



(10) **DE 10 2004 049 646 B4** 2018.05.03

(12)

Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2004 049 646.3**
(22) Anmeldetag: **11.10.2004**
(43) Offenlegungstag: **20.04.2006**
(45) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: **03.05.2018**

(51) Int Cl.: **G01B 9/02 (2006.01)**

Innerhalb von neun Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 1 Patentkostengesetz).

(73) Patentinhaber:
**Dr. Johannes Heidenhain GmbH, 83301 Traunreut,
DE**

(72) Erfinder:
**Spanner, Erwin, Dipl.-Phys., 83278 Traunstein,
DE; Huber-Lenk, Herbert, Dipl.-Ing., 83365
Nußdorf, DE**

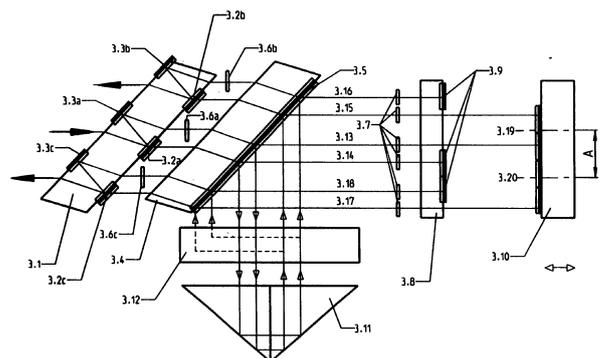
(56) Ermittelter Stand der Technik:

EP	0 481 356	B1
EP	1 031 868	B1
EP	0 227 554	A2
EP	0 244 275	A2

(54) Bezeichnung: **Optik-Baugruppe für ein Interferometer**

(57) Hauptanspruch: Optik-Baugruppe für ein Interferometer, bestehend aus folgenden Komponenten:

- ein Strahlteiler (1.1) zum Aufteilen der von einer Strahlungsquelle (10) emittierten Strahlenbündel in mindestens ein Mess- und ein Referenzstrahlenbündel (1.13, 1.12), die parallel zueinander verlaufen,
- mindestens ein Mess- und ein Referenzspiegel (1.10, 1.8), auf den die Mess- und Referenzstrahlenbündel (1.13, 1.12) auftreffen, wobei mindestens einer der Spiegel (1.10) entlang einer Messachse verschiebbar ist,
- ein Strahlumlenker (1.4), der als separates Element zum Strahlteiler (1.1) ausgebildet ist, sowie ein einziger Retroreflektor (1.11), wobei über den Strahlumlenker (1.4) und den Retroreflektor (1.11) die von Mess- und Referenzspiegel (1.10, 1.8) reflektierten Mess- und Referenzstrahlenbündel (1.13, 1.12) mindestens ein zweites Mal in Richtung Mess- und Referenzspiegel (1.10, 1.8) gelenkt werden und wobei der Strahlumlenker (1.4) als Planparallelplatte ausgebildet ist.



Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft eine Optik-Baugruppe für ein Interferometer, das insbesondere als sog. Mehrachs-Interferometer Anwendung finden kann.

[0002] Mit Hilfe von Interferometern lassen sich hochpräzise die Positionen von beweglichen Messobjekten bestimmen. Am jeweiligen Messobjekt ist hierbei ein Messspiegel angeordnet, an dem die vom Interferometer erzeugten Messstrahlenbündel reflektiert und mit Referenzstrahlenbündeln zur Überlagerung gebracht werden, die von einem üblicherweise stationären Referenzspiegel reflektiert werden. Neben der Positionserfassung entlang einer einzigen Messachse erlangen insbesondere in der Halbleiterindustrie - etwa in Wafersteppern oder Wafer-scannern - zunehmend Interferometer an Bedeutung, die Bewegungen von Messobjekten um und entlang mehrerer Messachsen erfassen können. Man spricht in diesem Zusammenhang von sog. Mehrachs-Interferometern.

[0003] Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, eine Optik-Baugruppe für ein Interferometer anzugeben, das eine präzise Positionserfassung bzgl. ein oder mehrerer Messachsen ermöglicht. Gefordert ist hierbei neben einem kompakten Aufbau ferner der Einsatz von möglichst einfach zu fertigenden Einzelkomponenten.

[0004] Diese Aufgabe wird gelöst durch eine Optik-Baugruppe mit den Merkmalen des Anspruches 1 sowie durch eine Optik-Baugruppe mit den Merkmalen des Anspruches 4.

[0005] Die Optik-Baugruppe für ein Interferometer umfasst gemäß Anspruch 1 folgende Komponenten: ein Strahlteiler zum Aufteilen der von einer Strahlungsquelle emittierten Strahlenbündel in mindestens ein Mess- und ein Referenzstrahlenbündel, die parallel zueinander verlaufen; mindestens ein Mess- und ein Referenzspiegel, auf den die Mess- und Referenzstrahlenbündel auftreffen, wobei mindestens einer der Spiegel entlang einer Messachse verschiebbar ist; ein Strahlumlenker, der als separates Element zum Strahlteiler ausgebildet ist, sowie ein einziger Retroreflektor, wobei über den Strahlumlenker und den Retroreflektor die von Mess- und Referenzspiegel reflektierten Mess- und Referenzstrahlenbündel mindestens ein zweites Mal in Richtung Mess- und ein Referenzspiegel gelenkt werden und wobei der Strahlumlenker als Planparallelplatte ausgebildet ist.

[0006] Mittels einer derartigen Optik-Baugruppe lässt sich ein Interferometer aufbauen, das ferner eine Strahlungsquelle sowie mindestens einen Detektor umfasst, auf den Mess- und Referenzstrahlenbündel nach der zweiten Reflexion am Mess- und Referenzspiegel auftreffen und dort ein verschiebungsabhängiges Ausgangssignal erzeugen.

renzspiegel auftreffen und dort ein verschiebungsabhängiges Ausgangssignal erzeugen.

[0007] Die Optik-Baugruppe für ein Interferometer umfasst gemäß Anspruch 4 folgende Komponenten: ein Strahlteiler zum Aufteilen der von einer Strahlungsquelle emittierten Strahlenbündel in mindestens ein Mess- und ein Referenzstrahlenbündel, die parallel zueinander verlaufen; mindestens ein Mess- und ein Referenzspiegel, angeordnet entlang mindestens zweier Messachsen, auf den die Mess- und Referenzstrahlenbündel auftreffen, wobei jeweils mindestens einer der Spiegel entlang der jeweiligen Messachse verschiebbar ist; ein Strahlumlenker, der als separates Element zum Strahlteiler ausgebildet ist, sowie ein einziger Retroreflektor, wobei über den Strahlumlenker und den Retroreflektor die von Mess- und Referenzspiegel reflektierten Mess- und Referenzstrahlenbündel mindestens ein zweites Mal in Richtung Mess- und Referenzspiegel gelenkt werden; ein Achsaufspalter, , der als separates Element zum Strahlteiler ausgebildet ist, angeordnet zwischen dem Strahlumlenker und dem Retroreflektor, der die Mess- und Referenzstrahlenbündel auf die mindestens zwei Messachsen aufspaltet, wobei der Achsaufspalter mindestens eine Planparallelplatte umfasst.

[0008] Mittels einer derartigen Optik-Baugruppe lässt sich ein Interferometer aufbauen, das ferner eine Strahlungsquelle sowie mindestens zwei Detektoren umfasst, auf die Mess- und Referenzstrahlenbündel nach der zweiten Reflexion an Mess- und Referenzspiegel in den mindestens zwei Messachsen auftreffen und jeweils ein verschiebungsabhängiges Ausgangssignal erzeugen.

[0009] Gemäß den ersten und zweiten unabhängigen Erfindungsaspekten kommen nunmehr mit Planparallelplatten besonders einfach zu fertigende Bauteile einer Optik-Baugruppe an verschiedenen Stellen im Interferometer-Strahlengang zum Einsatz. Es lassen sich derart sowohl die Anforderungen hinsichtlich der nötigen optischen Präzision wie auch die Forderung nach einer kostengünstigen Fertigung derselben erfüllen.

[0010] Insbesondere gilt dies für die Verwendung geeigneter Planparallelplatten als Strahlumlenker sowie als Achsaufspalter im Interferometer-Strahlengang.

[0011] Im Vergleich zu einem als Strahlumlenker fungierenden Strahlteilerwürfel lässt sich eine Planparallelplatte über das sog. Käfigpolieren relativ einfach fertigen. Hinzu kommt, dass zwei planparallele Platten als Strahlteiler und Strahlumlenker sich räumlich sehr kompakt anordnen lassen und eine geringe Baugröße einer entsprechenden Optik-Baugruppe ermöglichen.

[0012] Ähnliche Vorteile resultieren auch, wenn ein oder mehrere Planparallelplatten als Achsaufspalter für ein Mehrachs-Interferometer fungieren. Werden alternativ hierzu etwa prismatische Körper wie Rhomboide und/oder Dachkantprismen verwendet, so ist es relativ aufwändig, für diese Bauteile geometrische Anforderungen bzgl. Winkligkeit, Pyramidalfehler einzuhalten. Hinzu kommt, dass derartige Varianten in der Regel eine Verkittung verschiedener Bauteile erfordern, was wiederum Kittfehler zur Folge hat.

[0013] Es ist ferner aufgrund der gewählten Strahlengänge eine vollständige Symmetrie der optischen Weglängen für den Mess- und Referenzstrahlengang gewährleistet, so dass im Betrieb auch eine hohe Driftstabilität, beispielsweise gegenüber Temperaturschwankungen, sichergestellt ist. Dies resultiert insbesondere aus der hohen Symmetrie der optischen Strahlengänge, insbesondere dadurch, dass Mess- und Referenzstrahlenbündel immer parallel dieselben (oder gleichartigen) optischen Bauteile durchsetzen und z.B. thermisches Driften sich auf beide Strahlenbündel gleichermaßen auswirkt und sich damit für das Interferenzsignal kompensieren.

[0014] Gemäß einem weiteren Erfindungsaspekt kann im Fall der Ausbildung des Interferometers als Heterodyninterferometer im zurücklaufenden Strahlengang auf eine relativ teure Halbwellen-Verzögerungsplatte verzichtet werden, wenn eine ausgangsseitige Strahlteilerschicht des Strahlteilers nicht als Polarisationsstrahlteiler ausgebildet ist, sondern als Neutralteiler. Damit können die zurücklaufenden Mess- und Referenzstrahlenbündel gleich direkt mischen. Es entsteht hierbei noch zusätzlich ein um 180° phasenverschobenes Signalstrahlenbündel, das aber zur Auswertung nicht benutzt werden muss. Um in diesem Fall die optische Weglängengleichheit sicherzustellen, kann anstelle der Halbwellen-Verzögerungsplatte alternativ ein geeignet dimensioniertes - deutlich billigeres - Glasplättchen eingesetzt werden.

[0015] Gemäß einem weiteren Erfindungsaspekt ist eine kollineare Anordnung bzw. ein kollinearer Verlauf der Mess- und Referenzstrahlengänge auch in einem Mehrachs-Interferometer vorgesehen. Damit ist sichergestellt, dass Mess- und Referenzstrahlenbündel sich möglichst lange unter vergleichbaren Umgebungsbedingungen ausbreiten. Im Gegensatz hierzu verlaufen diese Strahlenbündel bei Anordnungen gemäß dem Stand der Technik senkrecht zueinander und in unterschiedlichen Bauteilen, d.h. unter verschiedenen Umgebungsbedingungen. Erfindungsgemäß wird eine hohe Driftstabilität erreicht.

[0016] Weitere Vorteile sowie Einzelheiten der vorliegenden Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung von Ausführungsbeispielen anhand der beiliegenden Figuren.

[0017] Dabei zeigt

Fig. 1 eine schematisierte Ansicht des Strahlengangs in einem ersten Ausführungsbeispiel eines Interferometers mit einer erfindungsgemäßen Optik-Baugruppe, wobei das Interferometer als Einachs-Interferometer ausgebildet ist;

Fig. 2a eine geringfügig modifizierte Variante des Ausführungsbeispiels aus **Fig. 1**;

Fig. 2b eine räumliche Ansicht des verwendeten Tripelprismas aus **Fig. 2a**;

Fig. 2c eine Draufsicht auf den verwendeten Referenzspiegel aus **Fig. 2a**;

Fig. 2d eine Draufsicht auf den verwendeten Messspiegel aus **Fig. 2a**;

Fig. 3 eine schematisierte Ansicht des Strahlengangs in einem weiteren Ausführungsbeispiel eines Interferometers mit einer erfindungsgemäßen Optik-Baugruppe, wobei das Interferometer als Mehrachs-Interferometer ausgebildet ist;

Fig. 4, Fig. 5 jeweils eine weitere Ausführungsform eines geeigneten Achsaufspalters, wie er in einem Mehrachs-Interferometer gemäß **Fig. 3** zum Einsatz kommen kann;

Fig. 6 eine räumliche Ansicht eines Mehrachs-Interferometers, bei dem ein Achsaufspalter gemäß **Fig. 5** verwendet wird.

[0018] **Fig. 1** zeigt das optische Grundprinzip eines Einachs-Interferometers, das nach dem Prinzip eines Differential-Planspiegel-Interferometers aufgebaut ist und in dem ein erstes Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemäßen Optik-Baugruppe eingesetzt wird.

[0019] Ein von einer Strahlungsquelle **10** - z.B. ein Laser - emittiertes Strahlenbündel mit unterschiedlich polarisierten Strahlungsanteilen wird an einem schräg, bevorzugt unter 45° Grad, angeordneten Strahlteiler **1.1** in Form einer planparallelen Strahlteilerplatte in zwei parallele Strahlenbündel aufgespalten. Ein derartiger Strahlteiler ist etwa aus der EP 1 031 868 B1 der Anmelderin bekannt.

[0020] Der p-polarisierte Anteil des von der Strahlungsquelle **10** her einfallenden Strahlenbündels, das sich an der Eintritts-Glasfläche der Strahlteilerplatte bricht, wird an einer polarisierenden Strahlteilerschicht **1.2a** an der Austritts-Glasfläche transmittiert, der s-polarisierte Anteil reflektiert und von einer hochreflektierenden Spiegelschicht **1.3a** auf der Eintritts-Glasfläche der Strahlteilerplatte erneut reflektiert. Somit werden zwei parallele, orthogonal polarisierte Strahlenbündel erzeugt, deren Parallelität nur von der einfach sicherzustellenden Parallelität der Strahlteilerplatte abhängt.

[0021] Beabstandet vom Strahlteiler **1.1** ist ein Strahlumlenker **1.4**, ebenfalls ausgebildet als planparallele Platte, angeordnet. Diese wird von dem parallelen Strahlenbündelpaar nach der Brechung an der Eintritts-Glasfläche bevorzugt erst durchsetzt und fällt dann auf eine polarisierende Strahlteilerschicht **1.5** an der Austritts-Glasfläche. Damit das s-polarisierte Strahlenbündel diese Strahlteilerschicht **1.5** transmittieren kann, wird zwischen dem Strahlteiler **1.1** und dem Strahlumlenker **1.4** das s-polarisierte Strahlenbündel mit einer Halbwellen-Verzögerungsplatte **1.6a** in seiner Polarisationsrichtung um 90 Grad gedreht. Damit können die Strahlenbündel, die nun beide linear p-polarisiert sind, den Strahlumlenker **1.4** transmittieren. Beide Strahlenbündel durchlaufen anschließend Viertelwellen-Verzögerungsplatten **1.7**, die den Polarisationszustand von linear polarisiert in zirkular polarisiert ändern und durchsetzen anschließend eine weitere Planparallelplatte - nachfolgend Referenzspiegel **1.8** genannt -, die für eines der beiden Strahlenbündel einen Rückflächenspiegel **1.9** aufweist. Das auf diesen Rückflächenspiegel **1.9** auftreffende Strahlenbündel dient als Referenzstrahlenbündel **1.12** im Interferometer.

[0022] Für das andere Strahlenbündel weist der Referenzspiegel **1.8** eine transparente Fläche auf, so dass es von einem im Strahlengang nachgeordneten Messspiegel **1.10** reflektiert wird und somit als Messstrahlenbündel **1.13** dienen kann.

[0023] Der Referenzspiegel **1.8** kann alternativ zur dargestellten Ausführungsform in **Fig. 1** auch als Oberflächenspiegel ausgelegt werden; allerdings sollte zu Wahrung der Gleichheit der optischen Weglängen der Referenzspiegel für das Messstrahlenbündel dann eine Bohrung aufweisen.

[0024] Das Mess- und das Referenzstrahlenbündel **1.13**, **1.12** werden von Messspiegel **1.10** und Referenzspiegel **1.8** in sich selbst zurück reflektiert und nach dem zweiten Durchgang durch die Viertelwellen-Verzögerungsplatten **1.7** in ihrer Polarisationsrichtung wieder um 90 Grad gedreht. Die jetzt beide s-polarisierten Strahlenbündel werden nun an der polarisierenden Strahlteilerschicht **1.5** des Strahlumlenkers **1.4** reflektiert und fallen in einen Retroreflektor **1.11** ein, welches bevorzugt als Tripelprisma oder Tripelspiegel ausgebildet ist. Parallelversetzt und punktgespiegelt werden Mess- und Referenzstrahlenbündel **1.13**, **1.12** vom Retroreflektor **1.11** wieder zum Strahlumlenker **1.4** reflektiert und von der polarisierenden Strahlteilerschicht **1.5** erneut zu den Viertelwellen-Verzögerungsplatten **1.7**, dem Referenzspiegel **1.8** und dem Messspiegel **1.10** hin umgelenkt. Der Messspiegel **1.10** ist in durch den Pfeil ange deuteten Messrichtung verschiebbar angeordnet. Die wiederum in sich selbst zurückreflektierten Strahlenbündel weisen nach dem erneuten Durchgang durch die Viertelwellen-Verzögerungsplatten **1.7** jetzt wie-

der eine p-Polarisation auf und werden daher von der Strahlteilerschicht **1.5** des Strahlumlenkers **1.4** nun transmittiert. Sie laufen, in einem zum oben beschriebenen einfallenden Strahlengang, symmetrischen Strahlengang über die Halbwellen-Verzögerungsplatte **1.6b** und den hochreflektierenden Spiegel **1.3b** für das Referenzstrahlenbündel **1.12** und direkt für das Messstrahlenbündel **1.13** zur polarisierenden Strahlteilerschicht **1.2b** des Strahlteilers **1.1** zurück. Dort überlagern sich die die s- und p-polarisierten Strahlenbündel und liegen als Ausgangs-Signalstrahlenbündel am Interferometerausgang bzw. am schematisiert angedeuteten Detektor **100** vor.

[0025] Die Auswertung des Ausgangs-Signalstrahlenbündels im Hinblick auf das eigentlich interessierende Messsignal unterscheidet sich je nach dem, ob ein homodynes Interferometerprinzip oder ein heterodynes Interferometerprinzip zur Anwendung kommen soll. Für ein Homodyn-Interferometer kann z.B. zur Erzeugung von phasenverschobenen Einzelsignalen ein polarisationsoptischer Phasendetektor eingesetzt werden, wie er in der EP 0 481 356 B1 der Anmelderin beschrieben ist. Im Falle eines Heterodyn-Interferometers werden die über die Polarisationsrichtung kodierten unterschiedlichen Frequenzen von Mess- und Referenzstrahlenbündels mittels eines Polarisators gemischt und liegen als Messschwebungssignal vor, das mit einem Referenzschwebungssignal verglichen werden kann.

[0026] Bei einem vorgesehenen Heterodyn-Auswertung kann beim erfindungsgemäßen Interferometerprinzip auf die ansonsten im rücklaufenden Strahlengang befindliche teure Halbwellen-Verzögerungsplatte **1.6b** verzichtet werden, falls die Strahlteilerschicht **1.2b** am Interferometerausgang anstelle als Neutralteiler als Polarisationsstrahlteiler ausgelegt wird. Somit können Mess- und Referenzstrahlenbündel gleich direkt mischen und es entsteht dabei noch ein zusätzliches um 180 Grad phasenverschobenes Signalstrahlenbündel, welches aber nicht benutzt werden muss. Zum Ausgleich des fehlenden optischen Weges in der Halbwellen-Verzögerungsplatte **1.6b** kann ein preiswertes Glasplättchen eingesetzt werden.

[0027] Das mit der erfindungsgemäßen Optik-Baugruppe realisierbare optische Interferometer-Prinzip hat insbesondere für die Verwendung als Heterodyn-Interferometer besondere Vorteile. Bei herkömmlichen Michelson-Interferometern nach dem Stand der Technik, die als Strahlteiler einen Strahlteilerwürfel verwenden, tritt insbesondere bei der Ausführung als Planspiegel- oder Differentialplanspiegel-Interferometer nach der ersten Reflexion am Messspiegel eine Polarisationsmischung der unterschiedlichen Frequenzanteile von Mess- und Referenzstrahlenbündel auf, was zu einer Nichtlinearität innerhalb einer Signalperiode führt. Bei dem oben beschriebe-

nen optischen Prinzip verlaufen nach der Aufspaltung an der Strahlteilerschicht **1.2a**, bis zur erneuten Überlagerung an der Schicht **1.2b**, Mess- und Referenzstrahlenbündel räumlich separierte Wege, welche keine weitere Polarisationsmischung mehr zulassen. Das Problem der Polarisationsmischung beschränkt sich daher im wesentlichen auf die Qualitätsanforderungen für die Strahlteilerschicht **1.2a** und reduziert somit die Nichtlinearität innerhalb einer Signalperiode erheblich.

[0028] In der **Fig. 1** nicht ausdrücklich gekennzeichnete Luft-Glas-Grenzflächen sind üblicherweise zur Reflexminderung vergütet. Die Platte des Referenzspiegels **1.8** kann zur Vermeidung von störenden Reflexen ferner eine leichte Keilform aufweisen.

[0029] Alternativ zur in **Fig. 1** dargestellten Variante mit dem beweglichen Messspiegel **1.10** kann auch vorgesehen sein, dass der Referenzspiegel **1.8** die Messbewegung ausführt und der Messspiegel stationär angeordnet ist.

[0030] Die vorab erläuterte **Fig. 1** zeigt das optische Grundprinzip der vorliegenden Erfindung, wobei die Reflexion der Strahlenbündel durch das den Retroreflektor **1.11** bzw. das hierzu eingesetzte Tripelprisma in der Zeichenebene erfolgt. Es entsteht dadurch, zur besseren Verständlichkeit, ein rein zweidimensionaler Strahlengang. Zur Optimierung respektive Verkleinerung des Bauvolumens und zur Verkleinerung des räumlichen Strahlmusters erfolgt in einer weiteren Ausführungsform des erfindungsgemäßen Interferometers gemäß **Fig. 2a** die Reflexion der Strahlbündel durch die Punktspiegelung des Retroreflektors **2.11** bzw. Tripelprismas nunmehr in einem diagonalen Muster. Das reflektierte Messstrahlenbündel verläuft dann außerhalb der Zeichenebene unterhalb (oder oberhalb) des Referenzstrahlenbündel. Für die Reflexion des Referenzstrahlenbündels gilt das entsprechend umgekehrte. Ansonsten entspricht der optische Strahlengang dem des vorherigen Beispiels.

[0031] **Fig. 2b** zeigt in einer Draufsicht auf die Eintrittsfläche des Retroreflektors **2.11** bzw. Tripelprismas das diagonale Strahlmuster der Reflexion von Mess- und Referenzstrahlenbündel. **Fig. 2c** zeigt die für die diagonale Anordnung der Referenzstrahlenbündel zumindest in diesen Bereichen notwendigen Verspiegelung **2.9** auf der Platte des Referenzspiegels **2.8**. Das entsprechend achsgespiegelte Diagonalmuster für das Messstrahlenbündel ist gestrichelt gezeichnet. Zumindest in diesen Bereichen muss die Platte des Referenzspiegels **2.8** transparent sein.

[0032] Das entsprechende Muster bildet sich auch auf dem Messspiegel **2.10** ab und ist in **Fig. 2d** in einer Draufsicht auf die Fläche des Messspiegels **2.10** veranschaulicht.

[0033] Das anhand von **Fig. 1** beschriebene optische Interferometer-Prinzip kann auch auf Mehrachsinterferometer erweitert werden. Dazu wird der Strahlengang des erläuterten Einachsinterferometers letztlich mehrfach parallel zueinander realisiert.

[0034] Besonders vorteilhaft ist es, den Interferometer-Strahlengang nach der ersten Reflexion an Mess- und Referenzspiegel und nach der Strahlumlenkung an der Strahlteilerschicht des Strahlumlenkens auf die erforderliche Mehrzahl von Achsen aufzuspalten.

[0035] Derart lassen sich dann nicht nur Abstandsbewegungen des Messspiegels entlang einer Messachse interferometrisch erfassen, sondern auch - in Kenntnis der Achsabstände - Kippbewegungen des Messspiegels messtechnisch ermitteln.

[0036] Die Aufspaltung des Interferometer-Strahlengangs auf mehrere Achsen (bevorzugt zwei oder drei) kann grundsätzlich sowohl vor dem Retroreflektor bzw. Tripelprisma als auch danach erfolgen. Besonders vorteilhaft ist es diese Aufspaltung erst nach dem Retroreflektor vorzunehmen, da man dann nicht für jede einzelne Messachse einen separaten Retroreflektor bzw. Tripelprisma benötigt, sondern für alle Messachsen ein entsprechendes Bauelement gemeinsam nutzen kann und somit Kosten für diese besonders teuren Bauteile eingespart werden können.

[0037] **Fig. 3** zeigt in schematischer Form den Interferometer-Strahlengang für ein derartiges Mehrachs-Interferometer mit zwei Messachsen, bei dem eine weitere Ausführungsform der erfindungsgemäßen Optik-Baugruppe zum Einsatz kommt. Die erforderliche Aufspaltung auf die verschiedenen Messachsen erfolgt über das nachfolgend als Achsaufspalter **3.12** bezeichnete Bauelement. Dieses ist in **Fig. 3** lediglich schematisiert hinsichtlich seiner Funktionalität angedeutet; konkrete Ausführungsbeispiele werden im Verlauf der weiteren Beschreibung erläutert.

[0038] Nachfolgend sei der prinzipielle Strahlengang im Mehrachs-Interferometer der **Fig. 3** erläutert, insofern es sich von den Einachs-Varianten der vorherigen Beispiele unterscheidet.

[0039] Das vom Messspiegel **3.10** und vom Referenzspiegel **3.8** in sich selbst zurück reflektierte Strahlenbündelpaar, von nun an primäres Messstrahlenbündel **3.13** und primäres Referenzstrahlenbündel **3.14** genannt, wird nach der Reflexion durch den Retroreflektor **3.11** bzw. Tripelprisma vom Achsaufspalter **3.12** in zwei Strahlenbündelpaare aufgespalten. Es liegt daher nicht nur ein, von nun an so genanntes sekundäres erstes Strahlenbündelpaar für das sekundäre Messstrahlenbündel **3.15** und für das sekundäre Referenzstrahlenbündel **3.16** vor, sondern auch mindestens ein weiteres sekundäres, zweites Strah-

lenbündelpaar mit einem weiteren sekundären Messstrahlenbündel **3.17** und einem weiteren sekundären Referenzstrahlenbündel **3.18**. Dies ist der wesentliche Unterschied im Fall eines Mehrachsinterferometers im Vergleich zu den vorher erläuterten Einachsvarianten.

[0040] Die nach dem Achsaufspalter **3.12** nun vorliegenden zwei sekundären Strahlbündelpaare durchlaufen, jedes Paar für sich, analoge Strahlwege, wie in **Fig. 1** beschrieben. An der Strahlteilerplatte **3.1** wird aufgrund der Strahlengangführung nunmehr nicht nur ein Interferometerausgangssignal erzeugt, sondern zwei, nämlich jeweils an den Strahlteilerschichten **3.2b** und **3.2c**.

[0041] Die beiden effektiven Messachsen **3.19** und **3.20** befinden sich jeweils in der Mitte der optischen Achsen der primären und sekundären Messstrahlenbündel am Ort des Messspiegels **3.10**. Mit Hilfe der Kenntnis des Abstandes A zwischen den beiden effektiven Messachsen **3.19** und **3.20** lässt sich dann über die Messsignale an den beiden Interferometerausgängen, neben der Ermittlung der Abstandsänderung des Messspiegels **3.10**, auch noch der Kippwinkel des Messspiegels **3.10** um eine Drehachse senkrecht zur Zeichenebene erfassen.

[0042] Zur besseren Verständlichkeit wurde der Interferometer-Strahlengang in **Fig. 3** wieder nur in der Zeichenebene dargestellt. In einer bevorzugten Variante verlaufen die vom Retroreflektor **3.11** respektive Tripelprisma reflektierten Strahlenbündel nicht mehr in der Zeichenebene, sondern - analog zum Beispiel in **Fig. 2** - außerhalb dieser.

[0043] Im Folgenden werden nunmehr anhand der **Fig. 4** und **Fig. 5** verschiedene konkrete Ausführungsmöglichkeiten für den Achsaufspalter **3.12** der Mehrachsvariante aus **Fig. 3** beschrieben, wie er in einer erfindungsgemäßen Optik-Baugruppe zum Einsatz kommen kann.

[0044] Als Achsaufspalter für zwei benötigte Messachsen kann z.B. eine planparallele Platte, wie in **Fig. 1** als Strahlteiler **1.1** gezeigt, verwendet werden.

[0045] **Fig. 4** zeigt einen Achsaufspalter **4.12** für drei Messachsen, wobei hierzu zwei gekreuzt angeordnete Strahlteilerplatten **4.12a**, **4.12b** zum Einsatz kommen. Wie beim Beispiel in **Fig. 3** fällt in den Achsaufspalter **4.12** ein paralleles Paar aus Mess- und Referenzstrahlenbündel ein. Dieses Strahlbündelpaar wird von der ersten Strahlteilerplatte **4.12a** auf zwei Ebenen aufgeteilt. In der unteren Ebene verläuft das Strahlbündelpaar **4.21**. Das obere Strahlbündelpaar wird von der Strahlteilerplatte **4.12b** in der Ebene in die zwei Strahlbündelpaare **4.16**, **4.15** und **4.18**, **4.17** aufgespalten.

[0046] Somit wird das in den Achsaufspalter **4.12** einfallende Strahlenbündelpaar jeweils in drei parallele Strahlenbündelpaare, auf zwei Ebenen verteilt, aufgespalten. Die Beschichtungen auf den Strahlteilerplatten **4.12a**, **4.12b** sind der Übersichtlichkeit halber in **Fig. 4** nicht eingezeichnet.

[0047] Ein Strahlteilerelement bzw. Achsaufspalter basierend auf Planparallel-Platten kann, wie in **Fig. 4** der EP 1 031 868 B1 gezeigt, nicht nur in Transmission ausgebildet bzw. eingesetzt werden, sondern auch in Reflexion. **Fig. 5** zeigt eine für ein Dreiachs-Interferometer geeignete Ausführungsform eines Achsaufspalters **5.12** unter Verwendung von zwei gekreuzten und zueinander bevorzugt um 45 Grad gedrehten Planparallel-Platten **5.1**, **5.2**, die zur Strahlteilung in Reflexion genutzt werden. Hierbei findet die Strahlteilung von Messstrahlenbündel **5.3** und Referenzstrahlenbündel **5.4** an einer polarisationsoptisch neutralen Strahlteilerschicht auf der ersten Glas-Fläche der Planparallel-Platte **5.1** statt und nicht an der zweiten Glas-Fläche, wie bei der transmittierenden Strahlteilerplatte im Beispiel der **Fig. 4**. Das bei der Strahlteilung in die Planparallel-Platte transmittierte Strahlenbündel wird von einem Rückflächenspiegel reflektiert und tritt, nach einer Brechung an der ersten Glas-Fläche parallel zum in Reflexion aufgespaltenen Strahlenbündel aus. Die an der Oberfläche der Planparallel-Platte **5.1** reflektierten Anteile von Mess- und Referenzstrahlenbündel werden an der zweiten Planparallel-Platte **5.2** lediglich reflektiert. Die an der Neutralteilerschicht an der ersten Glas-Fläche der Planparallel-Platte **5.1** transmittierten Anteile von Mess- und Referenzstrahlenbündel werden von einem Rückflächenspiegel reflektiert, an der ersten Glas-Fläche gebrochen und an der ersten Glas-Fläche der zweiten Planparallel-Platte **5.2** durch einen weitere Neutralteilerschicht aufgespalten. Die transmittierten Anteile werden wiederum durch einen weiteren Rückflächenspiegel reflektiert und treten nach einer Brechung aus der zweiten Planparallel-Platte **5.2** aus. Somit wird das in den Achsaufspalter **5.12** einfallende Strahlenbündelpaar jeweils in drei parallele Strahlenbündelpaare, auf zwei Ebenen verteilt, aufgespalten, die in der Figur mit den Bezugszeichen **5.16** + **5.15**, **5.18** + **5.17** und **5.21** bezeichnet sind. Die verschiedenen Beschichtungen sind der Übersichtlichkeit halber in **Fig. 5** wiederum nicht eingezeichnet.

[0048] Der Vorteil bei der Verwendung von reflektierenden Strahlteilern aus planparallelen Platten gegenüber transmittierenden Strahlteilern liegt darin, dass der Strahlengang aus der Ebene heraus gefaltet werden kann. Somit lässt sich die Baugröße des Interferometergehäuses bzgl. der Montagefläche deutlich verringern.

[0049] Natürlich lassen sich für einen Achsaufspalter auch ein transmittierender Strahlteiler gemäß **Fig. 4**

und ein reflektierender Strahlteiler gemäß **Fig. 5** kombinieren. Dabei sind bzgl. der räumlichen Anordnung beide Reihungsmöglichkeiten realisierbar.

[0050] **Fig. 6** zeigt schließlich eine bevorzugte Ausführungsform eines Mehrachs-Interferometers gemäß **Fig. 3**, speziell eines Dreiachs-Interferometers unter Verwendung des anhand von **Fig. 5** erläuterten Achsaufspalters. Besonders vorteilhaft ist hierbei, dass nicht nur die vom Tripelprisma **6.1** reflektierten primären Mess- **6.2** und Referenzstrahlenbündel **6.3** von den planparallelen Platten jeweils durch Strahlaufspaltung an der Oberfläche und Reflexion 'an der Rückseite über bzw. durch die Kombination der beiden Planparallelplatten **6.7, 6.8** des Achsaufspalter laufen und somit auf drei Achsen aufgespalten werden, sondern, dass auch die primären Mess- und Referenzstrahlenbündel auf ihrem Weg vom Strahlumlenker **6.4** zum Tripelprisma **6.1** über zwei Oberflächenreflexionen über den Achsaufspalter laufen. Die Beschichtungen der Planparallel-Platten für diese zum Tripelprisma **6.1** hinlaufenden Strahlenbündel sind dabei als Oberflächenspiegel ausgelegt. Am Referenzplanspiegel **6.5** ist mit Kreisen das Strahlmuster angedeutet.

[0051] Der Übersichtlichkeit halber sind die Viertelwellen-Verzögerungsplatten und der Messspiegel in **Fig. 6** nicht eingezeichnet. Außerdem ist noch aus konstruktionsbedingten Gründen zusätzlich eine planparallele Platte **6.6** eingefügt, um das zum Tripelprisma **6.1** laufende Strahlenbündelpaar parallel zu versetzen.

[0052] Die anhand der verschiedenen Figuren erläuterten Maßnahmen lassen sich selbstverständlich auch geeignet miteinander kombinieren etc.. Im Rahmen der vorliegenden Erfindung gibt es somit eine Reihe weiterer Ausgestaltungsmöglichkeiten, die allesamt auf den oben diskutierten Prinzipien basieren.

Patentansprüche

1. Optik-Baugruppe für ein Interferometer, bestehend aus folgenden Komponenten:
 - ein Strahlteiler (1.1) zum Aufteilen der von einer Strahlungsquelle (10) emittierten Strahlenbündel in mindestens ein Mess- und ein Referenzstrahlenbündel (1.13, 1.12), die parallel zueinander verlaufen,
 - mindestens ein Mess- und ein Referenzspiegel (1.10, 1.8), auf den die Mess- und Referenzstrahlenbündel (1.13, 1.12) auftreffen, wobei mindestens einer der Spiegel (1.10) entlang einer Messachse verschiebbar ist,
 - ein Strahlumlenker (1.4), der als separates Element zum Strahlteiler (1.1) ausgebildet ist, sowie ein einziger Retroreflektor (1.11), wobei über den Strahlumlenker (1.4) und den Retroreflektor (1.11) die von Mess- und Referenzspiegel (1.10, 1.8) reflektierten Mess- und Referenzstrahlenbündel (1.13, 1.12) min-

destens ein zweites Mal in Richtung Mess- und Referenzspiegel (1.10, 1.8) gelenkt werden und wobei der Strahlumlenker (1.4) als Planparallelplatte ausgebildet ist.

2. Interferometer mit
 - einer Strahlungsquelle (10),
 - einer Optik-Baugruppe gemäß Anspruch 1 sowie
 - mindestens einem Detektor (100), auf den Mess- und Referenzstrahlenbündel (1.13, 1.12) nach der zweiten Reflexion am Mess- und Referenzspiegel (1.10, 1.8) auftreffen und dort ein verschiebungsbabhängiges Ausgangssignal erzeugen.

3. Interferometer nach Anspruch 2, wobei die Mess- und Referenzstrahlenbündel (1.13, 1.12) vor dem Auftreffen auf dem Detektor (100) ein weiteres Mal den Strahlteiler (1.1) durchlaufen, der einen Neutralteiler umfasst, der die Mess- und Referenzstrahlenbündel (1.12, 1.12) vor dem Detektor (100) zusammenführt.

4. Optik-Baugruppe für ein Interferometer, bestehend aus folgenden Komponenten:
 - ein Strahlteiler (3.1) zum Aufteilen der von einer Strahlungsquelle emittierten Strahlenbündel in mindestens ein Mess- und ein Referenzstrahlenbündel (3.13, 3.14), die parallel zueinander verlaufen,
 - mindestens ein Mess- und ein Referenzspiegel (3.10, 3.8), angeordnet entlang mindestens zweier Messachsen (3.19, 3.20), auf den die Mess- und Referenzstrahlenbündel (3.13, 3.14) auftreffen, wobei jeweils mindestens einer der Spiegel (3.10) entlang der jeweiligen Messachse (3.19, 3.20) verschiebbar ist,
 - ein Strahlumlenker (3.4), der als separates Element zum Strahlteiler (3.1) ausgebildet ist, sowie ein einziger Retroreflektor (3.11), wobei über den Strahlumlenker (3.4) und den Retroreflektor (3.11) die von Mess- und Referenzspiegel (3.10, 3.8) reflektierten Mess- und Referenzstrahlenbündel (3.13, 3.14) mindestens ein zweites Mal in Richtung Mess- und Referenzspiegel (3.10, 3.8) gelenkt werden,
 - einem Achsaufspalter (3.12), der als separates Element zum Strahlteiler (3.1) ausgebildet ist, angeordnet zwischen dem Strahlumlenker (3.4) und dem Retroreflektor (3.11), der die Mess- und Referenzstrahlenbündel (3.13, 3.14) auf die mindestens zwei Messachsen (3.19, 3.20) aufspaltet, wobei der Achsaufspalter (3.12) mindestens eine Planparallelplatte umfasst.

5. Interferometer mit
 - einer Strahlungsquelle,
 - einer Optik-Baugruppe gemäß Anspruch 4 sowie
 - mindestens zwei Detektoren, auf den Mess- und Referenzstrahlenbündel (3.15, 3.16, 3.17, 3.18) nach der zweiten Reflexion an Mess- und Referenzspiegel (3.10, 3.8) in den mindestens zwei Messachsen

(3.19, 3.20) auftreffen und jeweils ein verschiebungsabhängiges Ausgangssignal erzeugen.

6. Interferometer nach Anspruch 5, wobei entlang jeder Messachse (3.19, 3.20) der Mess- und der Referenzspiegel (3.10, 3.8) kollinear angeordnet sind.

Es folgen 4 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

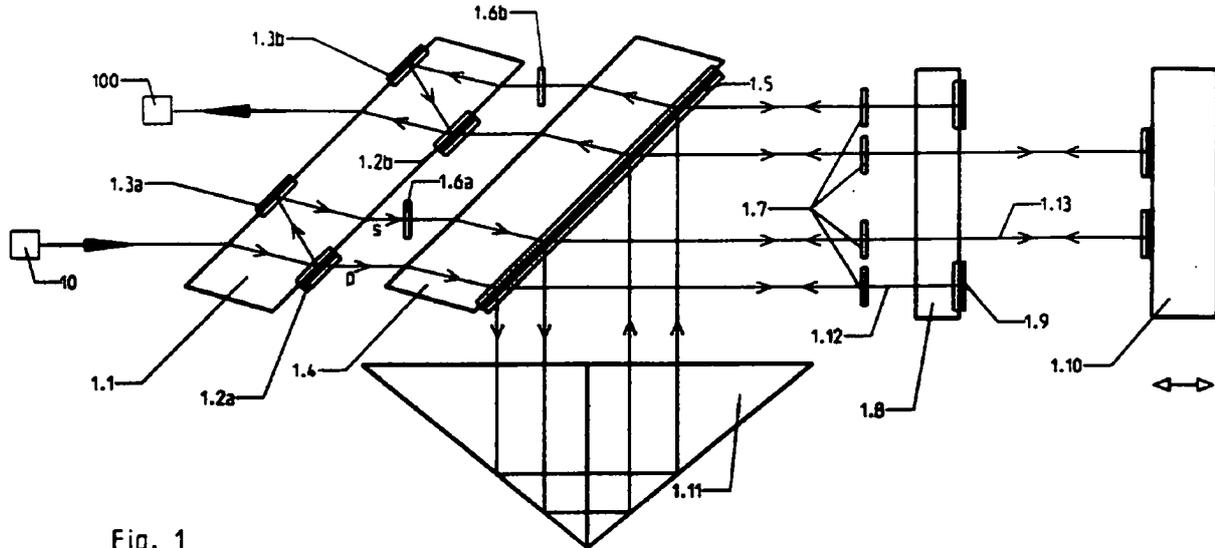


Fig. 1

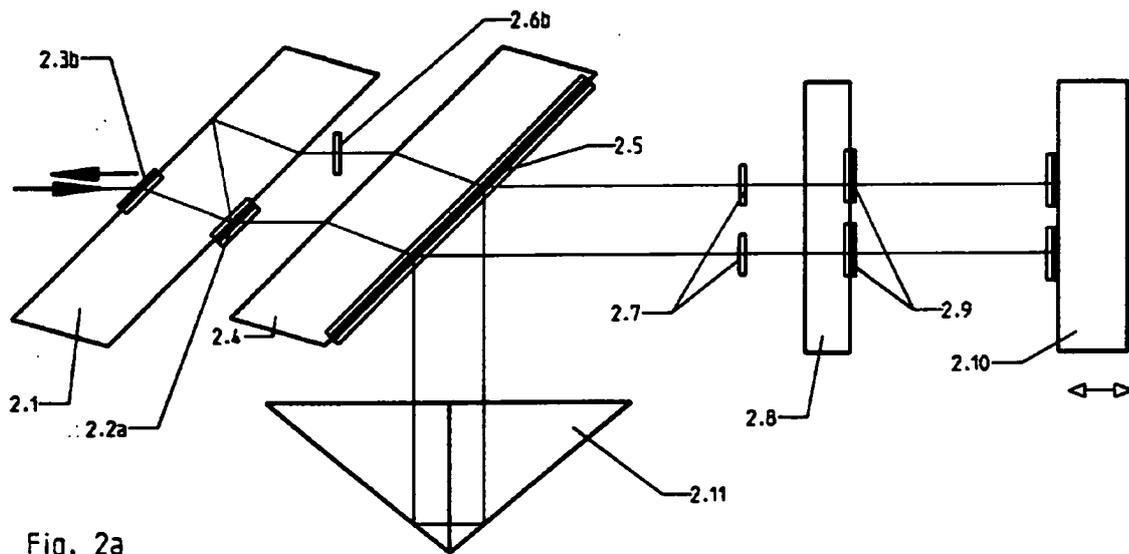


Fig. 2a

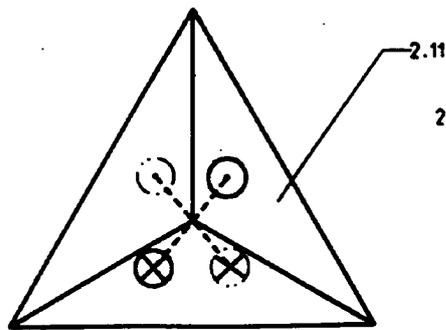


Fig. 2b

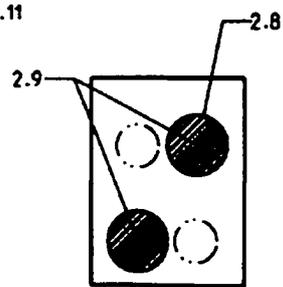


Fig. 2c

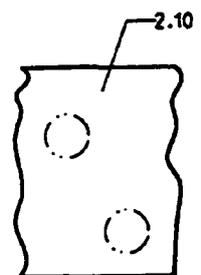


Fig. 2d

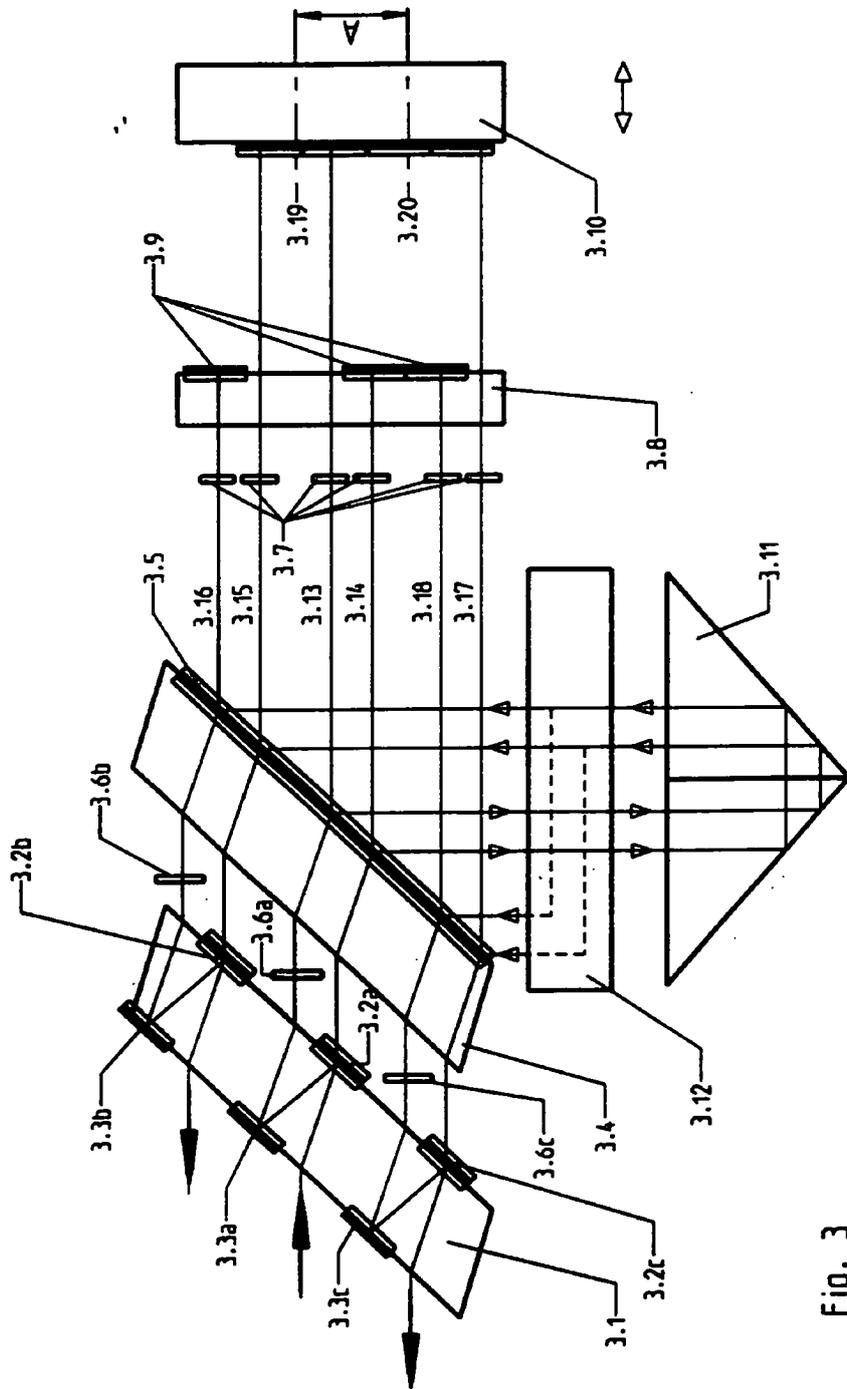


Fig. 3

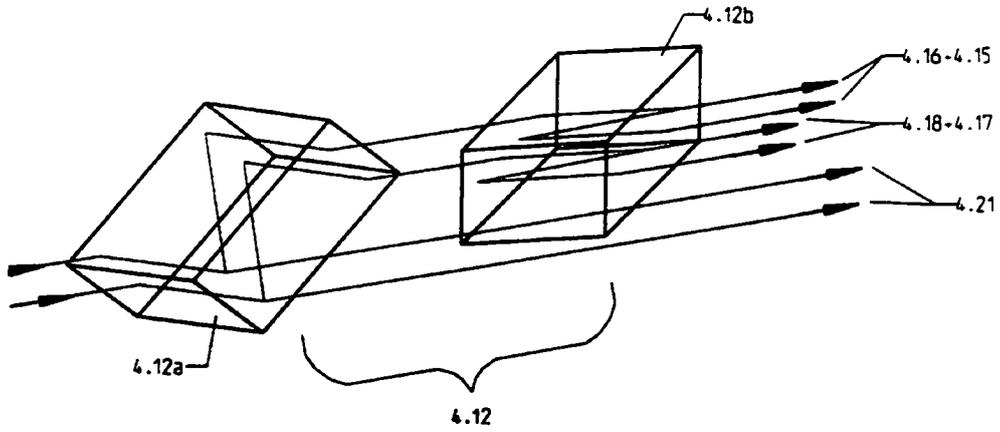


Fig. 4

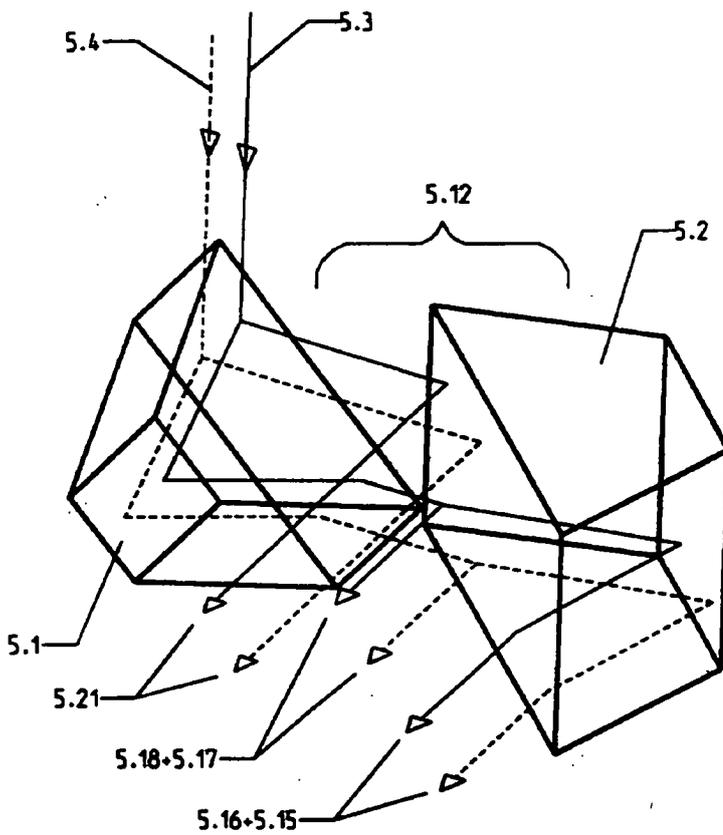


Fig. 5

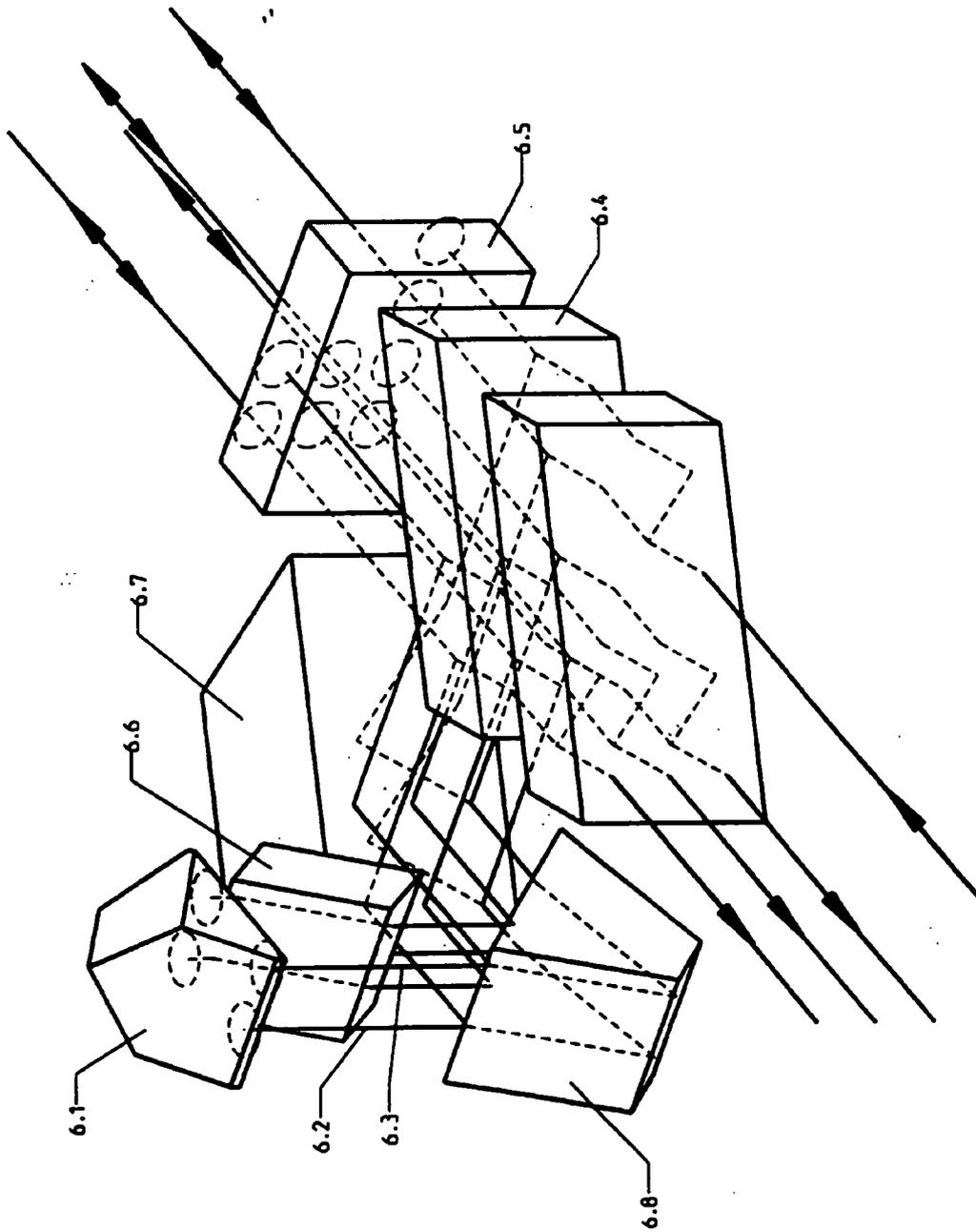


Fig. 6