ejemplo de realización.

La figura 7 muestra una representación parcial esquemática de un cuarto ejemplo de realización del dispositivo de medición de la posición de acuerdo con la invención.

La figura 8 muestra en forma esquemática la curva de fases de la primera rejilla de transmisión sobre el lado superior de la placa de exploración del cuarto ejemplo de realización.

Con la ayuda de las figura 1, 2a y 2b se explica a continuación un primer ejemplo de realización del dispositivo de medición de la posición de acuerdo con la invención.

El dispositivo óptico de medición de la posición del ejemplo de realización representado comprende una incorporación de medición por reflexión 10, que está dispuesto al menos en la dirección de medición x indicada móvil con relación a una cabeza de exploración de fibra óptica 20. En este caso, o bien la incorporación de medición por reflexión 10 puede estar estacionaria y la cabeza de exploración de fibra óptica 20 puede estar dispuesta móvil o la incorporación de medición por reflexión 10 está dispuesta móvil y la cabeza de exploración de fibra óptica 20 puede estar dispuesta estacionaria. La incorporación de medición por reflexión 10 y la cabeza de exploración de fibra óptica 20 están conectadas con dos objetos - no representados -, que son móviles relativamente entre sí en la dirección de medición x y se puede determinar su posición relativa entre sí. En este caso, se puede tratar tal vez de dos componentes de una máquina móviles entre sí, cuya posición relativa debe detectarse. A través de una electrónica siguiente dispuesta a continuación, tampoco representada, a la que se pueden alimentar las señales de exploración dependientes de la posición generadas por el dispositivo de medición de la posición, se puede realizar entonces una regulación correspondiente de la situación y de la posición con relación a estos componentes.

La incorporación de medición por reflexión 10 del ejemplo de realización representado está configurado como rejilla de fases flameada de reflexión lineal, que se explora con luz reflejada desde la cabeza de exploración de fibra óptica 20. La incorporación de medición por reflexión 10 está constituida por zonas de división dispuestas de forma periódica en la dirección de medición x con acciones diferentes de desplazamientos de fases. Las zonas de división poseen una forma rectangular, de manera que el eje longitudinal rectangular se extiende a lo largo de la dirección y indicada, que está orientada en el plano de la incorporación de medición perpendicularmente a la dirección de medición x.

Evidentemente, de manera alternativa a la forma de realización representada, también se puede emplear una incorporación de medición por reflexión rotatoria en forma de una división radial o de tambor en el dispositivo de medición de la posición de acuerdo con la invención. La iluminación de la incorporación de medición por reflexión 10 se realiza a través de la alimentación de un haz de rayos de iluminación sobre la fibra de guía de luz 30. A tal fin en el extremo de la fibra de guía de luz 30 que está alejado de la incorporación de medición está dispuesta una fuente de luz espectral 40 de banda ancha, cuya radiación se acopla a través de medios de acoplamiento en forma de una lente colimadora 41, de un divisor del rayos 42 y de una lente de acoplamiento 43 en la fibra de guía de luz 30. Como fuente de luz 40 adecuada con un espectro de emisión de banda ancha suficiente se contempla, por ejemplo, un LED de infrarrojos, que se emite con una longitud de onda central de 850 nm y posee una anchura espectral de 60 nm.

La superficie activa de la fuente de luz 40 se reproduce a través de la disposición mostrada con relación al foco de la lente de acoplamiento 43 y de la lente colimadora 41 en la superficie de acoplamiento de la fibra de guía de luz 30. La relación de reproducción se puede optimizar en este caso sobre el acoplamiento de la potencia luminosa máxima posible en la fibra de guía de luz 30.

En el extremo de la fibra de guía de luz 30 que está alejado de la incorporación de medición está prevista, además de la fuente de luz 40, por lo tanto, todavía una instalación de detección 50, a través de la cual se realiza la generación de varias señales de exploración desplazadas de fases a partir de los haces de rayos parciales superpuestos alimentados. A la instalación de detección 50 se alimentan los haces de rayos parciales reflejados por la incorporación de medición por reflexión 10 y superpuestos a través de la fibra de guía de luz. Con respecto a la estructura detallada de la instalación de detección 50 se remite a la otra descripción. Desde la instalación de detección 50 se alimentan las señales de exploración en función del desplazamiento a una electrónica siguiente, que las utiliza para la finalidad de la regulación de la situación o bien del control de la posición de los objetos móviles entre sí.

Los diferentes componentes activos del dispositivo de medición de la posición de acuerdo con la invención, como especialmente la fuente de luz 40 y la instalación de detección 50, están dispuestos, por lo tanto, alejados en el espacio desde el lugar de medición propiamente dicho y están acoplados ópticamente con éste solamente a través de la fibra de guía de luz 30. De esta manera se garantiza, por una parte, la reducción al mínimo de influencias de interferencia sobre estos componentes; por otra parte, se puede configurar muy compacta la cabeza de exploración de fibra óptica pasiva 20 en el lugar de medición.

La fibra de guía de luz 30 está configurada con preferencia como fibra multimodo, sobre la que se pueden transmitir tanto los haces de rayos de iluminación utilizados para la iluminación hacia la incorporación de medición de reflexión 10 como también los haces de rayos parciales superpuestos utilizados para la detección fuera de la incorporación de medición de reflexión 10, en la dirección de la unidad de detección 50.

Para la presente invención es decisiva la configuración de la cabeza de exploración de fibra óptica 20, que se explica en detalle a continuación para el primer ejemplo de realización. Como se puede deducir a partir de la figura

1, la cabeza de exploración de fibra óptica 20 comprende en el presente ejemplo de realización una placa de exploración 21, que está dispuesta delante del extremo de la fibra de guía de luz 30 en el lado de la incorporación de medición, así como un elemento óptico refractivo en forma de una lente 22. La lente 22 está dispuesta en este caso entre la fibra de guía de luz 40 y la placa de exploración 21 en la cabeza de exploración de fibra óptica 20. Sobre la lente 22 se colima el haz de rayos, que incide desde la superficie de salida de la guía de luz, en el camino en la dirección de la incorporación de medición de reflexión 10 a lo largo del eje óptico OA o bien los haces de rayos parciales, que inciden desde la dirección de incorporación de medición de reflexión 10 sobre ella son acoplados de nuevo en la fibra de guía de luz 30 o bien son enfocados sobre la superficie de entrada de la fibra de guía de luz.

Como placa de exploración 21 sirve un sustrato de soporte transparente de vidrio, sobre cuyo lado (lado superior) dirigido hacia la fibra de guía de luz 30 está dispuesta una primera rejilla de transmisión 23 y sobre el lado (lado inferior) dirigido hacia la incorporación de medición de reflexión 10 está dispuesta una segunda rejilla de transmisión 24. Sobre la primera rejilla de transmisión 23 se disocia el haz de rayos incidente sobre ella, colimado a través de la lente 22, en al menos dos haces de rayos parciales difractados, que se propagan en adelante después de la disociación en la placa de exploración 21 asimétricamente con relación a una perpendicular a la placa de exploración; el eje óptico OA representado en la figura 1 representa en el presente ejemplo de realización tal vez una perpendicular a la placa de exploración de este tipo. La primera rejilla de transmisión 23 está configurada como rejilla de fases flameada, que presenta una eficiencia de difracción máxima en el orden de difracción +1 y -2. Estos dos órdenes de difracción representan de esta manera los haces de rayos parciales que se propagan en adelante de forma asimétrica en la trayectoria de los rayos de exploración, que se utilizan para la generación de las señales de exploración en función del desplazamiento y entre la disociación y la reunificación recorren diferentes longitudes de ondas ópticas.

Después de la circulación a través de la placa de exploración 21, los haces de rayos parciales disociados llegan sobre la segunda rejilla de transmisión 24, que está dispuesta en el lado de la placa de exploración 21, que está dirigida hacia la incorporación de medición de reflexión 10. La segunda rejilla de transmisión 24 realiza una desviación de los haces de rayos parciales que inciden desde la primera rejilla de transmisión 23, de tal manera que después de la circulación a través de la segunda rejilla de transmisión 24, los haces de rayos parciales se propagan entonces en adelante simétricamente con respecto a una perpendicular a la placa de exploración entre la placa de exploración 21 y la incorporación de medición de reflexión 10. Además, la desviación de los haces de rayos parciales sobre la segunda rejilla de transmisión 24 se realiza de tal manera que éstos inciden en el llamado ángulo-Littrow sobre la incorporación de medición 10. Una incidencia de los haces de rayos parciales sobre la incorporación de medición de reflexión 10 bajo el ángulo-Littrow tiene como consecuencia que éstos son reflejados bajo este ángulo desde la incorporación de medición de reflexión 10 de retorno a la placa de exploración 21, bajo el que inciden sobre la placa de exploración 21. La segunda rejilla de transmisión 24 está configurada de la misma manera como rejilla de fases flameada; esta rejilla de fases está optimizada con respecto a una diferente de difracción máxima en el orden de difracción de +1 y -1.

Después de la retro-reflexión en la incorporación de medición de reflexión 10, los haces de rayos parciales circulan de nuevo a través de la segunda rejilla de transmisión 24 en el lado inferior de la placa de exploración 21 y se propagan en la placa de exploración 21 de nuevo asimétricamente con respecto a una perpendicular a la placa de exploración hasta la reunificación en la primera rejilla de transmisión 23. En la primera rejilla de transmisión 23 en el lado superior de la placa de exploración 21, los haces de rayos parciales disociados en esta rejilla de transmisión en el orden de difracción de +1 y -2 llegan a la superposición de interferencia. La pareja superpuesta de haces de rayos parciales se propaga entonces finalmente a lo largo del eje óptico OA en la dirección de la lente 22 y se acopla a través de ésta en la fibra de guía de luz 30.

Como ya en el documento DE 10 2007 024 349 A1, en la presente invención está prevista una codificación, en función de la longitud de onda, de las señales de exploración desplazadas de fases. Esto significa que las señales de exploración desplazadas de fases son generadas a partir de componentes del espectro de iluminación con diferentes longitudes de ondas. A tal fin es decisiva en este caso la trayectoria asimétrica de los rayos de los haces de rayos parciales generadores de las señales, entre la disociación y la reunificación en la primera rejilla de transmisión y las longitudes de los recorridos ópticos diferentes que resultan de esta manera, que recorren los haces de rayos parciales entre la disociación y la reunificación. La trayectoria asimétrica de los rayos en esta zona de la trayectoria de los rayos provoca de esta manera un desplazamiento de las fases en función de las longitudes de ondas entre los haces de rayos parciales disociados.

Para codificar las señales de exploración desplazadas de fases en función de la longitud de onda, está previsto, además, que la primera rejilla de transmisión 23 posea una curva periódica de las fases  $\Delta p(x)$  a lo largo de la dirección de medición x. Esta periodicidad de la primera rejilla de transmisión 23 se muestra en la figura 2a tanto desde la vista de la sección transversal de la primera rejilla de transmisión 23 como también desde la vista en planta superior esquemática. Dentro de un periodo de división TPG1 de la primera rejilla de transmisión 23, que está configurada cuantificada en cuatro fases, como se muestra, están previstas en el ejemplo de realización represento cuatro zonas de división desplazadas de fases de forma diferente, que están asociadas a cuatro señales de

exploración desplazadas de fases con las posiciones de las fases 0°, 90°, 180°, 270°; en la representación de la figura 2a, las diferentes zonas de división desplazadas de fases de forma diferente están provistas con diferentes rayados. Evidentemente, la primera rejilla de transmisión se podría configurar también cuantificada en más de cuatro fases, por ejemplo en ocho fases

5 La curva de las fases  $\Delta p(x)$  de la primera rejilla de transmisión 23 a lo largo de la dirección de medición  $x$  se puede describir en este caso para el primer ejemplo de realización de la siguiente manera:

$$\Delta p(x) = \frac{1}{2\pi} \text{Arctan2} \left( \sin \left( \frac{2\pi ix}{TP_{G1}} \right) + \sin \left( \frac{2\pi imx}{TP_{G1}} \right), \cos \left( \frac{2\pi ix}{TP_{G1}} \right) + \cos \left( \frac{2\pi imx}{TP_{G1}} \right) \right)$$

10 (Ecuación 1)

$m := 2, 0, -2, -3, \dots$  (además del orden de difracción +1 de la primera rejilla de difracción, otro orden de difracción asimétrico utilizado; arriba:  $m = -2$ ).  
 $TP_{G1} :=$  periodo de división de la primera rejilla de transmisión.

15 También la segunda rejilla de transmisión 24 en el lado inferior de las placas de exploración está configurada cuantificada en cuatro fases, como se puede deducir esto a partir de la vista de la sección transversal en la figura 1 y la vista en planta superior en la figura 2b. Dentro de un periodo de división  $TP_{G2}$  de la segunda rejilla de transmisión 24 están previstas de la misma manera cuatro señales de exploración desplazadas de fases con las posiciones de las fases 0°, 90°, 180°, 270°.

20 Para el dimensionado concreto de un ejemplo de realización del dispositivo óptico de medición de acuerdo con la invención es útil una consideración de los vectores de ondas o bien vectores- $k$  de los haces de rayos implicados, haces de rayos parciales o rejillas, como se muestra a continuación.

25 Así, por ejemplo, supongamos que el vector- $k$  del haz de rayos parciales resultante es del orden de difracción +1 en la primera rejilla de transmisión 23 se designa con  $k_1$ ; por consiguiente, el vector- $k$  del haz de rayos parciales del orden de difracción -2 en la misma rejilla de difracción 23 da como resultado  $-2k_1$ . En la segunda rejilla de transmisión 4 con el vector- $k$   $k_2$  resulta para ambos haces de rayos parciales, en virtud de la simetría necesaria allí de la otra curva de los rayos la adición de un vector- $k$   $k_2 = k_1/2$ . De esta manera, para los dos haces de rayos parciales, que se propagan en adelante en la dirección de la incorporación de medición por reflexión 10, por lo tanto, los vectores- $k$   $k_{\text{Rayo}}$  según  $k_{\text{Rayo}} = 3 k_{1/2}$  y  $k_{\text{Rayo}} = -3 k_{1/2}$ . Los vectores- $k$   $k_{\text{Rayo}}$  son, de acuerdo con ello, idénticos en cuanto al importe en esta sección de la trayectoria de los rayos. Para cumplir la condición-Littrow, el importe del vector- $k$   $k_M$  de la incorporación de medición por reflexión 10 debe seleccionarse doble que los importes de los vectores- $k$   $k_{\text{Rayo}}$  respectivos, es decir, que debe aplicarse  $k_M = 3k_1$ .

30 De manera alternativa a la configuración explicada anteriormente de la primera rejilla de transmisión 23, puede estar previsto optimizar esta rejilla para otros órdenes de difracción que se propagan en adelante simétricamente en la placa de exploración 21, por lo tanto no para -2 y +1 órdenes de difracción, sino para otras combinaciones asimétricas de órdenes de difracción, por ejemplo 0 y 1 órdenes de difracción o +1 y -3 órdenes de difracción, etc. Si se utiliza tal vez además del orden de difracción +1, en lugar del orden de difracción -2, otro orden de difracción designado a continuación como  $m$  orden de difracción, entonces se aplica para el vector- $k$   $k_2$  de la segunda rejilla de transmisión 23 en el lado inferior de la placa de exploración 21:

$$45 \quad \mathbf{k}_2 = (-mk_1 - k_1)/2 \quad (\text{Ecuación 2})$$

$k_2 :=$  vector- $k$  de la segunda rejilla de transmisión  
 $k_1 :=$  vector- $k$  de la primera rejilla de transmisión  
 $m := 2, 0, -2, -3, \dots$  (además del orden de difracción +1 de la primera rejilla de difracción, otro orden de difracción asimétrico utilizado; arriba:  $m = -2$ ).

De esta manera, resulta para los vectores- $k$   $k_{\text{Rayo}}$  de los dos haces de rayos parciales, que inciden sobre la incorporación de medición por reflexión 10:

$$55 \quad \mathbf{k}_{\text{Rayo}} = \pm (-mk_1 + k_1)/2 \quad (\text{Ecuación 3})$$

$k_{\text{Rayo}} :=$  vectores- $k$  de los dos haces de rayos parciales, que inciden sobre la incorporación de medición por reflexión  
 $k_2 :=$  vector- $k$  de la segunda rejilla de transmisión  
 $k_1 :=$  vector- $k$  de la primera rejilla de transmisión

$m := 2, 0, -2, -3, \dots$  (además del orden de difracción +1 de la primera rejilla de difracción, otro orden de difracción asimétrico utilizado; arriba:  $m = -2$ ).

El importe del vector-k  $k_M$  de la incorporación de medición por reflexión 10 resulta, por lo tanto, según

$$\mathbf{k}_M = 2 (-m\mathbf{k}_1 + \mathbf{k}_1) \quad (\text{Ecuación 4})$$

$k_M$  := vector-k de la incorporación de medición por reflexión

$k_1$  := vector-k de la primera rejilla de transmisión

$m := 2, 0, -2, -3, \dots$  (además del orden de difracción +1 de la primera rejilla de difracción, otro orden de difracción asimétrico utilizado; arriba:  $m = -2$ ).

Resuelto según  $k_1$ , a partir de la Ecuación 4 resulta

$$k_1 = -\frac{k_M}{m-1} \quad (\text{Ecuación 4a})$$

De manera correspondiente se aplica para los periodos de división  $TP_{G1}$  y  $TP_{G2}$  de la primera y de la segunda rejilla de transmisión

$$TP_{G1} = -(m-1) * TP_M \quad (\text{Ecuación 4b})$$

y

$$T_{G2} = -\frac{2}{m+1} * T_{G1} \quad (\text{Ecuación 4c})$$

$k_M$  := vector-k de la incorporación de medición por reflexión

$k_1$  := vector-k de la primera rejilla de transmisión

$m := 2, 0, -2, -3, \dots$  (además del orden de difracción +1 de la primera rejilla de difracción, otro orden de difracción asimétrico utilizado; arriba:  $m = -2$ ).

Si se selecciona el periodo de división  $TP_M$  de la incorporación de medición por reflexión 10 aproximadamente  $TP_M = 4 \mu\text{m}$ , entonces con  $m = -2$  según la ecuación (4b) se puede seleccionar el periodo de división  $TP_{G1}$  de la primera rejilla de transmisión 23 según  $TP_{G1} = 12 \mu\text{m}$  y la ecuación (4c) correspondiente el periodo de división  $TP_{G2}$  de la segunda rejilla de transmisión 24 según  $TP_{G2} = 24 \mu\text{m}$ .

Como ya se ha mencionado anteriormente, además de la exploración ahora posible de incorporaciones de medición por reflexión con periodos de división  $TP_M$  muy pequeños, como otra ventaja del dispositivo de acuerdo con la invención resulta que la generación de las señales de exploración es en gran medida independiente de oscilaciones de la distancia de exploración entre la incorporación de medición por reflexión 10 y la cabeza de exploración 20 de fibra óptica. Esto es atribuible a que entre la segunda rejilla de transmisión 24 y la incorporación de medición por reflexión 10 los haces de rayos parciales se propagan simétricamente con respecto a una perpendicular de las placas de exploración. En virtud de la iluminación de la incorporación de medición por reflexión 10 a través de dos haces de rayos parciales con disposiciones de difracción efectivas simétricas, la diferencia de propagación entre los haces de rayos parciales de interferencia es independiente de la distancia de exploración.

En el dispositivo de medición óptica de la posición, las señales de exploración desplazadas de fases se generan a partir de diferentes componentes espectrales del espectro de iluminación. Para posibilitar esto para el número deseado de señales de exploración desplazadas de fases, son necesarias determinadas consideraciones sobre el dimensionado del sistema. De esta manera, a tal fin se necesita en primer lugar la diferencia de fases  $\Delta p(\lambda_1, \lambda_2)$  de dos señales de diferentes longitudes de onda  $\lambda_1, \lambda_2$  del espectro de iluminación, expresada en periodos de señales.

Esta relación resulta de la siguiente manera en el primer ejemplo de realización:

$$\Delta p(\lambda_1, \lambda_2) = 2 d_{Ap} \cdot$$

$$\left\{ \frac{n_{ref1}}{\lambda_1} \left[ \sqrt{1 - \left( \frac{\lambda_1}{TP_{G1} n_{ref1}} \right)^2} - \sqrt{1 - \left( \frac{m\lambda_1}{TP_{G1} n_{ref1}} \right)^2} \right] - \frac{n_{ref2}}{\lambda_2} \left[ \sqrt{1 - \left( \frac{\lambda_2}{d_{Ap} n_{ref1}} \right)^2} - \sqrt{1 - \left( \frac{m\lambda_2}{d_{Ap} n_{ref1}} \right)^2} \right] \right\} \quad \text{(Ecuación 5)}$$

$\lambda_1, \lambda_2$ : = diferentes longitudes de onda a partir del espectro de iluminación

$m := 2, 0, -2, -3, \dots$  (además del orden de difracción +1 de la primera rejilla de difracción, otro orden de difracción asimétrico utilizado; arriba:  $m = -2$ ),

$n_{ref1}, n_{ref2}$  := índices de difracción dependientes de la dispersión de la placa de exploración en las longitudes de onda  $\lambda_1, \lambda_2$ ,

$d_{Ap}$  = espesor de la placa de exploración

A continuación se indica un ejemplo de dimensionado concreto para la primera forma de realización del dispositivo óptico de medición de la posición de acuerdo con la invención.

En este caso se utiliza como fuente de luz un LED infrarrojo con una longitud de onda central de 850 nm y una anchura espectral de 60 nm. Si deben obtenerse en el lado de salida cuatro señales de exploración desplazadas de fases, entonces se ofrece la exploración doble de cada una de las cuatro porciones de las señales de toda la zona de longitudes de onda de la fuente de luz. Por lo tanto, deben obtenerse ocho porciones de señales con un desplazamiento de fases, respectivamente, de 90° desde la zona espectral de fuentes de luz disponibles de 60 nm. Con una resolución espectral correspondiente alta en el lado del receptor, es concebible también una resolución de número todavía más elevado de las porciones de las señales. Esto conduce a una estabilidad mejorada en el caso de una modificación del espectro de fuentes de luz, por ejemplo a través de influencias de la temperatura. Para la generación de las ocho porciones de las señales en el caso de la exploración doble prevista, debe dimensionarse el espesor  $d_{Ap}$  de la placa de exploración 21 y/o los parámetros de la rejilla de transmisión dispuesta encima de tal manera que en el caso de un desplazamiento de las longitudes de ondas de 30 nm, resulte un desplazamiento de fases de 1 (360°). En el ejemplo de realización concreto, se utiliza cuando como material para la placa de exploración 21 ( $n_{ref} \approx 1.452$ ). Además, se suponen los periodos de división indicados anteriormente  $TP_M = 4 \mu\text{m}$ ,  $TP_{G1} = 12 \mu\text{m}$ ,  $TP_{G2} = 24 \mu\text{m}$  para la incorporación de medición de reflexión 10 así como la primera y la segunda rejillas de transmisión 23, 24. La resolución de la Ecuación (5) de acuerdo con el espesor  $d_{Ap}$  de la placa de exploración 21 da como resultado un espesor  $d_{Ap}$  necesario de la placa de exploración según  $d_{Ap} = 2,28 \text{ mm}$ . El espesor  $d_{Ap}$  de la placa de exploración 21 y/o los parámetros de la rejilla de transmisión dispuesta encima se dimensiona, por lo tanto, en el dispositivo óptico de medición de la posición de acuerdo con la invención de tal forma que según la Ecuación (5) resulte el desplazamiento de fases correspondiente según la modificación de las longitudes de onda.

En la figura 1 se muestra, además de los componentes explicados hasta ahora del dispositivo óptico de medición de la posición de acuerdo con la invención, todavía la instalación de detección 50, que sirve para la detección de las señales de exploración desplazadas de fases codificadas en las longitudes de ondas.

Con esta finalidad, la instalación de detección 50, que está dispuesta en el extremo de la fibra de guía de luz 30 que está alejado de la incorporación de medición, un medio de disociación 51 indicado de forma esquemática para la separación en función de las longitudes de ondas de los haces de rayos parciales superpuestos, que se transmiten a través de las fibras de guía de luz 30 en la dirección de la instalación de detección 50. El medio de disociación 51 está configurado en el presente ejemplo como elemento dispersivo en forma de una rejilla de difracción. A través de una lente 52 dispuesta a continuación del medio de disociación 51 se enfoca la luz sobre un fotodetector 53 estructurado, que está constituido aquí por ocho elementos detectores individuales. La luz reproducida de una longitud de onda determinada forma en el plano de enfoque en este caso un círculo, cuyo diámetro se da por el producto del diámetro del núcleo de las fibras de guía de luz 30 y la relación del foco de la lente 52 y de la lente de

acoplamiento 43. La dispersión del medio de disociación 51 debe ser, por lo tanto, suficientemente grande para que las imágenes circulares del extremo de la fibra estén separadas en el espacio y de esta manera se puedan separar con resolución. En el presente ejemplo de realización, se ha partido de un desplazamiento de fases de 30 nm / 360°.

5 Cuando se generan, por ejemplo, cuatro señales de exploración desplazadas de fases 90° en cada caso, entonces es necesaria de manera correspondiente una resolución espectral de 7,5 nm. Cada señal de exploración se puede explorar en este caso varias veces con un desplazamiento de fases de 360°, respectivamente. De esta manera, se puede utilizar el espectro completo de fuentes de luz, mientras que tal vez un desplazamiento de las longitudes de ondas inducido por la temperatura tiene sólo repercusiones reducidas sobre las amplitudes de las señales de exploración generadas.

10 No se representan en la figura 1 otros componentes para el procesamiento de señales, que se pueden disponer, dado el caso, en la instalación de detección 50. A ellos pertenecen tal vez componentes amplificadores, convertidores-A/D, etc. a través de los cuales se realiza otro procesamiento y preparación electrónicos de las señales de exploración, antes de que éstas sean transmitidas para el procesamiento siguiente a una electrónica siguiente no mostrada.

15 Para conseguir una resolución suficiente con un tamaño reducido de la unidad de evaluación, es posible también la utilización de varias rejillas de difracción dispuestas unas detrás de las otras en la trayectoria de los rayos como medios de disociación 51. Una eficiencia de difracción alta de las rejillas de difracción se puede conseguir cuando éstas son iluminadas aproximadamente bajo el ángulo-Littrow. Bajo esta condición, se puede dimensionar el foco f de la lente de acoplamiento 43 con preferencia de la siguiente manera.

$$f = \frac{D_f}{N \cdot \Delta\lambda} \sqrt{d^2 - \left(\frac{\lambda}{2}\right)^2} \quad (\text{Ecuación 6})$$

25  $\lambda$  := longitud media de onda  
 d := constante de la rejilla de difracción  
 d := diámetro del extremo de la fibra+  
 N := número de las rejillas de difracción utilizadas  
 30  $\Delta\lambda$  := resolución necesaria de la longitud de onda.

Por lo demás, es ventajosa una reducción de la porción de luz continua, que llega a través de reflexión de la luz acoplada en el extremo de la fibras al canal de detección. Esto se puede conseguir a través de la aplicación de una capa anti-reflexión sobre el extremo de las fibra. De manera alternativa a ello o, en cambio, de manera adicional a través del afilado inclinado del extremo de la fibra se puede impedir que la luz reflejada durante el acoplamiento llegue hasta el canal de detección.

De manera alternativa o complementaria, en el dispositivo de acuerdo con la invención se puede medir al mismo tiempo, además, el espectro no modulado. A tal fin se puede desviar la luz reflejada en el extremo inclinado de la fibra, por ejemplo a través de un prisma o un elemento difractivo entre el extremo de la fibra del lado de desacoplamiento y la lente de acoplamiento de tal manera que la luz reflejada es emitida virtualmente desde un punto desplazado con respecto al extremo de la fibra. De esta manera, se obtiene en el plano de la pletina de elementos detectores, desplazada en el espacio, además del espectro modulado, todavía el espectro no modulado, que se puede detectar a través de elementos detectores adicionales. Las informaciones obtenidas de esta manera se pueden utilizar para corregir errores de señales, que resultan a partir de una modificación del espectro de iluminación.

Un segundo ejemplo de realización modificado en una medida insignificante frente al primer ejemplo de realización del dispositivo óptico de medición de la posición de acuerdo con la invención se representa parcialmente en la figura 3; en este caso se muestran sólo los componentes en el lugar de medición, es decir, la cabeza de exploración de fibra óptica 120 y la incorporación de medición de reflexión 110. Se ha prescindido de la representación de los diferentes componentes en el extremo de la fibra de guía de luz 130 que está alejado de la incorporación de medición; éstos están configurados idénticos al primer ejemplo de realización. A continuación se explican solamente las diferencias decisivas con respecto al primer ejemplo de realización.

De esta manera, en el segundo ejemplo de realización, la cabeza de exploración de fibra óptica 120 no contiene ninguna lente separada ya entre la fibra de guía de luz 130 y la primera rejilla de transmisión 123 sobre el lado superior de la placa de exploración 121. La funcionalidad óptica correspondiente de esta lente se integra más bien adicionalmente en la primera rejilla de transmisión 123. Esto significa que la primera rejilla de transmisión 123 ejerce, además de las funciones ópticas explicadas anteriormente, también una acción colimadora sobre el haz de rayos que incide desde la fibra de guía de luz 120. Los haces de rayos parciales que se propagan en dirección inversa son

acoplados, además, en la fibra de guía de luz 130 y a tal fin se enfocan en la superficie de entrada correspondiente de la fibra de guía de luz. Resulta de nuevo, frente al primer ejemplo de realización, una cabezas de exploración de fibra óptica 120 más compacta; además, se suprime el gasto de ajuste con respecto a una lente separada en la fabricación del dispositivo de acuerdo con la invención.

5 Una vista en planta superior sobre la curva de las fases que resulta entonces de la primera rejilla de transmisión 123 con la funcionalidad óptica adicional se muestra en la figura 4.

10 Por lo demás, con respecto a la generación de señales de exploración desplazadas de fases y otros detalles se remite a la descripción del primer ejemplo de realización.

15 Un tercer ejemplo de realización del dispositivo óptico de medición de la posición de acuerdo con la invención se representa en las figuras 5 y 6. A continuación, en la descripción del mismo se describen principalmente las diferencias decisivas con respecto a los primeros ejemplos de realización.

20 En la figura 5 se muestra de nuevo sólo la zona de medición, la figura 6 ilustra de forma esquemática la curva de las fases de la primera rejilla de transmisión. El acoplamiento de luz en la fibra de guía de luz 230 así como la detección de los haces de rayos parciales superpuestos se realizan de manera similar a los ejemplos de realización explicados hasta ahora.

25 El haz de rayos que sale desde la fibra de guía de luz 230 en la cabeza de exploración de fibra óptica 220 es colimado como en el primer ejemplo de realización sobre una lente 222 en el camino en la dirección de la incorporación de medición de reflexión 210 a lo largo del eje óptico OA. El haz de rayos colimado atraviesa entonces un polarizador 225, a través del cual el haz de rayos recibe una polarización lineal, de manera que la dirección de la polarización está orientada en la dirección de medición x. A continuación, el haz de rayos polarizado lineal incide sobre la placa de exploración 221 y, en concreto, sobre la primera rejilla de transmisión 223, que está dispuesto sobre el lado de la placa de exploración 221 que está dirigido hacia la fibra de guía de luz 230. A través de la primera rejilla de transmisión 223 se realiza, en este ejemplo de realización, ahora a diferencia de las dos variantes anteriores, una disociación del haz de rayos incidentes en haces de rayos parciales del orden de difracción +1 y -1. La primera rejilla de transmisión 223 está configurada en este caso como rejilla de fases y posee un periodo de división  $TP_{G1}$ , que corresponde al semi-periodo de división  $TP_M$  de la incorporación de medición de reflexión 210.

35 Los haces de rayos parciales disociados se propagan entonces a través de la placa de exploración 221 y llegan a un elemento birrefringente 226, que está dispuesto sobre el lado de la placa de exploración 221 que está dirigido hacia la incorporación de reflexión 210. En el elemento birrefringente 225 de la placa de exploración 221, los haces de rayos parciales disociados se propagan entonces de nuevo de forma asimétrica. Esto se provoca a través de la orientación seleccionada del elemento birrefringente 226, de tal manera que en virtud de la polarización lineal de los haces de rayos parciales en la dirección de medición x, se suprime la expansión de los rayos ordenados en el elemento birrefringente 226. Además, se alinean las elipsoides de polarización del elemento birrefringente 226 en un ángulo distinto a  $0^\circ$  y distinto a  $90^\circ$  con respecto a la perpendicular de la placa de exploración. Además, se consigue los índices de refracción de los dos rayos extraordinarios, que tienen su origen en los dos órdenes de refracción 1 de la primera rejilla de transmisión 223, sean diferentes. Esto es atribuible a los diferentes ángulos relativos de los ejes principales del elemento birrefringente 225 con respecto a las direcciones de propagación de los dos haces de rayos parciales.

45 Para el dimensionado concreto de una forma de realización de este tipo del dispositivo óptico de medición de la posición es necesario de nuevo el conocimiento de la diferencia de fases  $\Delta p(\lambda_1, \lambda_2)$  de dos señales sobre la base de las diferentes longitudes de onda ( $\lambda_1, \lambda_2$  expresadas en periodos de señales. Esta diferencia de fases  $\Delta p(\lambda_1, \lambda_2)$  es en el presente ejemplo de realización proporcional al espesor  $d_{dE}$  del elemento birrefringente 226 y resulta de la siguiente manera:

$$\Delta p(\lambda_1, \lambda_2) = d_{dE} \cdot$$

$$\left\{ \frac{1}{\lambda_1} \left[ n_r(\lambda_1, \beta_1(\lambda_1)) \sqrt{1 - \left( \frac{\lambda_1}{TP_{G1} n_r(\lambda_1, \beta_1(\lambda_1))} \right)^2} - n_r(\lambda_1, \beta_2(\lambda_1)) \sqrt{1 - \left( \frac{\lambda_1}{TP_{G1} n_r(\lambda_1, \beta_2(\lambda_1))} \right)^2} \right] - \frac{1}{\lambda_2} \left[ n_r(\lambda_2, \beta_1(\lambda_2)) \sqrt{1 - \left( \frac{\lambda_2}{TP_{G1} n_r(\lambda_2, \beta_1(\lambda_2))} \right)^2} - n_r(\lambda_2, \beta_2(\lambda_2)) \sqrt{1 - \left( \frac{\lambda_2}{TP_{G1} n_r(\lambda_2, \beta_2(\lambda_2))} \right)^2} \right] \right\}$$

(Ecuación 7)

$\lambda_1, \lambda_2$  := diferentes longitudes de onda a partir del espectro de iluminación

$d_{dE}$  := espesor del elemento birrefringente,

$\beta_1, \beta_2$  := ángulo de iluminación, bajo el que los dos haces de rayos parciales inciden contra una perpendicular de la superficie sobre el elemento birrefringente

$TP_{G1}$  := periodo de división de la primera rejilla de transmisión,

$n_r$  := índice de refracción del elemento birrefringente, en función de la longitud de onda y de la dirección de la iluminación del rayo extraordinario.

En este caso, el índice de refracción  $n_r$  depende tanto de la longitud de onda  $\lambda_1, \lambda_2$  respectiva como también de la dirección de la iluminación  $\beta_1, \beta_2$ . Las dos direcciones de la iluminación  $\beta_1, \beta_2$  diferentes resultan a partir de los dos órdenes de difracción, que resultan en la primera rejilla de transmisión 223. Puesto que el índice de refracción  $n_r$  depende de nuevo de la dirección,  $\beta_1, \beta_2$  se calculan numéricamente a través una búsqueda del punto cero a partir de la fórmula de difracción siguiente para medios birrefringentes:

$$0 = \mp \frac{\lambda_i}{TP_{G1}} + n_r(\gamma - \beta_{1,2}) \sin \beta_{1,2}$$

(Ecuación 8)

$\lambda_i$  := diferentes longitudes de onda a partir del espectro de iluminación

$n_r$  := índice de refracción dependiente de la dirección del elemento birrefringente, en función de la longitud de onda y de la dirección de la iluminación del rayo extraordinario

$\beta_{1,2}$  := ángulo, bajo el que los dos haces de rayos parciales disociados se propagan contra una perpendicular a la superficie a través del elemento birrefringente

$\gamma$  := ángulo de orientación del material del elemento birrefringente con relación a la perpendicular a la superficie

El índice de refracción  $n_r$  dependiente de la dirección se da en este caso a través de

$$n_r(\theta) = \frac{n_o n_e}{\sqrt{n_o^2 \sin^2(\theta) + n_e^2 \cos^2(\theta)}}$$

(Ecuación 9)

$n_r$  := índice de refracción dependiente de la dirección del elemento birrefringente, en función de la longitud de onda y de la dirección de la iluminación del rayo extraordinario

$n_o$  := índice de refracción del rayo ordinario

$n_e$  := Índice de refracción del rayo extraordinario

$\theta$  := ángulo entre la dirección de los rayos  $\beta_1, \beta_2$  y el ángulo de orientación  $\gamma$  del elemento birrefringente.

Los índices de refracción  $n_o$  y  $n_e$  se pueden calcular a partir de la fórmula de dispersión del material birrefringente correspondiente a la longitud de onda correspondiente.

A continuación se indica un ejemplo de dimensionado concreto para la tercera forma de realización del dispositivo de medición de la posición de acuerdo con la invención.

Se utiliza de nuevo una fuente de luz, que posee una longitud de onda central de 850 nm y una anchura espectral de

60 nm. Como material para el elemento birrefringente 226 está prevista calcita.

En general, el espesor  $d_{dE}$  necesario del elemento birrefringente 226 se reduce a medida que disminuye el periodo de división  $TP_M$  de la incorporación de medición de reflexión 210, puesto que los ángulos de difracción de los dos órdenes de difracción  $\pm 1$  son muy diferentes en el elemento birrefringente 226. Por lo tanto, a continuación se parte de un periodo de división  $TP_{G1}$  de la primera rejilla de transmisión 223 de  $TP_{G1} = 4 \mu\text{m}$ . Resulta un periodo de división  $TP_M$  de la incorporación de medición de reflexión 210 de  $TP_M = 2 \mu\text{m}$  y un periodo de las señales de exploración de  $1 \mu\text{m}$ . Además, se supone un ángulo de orientación de  $\gamma = 45^\circ$ . Si debe alcanzarse de nuevo un desplazamiento de fases de  $360^\circ$  por  $30 \text{ nm}$ , entonces es necesario un espesor  $d_{dE}$  del elemento birrefringente 226 según  $d_{dE} = 3,71 \text{ mm}$ .

Se consigue una configuración de nuevo más compacta o bien un espesor  $d_{dE}$  más reducido del elemento birrefringente a través del empleo de  $\text{AgGaSe}_2$  (selenio de galio y plata) como material birrefringente. En las mismas condiciones que se han explicado anteriormente, resulta un espesor  $d_{dE}$  del elemento birrefringente 226 según  $d_{dE} = 0,47 \text{ mm}$ .

Por último, se describe con la ayuda de las figuras 7 y 8 un cuarto ejemplo de realización del dispositivo óptico de medición de la posición de acuerdo con la invención.

El cuarto ejemplo de realización se basa en el tercer ejemplo de realización explicado anteriormente y se diferencia de éste, por lo demás, solamente porque, como ya está previsto en el segundo ejemplo de realización, la funcionalidad óptica de la lente 222 se integra en la primera rejilla de transmisión 323 sobre el lado superior de la placa de exploración 321. La primera rejilla de transmisión 323 ejerce, junto a las funciones ópticas que disocian la trayectoria de los rayos, también una acción colimadora sobre el haz de rayos que incide desde la fibra de guía de luz 320. Los haces de rayos parciales superpuestos que se propagan en dirección inversa se acoplan, además, en la fibra de guía de luz 330 y a tal fin se enfocan en la superficie de entrada de fibra de guía de luz correspondiente. De nuevo resulta una cabeza de exploración de fibra óptica 320 de nuevo más compacta frente al tercer ejemplo de realización.

Una vista en planta superior sobre la curva de las fases que resulta entonces de la primera rejilla de transmisión 323 con la funcionalidad óptica adicional se muestra en la figura 8.

Por lo demás, con referencia a la generación de señales de exploración desplazadas de fases y otros detalles, se remite a la descripción del tercer ejemplo de realización o bien de los otros ejemplos de realización.

Más allá de las formas de realización explicadas, la presente invención se puede modificar naturalmente de nuevo.

Como ya se ha descrito con relación a la descripción del segundo ejemplo de realización de una placa de exploración adecuada, dado el caso, puede ser necesario utilizar en lugar de una única fuente de luz de banda ancha, una fuente de luz compuesta o bien una unidad de fuentes de luz, que está constituida por varias fuentes de luz individuales con diferentes longitudes de ondas individuales. De acuerdo con esta forma de realización, en este caso como fuente de luz se pueden emplear diodos láser, VCSELs, LEDs, OLEDs, etc. Por medio de espejos dicróicos o de un elemento dispersivo adecuado, se puede reunir la luz de estas diferentes fuentes de luz y se pueden acoplar en común en las fibras de guía de luz.

Además de la realización de un sistema con cuatro señales de exploración desplazadas de fases por cada  $90^\circ$ , en el marco de la presente invención se puede prever evidentemente también una variante, en la que se generan señales de exploración desplazadas de fases por cada  $120^\circ$ ; también en este caso se puede realizar una exploración múltiple de una manera similar al sistema de cuatro fases explicado anteriormente, etc.

**REIVINDICACIONES**

- 5 1.- Dispositivo óptico de medición de la posición para la generación de señales de exploración desplazadas de fases con respecto a la posición relativa de una cabeza de exploración de fibra óptica (20; 120; 220; 320) y de una  
 10 incorporación de medición por reflexión (10; 110; 210; 310) móvil con respecto a ella en al menos una dirección de medición, en el que en la cabeza de exploración de fibra óptica (20; 120; 220; 320) está dispuesta una placa de exploración (21; 121; 221; 321) delante del extremo del lado de la incorporación de medición de una fibra de guía de luz (30; 130; 230; 330) y se lleva a cabo una codificación dependiente de la longitud de ondas de las señales de exploración desplazadas de fases, en el que las señales de exploración desplazadas de fases son generadas a partir de componentes del espectro de iluminación con diferentes longitudes de ondas, en el que la una placa de exploración (21; 121; 221; 321) está configurada de tal forma que
- un haz de rayos que incide sobre la placa de exploración (21; 121; 221; 321) experimenta una disociación en al menos dos haces de rayos parciales, que impulsan la incorporación de medición por reflexión (10; 110; 210; 310) y a continuación interfieren entre sí con efecto de reunificación para la generación de las  
 15 señales de exploración desplazadas de fases, y
  - los haces de rayos parciales recorren diferentes longitud de recorridos ópticos entre la disociación y la reunificación, de manera que
  - en el extremo, alejado de la incorporación de medición, de la fibra de guía de luz (30; 130; 230; 330) están dispuestas  
 20 - una fuente de luz de banda ancha espectral (40) o  
 - varias fuentes de luz, que emiten radiación de diferentes longitudes de ondas, cuya radiación se puede acoplar como haces de rayos de iluminación a través de medios de acoplamiento en la fibra de guía de luz (30; 130; 230; 330) y  
 25 - en el extremo, alejado de la incorporación de medición, de la fibra de guía de luz (30; 130; 230; 330), está dispuesta una instalación de detección (50), que comprende
  - medios de disociación (51) para la separación dependiente de la longitud de onda de los haces de rayos parciales reunificados así como
  - varios elementos optoelectrónicos de detección, a los que se pueden alimentar los haces de rayos parciales separados y convierten los haces de rayos parciales detectados en señales de exploración eléctricas,  
 30 desplazadas de fases.
- 35 2.- Dispositivo óptico de medición de la posición de acuerdo con la reivindicación 1, en el que la placa de exploración (21; 121; 221; 321) está configurada, además, de tal forma que al menos dos haces de rayos parciales entre la placa de exploración (21; 121; 221; 321) y la incorporación de medición por reflexión (10; 110; 210; 310) se propagan simétricamente con respecto a la perpendicular de la placa de exploración e impulsan la incorporación de medición por reflexión (10; 110; 210; 310) bajo su ángulo-Littrow.
- 40 3.- Dispositivo óptico de medición de la posición de acuerdo con la reivindicación 2, en el que incorporación de medición por reflexión (10; 110; 210; 310) presenta en el orden de difracción +/- 1 las máximas eficiencias de difracción.
- 45 4.- Dispositivo óptico de medición de la posición de acuerdo con la reivindicación 1, en el que la fibra de guía de luz (30; 130; 230; 330) está configurada como fibra multimodo, a través de la cual se pueden transmitir tanto el haz de rayos utilizado para la iluminación hacia la cabeza de exploración de fibra óptica (20; 120; 220; 320) como también los haces de rayos parciales reunificados fuera de la cabeza de exploración de fibra óptica (20; 120; 220; 320).
- 50 5.- Dispositivo óptico de medición de la posición de acuerdo con al menos una de las reivindicaciones anteriores, en el que la placa de exploración (21; 121) está con figurada como sustrato transparente en forma de placa, en el que
- sobre el lado de la placa de exploración (21; 121), que está dirigido hacia la fibra de guía de luz (30; 130), está dispuesta una primera rejilla de transmisión (23; 123), que disocia el haz de rayos que incide sobre ella en al menos dos haces de rayos parciales difractados, que se propagan en delante de forma asimétrica con respecto a la perpendicular a la placa de exploración y  
 55 - sobre el lado de la placa de exploración (21; 121), que está dirigido hacia la incorporación de medición por reflexión (10; 110), está dispuesta una segunda rejilla de transmisión (24; 124), que desvía los haces de rayos parciales que inciden desde la primera rejilla de transmisión (23; 123) sobre ella, de tal manera que éstos se propagan de manera simétrica entre sí con respecto a una perpendicular de la placa de exploración entre la placa de exploración (21; 121) y la incorporación de medición por reflexión (10; 110) e impulsan la incorporación de medición por reflexión (10; 110) bajo su ángulo-Littrow.  
 60
- 6.- Dispositivo óptico de medición de la posición de acuerdo con la reivindicación 5, en el que la primera rejilla de transmisión (23; 123) y la segunda rejilla de transmisión (24; 124) están configuradas, respectivamente, como rejillas de fases flameadas.

- 5 7.- Dispositivo óptico de medición de la posición de acuerdo con la reivindicación 5, en el que la primera rejilla de transmisión (23; 123) y la segunda rejilla de transmisión (24; 124) presentan una curva periódica de las fases a lo largo de la dirección de medición (x).
- 8.- Dispositivo óptico de medición de la posición de acuerdo con la reivindicación 5, en el que la primera rejilla de transmisión (123) está configurada, además, de tal manera que sobre ella resulta una acción colimadora sobre el haz de rayos que incide sobre ella.
- 10 9.- Dispositivo óptico de medición de la posición de acuerdo con la reivindicación 5, en el que para el ajuste de una exploración múltiple de las porciones de las señales, que contribuyen a las señales de exploración desplazadas de fases se selecciona de manera adecuada el espesor ( $d_{AP}$ ) de la placa de exploración (21; 121) y/o los parámetros de las rejillas de transmisión (23, 24; 123, 124) dispuestas encima.
- 15 10.- Dispositivo óptico de medición de la posición de acuerdo con al menos una de las reivindicaciones 1 a 4, en el que un haz de rayos polarizado lineal incide sobre la placa de exploración (221, 321), en el que
- sobre el lado de la placa de exploración (221; 321), que está dirigido hacia la fibra de guía de luz (230; 330), está dispuesta una primera rejilla de transmisión (223; 323), que disocia el haz de rayos que incide sobre ella en al menos dos haces de rayos parciales difractados y ejerce una acción colimadora sobre el haz de rayos que incide sobre ella y
  - sobre el lado de la placa de exploración (221; 321), que está dirigido hacia la incorporación de medición por reflexión (210; 310), está dispuesto un elemento birrefringente (226; 326), en el que los haces de rayos parciales disociados se propagan de manera asimétrica con respecto a una perpendicular de la placa de exploración y después de abandonar la placa de exploración (221; 321) se propagan de forma simétrica entre sí con respecto a la perpendicular de la placa de exploración entre la placa de exploración (221; 321) y la incorporación de medición por reflexión (210; 310) e impulsan la incorporación de medición por reflexión (210; 310) bajo su ángulo-Littrow.
- 20 11.- Dispositivo óptico de medición de la posición de acuerdo con la reivindicación 10, en el que para el ajuste de una exploración múltiple de las porciones de señales, que contribuyen a las señales de exploración desplazadas de fases, se selecciona de forma adecuada el espesor ( $d_{dE}$ ) del elemento birrefringente (226; 326).
- 25 12.- Dispositivo óptico de medición de la posición de acuerdo con la reivindicación 1, en el que los medios de disociación comprenden varias rejillas de difracción dispuestas unas detrás de las otras en la trayectoria de los rayos.
- 30 13.- Dispositivo óptico de medición de la posición de acuerdo con la reivindicación 1, en el que en el extremo de la fibra de guía de luz, que está alejado de la incorporación de medición, está dispuesta una capa anti-reflexiva y/o la fibra de guía de luz presenta allí un afilado inclinado.
- 35 40 45



FIG. 2a

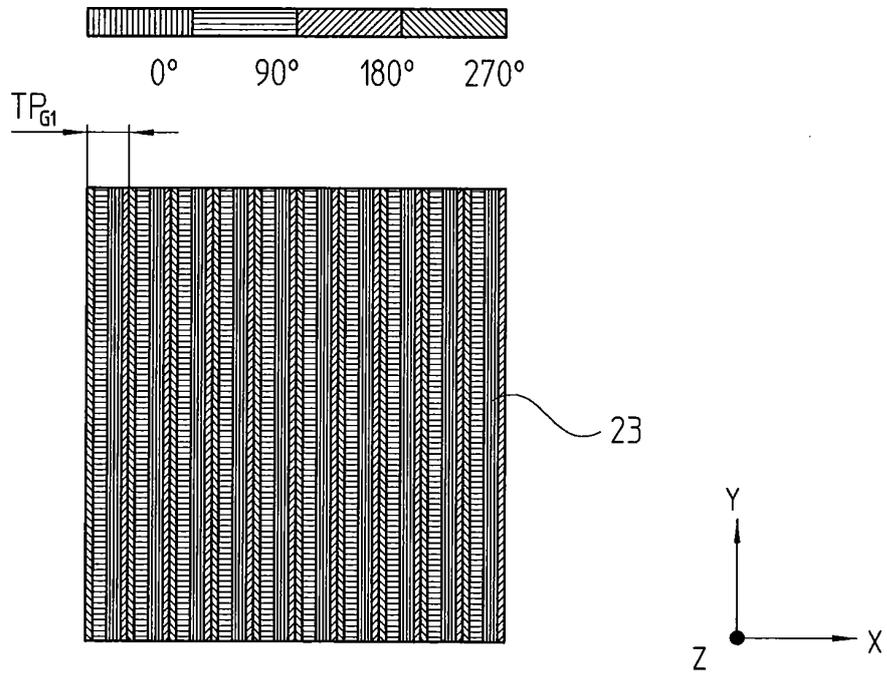


FIG. 2b

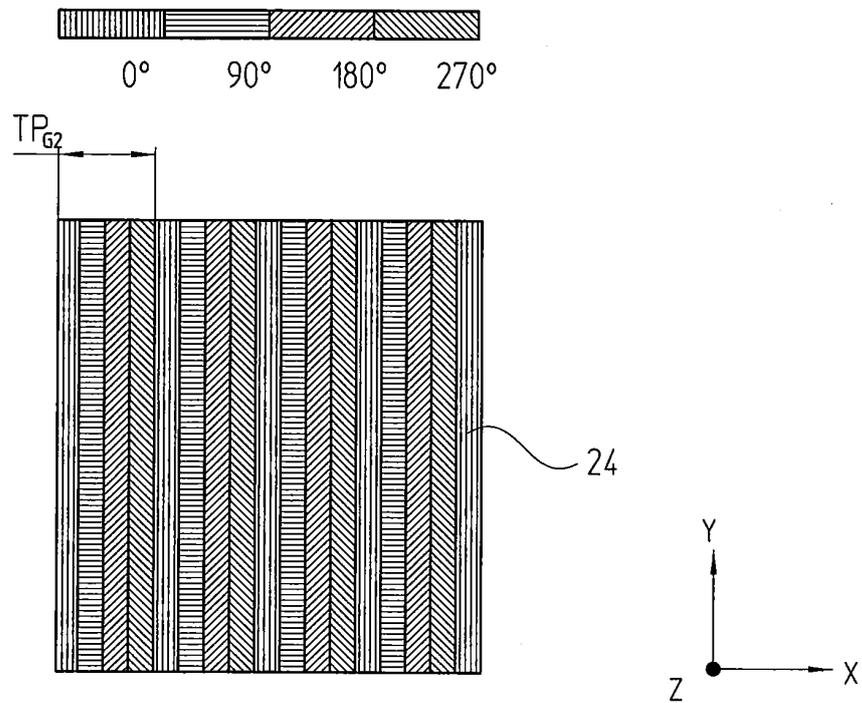


FIG. 3

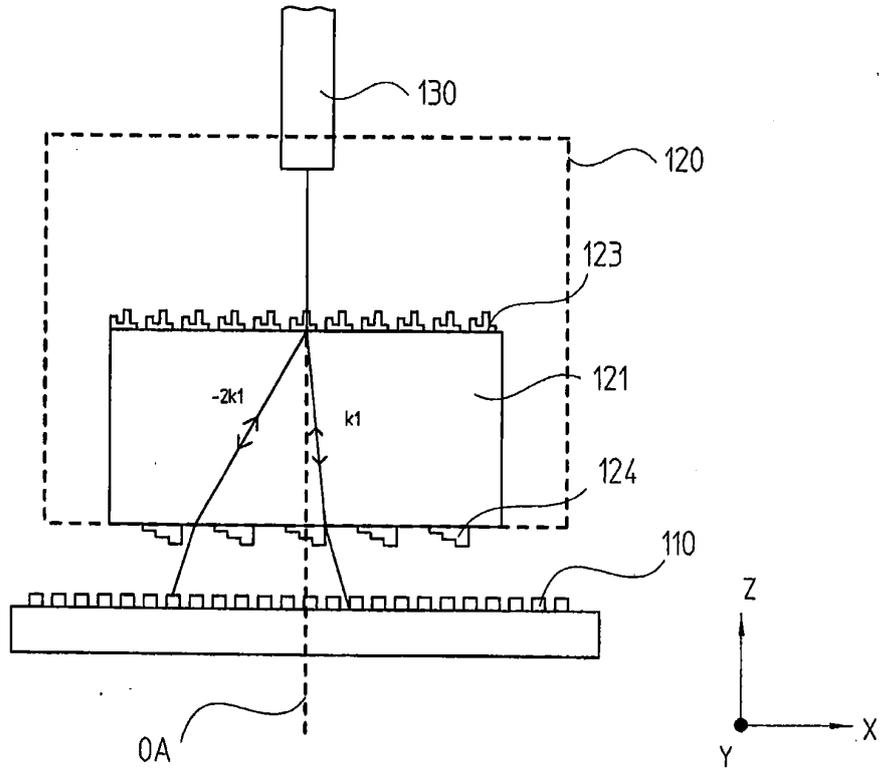


FIG. 4

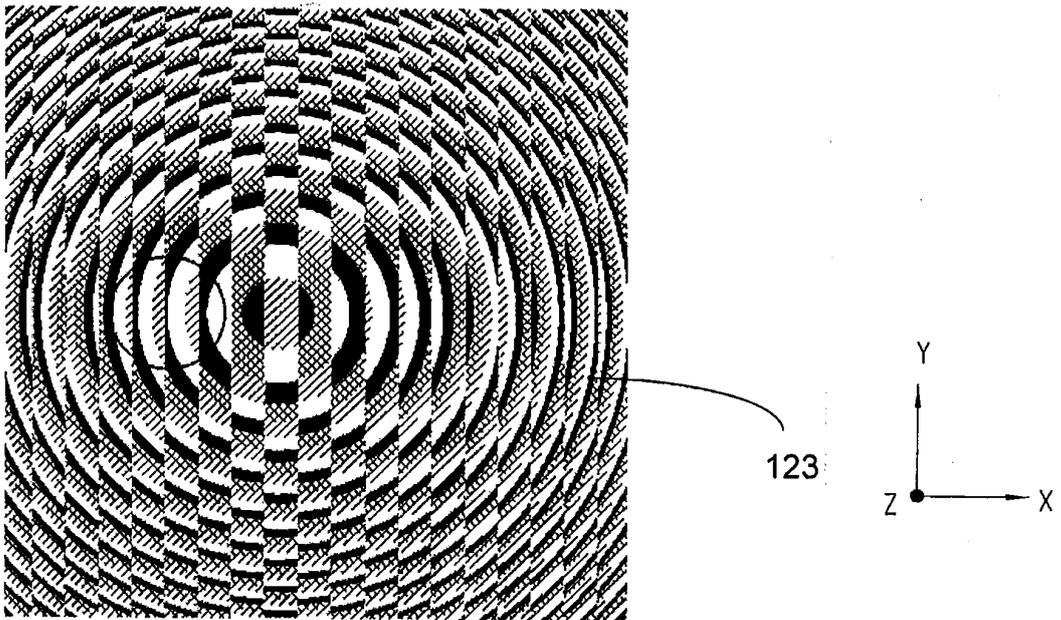
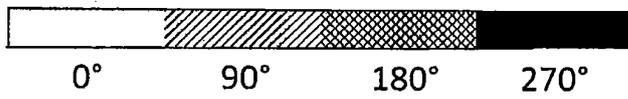


FIG. 5

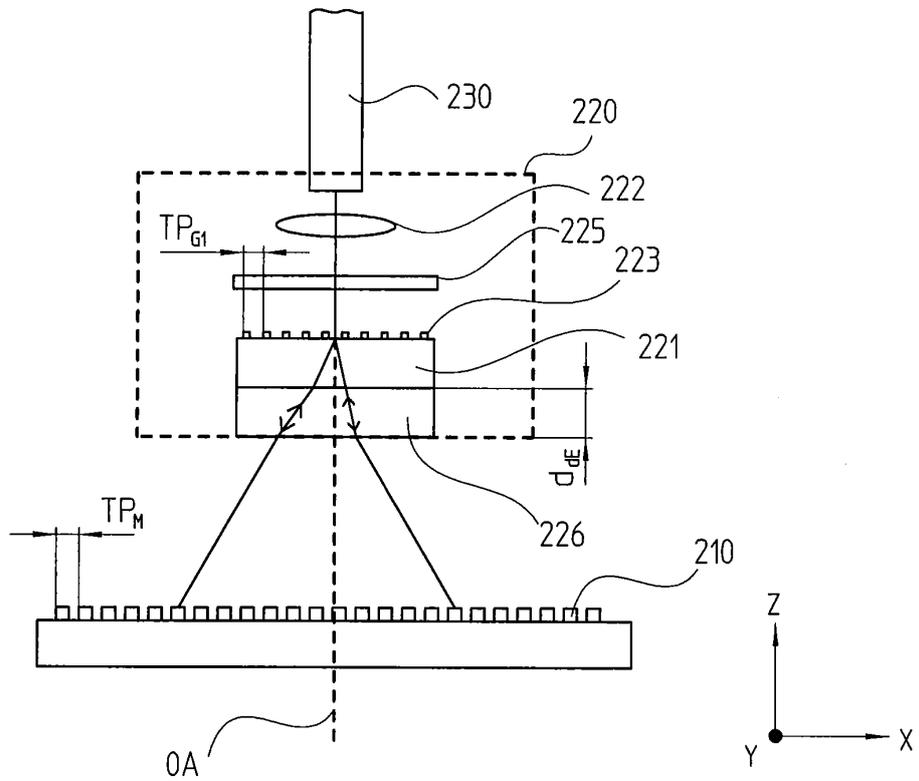


FIG. 6

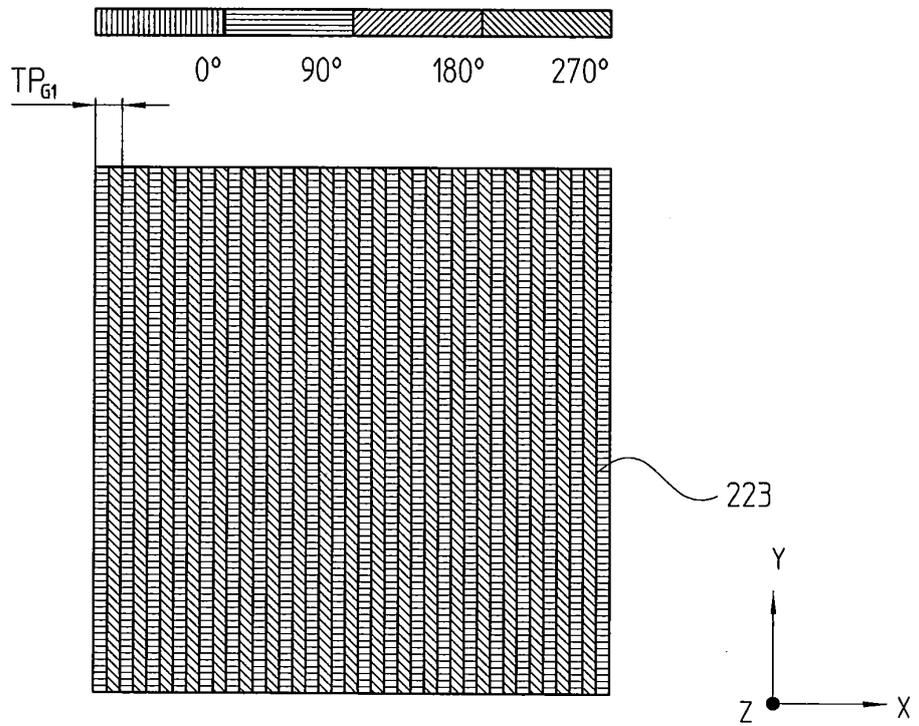


FIG. 7

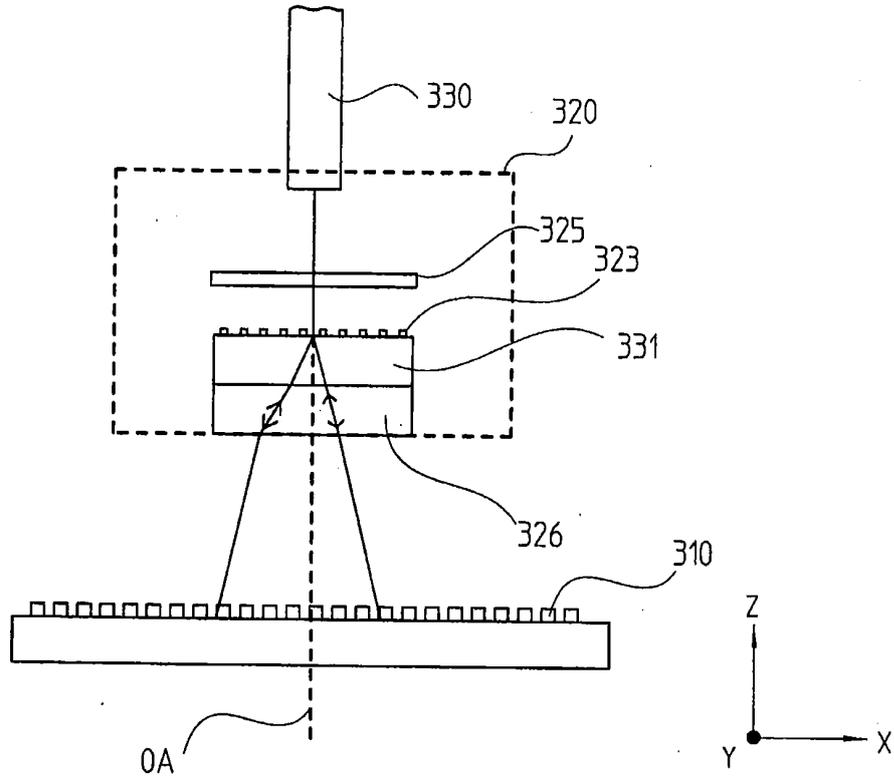


FIG.8

