



(12) Wirtschaftspatent

DD (11) 217 618 A1

Erteilt gemäß § 17 Absatz 1 Patentgesetz

4(51) G 01 B 9/02

AMT FÜR ERFINDUNGS- UND PATENTWESEN

In der vom Anmelder eingereichten Fassung veröffentlicht

(21) WP G 01 B / 254 343 2

(22) 30.08.83

(44) 16.01.85

(71) VEB Carl Zeiss JENA, 6900 Jena, Carl-Zeiss-Straße 1, DD

(72) Merkel, Klaus, Dr. Dipl.-Ing.; Endlicher, Walter; Harnisch, Wolfgang, Dipl.-Ing.; Brendel, Ingrid, Dipl.-Phys., DD

(54) Anordnung zur definierten Phasenvariation in Zweistrahlinferferometern

(57) Die Erfindung betrifft eine Anordnung zur definierten Phasenvariation in Zweistrahlinferferometern mit der die Phasendifferenz zwischen den Teilwellen mit einer reproduzierbaren Genauigkeit von weniger als 1 nm einstellbar ist, ohne den geometrischen Weg zu verändern und diese Wegverschiebung messen zu müssen. Die Anordnung besteht aus einer Lichtquelle, einem Polarisator, einem Polarisationsstrahlenteiler zur Aufspaltung der Wellen in zwei räumlich getrennte und senkrecht zueinander polarisierte Teilbündel, in deren Lichtweg je ein $\lambda/4$ -Plättchen und ein Spiegel zum Zurückführen der Teilwellen auf den Polarisationsstrahlenteiler angeordnet sind, und aus im Lichtweg des aus den wiedervereineten Teilbündeln entstehenden Abbildungsstrahles nacheinander angeordneten $\lambda/4$ -Plättchen, $\lambda/2$ -Plättchen und einem Polarisator. Figur

7

Titel: Anordnung zur definierten Phasenvariation in Zweistrahlinterferometern

Anwendungsgebiet der Erfindung:

Die Erfindung betrifft eine Anordnung zur definierten Variation der Phasendifferenz zwischen den beiden interferierenden Teilwellen eines Zweistrahlinterferometers, wobei die Phasendifferenz zwischen den Teilwellen hochgenau einstellbar ist ohne den geometrischen Weg zu verändern und diese Verschiebung messen zu müssen.

Charakteristik der bekannten technischen Lösungen:

In Zweistrahlinterferometern werden zum Abgleich der Lichtwege oder zur Realisierung des jeweiligen Meßprinzips Anordnungen zur Änderung der Phasendifferenz zwischen den interferierenden Teilwellen benötigt. Entsprechend des jeweiligen Interferometertyps sind dafür verschiedene Prinzipien bekannt.

Üblich ist es, den geometrischen Weg zwischen den Teilwellen z.B. in einem Interferometer vom Michelsontyp durch Verschiebung eines Spiegels zu variieren. (Baker, L.R., Proc. Phys. Soc. B, 68, 1955; 871)

Üblich ist es auch, den optischen Weg in einem Interferometerarm zu verändern z.B. durch Verkippung einer planparallelen Glasplatte (Kellsall, D., Proc. Phys. Soc. 73, 1959; 465), durch Verschiebung eines Glaskeils oder durch Veränderung des Drucks in einer gasgefüllten Küvette (Nebe, W., Analytische Interferometrie, 1975 Berlin). Diese Phasenschieber eignen sich für beliebig polarisiertes Licht, an die mechanischen Bewegungen werden aber extreme Genauigkeitsanforde-

rungen gestellt. Polarisationsoptisch ergeben sich die Möglichkeiten der Variation der Dicke einer doppelbrechenden Kristallplatte z.B. mit einem polarisationsoptischen Kompenator (Beyer,H., Handbuch der Mikroskopie, Berlin 1973) und der Veränderung der Brechzahldifferenz mit Hilfe elektrooptischer Kristalle (Shewandrow,N.P., Die Polarisation des Lichtes, Berlin 1973).

Die auf einer Veränderung der Kristallplattendicke beruhenden Phasenkompenatoren haben große Bedeutung bei der Messung von Gangunterschieden in der Polarisationsmikroskopie. Allerdings erzeugt die Mehrzahl der bekannten Kompenatoren nur an einem festen Punkt des Gesichtsfeldes einen bestimmten Gangunterschied. Da hier die Phasendifferenz gleichmäßig über das gesamte Gesichtsfeld des Interferometers variiert werden muß, eignet sich der Soleil-Kompenator. Die Forderung nach reproduzierbarer Einstellgenauigkeit kleiner 1 nm ist mit diesem Kompenator kaum erreichbar.

Ziel der Erfindung:

Ziel der Erfindung ist es, für die Phasendifferenz zwischen den Teilwellen eines Interferometers eine reproduzierbare Einstellgenauigkeit von weniger als 1 nm zu erreichen.

Darlegung des Wesens der Erfindung:

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine Anordnung zu schaffen, die es ermöglicht, die Phasendifferenz zwischen den Teilwellen eines Zweistrahlinterferometers definiert mit hoher Genauigkeit einzustellen, ohne den geometrischen Weg zu verändern und diese Verschiebung messen zu müssen. Die Aufgabe löst eine Anordnung aus einer monochromatischen Lichtquelle, einem im Strahlengang der Lichtquelle angeordneten Polarisor zur linearen Polarisierung der Strahlung, einem Polarisationsstrahlenteiler mit zur Lichteinfallssrichtung geneigten Durchlaßrichtungen zur Aufspaltung des von der Lichtquelle herrührenden Lichtes in zwei räumlich getrennte und senkrecht zueinander polarisierte Teilbündel, zwei Interferometerarmen mit im Lichtweg jedes Teilbündels angeordnetem $\lambda/4$ -Plättchen und einem Spiegel zum Zurückführen der Teilbündel auf den Polarisationsstrahlenteiler

und mit einem durch den Polarisationsstrahlenteiler aus den beiden zurückgeführten Teilbündeln erzeugten und von diesen räumlich getrennten Abbildungsstrahlengang, erfundungsgemäß dadurch, daß die $\lambda/4$ - Plättchen der Interferometerarme mit den orthogonalen Transmissionsrichtungen des Polarisationsstrahlenteilers einen Winkel von 45° einschließen und in Lichtrichtung im Abbildungsstrahlengang ein drittes

$\lambda/4$ - Plättchen, ein drehbares $\lambda/2$ - Plättchen und ein Polarisator angeordnet sind, wobei das dritte $\lambda/4$ - Plättchen mit den orthogonalen Transmissionsrichtungen des Polarisationsstrahlenteilers einen Winkel von 45° einschließt.

Das $\lambda/4$ - Plättchen im Abbildungsstrahlengang erzeugt aus den beiden senkrecht zueinander polarisierten wieder vereinten Teilbündeln eine links und eine rechts zirkular polarisierte Welle. Die $\lambda/2$ - Phasenplatte des Abbildungsstrahlenganges wird um entsprechende Winkelbeträge verdreht, wobei die einzelnen Komponenten der zirkular polarisierten Teilwellen um jeweils den doppelten Drehwinkel Ψ der $\lambda/2$ - Platte verdreht werden. Hinter dem im Abbildungsstrahlengang befindlichen Polarisator interferieren die Komponenten derart, daß die Teilwellen unabhängig vom Drehwinkel gleiche Amplituden haben und ihre Phasendifferenz $\delta = 4\Psi$ beträgt. Für die Lichtwellenlänge von 633 nm ergibt sich daraus für den Drehwinkel $\Psi = \frac{90^\circ}{633 \text{ nm}} \cdot \Delta l$, woraus folgt, daß einer Winkeländerung von $0,9'$ eine Weglängendifferenzänderung von $0,1 \text{ nm}$ entspricht. Diese Winkeländerung wird mit inkrementalen Wegmesssystemen ohne größeren Aufwand gemessen.

Mit dieser Anordnung ist über eine definierte Winkeleinstellung eine entsprechende Phaseneinstellung bzw. -messung möglich, wobei die in üblicher Weise vorgenommene Wegänderung durch Drehung einer $\lambda/2$ - Platte ersetzt wird und der optischen Wegdifferenz von $0,1 \text{ nm}$ eine Drehwinkeländerung der Phasenplatte von ca. $1'$ entspricht.

Das Ziel der Erfindung wird auch erreicht, wenn für den Polarisationsstrahlenteiler ein doppelbrechender Kristall zum Einsatz kommt.

Darüberhinaus ist es möglich im Abbildungsstrahlengang in Lichtrichtung nur ein $\lambda/4$ - Plättchen und einen rotierenden Polarisator anzutreffen. Die Phasendifferenz δ entspricht in diesem Fall $\delta = 2\psi$, wobei ψ der Drehwinkel des Polarisators ist.

Das Ziel der Erfindung wird darüberhinaus auch erreicht, wenn der Polarisationsstrahlenteiler durch einen bekannten Strahlenteiler zur Amplitudenteilung ersetzt wird und in einem Interferometerarm in Lichtrichtung des Teilbündels ein Polarisator, ein feststehendes $\lambda/4$ - Plättchen, ein drehbares $\lambda/4$ - Plättchen und ein Spiegel angeordnet sind. In diesem Fall wird die Phasendifferenz in einem Interferometerarm und nicht im Abbildungsstrahlengang eingeführt.

Ausführungsbeispiel:

Die Erfindung wird anhand eines in der Zeichnung dargestellten Ausführungsbeispiels näher erläutert, wobei Abbildung 1 die erfindungsgemäße Anordnung zeigt.

Die von einer monochromatischen Lichtquelle 1 ausgehende Welle 2 wird von einem Polarisator 3 linear polarisiert. An einem Polarisationsstrahlenteiler 4 wird die auftreffende Welle in zwei senkrecht zueinander polarisierte Teilbündel aufgespaltet. Jedes Teilbündel durchläuft einen der beiden getrennten Interferometerarme 5 bzw. 6. In den Interferometerarm 5 und 6 sind je ein $\lambda/4$ - Plättchen 7 bzw. 8 und ein Spiegel 9 bzw. 10 angeordnet. Durch die beiden $\lambda/4$ - Plättchen 7, 8 wird die Polarisationsrichtung beider Teilwellen um jeweils 90° gedreht. Die an den beiden Spiegeln 9 bzw. 10 reflektierten Teilwellen werden am Polarisationsstrahlenteiler 4 wieder vereint und treten in den Abbildungsstrahlengang 11 ein. Im Abbildungsstrahlengang 11 sind ein $\lambda/4$ - Plättchen 12, ein drehbares $\lambda/2$ - Plättchen 13 und ein Polarisator 14 angeordnet. Das $\lambda/4$ - Plättchen 12 schließt mit den orthogonalen Transmissionsrichtungen des Polarisationsstrahlenteilers einen Winkel von 45° ein und erzeugt so aus den beiden wiedervereinigten senkrecht polarisierten Teilwellen eine links und eine rechts zirkular polarisierte Welle.

In Abhängigkeit vom Drehwinkel Ψ der $\lambda/2$ - Platte 13 dreht sie die einzelnen Komponenten der zirkular polarisierten Teilwellen um jeweils den doppelten Drehwinkel der $\lambda/2$ - Platte. Am Polarisator 14 werden von den beiden zirkular polarisierten Teilwellen nur die jeweils auf die Transmissionsrichtung des Polarisators 14 entfallenden Komponenten durchgelassen. Die Komponenten interferieren in der Art, daß hinter dem Polarisator 14 die den beiden Interferometerarmen 5 und 6 entspringenden Teilwellen unabhängig vom Drehwinkel Ψ dieselbe Amplitude haben und ihre Phasendifferenz δ linear vom Drehwinkel Ψ entsprechend $\delta = 4\Psi$ abhängig ist.

Damit ist durch eine entsprechend genaue meßbare Einstellung des Winkels Ψ die Phasendifferenz zwischen den beiden Teilwellen eines Zweistrahlinterferometers mit hoher Genauigkeit einzustellen. Für die Lichtwellenlänge von 633 nm ergibt sich damit $\Psi = \frac{90^\circ}{633\text{ nm}} \cdot \delta$.

Daraus folgt, daß einer Winkeländerung von 0,9° eine Wellenlängendifferenzänderung von 0,1 nm entspricht. Diese Winkeländerung ist mit modernen inkrementalen Winkelmeßsystemen ohne größeren Aufwand meßbar.

Erfindungsanspruch:

1. Anordnung zur definierten Phasenvariation in Zweistrahlinterferometern mit einer monochromatischen Lichtquelle, einem im Strahlengang der Lichtquelle angeordneten Polarisator zur linearen Polarisierung der Strahlung, einem Polarisationsstrahlenteiler mit zur Lichteinfallsrichtung geneigten Durchlaßrichtungen zur Aufspaltung des von der Lichtquelle herrührenden Lichtes in zwei räumlich getrennte und senkrecht zueinander polarisierte Teilbündel, zwei Interferometerarmen mit im Lichtweg jedes Teilbündels angeordnetem $\lambda/4$ - Plättchen und einem Spiegel zum Zurückführen der Teilbündel auf den Polarisationsstrahlenteiler und mit einem durch den Polarisationsstrahlenteiler aus den beiden zurückgeföhrten Teilbündeln erzeugten und von diesen räumlich getrennten Abbildungsstrahlengang, gekennzeichnet dadurch, daß die $\lambda/4$ - Plättchen der Interferometerarme mit den orthogonalen Transmissionsrichtungen des Polarisationsstrahlenteilers einen Winkel von 45° einschließen und in Lichtrichtung des Abbildungsstrahlenganges ein drittes $\lambda/4$ - Plättchen, ein drehbares $\lambda/2$ - Plättchen und ein Polarisator angeordnet sind, wobei das dritte $\lambda/4$ - Plättchen mit den orthogonalen Transmissionsrichtungen des Polarisationsstrahlenteilers einen Winkel von 45° einschließt.
2. Anordnung nach Punkt 1 gekennzeichnet dadurch, daß der Polarisationsstrahlenteiler ein doppelbrechender Kristall ist.
3. Anordnung nach Punkt 1 oder 2 dadurch gekennzeichnet, daß in Lichtrichtung im Abbildungsstrahlengang ein $\lambda/4$ - Plättchen und ein rotierender Polarisator angeordnet sind.
4. Anordnung nach Punkt 1 dadurch gekennzeichnet, daß der Strahlenteiler ein bekannter Strahlenteiler zur Amplitudenteilung ist und in einem Interferometerarm nacheinander ein Polarisator, ein feststehendes $\lambda/4$ - Plättchen, ein drehbares $\lambda/4$ - Plättchen und ein Spiegel angeordnet sind.

