



SCHWEIZERISCHE EIDGENOSSENSCHAFT
BUNDESAMT FÜR GEISTIGES EIGENTUM

① CH 674906 A5

⑤ Int. Cl.⁵: G 03 H 1/20
G 02 B 5/32

Erfindungspatent für die Schweiz und Liechtenstein
Schweizerisch-liechtensteinischer Patentschutzvertrag vom 22. Dezember 1978

⑫ **PATENTCHRIFT** A5

⑲ Gesuchsnummer: 4111/87

⑳ Anmeldungsdatum: 21.10.1987

㉔ Patent erteilt: 31.07.1990

④ Patentschrift
veröffentlicht: 31.07.1990

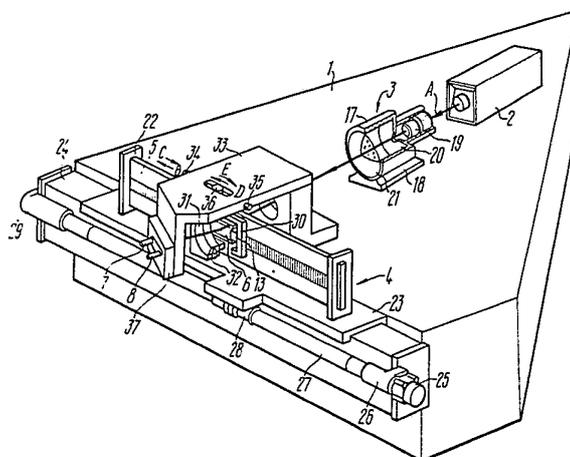
⑦ Inhaber:
Leningradsky Institut Yadernoi Fiziki imeni B.P.
Konstantinova Akademii Nauk SSSR, Gatchina
(SU)

⑦ Erfinder:
Turukhano, Boris Ganievich,
Gatchina/Leningradskoi oblasti (SU)
Gorelik, Vladimir Peitsevich,
Gatchina/Leningradskoi oblasti (SU)
Turukhano, Nikulina, Gatchina/Leningradskoi
oblasti (SU)
Kovalenko, Sergei Nikolaevich, Taitsy/Gatchinsky
raion (SU)

⑦ Vertreter:
Patentanwältin Schaad, Balass & Partner, Zürich

⑤④ **Einrichtung zum Bestimmen der Linearität eines zu prüfenden Beugungsgitters.**

⑤⑦ Ein Laser (2) richtet ein Strahlenbündel (A) über ein Kollimatorsystem (3) auf eine in Richtungen (B, C) bewegbare Baugruppe (4). Diese ist zur Aufnahme eines zu prüfenden Beugungsgitters (5) eingerichtet. Ein zusätzliches Beugungsgitter (6) ist relativ zur Baugruppe (4) in Richtungen (D, E) winkerverschiebbar. Es ist ferner mit einem Piezoelement (13) starr verbunden, welches an einen Wechsellspannungsgenerator elektrisch angeschlossen ist. Von zwei Fotoempfängern (7, 8) ist jeder mit einem Selektivverstärker elektrisch verbunden, deren Ausgänge auf einen Phasenmesser geschaltet sind. Die Fotoempfänger (7, 8) sind in der Apertur des zusätzlichen Beugungsgitters (6) und in der Ausgangsapertur des Kollimatorsystems (3) in einem vorgegebenen Abstand voneinander angeordnet und dabei miteinander und mit dem zusätzlichen Beugungsgitter (6) starr verbunden. Diese Einrichtung ermöglicht es, die Linearität des zu prüfenden Beugungsgitters (5) mit einer erhöhten Genauigkeit bei einer beliebigen Länge desselben zu bestimmen.



Beschreibung

Die Erfindung betrifft eine Einrichtung nach dem Oberbegriff des Anspruchs 1.

5 Eine solche Einrichtung bezieht sich auf das Gebiet der Holographie und dient insbesondere in der Metrologie und Spektroskopie zum Bestimmen der Gleichmässigkeit einer Strichverteilung über die Oberfläche von zu prüfenden Strichrastern, linearen und radialen Beugungsgittern.

Eine bekannte Einrichtung zum Bestimmen der Linearität eines zu prüfenden Beugungsgitters weist als Quelle kohärenter Strahlung einen nach Jod stabilisierten He-Ne-Laser und im Strahlengang der kohärenten Strahlung ein Michelson-Interferometer auf. In der einen optischen Wegstrecke des Interferometers sind das zu prüfende Beugungsgitter und ein Reflektor auf einem Schlitten angeordnet, der in bezug auf ein feststehendes lichtelektrisches Mikroskop verschiebbar ist. Ferner weist die bekannte Einrichtung ein Interferenz-Refraktometer zur Bestimmung des Brechungsindex der Luft, eine Präzisionsapparatur zur Bestimmung der Temperatur des zu prüfenden Rasters und der Luft sowie elektronische Geräte zum Zählen der Strichzahl des zu prüfenden Gitters und zur Interferenz-Streifenzählung am Ausgang des Interferometers und zur Bestimmung der Längen der Messbereiche unter Beachtung von eine Änderung des Brechungsindex berücksichtigenden Korrekturen auf (siehe beispielsweise einen Beitrag von A.A. Bolonin, N.P. Gerasimov, V.L. Fedorin, L.F. Havinson und V.L. Shura «Untersuchung eines Laser-Interferenzkomparators einer Kopie des Normals der Einheit der Länge des Meters» in den Leitsätzen zu den Berichten einer wissenschaftlich-technischen Allunions-Seminar-Konferenz zum Thema «Einführung progressiver Mittel und Methoden zur Überwachung der Masse, für Präzisionsmessungen von Längen und Winkeln», Leningrad, 1984, S. 70 bis 71).

Diese bekannte Einrichtung arbeitet folgendermassen:

Das lichtelektrische Mikroskop wird aufeinanderfolgend auf den Anfangs- und den Endstrich eines Messbereiches gerichtet, innerhalb dessen die Striche des zu prüfenden Beugungsgitters gezählt werden, wobei der Interferometerspiegel um einen Abstand verschoben wird, der gleich dem Messbereich ist, während sich die Gangdifferenz zwischen den interferierenden Bündeln um einen Doppelwert ändert.

Bei einer Verschiebung des Reflektors können auf der Ausgangsapertur des Interferometers sich verschiebende Interferenzstreifen beobachtet werden. Die Linearität des zu prüfenden Beugungsgitters wird in dieser Einrichtung durch Vergleichen der Zahl der Interferenzstreifen mit der der Gitterstriche in den gleichen Messbereichen bewertet. Hierbei bedarf es keines stofflichen Normals, das nach der Länge dem zu prüfenden Beugungsgitter gleich ist. Als Normal dient die im Vakuum gemessene Wellenlänge λ_{vac} der Strahlungsquelle.

Derartige konstruktive Ausführung der Einrichtung weist aber eine begrenzte Genauigkeit (der gesamte mittlere quadratische Messfehler beträgt $0,06 \mu\text{m}/\text{m}$) wegen grundsätzlicher Nachteile des verwendeten Michelson-Interferometers mit einer unkompensierten Gangdifferenz auf. Infolgedessen bedarf es einer Korrektur der Wellenlänge der Strahlung (d.h. des Normals). Zur Bestimmung der Korrektur enthält die Einrichtung ausser dem Interferometer zusätzlich einen Interferenzrefraktometer.

Diese Einrichtung ist in konstruktiver Hinsicht kompliziert und dient zur Prüfung von Kopien des Normals der Einheit der Länge des Meters und ist damit an einen einzigen Verwendungszweck gebunden, weshalb sie für Industriezwecke zur Bewertung der Linearität einer grossen Anzahl von langen hochgenauen Beugungsgittern nicht herangezogen werden kann.

Es ist eine Einrichtung zur Bewertung der Linearität eines zu prüfenden Beugungsgitters bekannt, die eine Quelle kohärenter Strahlung und im Strahlengang der kohärenten Strahlung angeordnet ein Kollimatorsystem, eine mit der Möglichkeit einer hin- und hergehenden Bewegung befestigte Baugruppe zur Unterbringung eines zu prüfenden Beugungsgitters, ein bezüglich der Baugruppe zur Unterbringung eines zu prüfenden Beugungsgitters mit der Möglichkeit einer Winkelverschiebung montiertes zusätzliches Beugungsgitter und einen in der Apertur des zusätzlichen Beugungsgitters und in der Ausgangsapertur des Kollimatorsystems liegenden und mit einer Registriereinheit elektrisch verbundenen Fotoempfänger (s. z.B. den Beitrag von G.N. Rassudova «Interferenz-Moiréstreifen in einem System aus einem transparenten und einem Reflexions-Beugungsgitter», Zeitschrift «Optika i spektroskopija», 1967, Bd. 22, Ausgabe 4, S. 614 bis 625) enthält.

Die Untersuchung einer Abweichung vom linearen Gitterstrich-Verteilungsgesetz (durch eine direkte Strichzählung längs des Gitters) wird in der vorliegenden Einrichtung durch die Untersuchung einer Abweichung eines Moiréstreifens ersetzt vom geraden Verlauf.

55 Der Moiréstreifen steht auf der Halbierenden des Winkels zwischen den Gitterstrichen in Längsrichtung des zu prüfenden Gitters aufrecht. Eine Änderung der Gitterperiode bewirkt eine Krümmung des Moiréstreifens und also auch dessen Abweichung vom geraden Verlauf.

Die genannte Einrichtung arbeitet folgendermassen:

Die beiden Gitter (das zusätzliche Bezugs- und das zu prüfende Gitter) werden mit den Arbeitsflächen aufeinandergelegt und nach dem Winkel zwischen den Strichen verstimmt. Bei der Beleuchtung durch die Quelle kohärenter Strahlung und bei kleinen Abweichungswinkeln treten in der Apertur der Quelle Moiréstreifen in Erscheinung. Es wird eine Periode des Moiréstreifens oberhalb der Eingangsapertur des Fotoempfängers gewählt, und die Gitter werden gegeneinander starr befestigt. Dann werden sie in bezug auf den Fotoempfänger verschoben, wodurch der gesamte Moiréstreifen in Längsrichtung

65

abgetastet wird. Nach der Krümmung des Moiréstreifens wird die Linearität des zu prüfenden Gitters beurteilt.

5 Diese Einrichtung unterscheidet sich von der zuerst genannten, da das System aus den zwei Beugungsgittern wegen eines geringen Gangunterschiedes zwischen den interferierenden Bündeln von der Grössenordnung des Spaltes zwischen den Gittern praktisch ein kompensiertes Interferometer darstellt, während im Michelson-Interferometer dieser Unterschied einer doppelten Länge des zu prüfenden Gitters gleich ist.

10 Der geringe Gangunterschied der Wellen der Quelle kohärenter Strahlung in den optischen Wegstrecken des Interferometers erbringt folgende Vorteile dieser Einrichtung gegenüber der zuerst beschriebenen Einrichtung.

Es entfällt eine Korrektur mit Rücksicht auf die klimatischen Bedingungen, was die Einrichtung selbst und deren Betrieb wesentlich vereinfacht.

In derartiger Einrichtung kann eine quasikohärente Lichtquelle zur Anwendung kommen, was den Betrieb dieser Einrichtung vereinfachen kann.

15 Darüber hinaus wird der Vorgang der Prüfung beschleunigt. Dies hängt damit zusammen, dass die Streifenanzahl durch eine Abtastung des Moiréstreifens ersetzt wird, was weniger Zeit in Anspruch nimmt.

In derartiger Einrichtung macht die Genauigkeit der Prüfung der Linearität ca. ein Zehntel des Streifens aus und erreicht bei einer Gitterperiode von $1\ \mu\text{m}$ einen Wert von $0,1\ \mu\text{m}$.

20 Solch eine konstruktive Ausführung der Einrichtung aber, bei der das zu prüfende und das Bezugsgitter nach der Länge gleich, miteinander starr verbunden sind und sich vor dem gleichen Fotoempfänger verschieben, gestattet es nicht, eine höhere Genauigkeit aus folgenden Gründen zu erzielen.

25 Die Bewertung der Linearität des zu prüfenden Gitters wird durch die Linearität des Normals selbst beeinflusst. Die Schaffung von langen, hochgenauen stofflichen Bezugsnormalen mit grosser Strichzahl ist zurzeit ein ungelöstes Problem, was die Prüfung der langen, hochgenauen Gitter mit grosser Strichzahl beschränkt.

30 Die Messungen werden im Amplitudenbetrieb vorgenommen, weshalb auf die Signalamplitude verschiedene Faktoren, beispielsweise eine Änderung der Strahlungsintensität, die des Beugungswirkungsgrades längs des Gitters wegen eines Einritzens von Strichen oder wegen einer ungleichmässigen Begiessung oder Bearbeitung der Emulsionsschicht oder des lichtempfindlichen Materials im Falle der holographischen Gitter, Geräusche und Störungen (Vibration) einwirken.

Aus den genannten Gründen gewährleistet die vorstehend beschriebene Einrichtung keine hohe Genauigkeit beim Bestimmen der Linearität des zu prüfenden Gitters. Dieser Nachteil ist insbesondere bei grossen Gitterlängen und bei grosser Strichzahl störend.

35 Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine Einrichtung zum Bestimmen der Linearität eines zu prüfenden Beugungsgitters zu schaffen, die solche Elemente aufweist und bei der die Registriereinheit in bezug auf diese Elemente derart ausgeführt ist, dass sich die Genauigkeit beim Bestimmen der Linearität des zu prüfenden Beugungsgitters beliebiger Länge erhöhen lässt.

40 Die gestellte Aufgabe wird erfindungsgemäss durch die kennzeichnenden Merkmale des Anspruchs 1 gelöst.

Eine derartige konstruktive Ausführung der erfindungsgemässen Einrichtung gestattet es, die Linearität eines zu prüfenden Beugungsgitters mit einer erhöhten Genauigkeit bei einer beliebigen Länge des zu prüfenden Gitters zu bestimmen.

45 Durch eine bevorzugte Ausführungsform nach Anspruch 2 lässt sich ein maximales Signal/Rauschverhältnis erzielen.

Ein Ausführungsbeispiel der Erfindung wird nachfolgend anhand der Zeichnung näher erläutert. Es zeigt:

50 Fig. 1 Eine Einrichtung zum Bestimmen der Linearität eines zu prüfenden Beugungsgitters in axonometrischer Darstellung;

Fig. 2 eine optoelektronische Schaltungsanordnung der Einrichtung nach der Fig. 1 und

Fig. 3 die Darstellung einer Beugung eines kohärenten Strahlenbündels an den Beugungsgittern der Einrichtung nach der Fig. 1.

55 Auf einer Grundplatte 1 der in der Fig. 1 dargestellten Einrichtung ist eine Quelle 2 kohärenter Strahlung in Form eines Lasers angeordnet. Im Strahlengang A der kohärenten Strahlung sind auf der Grundplatte 1 ferner angeordnet: ein Kollimatorsystem 3, eine in Richtungen B und C hin- und herbewegbare, zur Unterbringung eines zu prüfenden Beugungsgitters 5 bestimmte Baugruppe 4, ein zusätzliches Beugungsgitter 6 sowie Fotoempfänger 7 und 8. Das zusätzliche Beugungsgitter 6 ist relativ zur Baugruppe 4 in Richtungen D und E winkelschiebbar angeordnet. Die Fotoempfänger 7 und 8 sind in der Apertur des zusätzlichen Beugungsgitters 6 und in der Ausgangsapertur des Kollimatorsystems 3 in einem vorgegebenen Abstand voneinander angeordnet und dabei miteinander und mit dem zusätzlichen Beugungsgitter 6 starr verbunden.

60 Gemäss Fig. 2 sind die Fotoempfänger 7 und 8 mit einer Registriereinheit 9 elektrisch verbunden, die zwei Selektivverstärker 10 und 11 sowie einen Phasemesser 12 aufweist. Dabei ist der Fotoempfänger 7

mit dem Eingang des Verstärkers 11 und der Fotoempfänger 8 mit dem Eingang des Verstärkers 10 verbunden, während deren Ausgänge an die Eingänge des Phasenmessers 12 geschaltet sind.

Mit dem zusätzlichen Beugungsgitter 6 (Fig. 1 und 2) ist ein Piezoelement 13 starr verbunden, das mit einem Wechselspannungsgenerator 14 (Fig. 2) elektrisch gekoppelt ist.

5 Die Fotoempfänger 7 und 8 sind bezüglich der Oberfläche des zusätzlichen Beugungsgitters 6 unter einem Winkel φ_m (Fig. 3) eingestellt, der aus der Beziehung

$$10 \quad \varphi_m = \arcsin\left(\sin \Theta - \frac{m\lambda}{d}\right) \quad (1)$$

ermittelt wird, worin

Θ – ein Winkel zwischen der optischen Achse 15 (Fig. 2) des Kollimatorsystems 3 und einer Normalen 16 (Fig. 3) zur Oberfläche des zusätzlichen Beugungsgitters 6 ist, der einem halben Winkel zwischen den

15 Bündeln des Interferometers entspricht, in dem dieses Gitter aufgezeichnet wurde;

$m = \pm 1, \pm 2, \dots$ eine Beugungsordnung;

λ – die Wellenlänge der Quelle 2 (Fig. 1 und 2) kohärenter Strahlung;

d – die Periode des zusätzlichen 6 und des zu prüfenden Beugungsgitters 5 sind.

20 Im beschriebenen Ausführungsbeispiel der Einrichtung ist

$$|\Theta| = |\varphi_m| = 20^\circ$$

In der beschriebenen Ausführungsform der erfindungsgemässen Einrichtung weist das Kollimatorsystem 3 (Fig. 1) ein kurzbrennweitiges Objektiv 19, eine Blende 20 und ein Kollimatorobjektiv 21 auf, die in

25 einem Gehäuse 17 untergebracht sind, das auf einem Sockel 18 angeordnet ist, der seinerseits auf der Grundplatte 1 aufgestellt ist.

Die hin- und herbewegbar angeordnete Baugruppe 4 zur Unterbringung des zu prüfenden Beugungsgitters 5 ist in Form zweier Halter 22 ausgeführt, in deren Schlitzen die Stirnenden des Gitters 5 befestigt sind. Die hin- und hergehende Bewegung der Baugruppe 4 kommt durch eine starre Befestigung

30 der Halter 22 auf einem Schlitten 23 zustande, der an einem mit der Grundplatte 1 starr verbundenen Gestell 24 angeordnet ist und auf diesem mittels eines Elektromotors 25 verschoben wird, der an einer Buchse 26 angebracht wird, die am Gestell 24 befestigt ist. Die Ausgangswelle des Elektromotors 25 ist mit Hilfe einer Spindel 27 und einer Gewindeführung mit dem Schlitten 23 kinematisch verbunden. Die Spindel 27 ist in der Buchse 26 und in einer am Gestell 24 befestigten Buchse 29 untergebracht.

35 Das zusätzliche Beugungsgitter 6 ist, wie oben beschrieben, bezüglich der Baugruppe 4 zur Unterbringung des zu prüfenden Beugungsgitters 5 mit der Möglichkeit einer Winkelverschiebung angeordnet. Zu diesem Zweck ist das Gitter 6 mittels des Piezoelements 13 in einer Fassung 30 untergebracht, die mit einem Ring 31 starr verbunden ist, der in einem Rahmen 32 drehbar angeordnet ist, der mit einem

40 auf der Grundplatte 1 aufgestellten Träger 33 starr verbunden ist. Die Drehung erfolgt in Richtung E und D mittels zweier Schrauben 34 und 35, die mit einem Stift 36 kontaktiert werden. Am Träger 33 sind die Fotoempfänger 7 und 8 angeordnet, die in einem Gehäuse 37 gegeneinander verschiebbar montiert sind.

Die Arbeitsweise der erfindungsgemässen Einrichtung besteht in folgendem:

45 Ein Bündel kohärenter Strahlung der Quelle 2 (Fig. 1 und 2) passiert das Kollimatorsystem 3, das eine monochromatische Planwelle S (Fig. 3) des Bündels kohärenter Strahlung formiert. Die Welle S wird an den Beugungsgittern 5 und 6 gebeugt, wodurch sich in verschiedenen Beugungsordnungen ausbreitende Wellen gebildet werden. Die sich in der gleichen Richtung ausbreitenden Wellen interferieren miteinander, wodurch Interferenzstreifen unendlicher Breite – Verschlussstreifen, falls die Gitter nach der

50 Strichzahl übereinstimmen, und Moiréstreifen gebildet werden, wenn der Winkel zwischen den Gitterstrichen gleich Null ist. Die Übereinstimmung nach der Strichzahl kann erreicht werden, indem das zusätzliche Gitter 6 mit der gleichen Strichzahl wie auch das zu prüfende Gitter 5 aufgezeichnet und indem sie parallel zueinander angeordnet werden, während der Nullwinkel zwischen den Strichen durch Drehen der Fassung 30 (Fig. 1) bezüglich des Rahmens 32 in Richtungen E und D mit Hilfe der Schrauben 34 und 35 eingestellt wird. Das an einem Ende mit dem zusätzlichen Gitter 6 und am anderen Ende mit der Fas-

55 sassung 30 verbundene und durch den Wechselspannungsgenerator 14 gesteuerte Piezoelement 13 setzt das zusätzliche Gitter 6 in Schwingbewegung nach einem periodischen Gesetz $\Delta(t)$, um eine Phasenmodulation des Bündels kohärenter Strahlung nach diesem Gesetz zu verwirklichen, wobei auf das Piezoelement 13 eine Wechselspannung – eine Sinus-, Sägezahnspannung und die anderer Form – eingespeist werden kann.

60 In Fig. 3 sind die sich ausbreitenden Wellen S einer der Beugungsordnungen wie folgt dargestellt: unten ist durch die Ziffern der Index der Koordinate eines Punktes x angegeben, in dem die Welle gebeugt wird, oben ist durch die Buchstaben angedeutet, an welchem der Gitter die Welle gebeugt worden ist (A bedeutet das zu prüfende, B das zusätzliche Gitter). Durch Pfeile sind nur Wellen angegeben, die sich in der gleichen Richtung ausbreiten und miteinander interferieren. Durch den Buchstaben L ist die Länge

65 des zu prüfenden Gitters 5 angedeutet.

Infolge der Interferenz dieser Wellen bilden sich Interferenzstreifen, in deren Bereich die Fotoempfänger 7 (Fig. 2) und 8 aufgestellt werden. Dies bedingt deren starre Verbindung mit dem zusätzlichen Gitter 6.

Die Fotoempfänger 7 und 8 liegen in einer Linie, die auf der Richtung der Welle einer der Beugungsordnungen oberhalb der nullten aufrecht steht. Die Fotoempfänger 7 und 8 registrieren zwei Sinussignale mit einer Frequenz ν , die sich nach der Phasenlage voneinander um einen Wert

$$\Delta\phi_1 = (\psi_0^B = \psi_1^B) - (\psi_0^A - \psi_1^A) \quad (2)$$

unterscheiden, worin

$\Delta\phi_1$ – eine Phasendifferenz, die zwischen den Fotoempfängern 7 und 8 auf dem ersten Abschnitt des zu attestierenden Beugungsgitters 5 gemessen wird, dessen Länge gleich einem Abstand l (Fig. 3) zwischen den Punkten x_0 und x_1 ist;

ψ^B und ψ^A – Funktionen, die die Nichtlinearität des zusätzlichen 6 und des zu prüfenden Gitters 5 charakterisieren, sind.

Der Wert $\Delta\phi$ wird nach dem Phasenmesser 12 (Fig. 2) wie folgt ermittelt.

Die elektrischen Signale der Fotoempfänger 7 und 8, verstärkt durch die auf die Frequenz des Wechselspannungsgenerators 14 eingestellten Selektivverstärker 10 und 11, gelangen auf den Phasenmesser 12, der eine Phasendifferenz zwischen diesen Signalen misst.

Das zu prüfende Gitter 5 (Fig. 3) wird stufenweise in Richtung der X-Achse um einen l gleichen Wert mittels der Baugruppe 4 verschoben, und nach jeder Verschiebung wird der Wert $\Delta\phi$ gemessen, der für eine i -te Bewegungsstufe gleich

$$\Delta\phi_i = (\psi_0^B - \psi_1^B) - (\psi_{i-1}^A - \psi_i^A) \quad (3)$$

ist.

Wie aus der Beziehung (3) ersichtlich, geht das die Verzerrungen des zusätzlichen Gitters 6 in diesen zwei Punkten (x_0 und x_1) beschreibende erste Glied als additive Konstante in sämtliche Messstufen ein, und eine Änderung erfährt lediglich das zweite Glied, das die Linearität des zu prüfenden Gitters 5 bei jeder Elementarabewegung festlegt.

Die Bestimmung der Linearität des zu prüfenden Gitters 5 hängt also nicht von der Güteklasse des verwendeten zusätzlichen Gitters 6 ab. Am besten ist es, mit der Einrichtung bei einem Moiréstreifen maximaler Breite zu arbeiten, da er der empfindlichste Streifen ist.

Durch Einsetzen der Normierungs-Grenzbedingungen $\psi_0^A = 0$ $\psi_M^A = 0$, worin M ein endlicher Messbereich ist, kann eine Phasenverteilungsfunktion

$$\psi_i^A = \sum_{k=1}^i \Delta\phi_k - \frac{i}{M} \sum_{k=1}^M \Delta\phi_k \quad (4)$$

erhalten werden, die eine Abweichung des zu prüfenden Gitters 5 von der Linearität in einer Reihe von äquidistanten Punkten festlegt. Aus der Gleichung (4) kann der Maximalwert

$$\{\delta_i\}_{\max} = \frac{d_A}{2\pi} \sqrt{\frac{M}{2}} \cdot \delta \quad (5)$$

eines mittleren quadratischen Fehlers bei der Errechnung des Wertes ψ_i^A erhalten werden, worin

d_A – die Periode des zu prüfenden Gitters 5,

δ – ein mittlerer quadratischer Fehler bei der Messung einer Phasendifferenz $\Delta\phi_i$,

$\pi = 3,14\dots$ sind.

Die Ausnutzung der Phasenmodulation gestattet es, den Wert δ und also auch $\{\delta_i\}_{\max}$ zu verringern und damit die Messgenauigkeit für die Messung $\Delta\phi_i$ und dementsprechend auch von ψ_i^A zu vergrößern. Die in der erfindungsgemässen Einrichtung zur Bestimmung der Linearität verwendete Phasenmodulation gestattet es also, die Genauigkeit der ersteren zu erhöhen.

Der mittlere quadratische Fehler beläuft sich bei der Ermittlung der Linearität eines Beugungsgitters von 1000 mm Länge und 1000 L/mm Liniendichte mit Hilfe der erfindungsgemässen Einrichtung auf folgende Werte:

65

$$L = 1000 \text{ mm}$$

$$d_A = 1 \mu\text{m}$$

$$l = 10 \text{ mm}$$

$$M = \frac{L}{l} = 100$$

$$\delta = \frac{2\pi}{300}$$

$$\{\delta_i\}_{\max} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{100}{2}} \cdot \frac{2\pi}{300} \approx 0,02 \mu\text{m} .$$

Eine derartige konstruktive Ausführung der erfindungsgemässen Einrichtung gestattet es also, die Genauigkeit zu steigern und Beugungsgitter praktisch beliebiger Länge zu prüfen.

Die hohe Genauigkeit der Bestimmung der Linearität des zu prüfenden Beugungsgitters vorgegebener Länge mit Hilfe dieser Einrichtung ist auf folgendes zurückzuführen.

Bei der Prüfung der Beugungsgitter beliebiger Länge wird der Messfehler auf die Länge und die Herstellungsgenauigkeit sowie auf die Prüfung des zusätzlichen Gitters selbst nicht beschränkt.

Das Fehlen eines Bezugsnormals vereinfacht die Prüfung der Beugungsgitter beträchtlich, denn sonst wird bei jeder Prüfung ein Normal der gleichen Strichzahl und Länge benötigt, während die Erzeugung eines hochgenauen Normals für jede Strichzahl eine sehr komplizierte Aufgabe darstellt, wobei die Schaffung eines Normals hoher Strichzahl und grosser Länge zurzeit ein ungelöstes Problem ist.

Das in der vorliegenden Einrichtung verwendete Phasenmodulationsverfahren gestattet es, die Phasenmessgenauigkeit und folglich auch die Genauigkeit der Bestimmung der Linearität der Gitter zu erhöhen.

Die hohe Messgenauigkeit der Phasendifferenzmessung wird bei der vorliegenden Einrichtung dadurch erzielt, dass die Phasendifferenz durch die Unbeständigkeit der Intensität der Quelle kohärenter Strahlung, die des Beugungswirkungsgrades des zu prüfenden Gitters in dessen Längsrichtung sowie durch das die Messungen begleitende verschiedenartige Fremdärschen und weitere Störungen (Vibration) nicht beeinflusst wird.

Die vorliegende Einrichtung ermöglicht das Prüfen von Gittern praktisch beliebiger Länge ohne Bezugsnormal. Zu diesem Zweck wird das zusätzliche Gitter benötigt, das um so viel grösser als l ist, um eine Anordnung der Fotoempfänger in seiner Apertur zu ermöglichen. Ist man im Besitz solch eines zusätzlichen Gitters, kann man das zu prüfende Beugungsgitter beliebiger Länge in einen Wert l betragenden Stufen abtasten und hierbei dessen Linearität bestimmen.

Auf der erfindungsgemässen Einrichtung ist die Linearität eines holographischen Beugungsgitters der Länge $L = 700 \text{ mm}$ und der Liniendichte 1000 L/mm bestimmt worden. Als Messquelle wurde ein He-Ne-Laser eingesetzt, während als Fotoempfänger zwei Fotodioden dienten.

In der Einrichtung erfolgte eine Phasenmodulation eines Bündels kohärenter Strahlung auf dem Wege einer Schwingungserregung bei dem Piezoelement, auf welches eine Sägezahnspannung von 35 Hz eingespeist wurde. Die Registriereinheit gestattet es, die Phasendifferenz mit einer Genauigkeit von $2\pi/360^\circ$ zu messen. Als zusätzliches Gitter wurde ein holographisches Beugungsgitter der gleichen Strichzahl wie auch bei dem zu prüfenden Gitter der Länge 20 mm benutzt. Der Abstand zwischen den Fotoempfängern betrug $l = 10 \text{ mm}$.

Der maximale mittlere quadratische Fehler belief sich bei der Bestimmung der Linearität des holographischen Beugungsgitters der Länge $L = 700 \text{ mm}$ auf

$$\{\delta_i\}_{\max} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{700}{10}} \cdot \frac{2\pi}{360} \approx 0,02 \mu\text{m} .$$

Infolge der Messungen mit dem obengenannten Fehler erwies sich die Abweichung von der Linearität des Gitters als maximal $0,5 \mu\text{m}$ für dessen gesamte Länge.

Patentansprüche

1. Einrichtung zum Bestimmen der Linearität eines zu prüfenden Beugungsgitters (5), mit einer Quelle (2) kohärenter Strahlung, in deren Strahlengang (A) ein Kollimatorsystem (3), eine hin und her bewegbare Baugruppe (4) zur Unterbringung des zu prüfenden Beugungsgitters (5), ein zusätzliches Beugungsgitter (6), das bezüglich der genannten Baugruppe (4) die Möglichkeit einer Winkelverschiebung be-

CH 674 906 A5

sitzt, sowie ein Fotoempfänger (7) vorhanden sind, der in der Apertur des zusätzlichen Beugungsgitters (6) und in der Ausgangsapertur des Kollimatorsystems (3) angeordnet und mit einer Registriereinheit (9) elektrisch verbunden ist, dadurch gekennzeichnet, dass ein mit dem zusätzlichen Beugungsgitters (6) starr verbundenes Piezoelement (13) vorgesehen ist, ferner ein mit diesem verbundener Wechselspannungsgenerator (14) und ein weiterer Fotoempfänger (8), der in der Apertur des zusätzlichen Beugungsgitters und in der Ausgangsapertur des Kollimatorsystems (3) in einem vorgegebenen Abstand zum erstgenannten Fotoempfänger (7) angeordnet und mit diesem, sowie mit dem zusätzlichen Beugungsgitter (6) starr verbunden ist, während die Registriereinheit (9) zwei Selektivverstärker (10, 11) aufweist, von denen jeder an den jeweiligen Fotoempfänger (8, 7) angeschlossen ist, und die an einen Phasemesser (12) gekoppelt sind.

2. Einrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Fotoempfänger (7, 8) bezüglich der Oberfläche des zusätzlichen Beugungsgitters (6) unter einem Winkel φ_m angeordnet sind, der aus der Beziehung

$$\varphi_m = \arcsin \left(\sin \Theta - \frac{m \lambda}{d} \right)$$

ermittelt wird, worin bedeuten:

Θ – ein Winkel zwischen der optischen Achse (15) des Kollimatorsystems (3) und einer Normalen (16) zur Oberfläche des zusätzlichen Beugungsgitters (6),

$m = \pm 1, \pm 2, \dots$ – eine Beugungsanordnung oberhalb der nullten,

λ – die Wellenlänge der Quelle (2) kohärenter Strahlung,

d – die Periode des zusätzlichen Beugungsgitters (6) und diejenige des zu prüfenden Beugungsgitters (5).

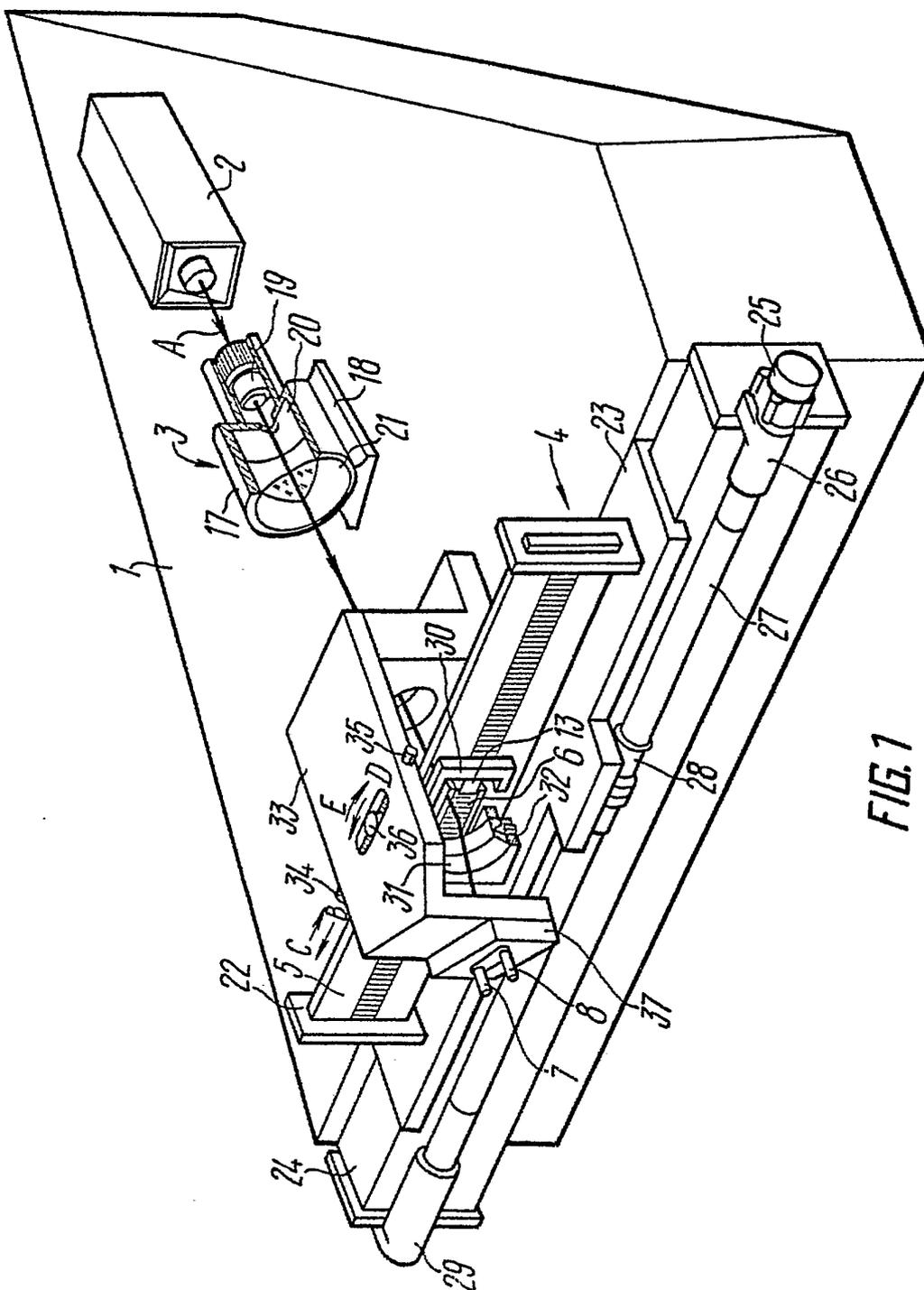


FIG. 1

