**PCT** WELTORGANISATION FÜR GEISTIGES EIGENTUM
Internationales Büro
INTERNATIONALE ANMELDUNG VERÖFFENTLICHT NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT)

**(51) Internationale Patentklassifikation 5 :** G01B 9/02

A1

**(11) Internationale Veröffentlichungsnummer:** WO 94/07109

**(43) Internationales Veröffentlichungsdatum:** 31. März 1994 (31.03.94)

**(21) Internationales Aktenzeichen:** PCT/DE93/00843

**(22) Internationales Anmeldedatum:** 13. September 1993 (13.09.93)

**(30) Prioritätsdaten:**
P 42 30 748.1 14. September 1992 (14.09.92) DE

**(71) Anmelder** *(für alle Bestimmungsstaaten ausser US):* JOHANNES HEIDENHAIN GMBH [DE/DE]; Postfach, D-83301 Traunreut (DE). FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT ZUR FÖRDERUNG DER ANGEWANDTEN FORSCHUNG E.V. [DE/DE]; Leonrodstraße 54, D-80636 München (DE).

**(72) Erfinder; und**
**(75) Erfinder/Anmelder** *(nur für US) :* HANTEL, Peter [DE/DE]; In den Hessengärten 10, D-61352 Bad Homburg (DE). THIEL, Jürgen [DE/DE]; Siemensstraße 11, D-52074 Aachen (DE).

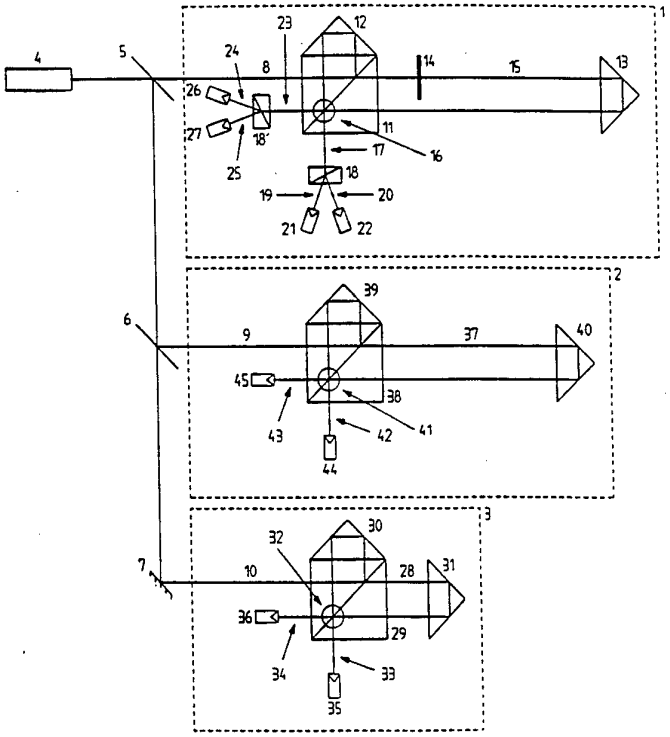
**(74) Anwalt:** KÖNIG, Werner, E.; Habsburgerallee 23-25, D-52064 Aachen (DE).

**(81) Bestimmungsstaaten:** JP, US, europäisches Patent (AT, CH, DE, FR, GB, IT).

**Veröffentlicht**
*Mit internationalem Recherchenbericht.*

**(54) Title:** INTERFEROMETRIC MEASUREMENT PROCESS AND LASER INTERFEROMETER THEREFOR

**(54) Bezeichnung:** INTERFEROMETRISCHES MESSVERFAHREN SOWIE FÜR SEINE DURCHFÜHRUNG GEEIGNETE LASERINTERFEROMETERANORDNUNG



**(57) Abstract**

In relevant interferometers, mode jump-free variable semiconductor lasers are increasingly used. They have however the disadvantage that the resonance wavelength is strongly dependent on the operation parameters. The object of the invention is therefore to create an interferometric measurement process as well as a laser interferometer therefor which effectively avoids this dependence, with respect to the state-of-the-art, even at very marked variations of operation conditions. For that purpose, at least two mutually stepped regulating interferometers (2, 3) in cascade with respect to the regulating section (28, 37) are provided. When a suitable signal threshold (46a, 47b, 46b, 47a) is exceeded or not reached, the following regulating interferometer having the shorter or longer regulating section is switched on. This invention is particularly suitable for laser interferometers with wavelength-regulatable laser sources in order to maintain constant the air wavelength during interferometric measurements, for example during position measurements in CNC-controlled machine tools, for measuring the straightness of guiding paths or machine axes, or for high precision interferometric measurements of angles.

**(57) Zusammenfassung** Bei den einschlägigen Interferometern werden zunehmend modensprungfrei durchstimmbare Halbleiterlaser eingesetzt. Diese haben jedoch den Nachteil, daß die Resonanzwellenlänge stark von den Betriebparametern abhängt. Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es daher, ein interferometrisches Meßverfahren sowie eine für seine Durchführung geeignete Laserinterferometeranordnung zu realisieren, die diese Abhängigkeit - gegenüber dem Stand der Technik - auch bei sehr starken Änderungen der Betriebsbedingungen wirksam vermeidet. Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß dadurch gelöst, daß wenigstens zwei bezüglich der Regelstrecke (28, 37) kaskadenartig gegeneinander abgestufte Regelinterferometer (2, 3) vorgesehen sind und daß beim Über- bzw. Unterschreiten einer geeigneten Signalschwelle (46a, 47b, 46b, 47a) jeweils auf das nächstfolgende Regelinferferometer mit der kürzeren bzw. längeren Regelstrecke umgeschaltet wird. Die Erfindung eignet sich insbesondere für den Einsatz in Laserinterferometern mit wellenlängenregelbaren Laserquellen, um die Luftwellenlänge bei interferometrischen Messungen konstant zu halten, beispielsweise bei Positionsmessungen an CNC-gesteuerten Werkzeugmaschinen, bei der Messung der Geradheit von Führungsbahnen oder Maschinenachsen oder bei hochgenauen interferometrischen Winkelmessungen.

*LEDIGLICH ZUR INFORMATION*

Code, die zur Identifizierung von PCT-Vertragsstaaten auf den Kopfbögen der Schriften, die internationale Anmeldungen gemäss dem PCT veröffentlichen.

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| AT | Österreich | FI | Finnland | MR | Mauritanien |
| AU | Australien | FR | Frankreich | MW | Malawi |
| BB | Barbados | GA | Gabon | NE | Niger |
| BE | Belgien | GB | Vereinigtes Königreich | NL | Niederlande |
| BF | Burkina Faso | GN | Guinea | NO | Norwegen |
| BG | Bulgarien | GR | Griechenland | NZ | Neuseeland |
| BJ | Benin | HU | Ungarn | PL | Polen |
| BR | Brasilien | IE | Irland | PT | Portugal |
| BY | Belarus | IT | Italien | RO | Rumänien |
| CA | Kanada | JP | Japan | RU | Russische Föderation |
| CF | Zentrale Afrikanische Republik | KP | Demokratische Volksrepublik Korea | SD | Sudan |
| CG | Kongo | KR | Republik Korea | SE | Schweden |
| CH | Schweiz | KZ | Kasachstan | SI | Slowenien |
| CI | Côte d'Ivoire | LI | Liechtenstein | SK | Slowakischen Republik |
| CM | Kamerun | LK | Sri Lanka | SN | Senegal |
| CN | China | LU | Luxemburg | TD | Tschad |
| CS | Tschechoslowakei | LV | Lettland | TG | Togo |
| CZ | Tschechischen Republik | MC | Monaco | UA | Ukraine |
| DE | Deutschland | MG | Madagaskar | US | Vereinigte Staaten von Amerika |
| DK | Dänemark | ML | Mali | UZ | Usbekistan |
| ES | Spanien | MN | Mongolei | VN | Vietnam |

# INTERFEROMETRISCHES MEßVERFAHREN SOWIE FÜR SEINE DURCHFÜHRUNG GEEIGNETE LASERINTERFEROMETERANORDNUNG

## Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein interferometrisches Meßverfahren, insbesondere zur Längenmessung mittels eines Lasers, bei dem im Betriebszustand eines Meßinterferometers die Laserwellenlänge in der Weise geregelt wird, daß sich das mit der Laserwellenlänge in Form einer Welle periodisch ändernde Ausgangssignal eines Regelinterferometers innerhalb einer Wellenperiode auf einen Wert beispielsweise im Bereich einer Wellenflanke einstellt und Änderungen des Betriebszustandes des Meßinterferometers, d.h. der Laserfrequenz und/oder der Wellenlänge des Laserstrahls, in der Regelstrecke des Regelinterferometers erfaßt und über den Betriebsstrom und/oder die Temperatur des Lasers mit entsprechender Wirkung für das Meßinterferometer kompensiert werden, sowie eine für seine Durchführung geeignete Laserinterferometeranordnung mit einem in einem vorgegebenen Wellenlängenbereich modensprungfrei und kontinuierlich durchstimmbaren Laser, einem ersten Meß- und einem ersten Regelinterferometer mit jeweils einer Meß- bzw. Regelstrecke, wobei die Interferometerarme des Regelinterferometers eine konstante Längendifferenz zueinander aufweisen, weiter mit einem Primärstrahlteiler zur Aufspaltung des einfallenden Laserstrahls, wodurch die Interferometer von der Strahlung desselben Lasers beaufschlagt werden, wobei das Meßinterferometer zur Bildung von mindestens zwei miteinander interferierenden Teilstrahlen wenigstens einen ersten nichtpolarisierenden Strahlteiler, zwei Retroreflektoren oder anstelle davon z.B. einen oder mehrere Spiegel oder 90°-Prismen aufweist, ferner mit Mitteln zur Erzeugung von jeweils gegeneinander phasenverschobenen Strahlkomponenten für die Richtungserkennung von Längenänderungen der Meßstrecke, wie z.B. Lambda/4- oder Lambda/8-Platten sowie

Mitteln zur Trennung der phasenverschobenen Strahlkomponenten, wie z.B. polarisierende Strahlteiler oder Wollaston-Prismen und mit wenigstens einem Photodetektor zur Erfassung des Interferenzsignals, und wobei das Regelinterferometer zur Bildung von mindestens zwei miteinander interferierenden Teilstrahlen wenigstens einen ersten Strahlteiler, zwei Retroreflektoren oder anstelle davon z.B. einen oder mehrere Spiegel oder 90'-Prismen sowie wenigstens einen Photodetektor zur Erfassung des Interferenzsignals hat, schließlich mit einer Regelungseinrichtung für die Laserwellenlänge.

Bei Interferometern der eingangs genannten Art werden zunehmend modensprungfrei durchstimmbare Halbleiterlaser eingesetzt. Ein Grund dafür sind besonders die relativ geringen Stückkosten für Laserdioden im Vergleich mit herkömmlichen Laserquellen. Darüberhinaus sind aber gerade Laserdioden gegenüber z.B. Helium-Neonlasern in einem um etwa zwei Größenordnungen breiteren Wellenlängenbereich kontinuierlich durchstimmbar. Demgegenüber haben jedoch Halbleiterlaser den Nachteil, daß ihre Resonanzwellenlänge stark von den Betriebsparametern der Laserdiode abhängt, wodurch die Laserwellenlänge zeitlichen Schwankungen unterworfen ist. Daneben können auch Schwankungen der Luftwellenlänge in der Meß- bzw. Regelstrecke dadurch auftreten, daß der Laserstrahl streckenweise frei durch Luft geführt wird, deren Brechungsindex ebenfalls Schwankungen, beispielsweise infolge einer Änderung der Umgebungstemperatur, der Luftfeuchtigkeit oder des $CO_2$-Gehaltes der Luft unterworfen sein kann.

Dieser Problematik wird bei dem aus der DE-PS 3 404 963 bereits bekannten Halbleiterlaser-Interferometer dadurch begegnet, daß neben dem eigentlichen Meßinterferometer ein weiteres Interferometer zur Regelung der Luftwellenlänge Verwendung findet. Dieses sogenannte Regelinterferometer ist derart ausgebildet, daß die Interferometerarme eine konstante Längendifferenz zueinander aufweisen. Sowohl das

Meß- als auch das Regelinterferometer werden von der Strahlung derselben Laserdiode beaufschlagt. Ändert sich nun die Luftwellenlänge innerhalb der Meßstrecke des Regelinterferometers (im folgenden als "Regelstrecke" bezeichnet), beispielsweise aufgrund von Brechungsindexschwankungen des durchstrahlten Mediums oder Wellenlängenschwankungen der Laserdiode selbst, so ändern sich die Intensitäten der beiden phasenverschobenen Ausgangssignale des Regelinterferometers. Die Ausgangssignale werden mit Hilfe eines Reglers, der die Laserwellenlänge mittels des Stromes oder der Temperatur der Laserdiode verändert, auf konstanter Intensität gehalten, was im einfachsten Fall dadurch realisierbar ist, daß die Differenz der beiden Ausgangssignale auf den Wert Null geregelt wird. Da aufgrund der räumlichen Anordnung von Meß- und Regelstrecke angenommen werden kann, daß ihre Umgebungsbedingungen nahezu identisch sind, werden hierdurch ebenso die eigentlich interessierenden Schwankungen der Luftwellenlänge in der Meßstrecke kompensiert.

Das Differenzsignal ändert sich periodisch mit der Laser- bzw. Luftwellenlänge, so daß beim Einschalten des Lasers gewährleistet sein muß, daß diese Wellenlänge innerhalb des Bereichs liegt, der dieser Periode entspricht. Ist dies nicht der Fall, so wird auf eine andere Wellenlänge geregelt. Die Periode des Differenzsignals wird mit länger werdender Regelstrecke kleiner, so daß der zulässige Bereich der Wellenlänge der Laserdiode beim Einschalten kleiner wird. Da jedoch die Luftwellenlänge empfindlich von den Luftparametern Temperatur und Druck abhängig ist, darf - um das Erreichen einer bestimmten Periode des Differenzsignals sicherzustellen - die Regelstrecke nicht länger als ca. 2 cm sein, falls eine Temperaturdifferenz der Umgebungsluft von ±5° C zugelassen wird. Zudem ist durch plötzliche starke Änderungen des Brechungsindexes der Luft, beispielsweise aufgrund von Luftströmungen, die Gefahr gegeben, daß sich die Wellenlänge derart ändert, daß das Differenzsignal in eine benachbarte Interferenzordnung überspringt und dem-

nach das Regelinterferometer auf eine andere Wellenlänge regelt. Andererseits ist aber auch gerade eine größere Regelstreckenlänge erwünscht, da die Empfindlichkeit der Wellenlängenregelung mit der Länge der Regelstrecke zunimmt.

Aus dieser Problematik leitet sich nun die Aufgabe der vorliegenden Erfindung ab, nämlich ein interferometrisches Meßverfahren sowie eine für seine Durchführung geeignete Laserinterferometeranordnung zu realisieren, die gleichzeitig die Eindeutigkeit der Luftwellenlänge beim Einschalten gewährleistet sowie eine möglichst empfindliche Regelung mit einer relativen Unsicherheit von $10^{-8}$ zuläßt, welche zudem ein Überspringen auf benachbarte Regelpunkte erkennt.

Diese Aufgabe wird bei einem Verfahren der eingangs bezeichneten Gattung dadurch gelöst, daß wenigstens zwei Regelinterferometer mit voneinander abweichenden Regelstrekkenlängen eingesetzt werden, wobei beispielsweise im Bereich der Wellenflanken der Regelinterferometer eine oder zwei obere sowie eine oder zwei untere Signalschwellen gesetzt werden, und daß beim Überschreiten einer ersten oberen oder beim Unterschreiten einer ersten unteren Signalschwelle auf das nächstfolgende Regelinterferometer mit der kürzeren Regelstrecke umgeschaltet wird, sofern nicht das Regelinterferometer mit der kürzesten Regelstrecke bereits aktiv ist, und daß beim Unterschreiten einer zweiten - im allgemeinen kleineren oder maximal gleichen - oberen Signalschwelle oder Überschreiten einer zweiten - im allgemeinen größeren oder minimal gleichen - unteren Signalschwelle auf das nächstfolgende Regelinterferometer mit der längeren Regelstrecke umgeschaltet wird, sofern nicht das Regelinterferometer mit der längsten Regelstrecke bereits aktiv ist. Im allgemeinen ist das Regelinterferometer mit der kürzesten Regelstrecke beim Einschaltvorgang aktiv, um dabei die Eindeutigkeit der Luftwellenlänge zu gewährleisten, dagegen wird mittels des Regelinterferometers mit der längsten Regelstrecke die empfindlichste Wellenlängenregelung mit der höchsten Wellenlängenstabilität durchgeführt.

Die Länge der kürzesten Regelstrecke richtet sich dabei zum einen nach der Größe der zugelassenen Brechungsindexänderung beim Einschalten und zum anderen nach der Genauigkeit, mit der die Laserwellenlänge über die Betriebsparameter der Laserquelle reproduzierbar eingestellt werden kann. Die Regelung kann beispielsweise derart durchgeführt werden, daß beim Einschalten der Laserquelle die Luftwellenlänge in der Regelstrecke mit den Betriebsparametern der Laserquelle voreingestellt wird, so daß die einer bestimmten Luftwellenlänge entsprechende Periode des Differenzausgangssignals des derzeit aktiven Regelinterferometers getroffen wird und anschließend mittels des Reglers und der kürzesten Regelstrecke die Luftwellenlänge auf den exakten Wert nachgeregelt wird. Hierbei muß gewährleistet sein, daß die Luftwellenlänge innerhalb dieser bestimmten Periode des nächstlängeren Regelinterferometers liegt. Die Regelung wird nun gegebenenfalls sukzessive mittels geeigneter Umschalter von dem jeweils kürzeren auf das jeweils längere Regelinterferometer umgeschaltet, wodurch eine höhere Empfindlichkeit der Wellenlängenregelung bei gleichzeitig hoher Reproduzierbarkeit der Einschaltwellenlänge gewährleistet ist. Dieser abgestufte Prozeß wird entsprechend der Anzahl der verwendeten Regelinterferometer wiederholt, bis die Regelung mit dem Regelinterferometer mit der längsten Regelstrecke durchgeführt wird.

Eine Änderung des störungsfreien "Betriebszustandes", beispielsweise durch einen plötzlichen Luftstrom, bei der das Ausgangssignal des derzeit aktiven Regelinterferometers - zunächst nicht erfaßbar - in eine benachbarte Interferenzordnung überspringt, läßt sich nun dennoch dadurch detektieren, daß sich das Ausgangssignal des Regelinterferometers mit der jeweils kürzeren Regelstrecke ändert. Diese Änderung wird dazu benutzt, ein Überspringen auf benachbarte Interferenzordnungen zu erkennen, in dem eine obere und eine untere elektronische Signalschwelle derart gesetzt wird, daß bei Überschreiten der oberen bzw. Unterschreiten der unteren Schwelle die Regelung auf das Regelinter-

ferometer umgeschaltet wird, welches den Sprung erkannt hat. Hierdurch wird gewährleistet, daß die ursprüngliche Wellenlänge wieder eingestellt wird. Wenn das Ausgangssignal des danach aktiven Regelinterferometers wieder im mittleren Bereich der Wellenflanke innerhalb der ersten bzw. zweiten Signalschwellen liegt, wird auf das Regelinterferometer mit der nächstlängeren Regelstrecke umgeschaltet. Im Falle von mehreren Regelinterferometern erfolgt dies sukzessive.

Diese Anordnung ermöglicht, insbesondere bei Verwendung mehrerer Interferometer, gleichzeitig sowohl eine hohe Reproduzierbarkeit der Luftwellenlänge beim Einschalten, und zwar auch bei stark veränderlichen Umgebungsbedingungen, als auch im Betriebszustand eine äußerst stabile Wellenlängenregelung aufgrund der höheren Empfindlichkeit des Regelinterferometers mit der längsten Regelstrecke. Ein Überspringen des Ausgangssignals des jeweils aktiven Interferometers auf andere Interferenzordnungen wird erkannt, so daß automatisch wieder die ursprüngliche Wellenlänge eingestellt wird. Hierdurch ist gewährleistet, daß das Meßinterferometer immer mit derselben Luftwellenlänge mißt, auch wenn sich der Brechungsindex der Luft verändert.

Das erfindungsgemäße Meßverfahren kann auch in der Weise ausgeführt werden, daß mittels des jeweils aktiven Regelinterferometers wenigstens zwei jeweils um $\pi$ phasenverschobene und sich gegensinnig mit der Laserwellenlänge ändernde Ausgangssignale erzeugt werden, deren sich mit der Laserwellenlänge periodisch änderndes Differenzsignal innerhalb einer Wellenperiode z.B. auf den Wert Null geregelt wird. Gegenüber einem Betrieb des Ausgangssignals des jeweils aktiven Regelinterferometers im Bereich einer Wellenflanke wird die Reproduzierbarkeit und Genauigkeit dadurch erhöht, daß das Differenzsignal auf den genau definierten Wert Null geregelt wird. Die Phasenverschiebung von $\pi$ führt automatisch dazu, daß sich die beiden Ausgangssignale des jeweils aktiven Regelinterferometers gegensinnig mit der Laserwel-

lenlänge ändern und damit beispielsweise durch einen Spannungsoffset hervorgerufene Signaländerungen kompensiert werden.

Die für dieses Verfahren geeignete erfindungsgemäße Laserinterferometeranordnung zeichnet sich dadurch aus, daß wenigstens zwei bezüglich der Länge der Regelstrecke kaskadenartig gegeneinander abgestufte Regelinterferometer vorgesehen sind, wobei wenigstens die Regelstrecke des Regelinterferometers mit der längsten Regelstrecke entsprechend den apparativen Gegebenheiten möglichst nahe an der Meßstrecke angeordnet ist und daß für das zweite und etwaige weitere Regelinterferometer je ein weiterer Strahlteiler oder Spiegel vorgesehen ist. Aufeinanderfolgende Regelinterferometer besitzen somit sich sukzessive ändernde Regelstreckenlängen, wobei das Regelinterferometer mit der längsten Regelstrecke die höchste Meßempfindlichkeit bietet, dagegen das Regelinterferometer mit der kürzesten Regelstrecke die Eindeutigkeit der Wellenperiode liefert. Durch eine möglichst nahe Anordnung der längsten Regelstrecke an der Meßstrecke ist eine höchstempfindliche Detektion von Brechungsindexschwankungen innerhalb der Meßstrecke gewährleistet. Der Aufbau des Meßinterferometers ist im übrigen bereits aus dem zitierten Stand der Technik bekannt. Durch die Verwendung weiterer Strahlteiler oder Spiegel ist gewährleistet, daß sowohl das Meßinterferometer als auch sämtliche Regelinterferometer von der Strahlung desselben Lasers beaufschlagt werden. Als Laser bietet sich hier insbesondere ein Halbleiterlaser an. Die kaskadenartig gegeneinander abgestuften Interferometerarme der Regelinterferometer weisen im übrigen eine konstante Längendifferenz zueinander auf.

Die erfindungsgemäße Laserinterferometeranordnung kann weiter so ausgebildet sein, daß die maximale Länge $L_{max}$ der kürzesten Regelstrecke sich aus der Laserwellenlänge Lambda, der relativen Stabilität des Lasers $\alpha$ und der Stabilität des Brechungsindexes der Luft $\beta$ berechnet gemäß

$L_{max} < Lambda/[4(\alpha+\beta)]$ und daß die Länge der längsten Regelstrecke maximal gleich der Meßstrecke ist. Die Stabilität des Lasers ist im wesentlichen bestimmt durch die Temperaturschwankungen und Alterungseinflüsse der Laserdiode. Die Brechungsindexschwankungen betreffen insbesondere den räumlichen Umgebungsbereich der Meßstrecke. Bei Werten von $\alpha = 5 \cdot 10^{-5}$ und $\beta = 5 \cdot 10^{-5}$ (für Temperaturschwankungen von ±25° C) ergibt sich bei einer Laserwellenlänge von 780 nm beispielsweise eine maximale Länge der kürzesten Regelstrecke von ≤ 2 mm.

Die erfindungsgemäße Laserinterferometeranordnung kann ferner so ausgebildet sein, daß die Regelstrecken untereinander ein Längenverhältnis zwischen 1 zu 5 und 1 zu 10 aufweisen. Bei diesen Längenverhältnissen ist zum einen gewährleistet, daß das sukzessive Umschalten von einem zum nächsten Regelinterferometer nicht zu einem Überspringen in benachbarte Wellenperioden führt. Zum anderen wird bereits durch eine Aufeinanderfolge von wenigen Interferometern ein relativ großer Empfindlichkeitsbereich abgedeckt, wobei in dem einen Extrem eine besonders hohe Empfindlichkeit gewährleistet ist, in dem anderen Extrem aber auch relativ starke Änderungen der Luft- bzw. Laserwellenlänge nicht zu einem Überspringen in benachbarten Wellenperioden führen.

Die erfindungsgemäße Laserinterferometeranordnung kann ferner so ausgebildet sein, daß zumindest die Regelstrecken auf einem Werkstoff mit einem niedrigen Ausdehnungskoeffizienten, beispielsweise der Glaskeramik Zerodur, CFK-Verbundwerkstoff oder anderen, angeordnet sind. Bekanntlich weisen die Interferometerarme der Regelinterferometer eine konstante Längendifferenz zueinander auf, und dienen ausschließlich dazu, Änderungen der Luft- bzw. Laserwellenlänge zu detektieren und durch eine Änderung der Laserwellenlänge als solche zu kompensieren. Da aber auch die Ausgangs-Interferenzsignale der Regelinterferometer empfindlich von den jeweiligen Armlängen der Regelinterferometer

abhängen, läßt sich durch diese Maßnahme eine derartige Beeinflussung nahezu ausschließen.

Die erfindungsgemäße Laserinterferometeranordnung kann weiter so ausgebildet sein, daß zumindest die Regelstrecken auf einem Werkstoff, dessen Ausdehnungskoeffizient dem des zu vermessenden oder zu bearbeitenden Werkstückes und/oder der gesamten Meß- oder Bearbeitungseinrichtung entspricht, beispielsweise Stahl, angeordnet sind. Durch diese Maßnahme lassen sich beispielsweise temperaturbedingte Längenänderungen eines Werkstückes bereits während seiner Bearbeitung kompensieren.

Die erfindungsgemäße Laserinterferometeranordnung kann ferner so ausgebildet sein, daß wenigstens zwei Meßinterferometer vorgesehen sind. Dabei kann die Anzahl der Meßinterferometer sogar größer sein als die der Regelinterferometer.

Die erfindungsgemäße Laserinterferometeranordnung kann ferner so ausgebildet sein, daß wenigstens ein Teil der Anordnung als integrierte Optik ausgebildet ist. Aufgrund der ausschließlichen Verwendung von Standardbauteilen bei der Optik der Laserinterferometeranordnung bietet sich ferner die Möglichkeit, einen Teil dieser Bauelemente oder sogar sämtliche Bauteile als integrierte Optik anzuordnen.

Die erfindungsgemäße Laserinterferometeranordnung kann ferner vorsehen, daß die Ankopplung der peripheren Geräte an die optischen Bauteile durch bekannte Lichtleiter, wie z.B. Lichtleiterfasern, erfolgt.

Die erfindungsgemäße Laserinterferometeranordnung kann schließlich so ausgebildet sein, daß für die Meß- und die Regelinterferometer ein gemeinsamer Interferometerstrahlteiler vorgesehen ist. Ein derartiger Strahlteiler läßt sich anstelle eines Primärstrahlteilers und gegebenenfalls weiterer Spiegel einsetzen und bietet die

Möglichkeit, sämtliche oder zumindest einen Teil der Interferometer mit äußerst geringen Abständen voneinander anzuordnen, wobei der Primärstrahl des Lasers vor seinem Eintritt in die einzelnen Interferometer aufgeweitet wird. Beispielsweise lassen sich dadurch die Interferometer in einfacher Weise übereinander montieren.

Im folgenden Teil wird zur Erläuterung des erfindungsgemäßen Meßverfahrens sowie der für seine Durchführung geeigneten Laserinterferometeranordnung zunächst ein Ausführungsbeispiel der Laserinterferometeranordnung vorgestellt, anhand dessen danach das erfindungsgemäße Verfahren erläutert wird.

Im einzelnen zeigen:

Fig. 1 eine Laserinterferometeranordnung mit einem Meß- und zwei Regelinterferometern und

Fig. 2 Erläuterung des Meßverfahrens anhand der Differenzspannung der beiden Fotoempfänger zweier Regelstrecken.

Fig. 1 zeigt eine Laserinterferometeranordnung mit einem Meßinterferometer 1 sowie zwei Regelinterferometern 2,3. Sämtliche Interferometer werden von der Strahlung einer Laserdiode 4 beaufschlagt, die über Primärstrahlteiler 5,6 und einen Spiegel 7 in Primärteilstrahlen 8,9,10 aufgespalten wird. Im übrigen können die Bauelemente 5,6,7 auch durch Beugungsgitter ersetzt werden.

Für den Betrieb der Laserdiode kann dabei eine schnelle Stromregelung, die im Bereich von mehreren kHz arbeitet, vorgesehen sein. Eine Anordnung von zwei Regelinterferometern stellt die einfachste Ausführungsform dar, es sind dagegen auch Anordnungen denkbar, bei denen mehr als zwei Regelinterferometer Verwendung finden.

Der Primärteilstrahl 8, der das Meßinterferometer 1 durchläuft, wird zunächst an einem Strahlteiler 11 in zwei interferenzfähige Teilstrahlen aufgeteilt, von denen der eine an einem Retroreflektor 12 durch mehrfache Umlenkung parallel zu seiner Einfallsrichtung zurückreflektiert wird, der andere dagegen an einem Retroreflektor 13, dessen variable Position die eigentlich zu messende Länge definiert, durch mehrfache Umlenkung ebenfalls parallel zurückreflektiert wird. Dieser zweite Teilstrahl durchläuft dann eine Lambda/4-Platte 14, nach deren Durchstrahlung dieser Teilstrahl in zwei z.B. um $\pi/2$ gegeneinander phasenverschobene Strahl- bzw. Polarisationskomponenten aufgespalten ist. Diese beiden Komponenten schaffen nun die Voraussetzungen für eine Erfassung der Bewegungsrichtung des Retroreflektors 13 relativ zu den übrigen Bauteilen des Meßinterferometere 1. Die in Punkt 16 wiedervereinten Teilstrahlen überlagern sich innerhalb der jeweiligen Teilstrecken 17,23 und bilden die eigentlichen Interferenzsignale. Das eine dieser Interferenzsignale durchläuft schließlich einen polarisierenden Strahlteiler 18, und zwar in diesem Beispiel ein Wollaston-Prisma (alternativ dazu könnte z.B. ein 90°-Teilerprisma verwendet werden oder z.B. ein nicht-polarisierender Strahlteiler mit nachfolgenden optischen Bauelementen, die eine Trennung der Polarisationskomponenten bewirken), wonach zwei weitere Teilstrahlen 19,20 gebildet werden, die jeweils mittels eines Fotoempfängers 21,22 detektiert werden. Die beiden Teilstrahlen 19,20 stellen dabei die unterschiedlichen Interferenzen der an der Lambda/4-Platte 14 erzeugten phasenverschobenen Signale mit dem zweiten Teilstrahl dar, die zur Richtungserkennung der Bewegung des Retroreflektors 13 benutzt werden.

Das zweite Interferenzsignal, das in der Teilstrecke 23 gebildet wird, durchläuft wiederum einen polarisierenden Strahlteiler 18', und zwar in diesem Beispiel ein Wollaston-Prisma oder alternativ dazu ein anderes polarisations-

optisches Bauelement, wonach wiederum die hierdurch aufgespaltenen beiden Teilstrahlen 24,25 durch Fotoempfänger 26,27 erfaßt werden.

Die in der Teilstrecke 17 enthaltenen Komponenten 19,20 sowie die in der Teilstrecke 23 enthaltenen Komponenten 24,25 weisen aufgrund der Phasenverschiebung durch die Lambda/4-Platte zueinander jeweils eine Phasenverschiebung von $\pi/2$ bezüglich der Intensität auf, sodaß an den Fotoempfängern 21,22,26,27 insgesamt vier Signale, die jeweils um $\pi/2$ phasenverschoben sind, zur Verfügung stehen. Mindestens zwei um $\pi/2$ phasenverschobene Signale sind für eine Richtungserkennung der Bewegungsrichtung des Retroreflektors 13 notwendig. Durch Differenzbildung der jeweiligen um $\pi$ phasenverschobenen Ausgangssignale werden beispielsweise Offset-Schwankungen nahezu eliminiert.

Der Primärteilstrahl 10 durchläuft das Regelinterferometer 3, das von den beiden Regelinterferometern 2,3 die kürzere Regelstrecke 28 aufweist, deren Länge zudem konstant ist. Der Primärteilstrahl 10 wird durch einen Strahlteiler 29 in zwei interferenzfähige Teilstrahlen zerlegt, wobei ein Teilstrahl an einem Retroreflektor 30 reflektiert wird, der zweite Teilstrahl entsprechend an einem Retroreflektor 31. Die in Punkt 32 vereinten Teilstrahlen überlagern sich sowohl in dem Teilstück 33 als auch dem Teilstück 34 und bilden die eigentlichen Interferenzsignale des Regelinterferometers 3. Diese sind gegeneinander um $\pi$ phasenverschoben und ändern sich gegensinnig mit der Laserwellenlänge. Die Interferenzsignale (=Ausgangssignale) werden mittels der Fotoempfänger 35,36 detektiert. Für eine besonders vorteilhafte Auswertung dieser Ausgangssignale ist es zweckmäßig, die um $\pi$ phasenverschobenen, sich gegensinnig mit der Laserwellenlänge ändernden Ausgangssignale als Differenzsignal innerhalb einer Wellenperiode auf den Wert Null zu regeln.

Der Primärteilstrahl 9 durchläuft dagegen das Regelinterferometer 2 mit der in diesem Beispiel zweiten Regelstrecke 37, deren Länge ebenfalls konstant ist. Im Falle von n Regelinterferometern wäre dies jedoch die n-te Regelstrecke. Der Primärteilstrahl 9 wird durch einen Strahlteiler 38 in zwei interferenzfähige Teilstrahlen zerlegt, von denen der eine an einem Retroreflektor 39, der andere an eine Retroreflektor 40 rückreflektiert wird. Die in Punkt 41 vereinten Teilstrahlen interferieren in den Teilstücken 42,43 miteinander. Die beiden um $\pi$ phasenverschobene Interferenzsignale werden ebenfalls von Fotoempfängern 44,45 erfaßt.

In Fig. 2 ist nun die Differenzspannung am Ausgang der beiden Fotodetektoren 35,36 bzw. 44,45 in Abhängigkeit von der Wellenlänge aufgetragen. Im oberen Bildteil ist die Differenzspannung der Fotoempfänger 35,36 des Regelinterferometers 3 mit der kürzeren Regelstrecke dargestellt, dagegen im unteren Teil die entsprechende Ausgangsspannung des Regelinterferometers 2 mit der längeren Regelstrecke 37. Die mit der Wellenlänge zunehmende Amplitude der Differenzspannung beruht auf der Leistungscharakteristik der Laserdiode.

Bei der im oberen Bildteil dargestellten Differenzspannung sind jeweils zwei obere 46a,47a bzw. zwei untere Schwellenspannungen 46b,47b eingezeichnet, die die jeweiligen Schaltpunkte definieren, bei denen auf das nächstfolgende Regelinterferometer mit der kürzeren bzw. längeren Regelstrecke umgeschaltet wird. Im Betriebszustand des Meßinterferometers 1 sei zunächst das Regelinterferometer 2 mit der längeren Regelstrecke 37 aktiv. Dabei erhielte man beispielsweise eine Differenzspannung gemäß dem unteren Bildteil in Fig. 2. Im Falle einer Änderung des Betriebszustandes, beispielsweise aufgrund von Schwankungen der Luftwellenlänge innerhalb der Regelstrecke 37, würde nun aufgrund des Überschreitens der oberen Schwellenspannung 47a oder alternativ dazu des Unterschreitens der unteren

Schwellenspannung 47b auf das Regelinterferometer mit der nächstkürzeren Regelstrecke, demnach in diesem Beispiel auf das Regelinterferometer 3 umgeschaltet. Damit erhielte man nunmehr eine Ausgangsspannung entsprechend dem oberen Bildteil. Würde danach aufgrund der Regelung die obere Schwellenspannung 47a unterschritten oder alternativ dazu die untere Schwellenspannung 47b überschritten, dann würde wieder auf das Regelinterferometer mit der nächstlängeren Regelstrecke, hier also das Regelinterferometer 2 zurückgeschaltet. Im Falle des Überschreitens der oberen Schwellenspannung 46a bzw. des Unterschreitens der unteren Schwellenspannung 46b würde dagegen auf das Regelinterferometer mit der nächstkürzerern Regelstrecke (hier nicht dargestellt) umgeschaltet. Dieser Vorgang wiederholte sich bei jeder auftretenden Störung analog.

## Bezugszeichen

Zur Vorrichtung

| | |
|---|---|
| 1 | Meßinterferometer |
| 2,3 | Regelinterferometer |
| 4 | Laserdiode |
| 5,6 | Primärstrahlteiler |
| 7 | Spiegel |
| 8,9,10 | Primärteilstrahl |
| 11 | Strahlteiler |
| 12,13 | Retroreflektor |
| 14 | Lambda/4-Platte |
| 15 | Meßstrecke |
| 16 | Vereinigungspunkt der interferierenden Teilstrahlen |
| 17 | Teilstrecke (Interferenz) |
| 18,18' | polarisierender Strahlteiler |
| 19,20 | phasenverschobener Teilstrahl |
| 21,22 | Fotoempfänger |
| 23 | Teilstrecke (Interferenz) |
| 24,25 | phasenverschobener Teilstrahl |
| 26,27 | Fotoempfänger |
| 28 | erste Regelstrecke |
| 29 | Strahlteiler |
| 30,31 | Retroreflektor |
| 32 | Vereinigungspunkt der interferierenden Teilstrahlen |
| 33,34 | Teilstrecke (Interferenz) |
| 35,36 | Fotoempfänger |
| 37 | 2. bzw. n-te Regelstrecke |
| 38 | Strahlteiler |
| 39,40 | Retroreflektor |
| 41 | Vereinigungspunkt der interferierenden Teilstrahlen |
| 42,43 | Teilstrecke (Interferenz) |
| 44,45 | Fotoempfänger |

Zum Meßverfahren

46a,47a obere Schwellenspannungen

46b,47b untere Schwellenspannungen

**Ansprüche**

1. Interferometrisches Meßverfahren, insbesondere zur Längenmessung mittels eines Lasers (4),

bei dem im Betriebszustand eines Meßinterferometers (1) die Laserwellenlänge in der Weise geregelt wird, daß sich das mit der Laserwellenlänge in Form einer Welle periodisch ändernde Ausgangssignal eines Regelinterferometers (2) innerhalb einer Wellenperiode auf einen Wert beispielsweise im Bereich einer Wellenflanke einstellt

und Änderungen des Betriebszustandes des Meßinterferometers (1), d.h. der Laserfrequenz und/oder der Wellenlänge des Laserstrahls, in der Regelstrecke (28,37) des Regelinterferometers (2) erfaßt und über den Betriebsstrom und/oder die Temperatur des Lasers (4) mit entsprechender Wirkung für das Meßinterferometer (1) kompensiert werden,

**dadurch gekennzeichnet,**

daß wenigstens zwei Regelinterferometer (2,3) mit voneinander abweichenden Regelstreckenlängen (28,37) eingesetzt werden, wobei beispielsweise im Bereich der Wellenflanken der Regelinterferometer (2,3) eine oder zwei obere (46a,47a) sowie eine oder zwei untere Signalschwellen (46b,47b) gesetzt werden,

und daß beim Überschreiten einer ersten oberen (46a) oder beim Unterschreiten einer ersten unteren Signalschwelle (46b) auf das nächstfolgende Regelinterferometer mit der kürzeren Regelstrecke umgeschaltet wird, sofern nicht das Regelinterferometer mit der kürzesten Regelstrecke bereits aktiv ist,

und daß beim Unterschreiten einer zweiten - im allgemeinen kleineren oder maximal gleichen - oberen Signalschwelle

(47a) oder Überschreiten einer zweiten - im allgemeinen größeren oder minimal gleichen - unteren Signalschwelle (47b) auf das nächstfolgende Regelinterferometer mit der längeren Regelstrecke umgeschaltet wird, sofern nicht das Regelinterferometer mit der längsten Regelstrecke bereits aktiv ist.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet,

daß mittels des jeweils aktiven Regelinterferometers (2,3) wenigstens zwei jeweils um π phasenverschobene und sich gegensinnig mit der Laserwellenlänge ändernde Ausgangssignale erzeugt werden,

deren sich mit der Laserwellenlänge periodisch änderndes Differenzsignal innerhalb einer Wellenperiode z.B. auf den Wert Null geregelt wird.

3. Für das Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche geeignete Laserinterferometeranordnung,

mit einem in einem vorgegebenen Wellenlängenbereich modensprungfrei und kontinuierlich durchstimmbaren Laser (4),

einem ersten Meß- (1) und einem ersten Regelinterferometer (3) mit jeweils einer Meß- (15) bzw. Regelstrecke (28), wobei die Interferometerarme des Regelinterferometers (3) eine konstante Längendifferenz zueinander aufweisen,

weiter mit einem Primärstrahlteiler (5) zur Aufspaltung des einfallenden Laserstrahls, wodurch die Interferometer (1,3) von der Strahlung desselben Lasers (4) beaufschlagt werden,

wobei das Meßinterferometer (1) zur Bildung von mindestens zwei miteinander interferierenden Teilstrahlen wenigstens einen ersten nichtpolarisierenden Strahlteiler (11), zwei Retroreflektoren (12,13) oder anstelle davon z.B. einen

oder mehrere Spiegel oder 90'-Prismen aufweist,

ferner mit Mitteln zur Erzeugung von jeweils gegeneinander phasenverschobenen Strahlkomponenten für die Richtungserkennung von Längenänderungen der Meßstrecke, wie z.B. Lambda/4- (14) oder Lambda/8-Platten sowie Mitteln zur Trennung der phasenverschobenen Strahlkomponenten, wie z.B. polarisierende Strahlteiler (18,18') oder Wollaston-Prismen und mit wenigstens einem Photodetektor (21,22,26,27) zur Erfassung des Interferenzsignals,

und wobei das Regelinterferometer (3) zur Bildung von mindestens zwei miteinander interferierenden Teilstrahlen wenigstens einen ersten Strahlteiler (29), zwei Retroreflektoren (30,31) oder anstelle davon z.B. einen oder mehrere Spiegel oder 90'-Prismen sowie wenigstens einen Photodetektor (35,36) zur Erfassung des Interferenzsignals hat,

schließlich mit einer Regelungseinrichtung für die Laserwellenlänge,

**dadurch gekennzeichnet,**

daß wenigstens zwei bezüglich der Länge der Regelstrecke (28,37) kaskadenartig gegeneinander abgestufte Regelinterferometer (2,3) vorgesehen sind,

wobei wenigstens die Regelstrecke (37) des Regelinterferometers (2) mit der längsten Regelstrecke (37) entsprechend den apparativen Gegebenheiten möglichst nahe an der Meßstrecke (15) angeordnet ist

und daß für das zweite (2) und etwaige weitere Regelinterferometer je ein weiterer Strahlteiler (6) oder Spiegel (7) vorgesehen ist.

4. Laserinterferometeranordnung nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß die maximale Länge $L_{max}$ der

kürzesten Regelstrecke (28) sich aus der Laserwellenlänge Lambda, der relativen Stabilität des Lasers α und der Stabilität des Brechungsindexes der Luft ß berechnet gemäß der Formel

$$L_{max} < Lambda/[4(\alpha+\beta)]$$

und daß die Länge der längsten Regelstrecke (37) maximal gleich der Meßstrecke (15) ist.

5. Laserinterferometeranordnung nach Anspruch 3 oder 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Regelstrecken (28,37) untereinander ein Längenverhältnis zwischen 1 zu 5 und 1 zu 10 aufweisen.

6. Laserinterferometeranordnung nach einem der Ansprüche 3 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß zumindest die Regelstrecken (28,37) auf einem Werkstoff mit einem niedrigen Ausdehnungskoeffizienten, beispielsweise der Glaskeramik Zerodur, CFK-Verbundwerkstoff oder anderen, angeordnet sind.

7. Laserinterferometeranordnung nach einem der Ansprüche 3 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß zumindest die Regelstrecken (28,37) auf einem Werkstoff, dessen Ausdehnungskoeffizient dem des zu vermessenden oder zu bearbeitenden Werkstückes und/oder der gesamten Meß- oder Bearbeitungseinrichtung entspricht, beispielsweise Stahl, angeordnet sind.

8. Laserinterferometeranordnung nach einem der Ansprüche 3 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß wenigstens zwei Meßinterferometer (1) vorgesehen sind.

9. Laserinterferometeranordnung nach einem der Ansprüche 3 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß wenigstens ein Teil der Anordnung als integrierte Optik ausgebildet ist.

10. Laserinterferometeranordnung nach einem der Ansprüche 3 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß die Ankopplung der Optik von außen her jeweils durch Lichtleiter erfolgt.

11. Laserinterferometeranordnung nach einem der Ansprüche 3 bis 10, dadurch gekennzeichnet, daß für die Meß- und die Regelinterferometer ein gemeinsamer Interferometerstrahlteiler vorgesehen ist.

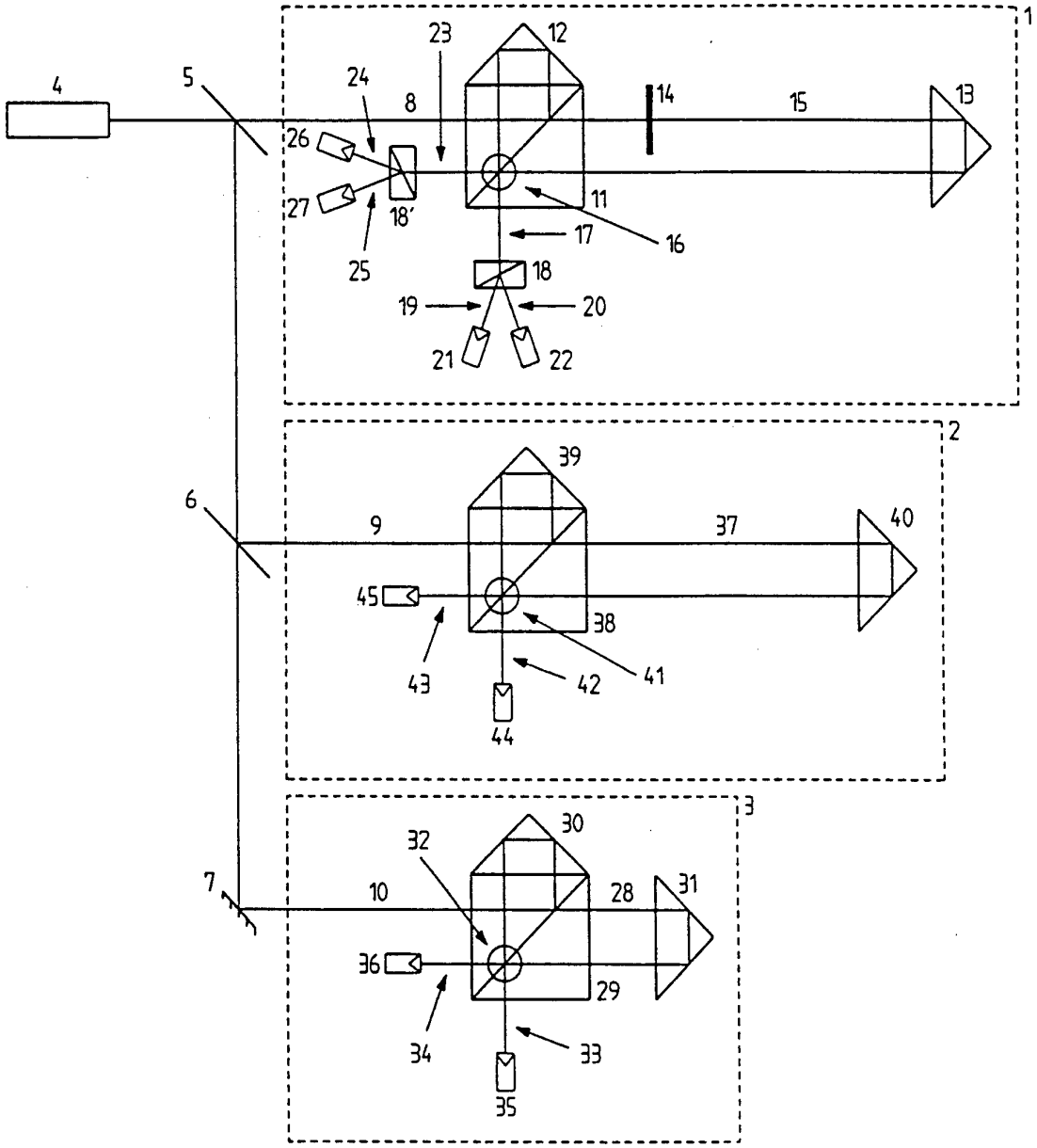

1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
18'
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45

Fig.1

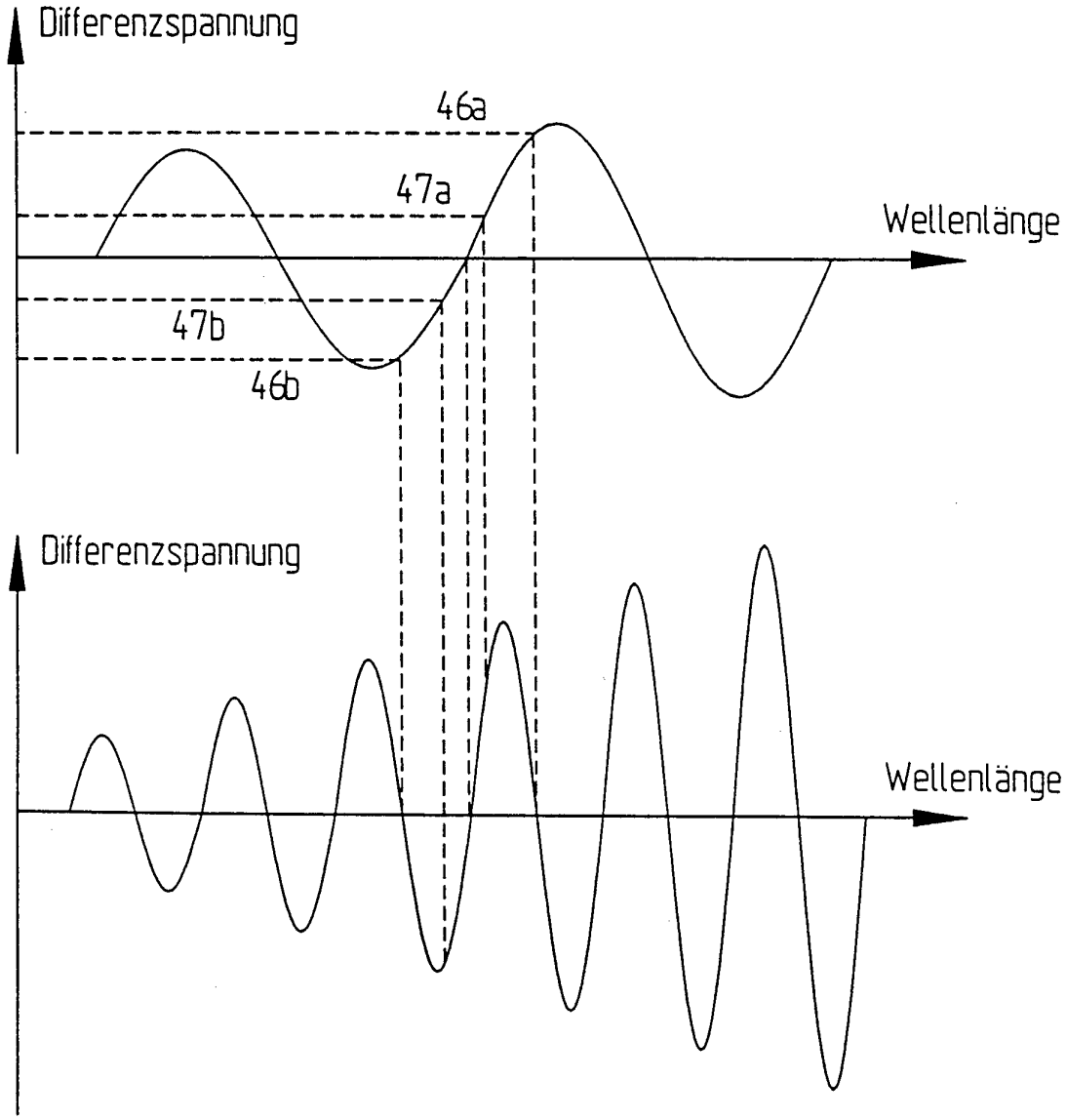

Differenzspannung
46a
47a
Wellenlänge
47b
46b
Differenzspannung
Wellenlänge

Fig.2

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Internat Application No
PCT/DE 93/00843

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
IPC 5 G01B9/02

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
IPC 5 G01B

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

| Category * | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages | Relevant to claim No. |
|---|---|---|
| X | EP,A,0 401 576 (W. TABARELLI) 12 December 1990<br>See introduction<br>see column 1, line 4 - column 12, line 35;<br>figures 1-4 | 1-3,6,<br>9-11 |
| X | EP,A,0 290 789 (HOMMELWERKE GMBH) 17 November 1988<br>See introduction<br>see page 3, line 25 - page 5, line 36;<br>figures 1-4 | 1-3,6,<br>9-11 |
| A | DE,A,39 30 273 (HELIOS - MESSTECHNIK GMBH) 14 March 1991<br>See introduction<br>see column 3, line 36 - column 4, line 8;<br>figures 1,2 | 7 |

-/--

[X] Further documents are listed in the continuation of box C.

[X] Patent family members are listed in annex.

* Special categories of cited documents :

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier document but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.

"&" document member of the same patent family

1

| Date of the actual completion of the international search | Date of mailing of the international search report |
|---|---|
| 30 December 1993 | 06. 01. 94 |

| Name and mailing address of the ISA | Authorized officer |
|---|---|
| European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2<br>NL - 2280 HV Rijswijk<br>Tel. ( + 31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,<br>Fax: ( + 31-70) 340-3016 | Visser, F |

Form PCT/ISA/210 (second sheet) (July 1992)

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

| Category * | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages | Relevant to claim No. |
|---|---|---|
| A | EP,A,0 284 304 (HEWLETT-PACKARD COMPANY) 28 September 1988 see column 5, line 21 - column 7, line 53; figures 1-4 | 6,8 |

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

Internat Application No
PCT/DE 93/00843

| Patent document cited in search report | Publication date | Patent family member(s) | | Publication date |
|---|---|---|---|---|
| EP-A-0401576 | 12-12-90 | AT-B- | 396180 | 25-06-93 |
| | | JP-A- | 3029802 | 07-02-91 |
| | | US-A- | 5177566 | 05-01-93 |
| EP-A-0290789 | 17-11-88 | DE-A- | 3715627 | 08-12-88 |
| | | US-A- | 4900151 | 13-02-90 |
| DE-A-3930273 | 14-03-91 | NONE | | |
| EP-A-0284304 | 28-09-88 | US-A- | 4765741 | 23-08-88 |
| | | DE-A- | 3866143 | 19-12-91 |
| | | JP-A- | 63252203 | 19-10-88 |

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internat .s Aktenzeichen
PCT/DE 93/00843

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
IPK 5 G01B9/02

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole )
IPK 5 G01B

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

| Kategorie° | Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile | Betr. Anspruch Nr. |
|---|---|---|
| X | EP,A,0 401 576 (W. TABARELLI) 12. Dezember 1990<br>siehe Einführung ;<br>siehe Spalte 1, Zeile 4 - Spalte 12, Zeile 35; Abbildungen 1-4<br>--- | 1-3,6, 9-11 |
| X | EP,A,0 290 789 (HOMMELWERKE GMBH) 17. November 1988<br>siehe Einführung ;<br>siehe Seite 3, Zeile 25 - Seite 5, Zeile 36; Abbildungen 1-4<br>--- | 1-3,6, 9-11 |
| A | DE,A,39 30 273 (HELIOS - MESSTECHNIK GMBH) 14. März 1991<br>siehe Einführung ;<br>siehe Spalte 3, Zeile 36 - Spalte 4, Zeile 8; Abbildungen 1,2<br>---<br>-/-- | 7 |

[X] Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen

[X] Siehe Anhang Patentfamilie

° Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :
"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist
"E" älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist
"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)
"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht
"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist
"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist
"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden
"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist
"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

| Datum des Abschlusses der internationalen Recherche | Absendedatum des internationalen Recherchenberichts |
|---|---|
| 30. Dezember 1993 | 03. 01. 94 |

| Name und Postanschrift der Internationale Recherchenbehörde | Bevollmächtigter Bediensteter |
|---|---|
| Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2<br>NL - 2280 HV Rijswijk<br>Tel. ( + 31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,<br>Fax: ( + 31-70) 340-3016 | Visser, F |

Formblatt PCT/ISA/210 (Blatt 2) (Juli 1992)

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internat :s Aktenzeichen
PCT/DE 93/00843

C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

| Kategorie* | Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile | Betr. Anspruch Nr. |
|---|---|---|
| A | EP,A,0 284 304 (HEWLETT-PACKARD COMPANY) 28. September 1988 siehe Spalte 5, Zeile 21 - Spalte 7, Zeile 53; Abbildungen 1-4 | 6,8 |

1

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internat ...s Aktenzeichen
PCT/DE 93/00843

| Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument | Datum der Veröffentlichung | Mitglied(er) der Patentfamilie | | Datum der Veröffentlichung |
|---|---|---|---|---|
| EP-A-0401576 | 12-12-90 | AT-B- | 396180 | 25-06-93 |
| | | JP-A- | 3029802 | 07-02-91 |
| | | US-A- | 5177566 | 05-01-93 |
| EP-A-0290789 | 17-11-88 | DE-A- | 3715627 | 08-12-88 |
| | | US-A- | 4900151 | 13-02-90 |
| DE-A-3930273 | 14-03-91 | KEINE | | |
| EP-A-0284304 | 28-09-88 | US-A- | 4765741 | 23-08-88 |
| | | DE-A- | 3866143 | 19-12-91 |
| | | JP-A- | 63252203 | 19-10-88 |