



(12) Wirtschaftspatent

Erteilt gemäß § 17 Absatz 1 Patentgesetz

(19) DD (11) 260 323 A1

4(51) G 01 B 9/02

AMT FÜR ERFINDUNGS- UND PATENTWESEN

In der vom Anmelder eingereichten Fassung veröffentlicht

(21) WP G 01 B / 302 386 0

(22) 04.05.87

(44) 21.09.88

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

(72) Howe, Robert, Dipl.-Ing.; Büttner, Jörg, Dipl.-Ing.; Klimmer, Wilfried; Oertel, Norbert, Dipl.-Phys., DD

(54) Interferometrische Meßeinrichtung

(55) interferometrische Meßeinrichtung, ebene Meßreflektoren, kippbarer Objektisch und Meßspiegel, optimale Fokussierung Kippungswinkel

(57) Die Erfindung betrifft eine interferometrische Meßeinrichtung mit einem Zweistufeninterferometer sowie auf einem kippbaren Objektisch angeordnete Meßreflektoren, die vorzugsweise in lithographischen Geräten und Mikroskopen zur Korrektur der Abbeschen Fehler angewendet wird. Das wird dadurch erreicht, daß im Strahlengang eines Meßstrahlenbündels (3) eine Teilungsfläche (25) angeordnet ist, die einen Teil des Meßstrahlenbündels (3) nach einer ungeraden Anzahl von Reflexionen an einem Meßspiegel (13) auskoppelt, wobei das ausgekoppelte Strahlenbündel (3a) einem zweiten Interferometer (24) zugeführt wird, an dem eingangsseitig eine Teilungsfläche (26) vorgesehen ist, wodurch zwei Teilstrahlenbündel (28, 29) entstehen, das eine Teilstrahlenbündel eine gerade Anzahl, das andere eine ungerade Anzahl von Reflexionen erfährt, beide Teilstrahlenbündel (28, 29) an einer ausgangsseitig am Interferometer angeordneten Teilungsfläche (27) zusammengeführt und die entstehenden Interferenzbilder auf eine Empfängeranordnung (20) übertragen werden.

Patentanspruch:

1. Interferometrische Meßeinrichtung mit einem Zweistufeninterferometer, wobei ein Meßstrahl n -mal an einem oder mehreren ebenen, gemeinsam mit einem Objektisch um einen kleinen Winkel kippbaren Meßspiegel reflektiert wird, n geradzahlig sowie größer gleich zwei ist und der Meßstrahl zwischen jeder Reflexion an dem Meßspiegel durch optische Mittel einen Parallelversatz erhält, mit Mitteln zur Umwandlung von Lichtintensitäten in elektrische Signale, **gekennzeichnet dadurch**, daß im Strahlengang eines Meßstrahlenbündels (3) eine Teilungsfläche (25) so angeordnet ist, daß ein Teil des Meßstrahlenbündels (3) nach einer ungeraden Anzahl von Reflexionen an einem Meßspiegel (13) ausgekoppelt wird, daß das ausgekoppelte Strahlenbündel (3a) einem zweiten Interferometer (24) zugeführt wird, für das eingangsseitig eine Teilungsfläche (26) so vorgesehen ist, daß zwei Teilstrahlenbündel (28, 29) entstehen, wobei ein Teilstrahlenbündel eine gerade Anzahl von Reflexionen, das andere Teilstrahlenbündel eine ungerade Anzahl von Reflexionen erfährt und beide Teilstrahlenbündel (28, 29) an einer ausgangsseitigen Teilungsfläche (27) zusammengeführt und die entstehenden Interferenzbilder auf mindestens eine, dem Interferometer (24) nachgeordnete Empfängeranordnung (20) übertragen werden.
2. Interferometrische Meßeinrichtung nach Anspruch 1, **gekennzeichnet dadurch**, daß das Interferometer (24) eine Prismengruppe (14, 15, 16, 17) umfaßt.
3. Interferometrische Meßeinrichtung nach Anspruch 1, **gekennzeichnet dadurch**, daß die Flächennormalen der Reflexions- oder Teilungsflächen des Interferometers (24) und der Teilungsfläche (25) in einer Ebene liegen und mit der Kippachse des Meßspiegels (13) einen rechten Winkel bilden.
4. Interferometrische Meßeinrichtung nach Anspruch 1, **gekennzeichnet dadurch**, daß das Interferometer (24) so um eine parallel zur Kippungsachse des Meßspiegels (13) vorgesehene Achse gedreht wird, daß an der Empfängeranordnung (20) jedem Kippungswinkel eine eindeutig bestimmbare Anzahl von Interferenzstreifen pro Längeneinheit zugeordnet wird.
5. Interferometrische Meßeinrichtung nach Anspruch 1, **gekennzeichnet dadurch**, daß als Empfängeranordnung (20) vorzugsweise eine senkrecht zu den erzeugten Interferenzstreifen ausgerichtete CCD-Zeile verwendet wird, wobei die Interferenzen vorzugsweise durch mindestens ein astigmatisch abbildendes optisches System (18, 22) auf die CCD-Zeile (20) fokussiert werden.

Hierzu 2 Seiten Zeichnungen

Anwendungsgebiet der Erfindung

Die Erfindung betrifft eine interferometrische Meßeinrichtung, mit einem Zweistufeninterferometer, wobei ein Meßstrahl n -mal an einem oder mehreren ebenen, gemeinsam mit einem Objektisch um einen kleinen Winkel kippbaren Meßspiegel reflektiert wird, n -geradzahlig sowie größer gleich zwei ist und der Meßstrahl zwischen jeder Reflexion an dem Meßspiegel durch optische Mittel einen Parallelversatz erhält, mit Mitteln zur Umwandlung von Lichtintensitäten in elektrische Signale. Die Erfindung ist in lithographischen Geräten, Kontrollgeräten oder Mikroskopen anwendbar, die Objektive mit sehr großen Bildfeldern besitzen und bei denen der Wafer-, Schablonen- oder Objektisch für eine optimale Fokussierung gemeinsam mit den ebenen Interferometerspiegeln sowohl vertikal bewegt als auch gekippt wird.

Charakteristik der bekannten technischen Lösungen

Interferometrische Meßeinrichtungen zur Ermittlungen des Dreh- und Kippungswinkels und damit zur Korrektur von Meßdaten mittels zwei integrierten, gekreuzten CCD-Zeilen sind aus der DD-PS 229208 und 234070 bekannt. Um innerhalb der Interferenzstrukturen und den fotoelektrischen Empfängern eine bestimmte Phasenlage abtasten zu können, ist zwischen dem Interferometererteiler und einem Strahlenteiler eine Blende angeordnet, die den Strahlendurchmesser und damit die Signalgröße auf sehr kleine Werte reduziert. Die Anordnung der optischen Bauteile bedingt, daß bei großen Fahrgeschwindigkeiten des Objektisches an den einzelnen CCD-Elementen hohe Frequenzen auftreten, denen die Zeilen oberhalb der Grenzfrequenz nicht mehr folgen können. Aus der DE-OS 3124357 ist eine Längenmeßeinrichtung mit ebenen Meßspiegeln bekannt, deren Position mit der des jeweiligen Referenzprismas verglichen wird. Eine Kippung des Meßspiegels verursacht Meßfehler, deren Größe vom Kippungswinkel, den geometrischen Abmessungen sowie der Brechzahl der von dem Meßstrahl durchlaufenden Medien

abhängt. Kippungsfehler von mehreren Bogenminuten können zu Meßfehlern bis zu einigen Mikrometern führen. Eine Vorrichtung zur Messung von Wegen und Distanzen nach dem Interferenzverfahren wird in der DE-OS 2159134 beschrieben. Sie enthält für jede Koordinate ein Michelson-Interferometer. Entsprechend angeordnete fotoelektrische Empfänger dienen zur Ermittlung der Bewegungsrichtung, des zurückgelegten Weges sowie des Drehwinkels des ebenen Meßspiegels. Mit Hilfe der interferometrisch gewonnenen Signale erfolgt über entsprechende Stellelemente eine Korrektur der durch Ablauffehler hervorgerufenen Drehbewegungen und damit der Meßfehler. Für Objektische, bei denen zur Fokussierung sowohl Vertikal- als auch Kippbewegungen ausgeführt werden, ist das Prinzip der mechanischen Korrektur nicht anwendbar. Ohne Korrektur führen aber größere Kippungswinkel zu einer merklichen Veränderung der Phasenverhältnisse. Nachteile entstehen auch durch große Lichtverluste bei der Abtastung der Interferenzfiguren mittels relativ kleinflächiger fotoelektrischer Empfänger. Ein kippungsinvariantes Interferometer ist aus der DD-PS 201191 bekannt, in dem durch Verwendung polarisations-optischer Mittel bei gleicher Lage der Empfänger konstante Phasenverhältnisse eingestellt werden. Für Kippungswinkel des ebenen Meßspiegels von einigen Bogenminuten sind sehr kleine Empfängerflächen notwendig. So beträgt die maximale seitliche Ausdehnung der Empfänger für einen Winkel von 10 Bogenminuten bereits 0,1 Millimeter. Die Signalamplituden sind damit bei Strahldurchmessern von einigen Millimetern mindestens um zwei bis drei Größenordnungen kleiner als bei Anordnungen, die Interferenzkontrast erzeugen. Schwierigkeiten bereitet auch die Justierung beider Empfänger auf genau gleiche Lage und deren Lagestabilität. Kipp- und Drehwinkel des Meßspiegels können mit dem Interferometer nicht ermittelt werden, so daß eine Korrektur der Abbeschen Fehler nicht möglich ist. In der DD-PS 111993 wird ein Zweistufeninterferometer beschrieben, das bei Interferenzkontrast von vier gegeneinander um 90° phasenverschobene Signale erzeugt und daraus sowohl die Bewegungsrichtung als auch der zurückgelegte Weg ermittelt werden kann. Unter Verwendung von polarisationsoptischen Bauelementen und Tripelprismen ist der Einsatz von ebenen Meßspiegeln möglich. Werden die Spiegel gemeinsam mit dem in einer Zweikoordinatenmeßeinrichtung angeordneten Objektisch um mehrere Bogenminuten gekippt, entstehen Meßfehler bis zu einigen Mikrometern. Eine Korrektur der Abbeschen Fehler ist ohne Zusatzeinrichtung nicht möglich.

Ziel der Erfindung

Durch die Erfindung sollen die genannten Nachteile beseitigt werden, indem eine Korrektur der Abbeschen Fehler zur Erhöhung der Meßgenauigkeit und zusätzlich der Einsatz hochauflösender Objekte großer Apertur und geringer wellenoptischer Schärfentiefe bei sehr großen Bildfeldern ermöglicht wird, wodurch kostengünstig die Strukturbreite von elektronischen Bauelementen verringert und deren Integrationsgrad erhöht werden kann.

Darlegung des Wesens der Erfindung

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein interferometrisches Meßsystem mit einem Zweistufeninterferometer sowie auf einem kippbaren Objektisch angeordneten ebenen Meßreflektoren so zu gestalten, daß bei einer Kippung des Objektisches durch eine eindeutig bestimmbare Anzahl von Interferenzstreifen pro Längeneinheit, die jedem Kippungswinkel zugeordnet werden, auftretende Meßfehler korrigierbar sind. Gemäß der Erfindung wird diese Aufgabe mit einer interferometrischen Meßeinrichtung, die ein Zweistufeninterferometer umfaßt, wobei ein Meßstrahl n-mal an einem oder mehreren ebenen, gemeinsam mit dem Objektisch um einen kleinen Winkel kippbaren Meßspiegel reflektiert wird, n-geradzahlig sowie größer gleich zwei ist und der Meßstrahl zwischen jeder Reflexion an dem Meßspiegel durch optische Mittel einen Parallelversatz erhält, mit Mitteln zur Umwandlung von Lichtintensitäten in elektrische Signale dadurch gelöst, daß im Strahlengang eines Meßstrahlenbündels (3) eine Teilungsfläche (25) so angeordnet ist, daß ein Teil des Meßstrahlenbündels (3) nach einer ungeraden Anzahl von Reflexionen an einem ebenen Meßspiegel (13) ausgekoppelt wird, daß das ausgekoppelte Strahlenbündel (3a) einem zweiten Interferometer (24) zugeführt wird, für das eingangsseitig eine Teilungsfläche (26) so vorgesehen ist, daß zwei Teilstrahlenbündel (28, 29) entstehen, wobei ein Teilstrahlenbündel eine gerade Anzahl, das andere Teilstrahlenbündel eine ungerade Anzahl von Reflexionen erfährt und beide Teilstrahlenbündel (28, 29) an einer ausgangsseitigen Teilungsfläche (27) zusammengeführt und die entstehenden Interferenzbilder auf mindestens eine, dem Interferometer (24) nachgeordnete Empfängeranordnung (20) übertragen werden. Vorteilhaft ist es, daß das zweite Interferometer (24) aus einer Prismengruppe (14, 15, 16, 17) besteht und das Interferometer (24) so um eine parallel zur Kippungsachse des Meßspiegels (13) vorgesehene Achse gedreht wird, daß an der Empfängeranordnung (20) im gesamten Kippungsbereich kein Interferenzkontrast auftritt und damit jedem Kippungswinkel eine eindeutig bestimmbare Anzahl von Interferenzstreifen pro Längeneinheit zugeordnet werden kann, wobei als Empfängeranordnung (20) vorzugsweise eine senkrecht zu den erzeugten Interferenzstreifen ausgerichtete CCD-Zeile verwendet wird, um die Interferenzen vorzugsweise durch mindestens ein astigmatisch abbildendes optisches System (18, 22) auf die CCD-Zeile (20) fokussiert werden. Weiterhin ist es von Vorteil, daß die Flächennormalen der Reflexions- oder Teilungsflächen des Interferometers (24) und der Teilungsfläche (25) in einer Ebene liegen und mit der Kippachse des Meßspiegels (13) einen rechten Winkel bilden. Durch die Erfindung ist es möglich, bei interferometrischen Meßeinrichtungen mit Zweistufeninterferometern und ebenen Meßreflektoren, die bei Kippung der Meßreflektoren auftretenden Meßfehler zu korrigieren, indem pro Koordinate der aktuelle Kippungswinkel und unter Berücksichtigung der Position des Objektisches sowie der geometrischen Abmessungen die Korrekturwerte ermittelt werden.

Ausführungsbeispiel

Die Erfindung wird nachstehend anhand der schematischen Zeichnung näher erläutert. Es zeigen:

Fig. 1: einen Strahlengang eines erfindungsgemäßen interferometrischen Meßsystems für eine Koordinate im Aufriß (a) und im Grundriß (b)

Das in Fig. 1 dargestellte interferometrische Meßsystem besteht vorteilhaft aus einer Laserlichtquelle 1, einem Zweistufeninterferometer 2 im Referenzstrahlengang 4, aus einem polarisationsoptischen Teiler 5 mit aufgesprengtem Tripelprisma 6, einer $\lambda/4$ Platte 7 sowie einem Referenzspiegel 8, im Meßstrahlengang 3, aus einem polarisationsoptischen Teiler 9 mit aufgesprengten Tripelprisma 10, einem Teilerprisma 11 mit einer Teilungsfläche 25, einer $\lambda/4$ Platte 12, einem kippbaren Meßspiegel 13, einem zweiten Interferometer 24, das die Teilerprismen 14, 17, ein Rechtswinkelprisma 15 und ein Pentaprisma 16 umfaßt, vorzugsweise einer oder zwei Zylinderlinsen 18, 19 sowie einer oder zwei CCD-Zeilen 20, 21 und ein oder zwei Kollimatoren 22, 23. Für jede weitere Koordinate wird das interferometrische Meßsystem analog der in Fig. 1 dargestellten Meßeinrichtung angeordnet. Das von der Laserlichtquelle 1 ausgesendete, kollimierte, linear polarisierte Strahlenbündel wird im Zweistufeninterferometer 2 in zwei Teilstrahlenbündel (Meß- und Referenzstrahlenbündel 3 und 4) aufgeteilt. Der Referenzstrahl 4 trifft nach Durchlaufen des Teilerprisma 5, der $\lambda/4$ Platte 7 auf den feststehenden Referenzspiegel 8, wird auf seinem Rückweg von der polarisationsoptischen Teilungsfläche 5 sowie den Reflexionsflächen des Tripelprismas 6 und 5 reflektiert, durchsetzt die $\lambda/4$ Platte 7, trifft auf den Referenzspiegel 8, durchsetzt wiederum die Platte 7 sowie das Teilerprisma 5 und tritt parallel versetzt zum austretenden Strahlenbündel 4 in das Zweistufeninterferometer 2 ein. Der Meß- und Referenzstrahl 3 und 4 sind parallel Fig. 1 a und senkrecht Fig. 1 b zur Zeichenebene polarisiert. Die $\lambda/4$ Platte 7 und 12 drehen nach zweimaligem Durchlaufen die Polarisations Ebenen der Strahlenbündel 3 und 4 um je 90° , so daß die polarisationsoptischen Teilungsflächen der Prismen 5 und 9, die nach der ersten Reflexion an den Meßspiegeln 8 und 13 auftreffenden Strahlenbündel und deren Reflexe von den Tripelprismen 6 und 10 reflektieren. Der Meßstrahl 3 durchläuft das Teilerprisma 9, das Teilerprisma 11, die Platte 7 und trifft auf den Meßspiegel 13, der mit einem nicht näher dargestellten, an sich bekannten Objektisch in zwei Koordinaten sowie in einer dritten Koordinate um einen kleinen Wert verschiebbar und um eine senkrecht (Fig. 1 a) oder parallel (Fig. 1 b) zur Zeichenebene angeordnete Achse verkippbar ist. Bei Kippung des Meßspiegels 13 wird der reflektierte Meßstrahl 3 nach dem Reflexionsgesetz um den doppelten Winkel geneigt, durchläuft die $\lambda/4$ Platte 12 und trifft auf die Reflexionsfläche des Teilerprisma 11. Diese ist zur Vermeidung von Lichtverlusten vorteilhaft polarisationsoptisch, teildurchlässig zerspiegelt. Ein Teilstrahlenbündel durchsetzt das Prisma 11, wird an der Teilungsfläche des Prisma 9 sowie an den Reflexionsflächen des Tripelprisma 10 und wieder an der Reflexionsfläche des Prisma 9 reflektiert, durchsetzt die Platte 12, wird am Meßspiegel 13 reflektiert, durchläuft die Platte 12, das Prisma 9 und tritt parallel versetzt zum austretenden Meßstrahl 3 in das Zweistufeninterferometer 2 ein; wo durch Vereinigung mit dem Referenzstrahlenbündel 4 die Interferenzen bzw. Signale erzeugt werden. Die Auflösung beträgt $\lambda/16$ und bei elektronischer Verdoppelung der Signale bis $\lambda/32$. An der teildurchlässig verspiegelten Fläche 25 des Prismas 11 wird im Meßstrahlengang 3 ein Teilstrahlenbündel 3a reflektiert. Das Teilerprisma 14 mit der Teilungsfläche 26 teilt den ausgekoppelten Meßstrahl 3a in zwei Strahlenbündel 28, 29 etwa gleich großer Intensität. Nach ein- bzw. zweimaliger Reflexion an den Prismen 15 oder 16 werden beide Strahlenbündel 28, 29 an der Teilungsfläche 27 des Prisma 17 vereinigt und interferieren miteinander. Bei Neigung des in das Prisma 14 eintretenden Strahlenbündels 3a oder bei Kippung des Meßspiegels 13 um eine senkrechte (Fig. 1 a) oder parallel (Fig. 1 b) zur Zeichenebene versetzt angeordneten Achse entstehen auf Grund der geraden oder ungeraden Anzahl von Reflexionen beider Teilstrahlenbündel 28, 29 und der daraus resultierenden gegenseitigen Neigung beider Wellenflächen um den vierfachen Kippungswinkel des Meßspiegels 13 am Austritt aus dem Prisma 17 Interferenzstreifen. Die so erzeugten, einander komplementären Interferenzbilder werden vorteilhaft mittels der Zylinderlinsen 18, 19 auf die CCD-Zeilen 20, 21 fokussiert. Dadurch wird eine optimale Ausnutzung des ausgekoppelten Strahlenbündels 3a erreicht und man entzieht dem Meßstrahl 4 nur einen geringen Teil seiner Intensität. Die Achsen der Zylinderlinsen 18, 19 und die CCD-Zeilen 20, 21 werden vorteilhaft so ausgerichtet, daß sie mit den Einfallsebenen der Prismen 11, 14, 15, 16 und 17 zusammenfallen. Zur genauen Bestimmung des Kippungswinkels des Meßspiegels 13 genügt schon eine CCD-Zeile 20 mit der zugeordneten Zylinderlinse 18. Die Kollimatoren 22, 23 ermöglichen die Anpassung der Interferenzbildgröße an die Längen der CCD-Zeilen 20, 21. Längsverschiebungen des Meßspiegels 13 haben keinen Einfluß auf das Interferenzbild, so daß von den CCD-Zeilen 20, 21 nur die Veränderungen des Einfallswinkels am Meßspiegel 13 registriert werden, die auf Grund der großen Masse zu niederfrequenten Lichtschwingungen führen, denen die Zeilen problemlos folgen. Die Reflexionsflächen des Interferometers 24 und des Prismas 11 werden vorteilhaft so ausgerichtet, daß ihre Flächennormalen in einer Ebene liegen. Um die Kippachse des Meßspiegels 13 sicher bestimmen zu können, wird das Interferometer 24 und das Prisma 11 in dieser Ebene gedreht, so daß im gesamten Kippungsbereich kein Interferenzkontrast auftritt. Dazu sollte die maximale Anzahl der im Interferenzbild auftretenden Streifen minimiert werden. Jedem Kippungswinkel kann damit eindeutig eine bestimmte Anzahl von Interferenzstreifen zugeordnet werden und das Auflösungsvermögen der CCD-Zeilen 20, 21 wird nicht überschritten. Durch die elektronische Verarbeitung der Signale und Eingabe der geometrischen Daten wird unter Berücksichtigung der aktuellen Koordination der Korrekturwert berechnet. Eine entsprechende Änderung des aktuellen Zählerstandes der Meßeinrichtung oder der vorgegebenen Koordinaten ermöglicht die genaue Positionierung. Damit sind durch Kippung des Meßspiegels 13 auftretende Fehler korrigierbar.

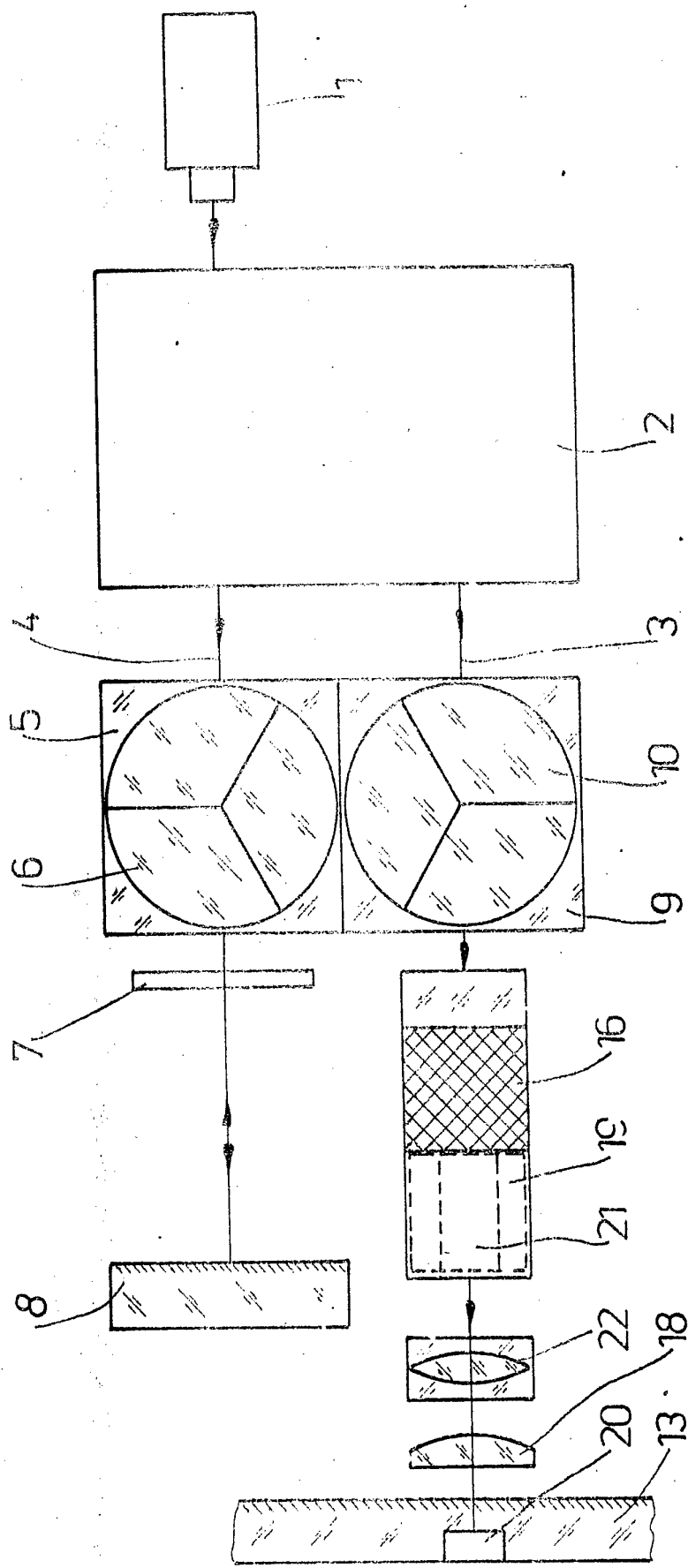


Fig. 1 b