

(12) Wirtschaftspatent

Erteilt gemäß § 17 Absatz 1 Patentgesetz

(19) DD (11) 267 787 A1

4(51) G 01 B 9/02

AMT FÜR ERFINDUNGS- UND PATENTWESEN

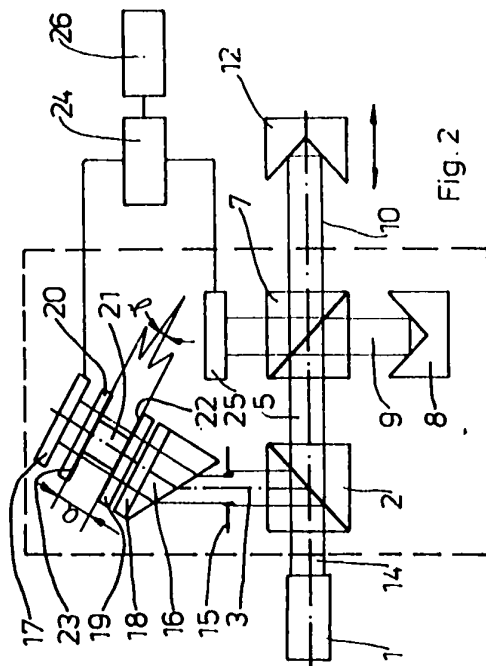
In der vom Anmelder eingereichten Fassung veröffentlicht

(21) WP G 01 B / 309 884 5 (22) 03.12.87 (44) 10.05.89

(71) VEB Carl Zeiss JENA, Carl-Zeiss-Straße 1, Jena, 8900, DD
 (72) Krieg, Werner, DD

(54) Interferometrisches Meßsystem mit Wellenlängenkorrektureinrichtung des Laserlichtes, insbesondere für Längenmessungen

(55) interferometrisches Meßsystem, Länge, Wellenlängenkorrektur, Einrichtung, Fizeau-Interferometer, Auswerteeinheit, Rechner, Fotoempängerzeile, Blende
 (57) Es wird ein interferometrisches Meßsystem mit Wellenlängenkorrektureinrichtung des Laserlichtes, insbesondere für Längenmessungen an Meßgeräten oder Werkzeugmaschinen beschrieben, welches einen Interferometer- und einen Korrekturstrahlengang (3) umfaßt, in welchem mindestens ein als Korrektureinrichtung dienendes Multipel-Fizeau-Interferometer mit zugeordnetem den Strahlenbündelquerschnitt veränderndem Element angeordnet ist. Dem Multipel-Fizeau-Interferometer ist eine Fotoempängerzeile 17 zur Abtastung der Interferenzstreifen nachgeordnet. Durch eine Auswerteeinheit 24 oder Rechner werden aus Korrektursignalen und den Signalen des vorgesehenen Längenmeßinterferometers 6 korrigierte Meßwerte ermittelt. Fig. 2



Patentansprüche:

1. Interferometrisches Meßsystem mit Wellenlängenkorrekturereinrichtung, insbesondere für Längenmessungen, umfassend eine Laserlichtquelle, in Lichtrichtung einen, einen Korrekturstrahlengang und einen Interferometerstrahlengang erzeugenden, ersten Strahlenteiler und einen, einen Referenz- und Meßstrahlengang erzeugenden, zweiten Strahlenteiler, wobei im Referenzstrahlengang ein fester Referenzreflektor, im Meßstrahlengang ein verschiebbarer Meßreflektor und im Korrekturstrahlengang eine Wellenlängenkorrekturereinrichtung vorgesehen sind, und daß eine, die Interferenzen zählende Zählereinrichtung vorgesehen ist, die mit einer Auswerteeinheit oder mit einem Rechner verbunden ist, **dadurch gekennzeichnet**, daß im Korrekturstrahlengang (3) mindestens ein, als Wellenlängenkorrekturereinrichtung (4) dienendes, an sich bekanntes Multipel-Fizeau-Interferometer (29; 30) mit zugeordnetem, den Strahlenbündelquerschnitt in einer Ebene veränderndem Element angeordnet ist, und daß dem Multipel-Fizeau-Interferometer eine die Interferenzstreifen abtastende Fotoempfängerzeile (17) nachgeordnet ist, welche mit der Auswerteeinheit (24) oder mit dem Rechner verbunden ist.
2. Meßsystem nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß zwischen dem den Korrekturstrahlengang (3) erzeugenden Strahlenteiler (2) und dem Multipel-Fizeau-Interferometer eine schlitzförmige Blende (15) vorgesehen ist und daß das, den Strahlenbündelquerschnitt verändernde Element ein Prisma (16; 35; 36) ist, dessen Keilwinkel vorzugsweise dem Brèwsterwinkel entspricht und welchem unmittelbar eine $\frac{\lambda}{4}$ -Platte (18) zugeordnet ist.
3. Meßsystem nach Anspruch 1 und 2, **dadurch gekennzeichnet**, daß der Blende (15) ein Strahlenteiler (28) nachgeordnet ist, in dessen zwei Ausgangsstrahlengängen jeweils ein Multipel-Fizeau-Interferometer (29; 30) mit zugeordnetem, strahlenveränderndem Prisma (35; 36) angeordnet ist.
4. Meßsystem nach Anspruch 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Fotoempfängerzeile (17) eine CCD-Zeile ist.

Hierzu 1 Seite Zeichnungen

Anwendungsgebiet der Erfindung

Die Erfindung betrifft ein Interferometrisches Meßsystem mit Wellenlängenkorrekturereinrichtung des Laserlichtes, insbesondere für Längenmessungen an Werkzeugmaschinen oder Koordinatenmeßgeräten.

Charakteristik der bekannten technischen Lösungen

In „Feinwerktechnik und Meßtechnik“ 87 (1979), 8, Seiten 370 bis 372, ist ein Interferometer mit Wellenlängenkorrekturereinrichtung beschrieben, bei dem das von einem Laser austretende Licht durch einen Strahlenteiler aufgespalten wird und bei welchem ein Strahlenbündel einer, einen Referenzzähler ansteuernden Fotodiode zugeführt wird. Es ist ein zweiter Strahlenteiler vorgesehen, der ein Teilstrahlenbündel auf ein als wellenlängenetalon dienendes Fabry-Perot-Interferometer lenkt, wo das entstehende Interferenzringsystem vergrößert durch ein Fernrohr in die Ebene eines Differenzfotoempfängers abgebildet wird, welche den Interferenzring einfängt. Sobald sich der Brechungsindex im Fabry-Perot-Interferometer ändert, wird durch den Differenzfotoempfänger infolge der Verlagerung des Interferenzringes ein Regelsignal erzeugt, mit Hilfe dessen die Frequenz des Lichtes des Lasers solange verändert wird, bis der Interferenzring wieder eine Lage auf dem Differenzfotoempfänger eingenommen hat, bei welcher kein Regelsignal mehr entsteht. Dem zweiten Strahlenteiler ist in seinem anderen Teilstrahlenbündel das Längenmeßinterferometer mit Strahlenteilerblock, Meß- und Referenzreflektor nachgeordnet. Das Fabry-Perot-Interferometer muß jedoch in seiner Länge so bemessen sein, daß sein Regelbereich mit der Laserlichtquelle übereinstimmt.

Gemäß einer weiteren Einrichtung ist zur Bestimmung der Anzahl Interferenzen im Interferometer für die Feinregelung, wie oben beschrieben, und deren Eingabe in den Rechner als Multiplikationskonstante für das Längenmeßinterferometer ein weiteres Fabry-Perot-Interferometer sehr viel kürzerer Baulänge vorgesehen, dessen großer Meßbereich bei niedriger Auflösung von einem Interferenzring eindeutig überstrichen wird. Im Bildfeld befinden sich mehrere Fotoempfänger, denen jeweils im Rechner eine Multiplikationskonstante zugeordnet ist, mit welcher der Wellenlängenkorrekturwert errechnet wird.

Diese Einrichtung besitzt den Nachteil eines komplizierten Aufbaus und einer erheblichen Baugröße, die dadurch bedingt ist, daß die im Fabry-Perot-Interferometer gebildeten Interferenzen gleicher Neigung erst durch Abbildung durch ein optisches System in der Ebene der Fotoempfänger abtastbar werden. Große Abmessungen sind beim Einbau am Meßort oder in gekapselter Lasermeßsysteme hinderlich.

Ziel der Erfindung

Es ist Ziel der Erfindung, die Nachteile des Standes der Technik zu beseitigen und den Gebrauchswert wellenlängenkorrigierter Lasermeßsysteme für Längenmessungen zu erhöhen.

Wesen der Erfindung

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein interferometrisches Meßsystem mit Wellenlängenkorrektur einrichtung des Laserlichtes zu schaffen, wobei die Korrektur einrichtung durch extrem kleine Bauweise in ein Interferometer für Längenmessungen integrierbar ist.

Erfindungsgemäß wird diese Aufgabe bei einem interferometrischen Meßsystem mit Wellenlängenkorrektur einrichtung, insbesondere für Längenmessungen, umfassend eine Laserlichtquelle, in Lichtrichtung einen, einen Korrekturstrahlengang und einen Interferometerstrahlengang erzeugenden, ersten Strahlenteiler und einen, einen Referenz- und Meßstrahlengang erzeugenden, zweiten Strahlenteiler, wobei im Referenzstrahlengang ein fester Referenzreflektor, im Meßstrahlengang ein verschiebbarer Meßreflektor und im Korrekturstrahlengang eine Wellenlängenkorrektur einrichtung vorgesehen sind, und daß eine, die Interferenzen zählende Zähl einrichtung vorgesehen ist, die mit einer Auswerteeinheit oder mit einem Rechner verbunden ist, dadurch gelöst, daß im Korrekturstrahlengang mindestens ein, als Wellenlängenkorrektur einrichtung dienendes, an sich bekanntes Multipel-Fizeau-Interferometer mit zugeordnetem, den Strahlenbündelquerschnitt in einer Ebene veränderndem Element angeordnet ist, und daß dem Multipel-Fizeau-Interferometer eine die Interferenzstreifen abtastende Fotoemp fängerzeile nachgeordnet ist, welche mit der Auswerteeinheit oder mit dem Rechner verbunden ist. Dabei ist es vorteilhaft, wenn zwischen dem den Korrekturstrahlengang erzeugenden Strahlenleiter und dem Multipel-Fizeau-Interferometer eine schlitzförmige Blende vorgesehen ist und daß das, den Strahlenbündelquerschnitt verändernde Element ein Prisma ist, dessen Keilwinkel vorzugsweise dem Brewsterwinkel entspricht und welchem unmittelbar eine $\frac{\lambda}{4}$ -Platte zugeordnet ist.

Weiterhin ist es vorteilhaft, wenn der Blende ein Strahlenteiler nachgeordnet ist, in dessen zwei Ausgangsstrahlengängen jeweils ein Multipel-Fizeau-Interferometer mit zugeordnetem, strahlenverengendem Prisma angeordnet ist.

Es ist ferner vorteilhaft, wenn die Fotoemp fängerzeile eine CCD-Zeile ist.

Durch die Anordnung eines oder mehrerer Multipel-Fizeau-Interferometer im Korrekturstrahlengang wird eine extrem kleine Wellenlängenkorrektur einrichtung realisiert, welche in das Interferometer für Längenmessungen integrierbar ist, so daß eine Installation des interferometrischen Meßsystems an jedem Ort möglich ist. Gesonderte Geber oder Meßstrecken für die Bestimmung des Brechungsindex der Luft während der betreffenden Längenmessungen sind nicht erforderlich. Durch die Kleinheit der Einrichtung erfolgt eine Anpassung an die betreffende Lufttemperatur am Meßort in relativ kurzer Zeit, so daß die Zeiten für Messungen verkürzt werden können. Insbesondere bei wechselnden Umwelteinflüssen wirkt sich diese Tatsache positiv aus. Die Kleinheit der Korrektur einrichtung ermöglicht die Realisierung von gekapselten Laserwegmeßsystemen für die unterschiedlichsten Anwendungsfälle an Werkzeugmaschinen und Meßgeräte.

Ausführungsbeispiel

Die Erfindung soll nachstehend an einem Ausführungsbeispiel näher erläutert werden. In der Zeichnung zeigen

Fig. 1: ein gekapseltes interferometrisches Meßsystem,

Fig. 2: ein Meßsystem mit Multipel-Fizeau-Interferometer zur Wellenlängenkorrektur und

Fig. 3: ein Meßsystem mit zwei Multipel-Fizeau-Interferometern und erweitertem Meßbereich.

Das in Fig. 1 schematisch dargestellte interferometrische Meßsystem mit Laserlichtquelle 1 umfaßt einen ersten Strahlenteiler 2, der einen Korrekturstrahlengang 3 für eine Wellenlängenkorrektur einrichtung 4 und einen Interferometerstrahlengang 5 für ein Längenmeßinterferometer 6 erzeugt. Das Längenmeßinterferometer 6 umfaßt einen zweiten Strahlenteiler 7 (Fig. 2) und einen Referenzreflektor 8. Mit dem zweiten Strahlenteiler 7 werden ein Referenzstrahlengang 9 und ein Meßstrahlengang 10 in bekannter Weise erzeugt (Fig. 2). Ein mit Meßobjekt 11 verbundener Meßreflektor 12 ist im Meßstrahlengang 10 angeordnet. Zum Schutz gegen Umwelteinflüsse sind die zu einer Einheit verbundenen Wellenlängenkorrektur einrichtung 4, Längenmeßinterferometer 6 und Meßreflektor 12 vorteilhaft in einem, z. B. an der Werkzeugmaschine befestigten Hülsystem 13 (Kapsel) angeordnet.

Bei dem in Fig. 3 dargestellten interferometrischen Meßsystem ist der Laserlichtquelle 1 der erste Strahlenteiler 2 in Lichtrichtung nachgeordnet, welcher den Korrekturstrahlengang 3 und den Interferometerstrahlengang 5 aus dem Laserlichtbündel 14 erzeugt. Im Korrekturstrahlengang 3 ist vorteilhaft eine das Strahlenbündel bis auf einen Streifen seines Kerns eingrenzende Blende 15 vorgesehen. Das die Blende 15 passierende streifenförmige Lichtbündel wird durch ein strahlenaufweitendes Prisma 16, dessen Keilwinkel vorzugsweise dem Brewsterwinkel entspricht, auf die Länge einer Fotoemp fängerzeile 17, z. B. CCD-Zeile, aufgeweitet. Dem Prisma 16 folgt im Korrekturstrahlengang 3 eine $\frac{\lambda}{4}$ -Platte 18, um im Zusammenwirken mit dem als Polarisationssteiler ausgeführten Teiler 2 negative Beeinflussungen der Laserlichtquelle 1 zu vermeiden. Ein im Korrekturstrahlengang 3 angeordnetes Multipel-Fizeau-Interferometer umfaßt die Platten 19 und 20 aus Quarzglas mit teilverspiegelten Innenflächen 22 und 23, die durch ein Distanzstück 21, vorzugsweise aus Quarzglas, in einem festen Abstand a gehalten werden. Die Platten 19 und 20 bilden einen Winkel γ , wobei $\tan \gamma = \frac{\lambda}{2 \cdot a}$, und λ die Wellenlänge des

Lichtes und l der mittlere Abstand der Interferenzstreifen auf der Fotoempfängerzeile 17 sind. Der mittlere Abstand a der Platten 19 und 20 ist

$$a \approx \frac{\lambda}{2} \cdot \frac{b}{c},$$

wobei b die relative Auflösung der Fotoempfängerzeile 17 und c die relative Gesamtauflösung sind.

Wenn man beispielsweise für eine aus 512 Elementen bestehende CCD-Zeile eine mit scharfem Interferenzstreifenmuster erzielbare Auflösung von $b = 5 \cdot 10^{-3}$ annimmt und eine Gesamtauflösung c von $5 \cdot 10^{-6}$ fordert, ergibt sich ein Abstand a der Platten 19 und 20 des Multipel-Fizeau-Interferometers von $a \geq 3,2$ mm. Der dieser Größe zugeordnete Meßbereich beträgt bei einem Informationsumfang von $2 \cdot 10^2$ bis $1 \cdot 10^{-4}$ des Brechungsindex der Luft.

Die Fotoempfängerzeile 17 ist mit einer Auswerteeinheit 24 oder einem Rechner verbunden. Die durch die Fizeau-Interferenzen bedingten Signale der Korrekturereinrichtung 4 werden lageabhängig in an sich bekannter Weise mit der Fotoempfängerzeile 17 (CCD-Zeile) abgegriffen und in der Auswerteeinheit 24 verarbeitet, derart, daß eine Umrechnung der aus den, von der Empfängeranordnung 25 des Längenmeßinterferometers 6 erzeugten Signalen ermittelten Längenmeßwerte auf Normalbedingungen erfolgt. Der Auswerteeinheit 24 oder dem Rechner kann eine Anzeigeeinrichtung 26 nachgeordnet sein. Bei dem Meßsystem nach Fig. 3 ist im Korrekturstrahlengang 3 nach der Blende 15 ein mit einem Polarisationsselement 27 versehener Strahlenteiler 28 angeordnet, dem zwei Multipel-Fizeau-Interferometer 29 und 30 unterschiedlichen Meßraumes nachgeordnet sind, die den grundsätzlich gleichen Aufbau wie das Multipel-Fizeau-Interferometer nach Fig. 2 besitzen. Der Raum zwischen den teilverspiegelten Flächen 31 und 32 bzw. 33 und 34 dient zur Erfassung der wirksamen Wellenlänge. Durch die Anordnung eines zweiten Fizeau-Interferometers (z. B. 30) mit wesentlich kleinerem Plattenabstand ist es möglich, durch Lagebestimmung der dort entstehenden Interferenzstreifen gleicher Dicke auf die Ordnung der im Raum zwischen den Flächen 31 und 32 auftretenden Streifen zu schließen.

Den Fizeau-Interferometern 29 und 30 ist jeweils ein strahlenverengendes Prisma 35, 36 zur Strahlenkonzentration der Bündel auf die Fotoempfängerzeile 37. Die Anordnung zweier Fizeau-Interferometer ermöglicht die Erweiterung des Korrekturbereiches bei interferometrischen Meßsystemen sowie eine Verbesserung der Gesamtauflösung und der Genauigkeit.

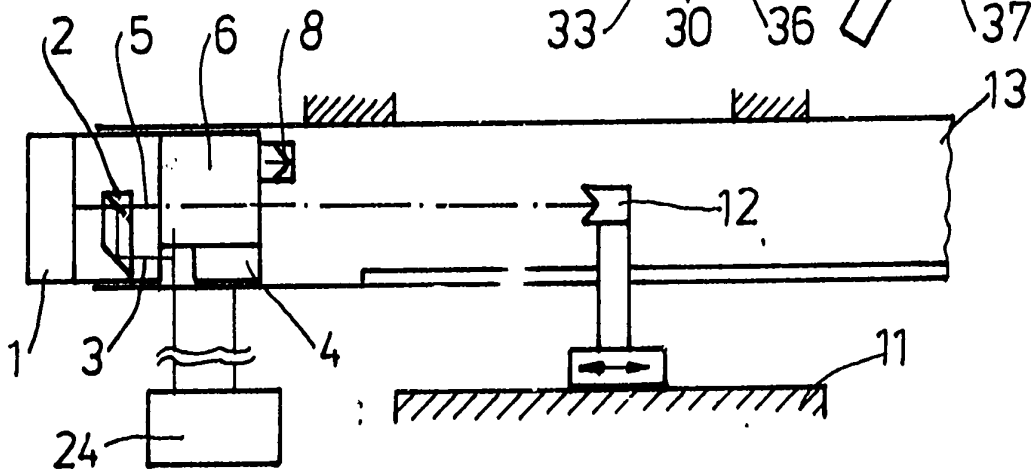
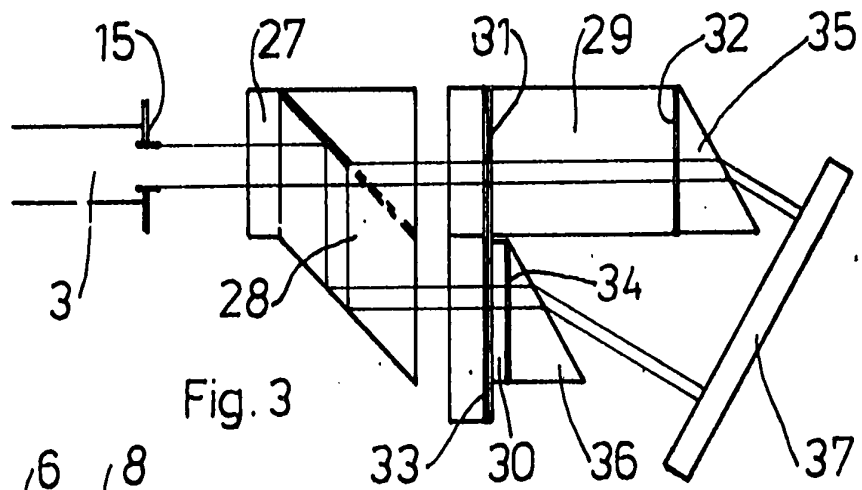
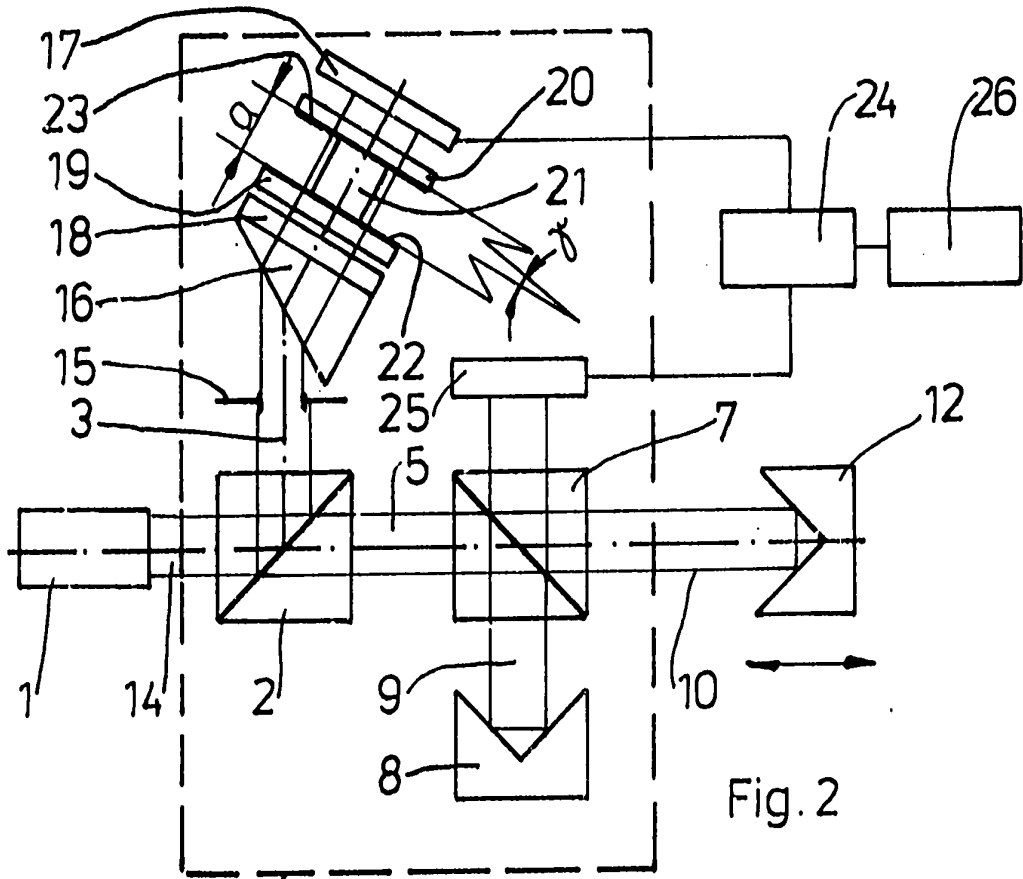


Fig. 1