

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 594 405**

51 Int. Cl.:

**G01B 9/02** (2006.01)

**G01S 17/66** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **11.11.2011 PCT/EP2011/069977**

87 Fecha y número de publicación internacional: **21.06.2012 WO12079875**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **11.11.2011 E 11785378 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **29.06.2016 EP 2652519**

54 Título: **Interferómetro láser de tipo seguimiento para objetos con grados de libertad de rotación**

30 Prioridad:

**13.12.2010 EP 10194730**

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

**20.12.2016**

73 Titular/es:

**PAUL SCHERRER INSTITUT (100.0%)  
5232 Villigen PSI, CH**

72 Inventor/es:

**HOLLER, MIRKO y  
RAABE, JÖRG**

74 Agente/Representante:

**CARVAJAL Y URQUIJO, Isabel**

ES 2 594 405 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**

Interferómetro láser de tipo seguimiento para objetos con grados de libertad de rotación

La presente invención se refiere a un interferómetro láser de tipo seguimiento para objetos con grados de libertad de rotación.

5 El interferómetro láser más comúnmente conocido es el Interferómetro de Michelson. Este interferómetro llegó a un perfil alto por el experimento de Michelson y Morley. El interferómetro de Michelson utiliza el fenómeno de la interferencia que sólo puede ser observada cuando se utiliza luz coherente. En términos generales, el interferómetro usa una diferencia en las longitudes de camino o una diferencia en la velocidad de la luz en dos medios diferentes cuando un haz de luz es dividido en dos partes. El desplazamiento de la fase resultante se manifiesta como una  
10 modulación de la intensidad del haz de luz de interferencia reunificado a continuación.

Los documentos de las patentes US2007/0024861, US 6,147,748 y US2002/0036764 describen interferómetros láser de tipo de seguimiento que utilizan retroreflectores esféricamente montados como objetivos. El documento de patente US2003/0090798 da a conocer la medida de una reflexión de una esfera que interfiere con la reflexión de una superficie de referencia plana.

15 Un requisito restrictivo de los esquemas anteriores para incluir grados de libertad de rotación en las medidas de posición interferométrica fue que la superficie esférica necesitaba ser centrada en el eje de rotación. Si este no era el caso, el haz reflejado de la superficie esférica no se propagaba al detector de interferencia en todos los ángulos de rotación y la señal de interferencia se perdía durante la rotación.

20 Por lo tanto un objeto de la presente invención es el de proporcionar un interferómetro láser de tipo seguimiento para objetos con grados de libertad de rotación.

Este objetivo se consigue según la presente invención por un interferómetro láser de tipo seguimiento, que comprende:

- a) una fuente que emite un haz de luz coherente, por ejemplo, una fuente de láser (homodino o heterodino);
- 25 b) una óptica de interferómetro con el fin de dividir el haz láser en dos partes con polarización ortogonal para formar un módulo interferómetro láser,
- c) una superficie de referencia plana (5), dos placas retardadoras de cuarto de onda (4,6), una esfera reflectante (8) o un cilindro reflectante, un divisor de haz no polarizador (9), dos polarizadores (10, 12), y dos detectores (11, 13),

en el que los dos haces se propagan como sigue:

30 i. un haz es reflejado por la superficie de referencia plana, pasa dos veces por la primera placa retardadora de cuarto de onda en el trayecto de vuelta al módulo de interferómetro, lo que hace girar la polarización del haz en 90 grados, por lo que este haz se transmite entonces por la óptica de división del haz;

35 ii. el otro haz es proyectado por la óptica de imágenes en la esfera reflectante o el cilindro reflectante que es la segunda superficie de referencia de la instalación con lo que durante su propagación pasa dos veces por la segunda placa retardadora cuarto de onda y por lo tanto hace girar la polarización del haz en 90 grados, por lo que este haz es entonces reflejado por la óptica del interferómetro produciendo que los dos haces de salida del interferómetro tengan ahora una polarización diferente lo que hace distinguibles a los haces;

iii. los dos haces se reúnen por la óptica del interferómetro de manera que los haces combinados tienen polarización distinta, lo que requiere opcionalmente placas retardadoras adicionales dependiendo de la realización concreta de la disposición óptica del interferómetro;

40 iv. para el análisis, el haz de salida combinado se divide en dos partes por el divisor de haz no polarizador y se mide en los dos detectores de la siguiente manera:

v. una parte del haz de salida combinado dividido se envía a través del primer polarizador que está alineado de tal manera que los dos componentes de polarización se transmiten aproximadamente igual en donde los haces interfieren;

vi. el modelo de interferencia es detectado por un detector de interferencia por el que esta señal corresponde a la medida diferencial de la superficie de referencia plana y la esfera reflectante en la dirección longitudinal del haz de láser de origen donde una resolución interferométrica es alcanzable hasta el nivel subnanométrico;

5 vii. la otra parte del haz combinado dividido se envía a través del segundo polarizador que está alineado de tal manera que sólo el haz que se reflejó por la superficie esférica se transmite, en el que una medida de la posición de este haz se lleva a cabo mediante un detector sensible a la posición unidimensional 1D o un detector sensible a la posición bidimensional 2D.

10 Por lo tanto, un movimiento de la esfera o el cilindro en una dirección perpendicular a la dirección de propagación del haz de láser produce un cambio en la orientación del haz reflejado que se detecta como un cambio de posición en el detector sensible a la posición. Este detector permite la medición de la posición de la superficie esférica en el plano perpendicular a la dirección de propagación del haz de láser con una resolución alcanzable en el rango submicrónico. Con otras palabras, esta señal medida en el detector sensible a la posición corresponde a una medición de la posición transversal de la esfera o cilindro. Esta señal obtenida por el detector sensible a la posición es por lo tanto representativa para el seguimiento de la retroalimentación del cilindro o la esfera reflectante.

15 Las realizaciones preferentes de la presente invención se describen a continuación con más detalle con referencia a los siguientes dibujos, que representan:

La FIGURA 1 es una representación esquemática de una primera instalación del interferómetro láser; y

La FIGURA 2 es una representación esquemática de una segunda modificación de una instalación del interferómetro láser.

20 La figura 1 ilustra esquemáticamente una primera instalación del interferómetro láser. Un haz láser 1 se divide en dos partes por un divisor de haz polarizante 2 de un módulo de interferómetro láser diferencial 3. Los dos haces se propagan como sigue:

25 El haz reflejado (polarizado s) se refleja por una superficie de referencia plana 5, pasa dos veces la placa retardadora cuarto de onda 4 en el trayecto de vuelta al módulo de interferómetro. De este modo, la polarización del haz se gira en 90 grados. Este haz (polarizado p) se transmite entonces por el divisor de haz polarizante 2.

La parte transmitida del haz de láser inicial (polarizado p) es proyectada por la óptica de imágenes 7 a una esfera reflectante 8 que es la segunda superficie de referencia de la instalación. Durante su propagación pasa dos veces por una placa retardadora cuarto de onda 6. De este modo, la polarización del haz se gira a 90 grados. Este haz (polarizado s) se refleja entonces por el divisor de haz polarizante 2.

30 El papel de haz reflejado y transmitido desde el divisor de haz 2 es intercambiable, mediante el intercambio de la óptica en las trayectorias de los haces.

Debido a los divisores de haz polarizado, no hay haz enviado de vuelta a la fuente de láser. Los haces de salida del interferómetro ahora tienen diferente polarización, lo que hace distinguibles a los haces.

35 Para el análisis, los haces de salida se dividen en dos partes por un divisor de haz no polarizador 9 y se miden en dos detectores de la siguiente manera:

Los haces se envían a través de un polarizador 10 que está alineado de tal manera que ambos componentes se transmiten igualmente. Los haces pueden entonces interferir. La interferencia es detectada por un detector de interferencia 11. Esta señal corresponde a la medición de la diferencia de los elementos 5 y 8 en la dirección x, donde se puede conseguir la resolución interferométrica subnanométrica.

40 Los haces se envían a través de un polarizador 12 que está alineado de tal manera que sólo se transmite el haz que se reflejó por la superficie esférica 8. La medida de la posición de este haz se lleva a cabo mediante un detector sensible a la posición bidimensional 2D 13. Un movimiento de la esfera 8 en la dirección y o z provoca un cambio en la orientación del haz reflejado que se detecta como un cambio de posición en el detector sensible a la posición 13. Este detector 13 permite la medición de la posición de la superficie esférica en el plano y/ z con una resolución 45 alcanzable en el rango submicrónico.

El método y el aparato presentados aquí emplean dos detectores y superan la limitación mencionada anteriormente porque la posición de la esfera 8 se mide en todas las dimensiones. La señal del detector sensible a la posición 13 se emplea entonces como señal de retroalimentación para un movimiento de seguimiento de toda la instalación óptica del interferómetro 14 en el plano y/z, incluyendo los detectores. De este modo, la instalación 14 ajusta

automáticamente su orientación al centro de la superficie de referencia esférica 8. Hay que tener en cuenta que debido a la medida de la diferencia y la superficie de referencia plana 5 la interferencia (medida en la dirección x) es insensible a tales movimientos de traslación.

- 5 Un requisito para este esquema es que el haz láser de entrada para la configuración del interferómetro está acoplado al movimiento del interferómetro, que puede lograrse mediante la emisión de la luz utilizando una fibra óptica o el uso de un sistema de espejo.

El interferómetro depende de dos polarizaciones diferentes de los dos haces de medición. Esto lo hace no sólo utilizable con los esquemas homodinos de interferómetro, sino que directamente permite el uso de técnicas heterodinas de interferometría láser.

- 10 Otras realizaciones de la presente invención pueden ser creadas si contienen las siguientes características:

Variante 1:

Para el seguimiento unidimensional 1D, es posible utilizar un detector sensible a la posición unidimensional 1D (13), cuando se restringe el movimiento del interferómetro en una dirección (en el plano y / z), que ya se mencionó anteriormente.

- 15 Variante 2:

Como superficie reflectante que ofrece un grado de libertad de rotación, se puede emplear un cilindro en lugar de una esfera 8. En esta situación no es necesario realizar un seguimiento en la dirección z y el seguimiento puede ser restringido en la dirección y, en combinación con la variante 1.

Variante 3:

- 20 El rango de movimiento de la esfera 8 en la dirección x se restringe al rango Rayleigh del haz láser enfocado. Se puede incrementar por un movimiento del interferómetro en la dirección x. De este modo, se puede lograr un enfoque automático del interferómetro. La situación de enfoque se puede detectar no sólo midiendo la posición del haz reflejado de la esfera (8), sino también su dimensión. Esto se puede realizar, por ejemplo, mediante el uso de un detector de pixelado en la posición 13 en la instalación.

- 25 Variante 4:

El método puede ser puesto en práctica en un esquema de dos trayectorias, duplicando la resolución interferométrica. Para esto, la trayectoria del haz se modifica como se indica en la figura 2. Un retroreflector 15 se añade a la instalación para doblar el haz.

Variante 5:

- 30 La instalación se puede realizar con una medición no diferencial, donde está instalada la superficie de referencia plana 5 en la parte móvil del interferómetro 14. En lugar de una superficie de referencia plana en la posición 5 puede ser utilizado un retroreflector en un ejemplo no reivindicado. Esta modificación también puede ser combinada con otras variantes de la instalación, que se presentaron anteriormente.

**REIVINDICACIONES**

1. Interferómetro láser de tipo seguimiento, que consta de:

a) una fuente de luz coherente que emite un haz, por ejemplo un láser (homodino o heterodino) (1);

5 b) una óptica de interferómetro (2) con el fin de dividir el haz de láser (1) en dos partes con polarización ortogonal para formar un módulo interferómetro láser (3);

c) una superficie de referencia plana (5), dos placas retardadoras de cuarto de onda (4, 6), una esfera reflectante (8) o un cilindro reflectante, un divisor de haz no polarizador (9), dos polarizadores (10, 12) y dos detectores (11, 13),

en la que los dos haces se propagan como sigue:

10 i. un haz es reflejado por la superficie de referencia plana (5) pasa dos veces por la primera placa retardadora de cuarto de onda (4) en el trayecto de vuelta al módulo de interferómetro (3), lo que hace girar la polarización del haz en 90 grados, por lo que este haz se transmite entonces por la óptica de división del haz (2);

15 ii. el otro haz es proyectado por la óptica de imágenes (7) en la esfera reflectante (8) o el cilindro reflectante que es la segunda superficie de referencia de la instalación, con lo que durante su propagación pasa dos veces por la segunda placa retardadora cuarto de onda (6) y por lo tanto hace girar la polarización del haz en 90 grados, por lo que este haz es reflejado entonces por la óptica del interferómetro (2) produciendo que los dos haces de salida del interferómetro tengan ahora una polarización diferente lo que hace distinguibles a los haces;

iii. los dos haces se reúnen por la óptica del interferómetro (2) de manera que los haces combinados tienen polarización distinta, lo que requiere opcionalmente placas retardadoras adicionales dependiendo de la realización concreta de la disposición óptica del interferómetro;

20 iv. para el análisis, el haz de salida combinado se divide en dos partes por el divisor de haz no polarizador (9) y se mide en los dos detectores de la siguiente manera:

v. una parte del haz de salida combinado dividido se envía a través del primer polarizador (10) que está alineado de tal manera que los dos componentes de polarización se transmiten aproximadamente igual, en donde los haces interfieren;

25 vi. el modelo de interferencia es detectado por un detector de interferencia (11), por el que esta señal corresponde a la medida diferencial de la superficie reflectante plana (5) y la esfera reflectante (8) en la dirección longitudinal del haz de láser de origen donde una resolución interferométrica es alcanzable hasta el nivel subnanométrico;

30 vii. la otra parte del haz de salida combinado dividido se envía a través del segundo polarizador (12) que está alineado de tal manera que sólo el haz que se reflejó por la superficie esférica (8) se transmite, en el que una medida de la posición de este haz se lleva a cabo mediante un detector sensible a la posición unidimensional 1D o un detector sensible a la posición bidimensional 2D (13).

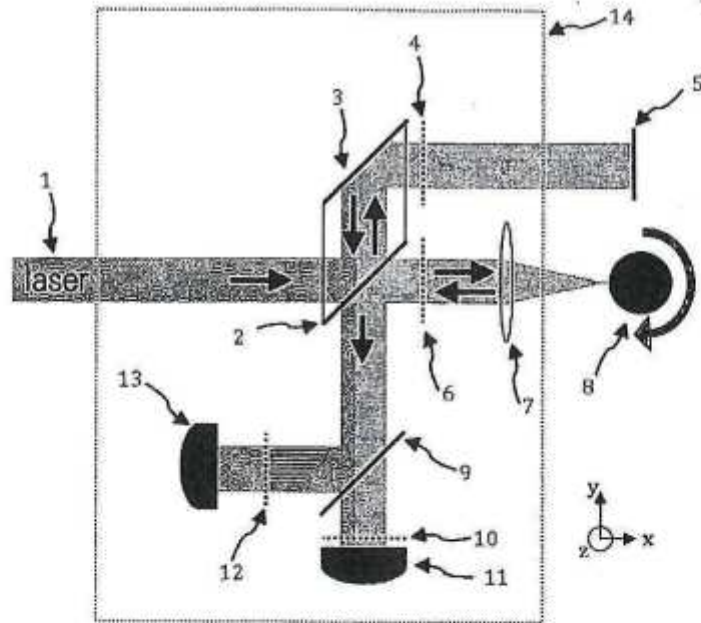


Fig. 1: Esquema de la instalación del interferómetro

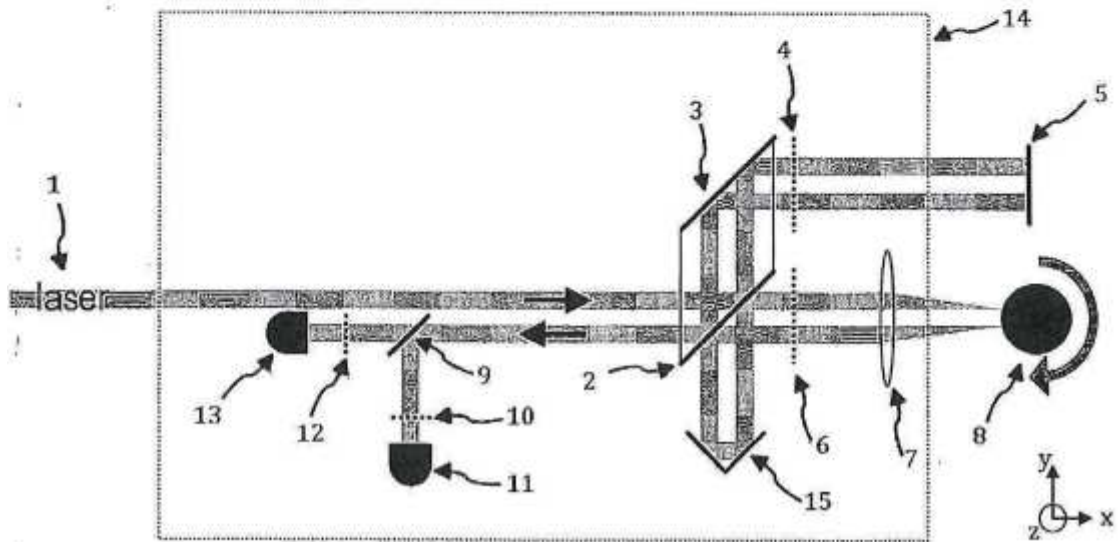


Fig. 2: Versión modificada de la instalación del interferómetro