



19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

11 Número de publicación: **2 269 578**

51 Int. Cl.:
G01B 9/02 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Número de solicitud europea: **02021952 .3**

86 Fecha de presentación : **30.09.2002**

87 Número de publicación de la solicitud: **1340959**

87 Fecha de publicación de la solicitud: **03.09.2003**

54 Título: **Procedimiento de medición interferométrica y dispositivo.**

30 Prioridad: **01.03.2002 DE 102 04 133**

73 Titular/es: **ROBERT BOSCH GmbH**
Postfach 30 02 20
70442 Stuttgart, DE

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
01.04.2007

72 Inventor/es: **Drabarek, Pawel y**
Streibl, Norbert

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
01.04.2007

74 Agente: **Carvajal y Urquijo, Isabel**

ES 2 269 578 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

Procedimiento de medición interferométrica y dispositivo.

La invención se refiere a un procedimiento de medición interferométrica para detectar la forma o la distancia de superficies, mediante el que se crea luz, se modula con respecto a su frecuencia, se guía por un lado sobre la superficie y por otro lado se alimenta a una superficie de referencia y se pone en interferencia y se guía a un fotodetector y para detectar la distancia respectiva se analiza una fase de la señal del fotodetector, así como un dispositivo de medición interferométrica para llevar a cabo el procedimiento.

Estado de la técnica

Un procedimiento de medición así como un dispositivo de medición interferométrica de este tipo se indican en el documento DE 198 08 273 A1. Con este procedimiento de medición interferométrica conocido, basado en el principio de la técnica heterodina, se desplaza la frecuencia de luz mediante un modulador acústico-óptico con una frecuencia heterodina para facilitar el análisis y se determina la distancia o la forma de la superficie mediante análisis de la diferencia de fases. En este sentido se evalúan las diferencias de fase simultáneamente en partes de luz de la luz obtenida desde una fuente de luz de poca coherencia y dividida mediante una unidad de descomposición de haz en diferentes zonas de longitud de onda, que se detecta mediante una disposición de fotodetectores (matriz de fotodetectores), simultáneamente basándose en la respectiva diferencia de fase. La zona de univocidad con respecto a la diferencia de fase de luz de sólo una longitud de onda se limita a una variación de la distancia entre dos puntos de medición a menos de la mitad de la longitud de onda correspondiente. Por el contrario, a partir de al menos dos longitudes de onda diferentes es posible, tal como se conoce *per se*, formar una longitud de onda sintética $\Lambda = \lambda_1 \cdot \lambda_2 / (\lambda_2 - \lambda_1)$, que da una zona de univocidad correspondientemente más aproximada en la que puede realizarse de forma unívoca una medición correspondientemente mayor. La zona de univocidad ampliada está asociada no obstante a un mayor coste.

En el documento US 5.293.215 se propone un dispositivo de medición interferométrica que también se basa en el concepto de la interferometría heterodina de varias longitudes de onda, en el que se emplea un dispositivo de creación de luz de frecuencia modulada con varios láser de frecuencia modulada como fuentes de luz para las diversas longitudes de onda.

El documento FR-A 2 753 276 muestra un procedimiento y un dispositivo para la medición interferométrica de superficies mediante técnica heterodina, en el que se varía la frecuencia de luz de un láser. Se trata en este caso, en sí mismo, de la técnica heterodina convencional con el análisis basándose sólo en una diferencia de fase medida. La particularidad reside en este caso en la formación de la disposición interferométrica con un interferómetro de medición y de referencia, para ser independiente del ajuste preciso y de la variación definida de la frecuencia de luz láser.

El documento US-A 4.830.486 muestra un procedimiento de medición interferométrica y un dispositivo correspondiente para medir rugosidades de superficies analizando la diferencia de fase. También en este caso se varía una frecuencia de luz láser, consistiendo igualmente una particularidad en que se utiliza un interferómetro de referencia.

Otros procedimientos de medición y dispositivos de medición interferométrica se dan a conocer en los documentos DE 197 08 163 A y DE 199 55 268 A.

En el documento US 5.883.715 se propone un interferómetro con fuente de luz de frecuencia modulada para un vibrómetro.

La invención se basa en el objetivo de crear un procedimiento de medición interferométrica o un dispositivo de medición interferométrica que permiten, con una construcción simplificada, una gran resolución y un intervalo de medición relativamente grande.

Ventajas de la invención

Este objetivo se alcanza con las características de las reivindicaciones 1 ó 3.

Teniendo en cuenta las partes de luz con las diferentes longitudes de onda con respecto a diferentes puntos temporales, respectivamente, de la forma indicada más detalladamente, se permite realizar la medición de superficies sin unidad de descomposición de haz adicional y disposición de fotodetectores correspondientemente costosa con dispositivo de análisis conectado posteriormente adaptado a la misma. Con una disposición de medición óptica configurado de este modo de manera sencilla, solamente debe diseñarse la electrónica de análisis para tener en cuenta las diferencias de fase en los distintos tiempos con las distintas longitudes de onda correspondientes en cada caso. El análisis en la electrónica de análisis o unidad de análisis puede realizarse en este caso, por ejemplo, mediante un software y programación correspondiente.

El dispositivo de medición está diseñado para la medición, incluyendo el análisis, de forma correspondiente de manera que se prevé una fuente de luz que puede tener su frecuencia de luz modulada y conectada para ello a un modulador, cuya luz se divide a través de un divisor de haz en una onda de referencia y una onda de medición que va a alimentarse a una superficie de un objeto de medición, que se pone en interferencia, y que para captar la luz formada

por las ondas de luz de interferencia y que presenta una modulación de intensidad y para generar una señal eléctrica correspondiente está previsto un fotodetector, que está conectado posteriormente a una electrónica de análisis para el análisis de las señales eléctricas. La configuración de esta electrónica de análisis se especifica en las partes a) a c) de la reivindicación 3.

Una configuración ventajosa para la realización del procedimiento y para una construcción robusta y sencilla consiste en que la luz se obtiene con las partes de luz de diferentes longitudes de onda mediante modulación de frecuencia conocida *per se* de una fuente de luz y se analiza la señal eléctrica obtenida con el fotodetector durante la incidencia de las frecuencias de luz correspondientes a las diferentes longitudes de onda.

El procedimiento puede realizarse de manera sencilla con la sencilla configuración de la unidad de análisis porque en un punto de tiempo correspondiente a una longitud de onda se determina una diferencia de fase y se realiza una medición precisa sobre la superficie según la relación $\Delta L = \Delta \rho \cdot \lambda_1 / (4\pi)$, porque en otro punto de tiempo correspondiente a una longitud de onda diferente se determina otra diferencia de fase y porque con la longitud de onda sintética $\Lambda = \lambda_1 \cdot \lambda_2 / (\lambda_2 - \lambda_1)$ se realiza una medición aproximada de la superficie según la relación $\Delta L = (\Delta \varphi_1 - \Delta \varphi_2) \cdot \Lambda / (4\pi)$.

Otra medida ventajosa consiste en que, para la elección del punto de tiempo, la electrónica de análisis está unida para la señalización con el modulador.

Dibujo

La invención se explica a continuación más detalladamente con ayuda de un ejemplo de realización con referencia a los dibujos. Muestran:

la figura 1, una representación esquemática de la estructura de un dispositivo de medición interferométrica,

la figura 2, el desarrollo de una señal obtenida con un dispositivo de medición según la figura 1 con una modulación de frecuencia lineal de la fuente de luz en dos distancias distintas de una superficie a medir, y

la figura 3, el desarrollo de la frecuencia de luz de la fuente de luz según la figura 1 a través del tiempo con accionamiento con el modulador.

Ejemplo de realización

Un dispositivo de medición interferométrica mostrado en la figura 1 en forma de un interferómetro heterodino de varias longitudes de onda de frecuencia modulada presenta una fuente LQ de luz conectada a un modulador M para el accionamiento eléctrico, cuya luz se guía a través de un primer divisor ST1 de haz sobre una superficie de referencia en forma de otro divisor ST2 de haz y allí se divide en una onda RW de referencia de retorno y en una onda MW de medición que avanza hacia la superficie de un objeto O de medición a través de un espejo SP de desviación. La onda RW de referencia y la onda MW de medición de retorno se interfieren y se guían desde el primer divisor ST1 de haz a un fotodetector Ph que convierte la luz interferida y de este modo modulada en intensidad en señales eléctricas correspondientes y alimenta una electrónica A de análisis que está adicionalmente en conexión de señal con el modulador M.

La frecuencia f_L de luz de la fuente LQ de luz, por ejemplo un diodo láser, se desplaza por ejemplo linealmente desde el modulador M en su frecuencia, tal como se reproduce esquemáticamente en la figura 3. El haz de luz emitido desde la fuente de luz y con frecuencia modulada, que se acopla a la disposición a través del primer divisor ST1 de haz y se divide a continuación en la onda RW de referencia y la onda MW de medición, sufre una diferencia de tiempo de propagación debido a la diferencia de trayectoria geométrica de la onda RW de referencia y la onda MW de medición. Debido a la modulación de frecuencia y a la diferencia de tiempo de propagación aparece una modulación de fases diferente de las dos ondas de luz de interferencia, con lo cual se produce una modulación de intensidad de la luz en el fotodetector Ph. La modulación de intensidad se convierte en el fotodetector Ph en la señal eléctrica y se analiza con respecto a la señal del modulador para garantizar una relación temporal definida entre la señal del modulador y el análisis.

En la figura 2 se representa un desarrollo de la señal eléctrica creada por el fotodetector Ph para una modulación de frecuencia lineal, tal como se muestra por ejemplo en la figura 3, y dos distancias diferentes de la superficie del objeto O de medición. Mediante la medición de la fase $\Delta \varphi_1$, por ejemplo de un paso de seno, con respecto a la señal de modulación, puede medirse con precisión la variación ΔL de la distancia según la relación

$$\Delta L = \Delta \rho \cdot \lambda_1 / (4\pi),$$

en la que λ_1 indica la longitud de onda a una frecuencia f_{L1} de luz correspondiente a un punto t_1 de tiempo de la medición, tal como se ilustra en la figura 3.

La medición es unívoca si la diferencia de distancia entre dos puntos de medición es inferior a $\lambda_1 / 2$. La ampliación de la zona de univocidad del interferómetro se consigue mediante una segunda medición con la señal eléctrica, reali-

ES 2 269 578 T3

zando, tal como representa también en la figura 3, una medición de fases adicional en un punto t_2 de tiempo posterior presente dentro del mismo ciclo de desplazamiento de frecuencia (la rampa en la figura 3). En el punto t_2 de tiempo posterior, debido a la modulación de la frecuencia f_L de luz y por tanto de la longitud λ_1 de onda de luz, se obtiene la fase con longitud λ_2 de onda distinta según la relación

$$\Delta\varphi_2 = \Delta L \cdot 4 \cdot \pi / \lambda_2$$

a partir de las dos longitudes λ_1 y λ_2 de onda distintas. Las longitudes λ_1 , λ_2 de onda pueden diferenciarse unívocamente, por ejemplo dentro de un ciclo de medición, si los dos puntos t_1 y t_2 de tiempo correspondientes se encuentran cerca del inicio o del final del desplazamiento de frecuencia. Una longitud de onda sintética $\Lambda = \lambda_1 \cdot \lambda_2 / (\lambda_2 - \lambda_1)$ puede obtenerse entonces de una forma conocida *per se*. Basándose en la longitud Λ de onda sintética, puede determinarse la variación de la distancia con una resolución más pequeña a partir de las mediciones de fase en los puntos de tiempo t_1 y t_2 (en realidad, cortos intervalos de tiempo). Esta medición es unívoca si la variación de la distancia entre dos puntos de medición es inferior a la mitad de la longitud Λ de onda sintética. Por ejemplo, la diferencia $\lambda_2 - \lambda_1$ de longitud de onda puede elegirse, en comparación con el producto de las dos longitudes de onda, de tal forma que la longitud Λ de onda sintética sea de $\Lambda = 100 \mu\text{m}$.

Mediante la combinación de la medición exacta (medición precisa) y la medición con pequeña resolución (medición aproximada) puede realizarse una medición de gran resolución en una zona de univocidad grande. Las diferencias $\Delta\varphi_1$ y $\Delta\varphi_2$ de fase pueden determinarse de una forma conocida *per se* mediante la electrónica A de análisis, realizándose la determinación sin embargo de manera sucesiva temporalmente en los puntos t_1 y t_2 de tiempo y siendo las diferentes longitudes λ_1 y λ_2 de onda asociadas la base para la medición aproximada. La activación de las mediciones se realiza con ayuda de la señal del modulador.

Debido a las mediciones sucesivas temporalmente con las distintas longitudes λ_1 y λ_2 de onda obtenidas mediante la modulación de frecuencia de la frecuencia f_L de luz, se consigue una disposición de medición óptica de estructura sencilla sin unidad de descomposición espectral. En este sentido puede emplearse también otra estructura del dispositivo de medición interferométrica heterodina distinta de la figura 1, por ejemplo formando la onda RW de referencia y la onda MW de medición con brazos de medición separados, tal como se conoce *per se* en los interferómetros heterodinos.

También puede elegirse, en lugar de un interferómetro heterodino, otra disposición de medición con análisis de la diferencia de fases para la determinación de la distancia de la superficie, aunque la técnica heterodina permite no obstante un análisis más sencillo.

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento de medición interferométrica para detectar la forma o la distancia de superficies, en el que se crea luz, se modula en cuanto a su frecuencia, se guía por un lado sobre la superficie y por otro lado se alimenta a una superficie de referencia y se pone en interferencia y se guía a un fotodetector y se analiza una fase de la señal del fotodetector (Ph) para detectar la distancia respectiva, en el que se mide la fase al menos en dos puntos (t_1 y t_2) de tiempo distintos con las longitudes λ_1 , λ_2 de onda correspondientes en cada caso en función a la modulación de frecuencia y se alimenta para el análisis, en el que en un punto (t_1) de tiempo correspondiente a una longitud λ_1 de onda se determina una diferencia $\Delta\varphi_1$ de fase y se realiza una medición precisa según la relación

$$\Delta L = \Delta\rho \cdot \lambda_1 / (4\pi),$$

en la que ΔL significa la variación de la distancia en la superficie,

en el que en otro punto (t_2) de tiempo correspondiente a una longitud λ_2 de onda diferente se determina otra diferencia $\Delta\varphi_2$ de fase y en el que con la longitud de onda sintética

$$\Lambda = \lambda_1 \cdot \lambda_2 / (\lambda_2 - \lambda_1)$$

se realiza una medición aproximada de la superficie según la relación

$$\Delta L = \Delta\rho \cdot \lambda_1 / (4\pi).$$

2. Procedimiento de medición según la reivindicación 1, **caracterizado** porque la fase de la señal del fotodetector se obtiene con respecto a la frecuencia de la señal de modulación de la fuente de luz.

3. Dispositivo de medición interferométrica para la realización del procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, que está configurado de tal manera

- que se prevé una fuente (LQ) de luz que puede tener su frecuencia (f_L) modulada y que está conectada para ello a un modulador (M), cuya luz se divide a través de un divisor (ST2) de haz en una onda (RW) de referencia y una onda (MW) de medición que va a alimentarse a una superficie de un objeto (O) de medición, que se pone en interferencia, y

- que para captar la luz formada por las ondas de luz de interferencia y que presenta una modulación de intensidad y para generar una señal eléctrica correspondiente está previsto un fotodetector, que está conectado posteriormente a una electrónica (A) de análisis que está configurada para el análisis de las señales eléctricas de tal forma

a) que se mide la fase al menos en dos puntos (t_1 y t_2) de tiempo distintos con las longitudes λ_1 , λ_2 de onda correspondientes en cada caso debido a la modulación de frecuencia y se alimenta para el análisis, determinándose en un punto (t_1) de tiempo correspondiente a una longitud λ_1 de onda una diferencia $\Delta\varphi_1$ de fase y realizándose una medición precisa según la relación

$$\Delta L = \Delta\rho \cdot \lambda_1 / (4\pi),$$

en la que ΔL significa la variación de la distancia en la superficie,

b) en otro punto (t_2) de tiempo correspondiente a una longitud λ_2 de onda diferente se determina otra diferencia $\Delta\varphi_2$ de fase y

c) se forma una longitud de onda sintética

$$\Lambda = \lambda_1 \cdot \lambda_2 / (\lambda_2 - \lambda_1)$$

y con ella se realiza una medición aproximada de la superficie según la relación

$$\Delta L = \Delta\rho \cdot \lambda_1 / (4\pi).$$

4. Dispositivo según la reivindicación 3, **caracterizado** porque, para la elección de los puntos (t_1 y t_2) de tiempo, la electrónica (A) de análisis está unida para la señalización al modulador (M).

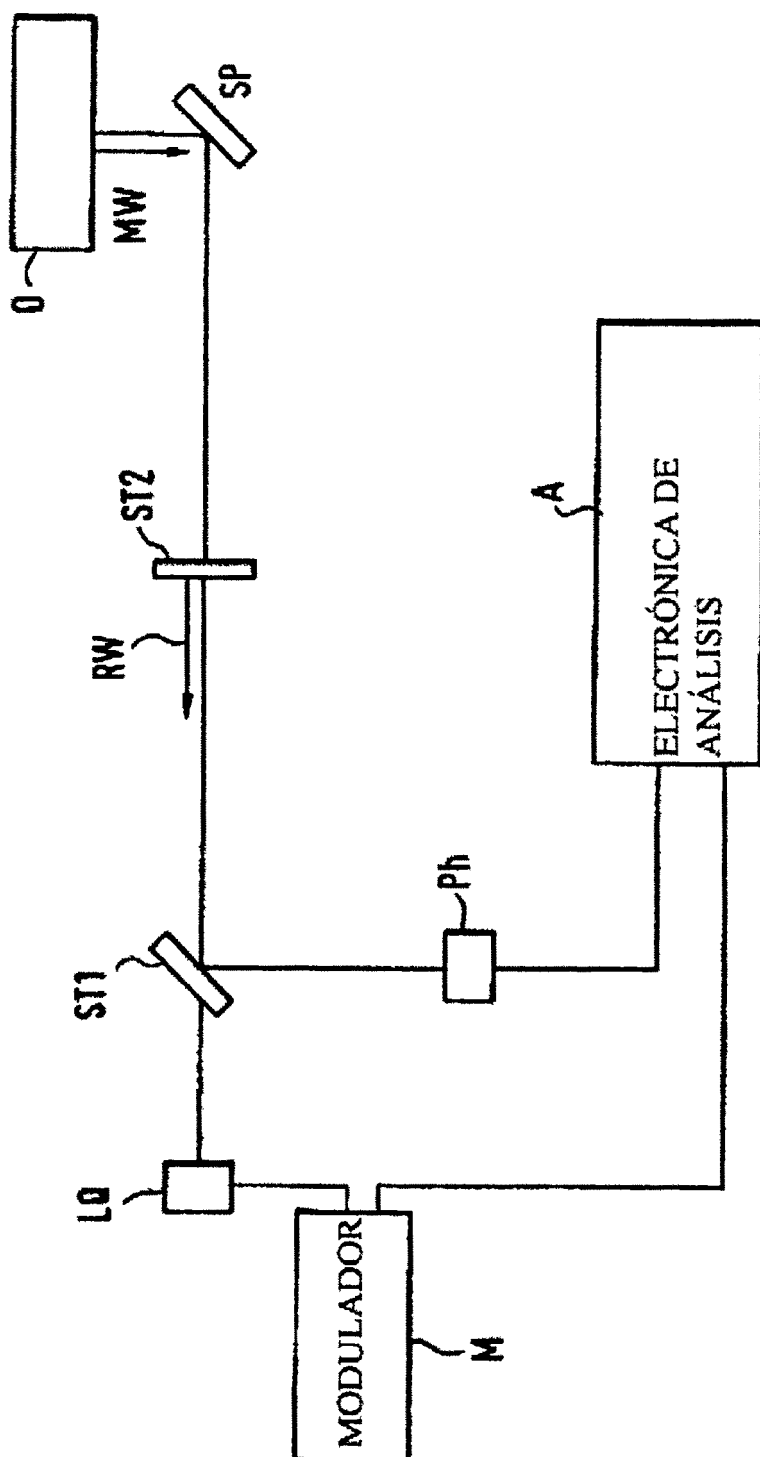


Fig.1

