

(12) Wirtschaftspatent

Erteilt gemäß § 17 Absatz 1 Patentgesetz

(19) DD (11) 268 771 A1

4(51) G 01 B 11/30

AMT FÜR ERFINDUNGS- UND PATENTWESEN

In der vom Anmelder eingereichten Fassung veröffentlicht

(21) WP G 01 B / 312 817 8

(22) 10.02.88

(44) 07.06.89

(71) Akademie der Wissenschaften der DDR, Otto-Nuschke-Straße 22/23, Berlin, 1080, DD

(72) Körner, Klaus, Dr.-Ing.; Fritz, Holger, Dipl.-Phys., DD

(54) Anordnung zur Messung der Feingestalt technischer Oberflächen

(55) Interferometrie, zeitaufgelöst, Mikroskop, Meßtechnik, Bildempfänger, Rauheit, Streifendichte, Glasblock

(57) Die Erfindung betrifft eine Anordnung zur Messung der Feingestalt technischer Oberflächen nach dem Prinzip des Interferenzmikroskops. Erfindungsgemäß wird bei einem Interferenzmikroskop, mit einer Glasplatte im Objektstrahlraum, im Referenzstrahlraum ein Prismenstück mit Dachkante nachgeordnet, so daß das Objekt- und das Referenzstrahlenbündel im gemeinsamen Strahlraum sich parallel versetzt ausbreiten und durch Fokussierung auf einen gerasterten Bildempfänger ein Interferenzbild hoher Streifendichte entsteht, das zeitaufgelöst ausgewertet werden kann. Hierdurch werden die Auswirkungen der Rauheit der Referenzfläche bei der interferometrischen Messung vollständig eliminiert und ein Interferenzbild hoher Streifendichte erzielt, wodurch eine Interferenzbildauswertung mit einem gerasterten Bildempfänger vorgenommen werden kann. Figur

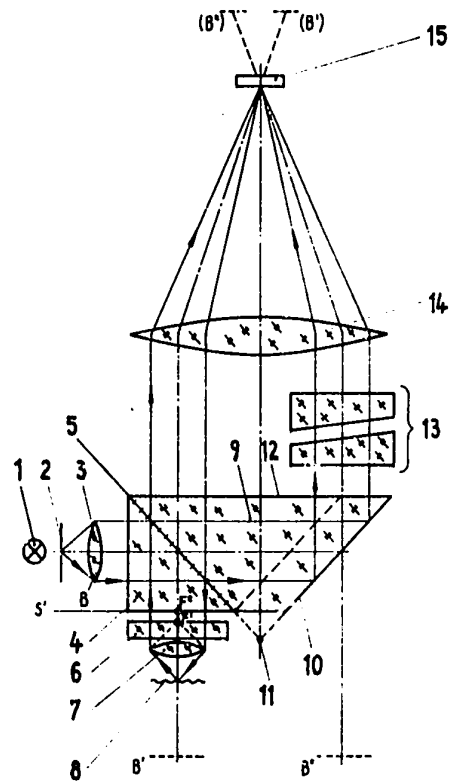


Fig.

Patentansprüche:

1. Anordnung zur Messung der Feingestalt technischer Oberflächen, mit einer Lichtquelle, einer Feldblende, einem Beleuchtungsobjektiv, einem Glasblock und einer teilverspiegelten Schicht, einem Abbildungsobjektiv, einer Objektoberfläche im Objektstrahlraum, einem Referenzstrahlraum und einem gemeinsamen Strahlraum mit einem Tubusobjektiv und einem gerasterten Bildempfänger, der mit einem Rechner verbunden ist, wobei der Lichtquelle in Ausbreitungsrichtung die Feldblende, das Beleuchtungsobjektiv, der Glasblock und die teilverspiegelte Schicht nachgeordnet sind und dieser das Abbildungsobjektiv und die Objektoberfläche folgen, **dadurch gekennzeichnet**, daß im Objektstrahlraum zwischen der teilverspiegelten Schicht (5) und dem Abbildungsobjektiv (7) eine Platte (6) und der Glasblock angeordnet ist und der teilverspiegelten Schicht (5) im Referenzstrahlraum ein Reflektor mit Dachkante (10) folgt, dem wiederum in Strahlausbreitungsrichtung ein Drehkeilpaar (13) und das Tubusobjektiv (14) mit dem Bildempfänger (15), der mit dem Rechner gekoppelt ist, nachgeordnet sind.
2. Anordnung nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Lage und die Brennweite des Abbildungsobjektivs (7) mit der optischen Dicke der Platte (6) so abgestimmt ist, daß die durch Platte (6) auftretende optische Verlagerung des der teilverspiegelten Schicht (5) zugekehrten Brennpunktes (F') in den virtuellen Brennpunkt (F''), der die virtuelle Spiegelebene (S') des Objektstrahlraumes definiert, so bemessen ist, daß die über den Objektstrahlraum abgebildete Pupille (B') und die über den Referenzstrahlraum mit dem Reflektor mit Dachkante (10) und dem Drehkeilpaar (13) abgebildete Pupille (B'') durch das Tubusobjektiv (14) im gemeinsamen Strahlraum als zwei parallel versetzte, in einer gemeinsamen Ebene liegende Austrittspupillen ($\{B'\}$) und ($\{B''\}$) abgebildet sind und so ein Interferenzbild hoher Streifendichte besteht.
3. Anordnung nach Anspruch 1 und 2, **dadurch gekennzeichnet**, daß der Glasblock ein 90° -Prisma (4) ist und der Reflektor mit Dachkante (10) als monolithisches bzw. zusammengefügtes Tripelprisma (9) mit einem Eckpunkt (11), der auf der optischen Achse des Tubusobjektivs (14) liegt, drei Seitenflächen und einer dem Eckpunkt (11) gegenüberliegenden Grundfläche (12) ausgeführt ist, wobei eine der drei Kanten, die vom Eckpunkt (11) des Tripelprismas (9) zur Grundfläche ausgehen, im Referenzstrahlraum als Dachkante angeordnet ist.
4. Anordnung nach Anspruch 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet**, daß das 90° -Prisma (4) an der Hypothenusenfläche und das Tripelprisma (9) an einer Seitenfläche starr miteinander zusammengefügt sind, wobei zwischen diesen die teilverspiegelte Schicht (5) angeordnet ist.
5. Anordnung nach Anspruch 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet**, daß das Tripelprisma (9) zu einem 90° -Prisma und einem 90° -Dachkantprisma zerschnitten ist.
6. Anordnung nach Anspruch 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Dachkante (10) vorzugsweise senkrecht zur teilverspiegelten Schicht (5) liegt und der Eckpunkt (11) des Tripelprismas (9) vorzugsweise außerhalb der Hypothenusenfläche des 90° -Prismas (4) angeordnet und die Grundfläche (12) des Tripelprismas (9) parallel zur Kathetenfläche des 90° -Prismas (4) im Objektstrahlraum ausgerichtet ist.
7. Anordnung nach Anspruch 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet**, daß die optischen Dicken der Platte (6), des Abbildungsobjektivs (7), des Tripelprismas (9) und des Drehkeilpaares (13) so bemessen sind, daß der optische Gangunterschied zwischen den interferierenden Objekt- und Referenzstrahlenbündeln für wenigstens eine Lichtwellenlänge zu einer Größe gegen Null gemacht ist.
8. Anordnung nach Anspruch 1 bis 7, **dadurch gekennzeichnet**, daß der Bildempfänger (15) aus einer CCD-Matrix besteht.
9. Anordnung nach Anspruch 1 bis 8, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Platte (6) keilig ist, sowie quer verschiebbar und vorzugsweise kippbar angeordnet ist.
10. Anordnung nach Anspruch 1 bis 9, **dadurch gekennzeichnet**, daß das Abbildungsobjektiv (7) gemeinsam mit der Platte (6) auswechselbar angeordnet ist.

Hierzu 1 Seite Zeichnung

Anwendungsgebiet der Erfindung

Die Erfindung betrifft eine Anordnung zur zeitaufgelösten Messung der Feingestalt technischer Oberflächen nach dem Prinzip des Interferenzmikroskops.

Charakteristik des bekannten Standes der Technik

Es sind technische Lösungen bekannt, bei denen das von einer Lichtquelle ausgehende Strahlenbündel durch eine Strahlteilung in einen Objekt- und einen Referenzstrahlraum aufgespalten wird, wobei sich im Objektstrahlraum ein Objektiv und die anzumessende Objektoberfläche befinden.

Im Referenzstrahlraum sind ein Objektiv gleichen Typs und eine Referenzfläche angeordnet, wie z. B. von Krug, Rienitz und Schulz in „Beiträge zur Interferenzmikroskopie“, Akademie-Verlag, Berlin 1961, S. 55/56 beschrieben.

Die von der Objektoberfläche und der Referenzoberfläche reflektierte Strahlung wird an der Teilerfläche wieder vereinigt, gelangt zur Interferenz und wird in einem mikroskopischen Strahlengang abgebildet.

Der Nachteil dieser Anordnungen besteht darin, daß die Rauheit der Referenzfläche sich als Fehler in der Messung bemerkbar macht. Dieser Effekt ist störend, wenn die technologische Bearbeitungsgrenze beim Feinpolieren erreicht wird (RMS-Wert bzw. $R_q \leq 10 \text{ nm}$).

Es ist bekannt, daß bei Interferenzmikroskopen die Phase-Sampling-Methode zur Auswertung von Interferenzstrukturen benutzt wird. Hierbei wird zeitlich nacheinander die Phase im Interferenzbild definiert verändert.

Derartige Lösungen haben den Nachteil, daß durch Störeinflüsse, z. B. bei Schwingungen des Objektes, nicht zu vernachlässigende Phasenfehler auftreten können. Außerdem ist es nicht möglich, Interferenzbilder an bewegten Objekten auszuwerten.

Weiterhin wurde bereits vorgeschlagen, bei einer zeitaufgelösten Messung der Oberflächengestalt den störenden Einfluß der Rauheit der Referenzfläche auf das Meßergebnis dadurch zu reduzieren, daß im Referenzstrahlraum die spiegelnde Vergleichsfläche durch ein Referenzobjektiv größerer Brennweite und kleinerer numerischer Apertur als das Abbildungsobjektiv im Objektstrahlraum abgebildet wird. Diese technische Lösung führt zwar zu Meßwerten mit einem besonders hohen Genauigkeitsgrad, der nicht in jedem Falle notwendig ist, erfordert aber einen zusätzlichen technischen Aufwand für die Abbildung der Referenzfläche und den optischen Abgleich des Interferometers.

Ziel der Erfindung

Ziel der Erfindung ist es, den technischen Aufwand bei der interferenzmikroskopischen Messung der Rauheit von Oberflächen in Nanometerbereich stark zu verringern.

Darlegung des Wesens der Erfindung

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, bei der zeitaufgelösten interferometrischen Messung die bisher erforderliche körperliche Referenzfläche überflüssig zu machen.

Die erfindungsgemäße Anordnung umfaßt eine Lichtquelle, die aus einer kompletten Interferenzmikroskop-Beleuchtung besteht, eine Feldblende, ein Beleuchtungsobjektiv, einen Glasblock, eine teilverspiegelte Schicht, ein Abbildungsobjektiv, eine Objektoberfläche im Objektstrahlraum, einen Referenzstrahlraum und einen gemeinsamen Strahlraum mit einem Tubusobjektiv und einem gerasterten Bildempfänger, der mit einem Rechner verbunden ist, wobei der Lichtquelle in Ausbreitungsrichtung die Feldblende, das Beleuchtungsobjektiv, der Glasblock und die teilverspiegelte Schicht nachgeordnet sind und dieser das Abbildungsobjektiv und die Objektoberfläche folgen, wobei erfindungsgemäß im Objektstrahlraum zwischen der teilverspiegelten Schicht und dem Abbildungsobjektiv eine Platte und der Glasblock angeordnet sind und der teilverspiegelten Schicht im Referenzstrahlraum ein Reflektor mit Dachkante folgt, dem wiederum in Strahlausbreitungsrichtung ein Drehkeilpaar und das Tubusobjektiv mit dem Bildempfänger, der mit dem Rechner gekoppelt ist, nachgeordnet sind.

Hierbei sind vorteilhafterweise die Lage und die Brennweite des Abbildungsobjektivs mit der optischen Dicke der Platte so abgestimmt, daß die durch die Platte auftretende optische Verlagerung des der teilverspiegelten Schicht zugekehrten Brennpunktes F' in den virtuellen Brennpunkt F'' , der die virtuelle Spiegelebene S' des Objektstrahlraumes definiert, so bemessen ist, daß die über den Objektstrahlraum abgebildete Pupille B' und die über den Referenzstrahlraum mit dem Reflektor mit Dachkante 10 und dem Drehkeilpaar 13 abgebildete Pupille B'' durch das Tubusobjektiv 14 im gemeinsamen Strahlraum als zwei parallel versetzte, in einer gemeinsamen Ebene liegende Austrittspupillen (B') und (B'') abgebildet sind und so ein Interferenzbild hoher Streifendichte besteht.

Der Glasblock ist vorzugsweise ein 90° -Prisma, der Reflektor mit Dachkante vorzugsweise als monolithisches oder zusammengefügtes Tripelprisma mit einem Eckpunkt, der auf der optischen Achse des Tubusobjektivs liegt, drei Seitenflächen und einer dem Eckpunkt gegenüberliegenden Grundfläche ausgeführt, wobei eine der drei Kanten, die vom Eckpunkt des Tripelprismas zur Grundfläche ausgehen, im Referenzstrahlraum als Dachkante angeordnet ist.

Das 90° -Prisma und das Tripelprisma sind hierbei zweckmäßigerweise an der Hypothenusenfläche bzw. an einer Seitenfläche starr miteinander zusammengefügt, wobei zwischen diesen die teilverspiegelte Schicht angeordnet ist. Das Tripelprisma kann aber auch zu einem 90° -Prisma und einem 90° -Dachkantenprisma zerschnitten sein.

Die Dachkante liegt vorzugsweise senkrecht zur teilverspiegelten Schicht und der Eckpunkt des Tripelprismas ist vorzugsweise außerhalb der Hypothenusenfläche des 90° -Prismas angeordnet, die Grundfläche des Tripelprismas parallel zur Kathetenfläche des 90° -Prismas im Objektstrahlraum ausgerichtet.

Die optischen Dicken der Platte, des Abbildungsobjektivs, des Tripelprismas und des Drehkeilpaares sind am günstigsten so bemessen, daß der optische Gangunterschied zwischen den interferierenden Objekt- und Referenzstrahlenbündeln für wenigstens eine Lichtwellenlänge zu einer Größe gegen Null gemacht ist.
Der Bildempfänger besteht vorzugsweise aus einer CCD-Matrix. Vorzugsweise ist die Platte keilig, quer verschiebbar und kippar, das Abbildungsobjektiv gemeinsam mit der Platte auswechselbar angeordnet.

Ausführungsbeispiel

Die Erfindung soll nachstehend an einem Ausführungsbeispiel näher erläutert werden. Die zugehörige Zeichnung zeigt die erfindungsgemäße Anordnung in nachstehender Fig. in schematischer Darstellung.

Das von einer Lichtquelle 1 ausgehende Strahlenbündel wird von einer Feldblende 2 begrenzt, durch ein Beleuchtungsobjektiv 3 kollimiert, gelangt in ein 90°-Prisma 4 und trifft auf eine teilverspiegelte Schicht 5. Ein Teil des Strahlenbündels gelangt in den Objektstrahlraum und wird zum Objektstrahlenbündel, welches eine Platte 6 durchsetzt und durch ein Abbildungsobjektiv 7 auf eine Objektoberfläche 8 fokussiert wird. Von dort wird es im Fokus reflektiert, durch das Abbildungsobjektiv 7 wieder kollimiert, durchsetzt die Platte 6 erneut und gelangt durch die teilverspiegelte Schicht 5 in einen gemeinsamen Strahlraum.

Der zweite Teil des Strahlenbündels passiert die teilverspiegelte Schicht 5, wird zum Referenzstrahlenbündel und trifft auf die Dachkante eines Tripelprismas 9, wo es um 90° reflektiert und dabei gleichzeitig gespiegelt wird, passiert ein Drehkeilpaar 10, wo das Referenzstrahlenbündel in seiner Ausbreitungsrichtung korrigiert werden kann und tritt in den gemeinsamen Strahlraum ein, wo es sich parallel versetzt zum Objektstrahlenbündel ausbreitet und gemeinsam mit diesem durch ein Tubusobjektiv 11 auf einen Bildempfänger 12 fokussiert wird, so daß ein Bild der Objektoberfläche 8 als Interferenzbild entsteht, wobei die Interferenzstreifen einen sehr kleinen Abstand aufweisen, der nur einen Bruchteil der lateralen Auflösung des Abbildungsobjektivs 7 beträgt. Dieses Interferenzbild wird von einem gerasterten Bildempfänger 12 dessen Bildelementeabstand einen Bruchteil des Interferenzstreifenabstandes beträgt, detektiert und gelangt in einen hier nicht dargestellten Rechner.

Damit ist es möglich, die Phaseniage im Interferenzbild in jedem aufgelösten Bildpunkt zu bestimmen, z. B. mit Hilfe des Fourier-Transformations-Algorithmus.

Die optische Dicke der Platte 6, die Lage und die Brennweite des Abbildungsobjektivs 7 sind hierbei zum Tripelprisma 9 so abgestimmt, daß die über den Objekt- und Referenzstrahlengang abgebildeten Pupillen B_1 und B_2 im gemeinsamen Strahlengang zwei getrennte Austrittspupillen (B_1' und B_2') bilden, die jedoch in einer gemeinsamen Ebene liegen.

Aus Gründen der Platzersparnis sind der Eckpunkt des Tripelprismas und nicht für die Abbildung des Referenzstrahlenbündels benötigtes Gasvolumen abgeschliffen.

Dabei sind die optischen Weglängen im Objekt- und im Referenzstrahlraum so bemessen, daß wenigstens für eine Wellenlänge der optische Gangunterschied zu einer Größe gegen Null gemacht ist.

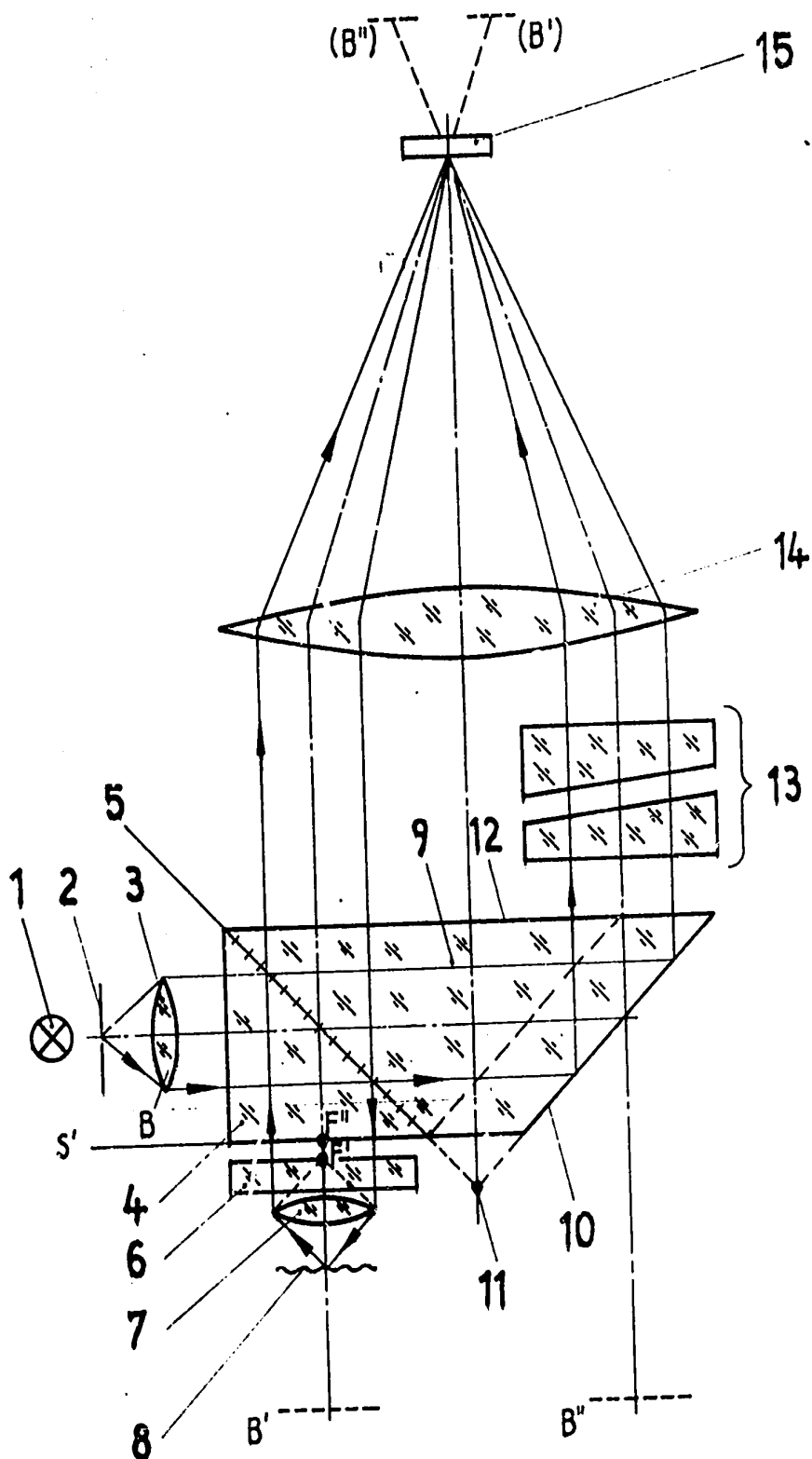


Fig.