



Patent  
aufrechterhalten nach  
§ 12 Abs. 3 ErstrG

(51) Int. Cl.<sup>5</sup>: G 01 B 9/02

**DEUTSCHES PATENTAMT**

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Aufrechterhaltung kann Einspruch eingelegt werden

---

(21) Aktenzeichen:	(22) Anmeldetag:	(44) Veröff.-tag der DD-Patentschrift:	(45) Veröff.-tag der Aufrechterhaltung:
DD G 01 B / 295 285 8	15. 10. 86	13. 01. 88	07. 04. 94

---

(30) Unionspriorität:  
—

---

(72) Erfinder: Körner, Klaus, Dr.-Ing., 10369 Berlin, DE; Dolkeit, Torsten, Dipl.-Ing., 12489 Berlin, DE  
(73) Patentinhaber: Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung e. V., Leonrodstr. 68,  
80636 München, DE

---

**(54) Interferometeranordnung**

---

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht gezogene Druckschriften:  
DE 2 636 211 B1 DE 3 443 175 A1 DD 96 779

### Erfindungsanspruch:

1. Interferometeranordnung zur Ebenheitsprüfung technischer Oberflächen unter Anwendung, eines Prismas, dessen eine Planfläche die Referenzfläche für die Prüflingsoberfläche darstellt, **dadurch gekennzeichnet**, daß einem Rhombusprisma (3), bestehend aus zwei gleichartigen Dreiecksprismen, ein Spiegel (5) an der der Referenzfläche parallel gegenüberliegenden Planfläche in geringem Abstand keilwinklig und gleich in Abstand und Winkel zur Referenz- und Prüflingsoberfläche sowie im Abstand veränderbar zugeordnet ist.
2. Interferometeranordnung, gemäß Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß dem Rhombusprisma eine Abbildungsoptik (8, 9, 10) nachgeordnet und in deren Fokus eine Spaltblende angeordnet und positioniert ist.
3. Interferometeranordnung, gemäß Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet**, daß der Spaltblende eine Abbildungsoptik nachgeordnet ist, welche die interferierenden Bündel auf einen optoelektronischen Sensor (10) abbildet.

Hierzu 1 Seite Zeichnung

### Anwendungsgebiet der Erfindung

Die Erfindung ist anwendbar zur berührungslosen, interferometrischen Ebenheitsmessung von Prüflingen, beispielsweise Planplatten aus Glas, metallischen Prüflingen und Halbleiterwafern.

### Charakteristik des bekannten Standes der Technik

Bekannt ist ein Gitterinterferometer, mit dessen Hilfe sich die effektive Wellenlänge bei der Prüfung beträchtlich vergrößern läßt. Einem Streifenabstand entsprechen Abweichungen von der Größe Gitterkonstante/2 (Birch, K. G. Journal of Physics E., Scientific 6 [1973] S. 1045). Der Nachteil dieser Anordnung besteht in dem Problem der projektiven Verzerrung der Objektoberfläche.

Bei einem anderen bekannten Gitterinterferometer zur Ebenheitsprüfung von Siliziumscheiben wird das Licht von zwei benachbarten Beugungsordnungen, die beide unter verschiedenen Winkeln auf das Objekt gelangen, zur Interferenz gebracht (Järisch, W., Feinwerktechnik und Meßtechnik 8<sup>3</sup> [1975] S. 199; DE-AS 2636211/G01B, 9/02). Da der Gangunterschied von dem Winkel abhängt, unter dem das Licht das Interferometer durchläuft, ergeben sich bei der Überlagerung durch die Differenzbildung der Phasen bedeutende Variationsmöglichkeiten der topographischen Empfindlichkeit. Störend wirken hier Mehrfachüberlagerungen durch den Einfluß von anderen Beugungsordnungen und ähnliche projektive Verzerrungen wie bei der erstgenannten bekannten Anordnung.

Bekannt ist auch eine als „Interferoscope“ bezeichnete Anordnung zur Ebenheitsprüfung technischer Oberflächen, z. B. Stahlflächen, bei der die Wellenlängenvergrößerung ebenfalls durch streifende Inzidenz erzeugt wird (Abramson, N., Optik 20 [1969] S. 56). In dieser Anordnung wird ein 90°-Prisma verwendet, dessen Hypotenuse als Referenzfläche in einem Fizeauinterferometer benutzt wird. Das Licht fällt unter etwa 45° auf die Hypotenuse des Prismas und tritt nahezu streifend aus dieser aus. Nach Reflexion an der Prüflingsoberfläche tritt das Licht in das Prisma wieder ein und verläßt dieses unter 45° zur Hypotenuse senkrecht zur Kathete des Prismas. Durch die Brechung wird der Bündelquerschnitt anamorphotisch verzerrt und bei Wiedereintritt wieder entzerrt. Der Projektionsfehler beträgt daher nur  $\sqrt{2}$  und nicht z. B. 10. Dies kann als eindeutiger Vorteil gegenüber den bisher genannten Lösungen angeführt werden, da dadurch z. B. eine photoelektrische Erfassung vereinfacht bzw. erst ermöglicht wird. Nachteilig ist, daß das Interferogramm ein Mehrstrahlinterferogramm ist, wobei von der Dicke des Luftspalts zwischen Prisma und Prüfling abhängige unsymmetrische Interferenzstreifen auftreten können. Weiterhin ist die effektive Wellenlänge  $\lambda$  eine Funktion der Einfallswinkel und der Brechzahlen des Prismas und der Luft. Zwar ist die effektive Wellenlänge in weiten Grenzen wählbar, jedoch tritt dann das Problem auf, daß bei automatischer Erfassung der Interferenzbilder nach bekannten Verfahren (Bruning et al, Appl. Opt. 13 [1974] 2693; s. a. Gallagher, J. E. u. Herriott, D. R., DD-PS 96779/G 01 n, 21/46) die Verschiebung des Referenzspiegels jeweils in weiten Grenzen angepaßt werden muß, da die Referenzphase um eine volle Periode ( $2\pi$ ) durchgestimmt werden muß.

Schließlich ist eine Anordnung zur interferometrischen Ebenheitsprüfung technischer Oberflächen bekannt (DE 3443175), wo im Strahlengang eines Lasers eine  $\lambda/2$  Platte und ein Aufweitungssystem angeordnet sind. Hinter dem Aufweitungssystem befindet sich ein Umlenkspiegel, dem ein aus einem 90°-Prisma und Prüfling bestehendes Fizeauinterferometer nachgeordnet ist. Zu dem aus dem Fizeauinterferometer austretenden Strahlengang steht ein weiterer Umlenkspiegel, dem ein Moiré-Interferometer nachgestellt ist. Dieses Moiré-Interferometer besteht aus einem ersten und zweiten Objektiv mit zwischengeschaltetem Raumfrequenzfilter, einem sich anschließenden Beugungselement, das mittels Stellmotor in seiner Elementebene verschiebbar ist, und einem dritten und vierten Objektiv mit zwischengeschaltetem Raumfrequenzfilter.

Nachteilig an dieser Lösung ist, daß die Punktquelle (Pinhole) genau im Brennpunkt des Objektivs sitzen muß. Es sind nur Abweichung von einigen Zehntel Millimeter zulässig. Dadurch wird eine aufwendige und zeitraubende Justierung erforderlich. Weiterhin sind die Anforderungen an das Objektiv sehr hoch, denn es muß beugungsbegrenzt sein. Die Planwellendeformation muß geringer als  $\lambda/10$  sein. Das führt zur Anwendung langbrennweitiger Objektive. Die Anforderungen an die Spiegel zur Faltung des Strahlenganges liegen ebenfalls in der Größe zwischen  $\lambda/20$  und  $\lambda/10$ . Durch Umwelteinflüsse wie Temperatur, Schwingungsbelastung oder mechanisches Verspannen wird die Wellenfront deformiert. Dadurch werden Meßfehler vorgetäuscht, die im Meßergebnis nicht erkennbar sind. Schließlich bedingt das vorliegende hochfrequente Interferenzbild sehr viele optische Elemente für die Auswertung und damit einen großen Raumbedarf sowie eine aufwendige und zeitraubende Justierung.

### Ziel der Erfindung

Ziel der Erfindung ist es, eine solche Interferometeranordnung zu entwickeln, mit der schnell, unproblematisch, mit großer Genauigkeit bei kleinem Platzbedarf gemessen werden kann.

### Darlegung des Wesens der Erfindung

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, in einem niederfrequenten Interferenzbild mit einer  $\cos^2$ -Intensitätsverteilung die Lateral shear und den optischen Gangunterschied zwischen den interferierenden Wellenfronten zu Null zu machen und das niederfrequente Interferenzbild mit den üblichen optoelektronischen Bauelementen (CCD-Matrizen) sowie einer geeigneten Signalwandlung und Rechentechnik direkt auszuwerten.

Erfindungsgemäß wird die Aufgabe dadurch gelöst, daß einem Rhombusprisma, bestehend aus zwei gleichartigen Dreiecksprismen, ein Spiegel an der der Referenzfläche parallel gegenüberliegenden Planfläche in geringem Abstand keilwinklig und gleich in Abstand und Winkel zur Referenz- und Prüflingsoberfläche sowie im Abstand veränderbar so zugeordnet ist, daß die Phasenlage der interferierenden Bündel einstellbar wird.

An der zur Meßfläche parallelen Fläche in dieser Interferometeranordnung werden die auftreffenden Teilbündel teilweise reflektiert und teilweise hindurchgelassen. Die hindurchgelassenen Anteile treffen auf eine Spiegelfläche, die unter dem gleichen Keilwinkel und Abstand angeordnet ist, wie die Prüflingsfläche zur Referenzfläche des Meßprismas. Auch hier treten Mehrfachreflexionen auf. Die diese Prismenanordnung verlassenden Bündel werden von einem Objektiv auf eine Spaltblende fokussiert. In der Spaltebene entstehen mehrere Foki entsprechend der Anzahl der Reflexionen in der Prismenanordnung am Prüfling und an der Spiegelfläche. Es entsteht ein Bündel „nullter Ordnung“ durch ein Bündel, welches nur an den Glas-Luft-Flächen der Prismenanordnung reflektiert wurde. Dieses Bündel wird durch die Spaltblende weggeblendet. Der Fokus „erster Ordnung“ entsteht durch zwei Bündel, die genau einmal die Prismenanordnung verlassen haben, nämlich ein erstes Teilbündel, welches am Prüfling reflektiert wurde und ein zweites Teilbündel, welches an der Spiegelfläche beim Austritt aus der zweiten Fläche der Prismenanordnung reflektiert wurde. Bei gleichen Keilwinkeln zwischen dem Prüfling und der Referenzfläche sowie der Spiegelfläche und der zweiten Fläche fallen die Foki dieser beiden Teilbündel tatsächlich zusammen. Diese beiden Teilbündel werden durch die Spaltblende ausgekoppelt. Durch eine Abbildungsoptik werden diese Bündel auf einen optoelektronischen Sensor abgebildet, wo diese Bündel zur Interferenz gelangen. Da eine Zweistrahl-Interferenz auftritt liegt somit eine  $\cos^2$ -Intensitäts-Verteilung vor. Die übrigen Foki, die durch Mehrfachreflexionen entstehen, werden ausgeblendet. Die zur Interferenz kommenden Bündel weisen bei gleichem Keil und Abstand zwischen Prüflings- und Referenzfläche sowie Spiegelfläche und zweiter Fläche näherungsweise den optischen Gangunterschied Null auf, so daß auch andere Lichtquellen als Glaslaser, wie z. B. Halbleiterlaser verwendbar sind.

Für die Auswertung des Interferenzbildes im Echtzeitbetrieb mit einem Rechner muß eine Phasenstellung z. B. in  $\pi/2$ -Schritten vorgenommen werden, d. h. in Schritten von  $\lambda/4$ . Dies erfolgt durch die Abstandsänderung des Spiegels an der zweiten Planfläche des Rhombusprismas durch Rechnersteuerung.

### Ausführungsbeispiel

Die in der Figur von einer Strahlungsquelle 1 ausgehende Strahlung gelangt in ein Kollimatorobjektiv 0, 2. Die kollimierte Strahlung trifft auf die Eintrittsfläche eines Rhombusprismas 3, gelangt in dieses Prisma und wird z. T. (Bündel 1) an der Planfläche des Rhombusprismas 3 reflektiert. Diese Planfläche stellt eine Referenzfläche dar. Der hindurchgehende Strahlungsanteil (Bündel 2) trifft die Oberfläche des Prüflings 4 und wird von dieser zurück auf die Referenzfläche des Rhombusprismas reflektiert und tritt z. T. wieder in das Prisma ein. Die beiden Teilbündel a und b breiten sich im Prisma zueinander versetzt aus. Nach dem Auftreffen der Bündel a und b auf eine zweite Planfläche wird wieder je ein Teil der Bündel hindurchgelassen und ein Teil reflektiert. So entstehen die Bündel aa und ba durch die Reflexion an der zweiten Planfläche und nach der Reflexion der hindurchgetrennten Bündel ab und bb an einen Spiegel 5 treten diese wieder in das Prisma ein. Den Abstand zwischen dem Prüfling 4 und dem Prisma 3 und dem Spiegel 5 und dem Prisma 3 wird so eingestellt, daß sich ein keilförmiger Spalt ergibt, wobei die Keilwinkel und die Abstände möglichst gleich sind. Unter dieser Voraussetzung fallen die

Bündel ba und ab räumlich zusammen, d. h. nach der Reflexion an der ersten Planfläche und am Prüfling aufgetretene Lateralshear zwischen den Bündel a und b wird durch die Reflexion an der zweiten Planfläche und am Spiegel 5 für die Teilbündel ba und ab wieder rückgängig gemacht. Außerdem wird der optische Gangunterschied zwischen den Teilbündeln ba und ab nur durch die Differenz der Abstände Prüfling bzw. Spiegel von der jeweils zugehörigen Planfläche bestimmt. So kann der optische Gangunterschied praktisch zu Null gemacht werden. Die Teilbündel verlassen das Rhombusprisma 3 über die Austrittsfläche und werden nach der Reflexion am Hilfsspiegel 6 durch das Objektiv O<sub>2</sub> 7 auf den Spalt 8 fokussiert, der sich in der Fokusebene des Objektivs O<sub>2</sub> 7 befindet. Der Spalt 8 wird in der Fokusebene des Objektivs O<sub>2</sub> 7 so positioniert, daß diesen Spalt 8 nur die Bündel ab und ba passieren können. Das Bündel aa kann den Spalt 8 nicht passieren, da aufgrund einer anderen Neigung des Bündels aa im Objektraum des Objektivs O<sub>2</sub> 7 der Fokus vom Bündel aa nicht mit den Bündeln ab und ba zusammenfällt. Die Bündel, die durch Mehrfachreflexionen an den beiden Planflächen des Rhombusprismas entstehen, werden ebenfalls ausnahmslos durch den Spalt 8 weggeblendet, so daß nun die beiden miteinander interferierenden Bündel ab und ba den Spalt passieren können. Es liegt Zweistrahlinterferenz vor. Die Bündel treffen auf das Objektiv O<sub>3</sub> 9. Die Abbildung auf den Flächenempfänger 10 erfolgt so, daß die Prüfungsoberfläche in den Flächenempfänger abgebildet wird. Es entsteht eine Interferenzstruktur I (x<sub>F</sub>, y<sub>F</sub>) (x<sub>F</sub>, y<sub>F</sub>-Koordinaten des Flächenempfängers), aus der das Oberflächenprofil Δ<sub>z</sub> (x<sub>P</sub>, y<sub>P</sub>) (x<sub>P</sub>, y<sub>P</sub>-Koordinaten des Prüflings) berechnet werden kann. Die mit einem Rechner berechnete Prüflingsoberfläche wird auf einem Ausgabegerät z. B. einem Monitor oder einem Plotter dargestellt. Weitere benötigte Berechnungen sind beliebig möglich. Die für diese Berechnungen notwendigen Phasenwerte im Interferenzbild werden durch die Änderung der optischen Weglänge in einem Interferenzbündel erzeugt. Dies erfolgt durch Veränderung des Abstandes des Spiegels von der zweiten Planfläche am Rhombusprisma z. B. so, daß sich die Phase um jeweils π/2 ändert. Für vier Intensitätswerte mit einer Phasenverschiebung um je π/2 kann die Phase Φ wie folgt berechnet werden:

$$\Phi = \arctan \frac{I_2 - I_4}{I_1 - I_3} \pmod{\pi}$$

Aus der Phase Φ wird mit Hilfe geeigneter Algorithmen das Oberflächenprofil berechnet.

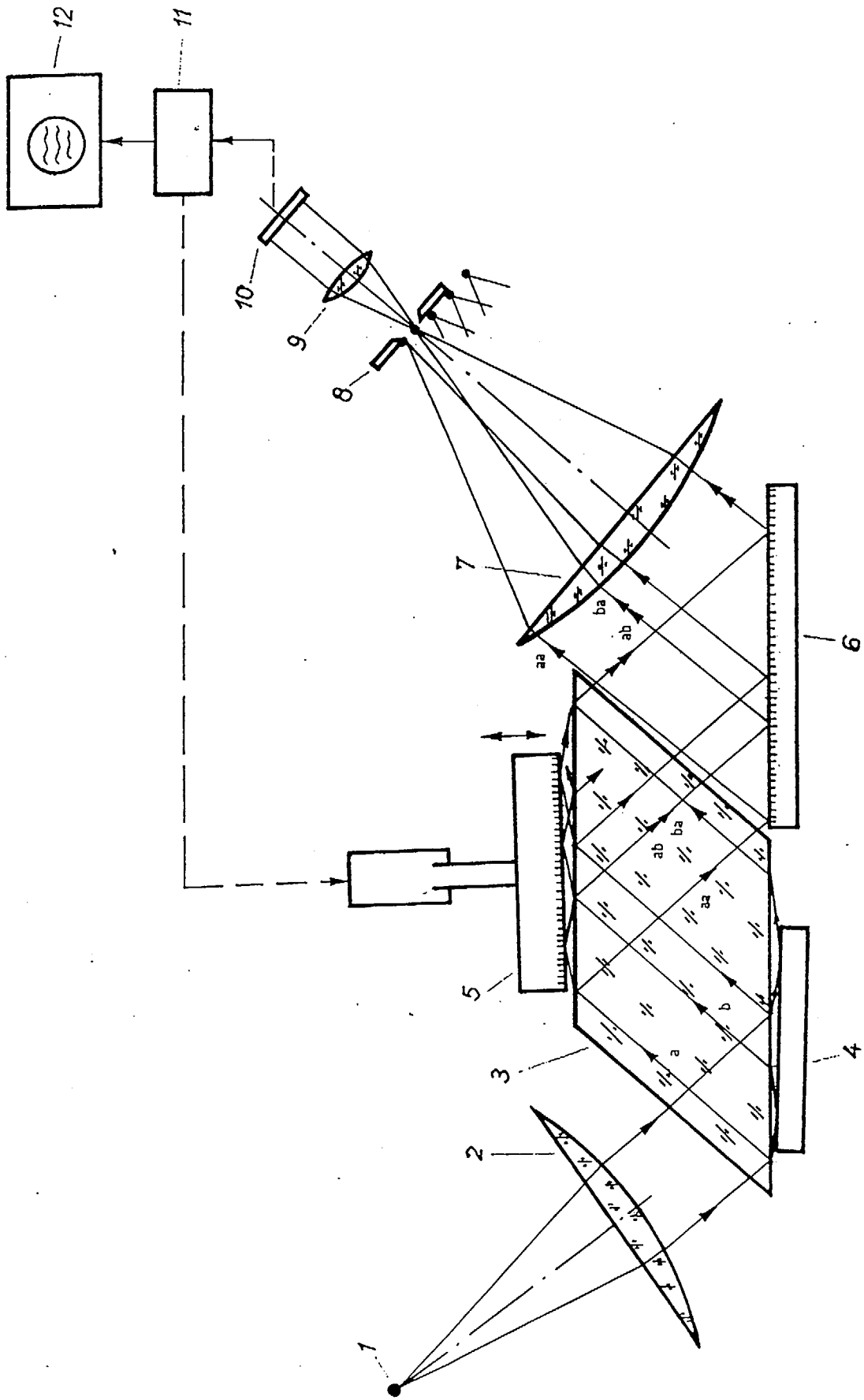


Fig.