

(12)

PATENTCHRIFT

(21) Anmeldenummer: 828/92

(51) Int.Cl.⁵ : **G01B 9/02**

(22) Anmeldetag: 23. 4.1992

(42) Beginn der Patentdauer: 15. 1.1993

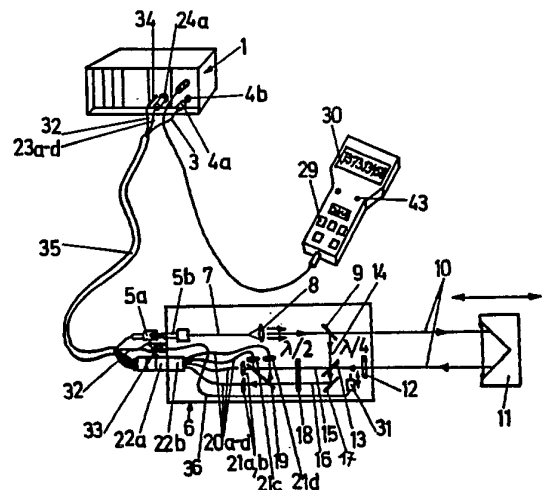
(45) Ausgabetag: 25.10.1993

(73) Patentinhaber:

TABARELLI WERNER DR.
FL-9494 SCHAAN (LI).

(54) INTERFEROMETER

(57) Interferometer mit einer Laserlichtquelle (2), mit einem Strahlteiler (9) zur Aufteilung des Laserlichts in einen Meßstrahl (10) und einen Referenzstrahl (14), mit einer Rekombinationseinrichtung (13), an der der Referenzstrahl und der über einen beweglichen Meßreflektor (11) geführte Meßstrahl (10) unter Bildung mindestens eines optischen Interferenzsignals interferieren, und mit einer Detektoreinrichtung zur Erfassung und elektronischen Auswertung des bzw. der Interferenzsignale. Zur Erweiterung der Meß- und Kalibriermöglichkeiten weist das Interferometer einen Strahlunterbrecher (31, 31', 31'') zur zeitweisen Unterbrechung des Meßstrahles (10) und/oder des Referenzstrahles (14) auf.



Die Erfindung betrifft ein Interferometer mit einer Laserlichtquelle, mit einem Strahlteiler zur Aufteilung des Laserlichts in einen Meßstrahl und einen Referenzstrahl, mit einer Rekombinationseinrichtung, an der der Referenzstrahl und der über einen beweglichen Meßreflektor geführte Meßstrahl unter Bildung mindestens eines optischen Interferenzsignals interferieren, und mit einer Detektoreinrichtung zur Erfassung und elektronischen Auswertung des bzw. der Interferenzsignale.

Derartige Interferometer werden insbesondere zur Längenmessung eingesetzt, wobei der Verschiebeweg des Meßreflektors interferometrisch erfaßt wird. Beim Bewegen des Meßreflektors verändert sich das von der Detektoreinrichtung erfaßte optische Interferenzsignal. Bei bekannter Wellenlänge des Laserlichts kann daraus quantitativ auf die Bewegung des Meßreflektors geschlossen werden.

Aufgabe der Erfindung ist es, ein Interferometer zu schaffen, das abgesehen von der eigentlichen Messung (Erfassung der Bewegung des Meßreflektors) weitere Meß- bzw. Einstellvorgänge erlaubt.

Dies wird bei einem Interferometer der eingangs genannten Gattung erfindungsgemäß dadurch erreicht, daß das Interferometer mindestens einen Strahlunterbrecher zur zeitweisen Unterbrechung des Meßstrahles und/oder des Referenzstrahles aufweist.

Insbesondere bei homodyn (mit einer Laserlichtfrequenz betriebenen) Interferometern ist es wichtig, die Signalverstärkung der den Photodetektoren der Detektoreinrichtungen nachgeschalteten elektronischen Verstärker zu kalibrieren. Vor allem, wenn das Interferometer mehrere phasenverschobene Interferenzsignale liefert, um daraus in an sich bekannter Weise auf die Bewegungsrichtung des Meßreflektors schließen zu können, ist es nötig, die Signalverstärkung der jedem Interferenzsignal zugeordneten unabhängigen elektronischen Verstärker aufeinander abzugleichen. Da die optischen Interferenzsignale gegeneinander phasenverschoben sind, fällt bei jeder Stellung des Meßspiegels unterschiedlich viel Licht auf die einzelnen Photodetektoren, sodaß ein Abgleich (Kalibrierung) der Signalverstärkung der einzelnen an die Photodetektoren angeschlossenen Verstärker kaum möglich ist. Erschwerend kommt dabei hinzu, daß bereits die geringste Bewegung des Meßspiegels zu einer Veränderung der Interferenzsignale führt, welche eine exakte Kalibrierung der Verstärker unmöglich macht. Durch den erfindungsgemäßen Strahlunterbrecher ist es nunmehr möglich, den Meßstrahl oder den Referenzstrahl zu unterbrechen, womit auf die Photodetektoren nicht mehr unterschiedliche und hoch empfindliche Interferenzsignale, sondern gleichmäßiges Laserlicht auftritt, das eine zuverlässige und exakte Kalibrierung der Signalverstärkungen der elektronischen Verstärker ermöglicht.

Besonders günstig ist es dabei, den Meßstrahl, der vom Meßreflektor zurückkehrt, knapp vor der Rekombinationseinrichtung zu unterbrechen. Damit werden Störeffekte auf der Meßstrecke sowie die Einblendung von Fremdlicht vollkommen ausgeschlossen. Es gelangt lediglich Licht über den wohldefinierten Referenzzweig auf den bzw. die Photodetektoren der Detektoreinrichtung. Besonders günstig an der Unterbrechung des Meßstrahles ist weiters die Tatsache, daß dies ein in der Praxis unerwünscht auftretendes Unterbrechen des Meßstrahles simuliert, womit es möglich ist, später eine unbeabsichtigte Meßstrahlunterbrechung zuverlässig zu detektieren. Prinzipiell ist es jedoch auch denkbar, den Referenzstrahl zu unterbrechen, um die Ausbildung von Interferenzsignalen im Bedarfsfall zu unterbinden.

Abgesehen von den Vorteilen bei der Kalibrierung des Interferometers, kann der erfindungsgemäße Strahlunterbrecher noch weitere Vorteile ermöglichen. Beispielsweise ist es bei unterbrochenem Referenzstrahl möglich, Störungen bzw. Intensitätsverluste auf der Meßstrecke festzustellen. Es wird dann rein der Meßzweig vermessen. Können bei einer anderen Ausführungsform sowohl Meßstrahl als auch Referenzstrahl unterbrochen werden, so ist ein einfacher Test auf die perfekte Funktionsweise der Strahlunterbrecher möglich. Eine Strahlunterbrechung des vom Meßreflektor zurückkehrenden Meßstrahles knapp vor der Rekombinationseinrichtung erlaubt es außerdem bei Stillstand des Interferometers, dieses vor der Einstrahlung von Fremdlicht zu schützen.

Unter "Unterbrechung" des jeweiligen Lichtstrahles wird jede Einwirkung auf diesen verstanden, die verhindert, daß dieser zur Rekombinationseinrichtung gelangt. Im einfachsten Fall kann der Strahlunterbrecher ein vorzugsweise elektromagnetisch bewegbares Verschußteil aufweisen, das zur Strahlunterbrechung in den Strahlengang des Meßstrahles bzw. Referenzstrahles bewegbar ist. Vorteilhaft ist bei dieser Ausführung neben der sicheren Strahlunterbrechung auch die Tatsache, daß sich bei einem Strahlunterbrecher die Justierung der den Strahlengang bestimmenden optischen Komponenten nicht verändert und somit präzise aufrecht erhalten bleibt.

Es ist aber auch möglich, den zu unterbrechenden Lichtstrahl einfach auszublenden bzw. abzulenken. Dazu kann beispielsweise eine verstellbare Ablenkvorrichtung (Spiegel oder Prisma) vorgesehen sein, die in einer Stellung den Lichtstrahl auf die Rekombinationseinrichtung gelangen läßt und in der "unterbrochenen" Stellung den Lichtstrahl irgendwie seitlich ausblendet. Dabei können im Strahlengang ohnehin vorgesehene Spiegel oder Prismen verwendet werden, die einfach durch einen entsprechenden Antrieb ergänzt werden.

Grundsätzlich ist es auch möglich, die Lichtstrahlunterbrechung ohne mechanisch bewegte Teile zu erzielen. Vorteilhaft können dazu elektrooptische Schalter (insbesondere Kerr-Zelle und Pockels-Zelle) eingesetzt werden.

Weitere Vorteile und Einzelheiten der Erfindung werden in der nachstehenden Figurenbeschreibung näher erläutert.

Es zeigen die Fig. 1 eine Prinzipskizze eines erfindungsgemäßen Interferometers, die Fig. 2 einen schematischen Aufbau einer Zentraleinheit eines erfindungsgemäßen Interferometers und die Fig. 3 und 4 Ausführungsbeispiele für einen Strahlunterbrecher.

Das in den Fig. 1 und 2 schematisch dargestellte Interferometer weist in einer Zentraleinheit (1) eine Laserlichtquelle (2), beispielsweise einen Helium-Neon-Laser auf. Über eine flexible Lichtleitfaser (3), die über eine Steckverbindung (4a, 4b) an der Zentraleinheit und über eine Steckverbindung (5a, 5b) am Interferometerkopf (6) jeweils lösbar angeschlossen ist, gelangt Laserlicht in die Eingangslichtleitfaser (7) des Interferometerkopfes. Über eine Linse (8) erfolgt eine Kollimation des aus der Lichtleitfaser (7) austretenden Lichtstrahlenbündels. Das Laserlicht wird vom Strahlteiler (9) in einen Meßstrahl und einen Referenzstrahl aufgeteilt. Der Meßstrahl (10) verläuft über einen beweglichen Retroreflektor (11) und gelangt über eine Viertelwellenplatte (12) auf die als Strahlteiler ausgebildete Rekombinationseinrichtung (13). An dieser Rekombinationseinrichtung interferieren der Meßstrahl (10) und der Referenzstrahl (14). Das Interferometer wird in an sich bekannter Weise mit zwei aufeinander senkrechten Polarisierungen betrieben. Das Interferenzsignalbündel (15) enthält zwei senkrecht aufeinander polarisierte Interferenzsignalanteile, die um 90° gegeneinander phasenverschoben sind. Das über den Spiegel (17) geführte Interferenzstrahlenbündel (16) enthält ebenfalls zwei senkrecht aufeinander polarisierte Interferenzsignalanteile, die gegeneinander um 90° phasenverschoben sind. Die Interferenzsignalbündel (15, 16) stellen komplementäre Ausgänge der Rekombinationseinrichtung (13) dar und sind somit gegeneinander für jede Polarisation um 180° phasenverschoben. Nach Durchgang durch die Halbwellenplatte (18) und Aufspaltung der Polarisationsanteile an der Polarisatorplatte hat man somit in den vier Lichtleitfasern (20a-d) vier jeweils um 90° gegeneinander phasenverschobene Interferenzsignale (0°, 90°, 180°, 270°), welche neben der Ermittlung des Verschiebeweges des Meßreflektors (11) auch die Ermittlung der Bewegungsrichtung desselben erlaubt. Die Interferenzsignale werden über Linsen (21a-d) in die vorzugsweise multimoden Lichtleitfasern (20a-d) eingekoppelt. Über einen Mehrfachstecker (22a, 22b) und flexible Lichtleitfasern (23a-d) gelangen die vier optischen Interferenzsignale zur Zentraleinheit (1), wo ein lösbarer Mehrfachstecker (24a, 24b) vorgesehen ist. Über Lichtleitfaserstücke (25a-d) gelangen die vier phasenverschobenen optischen Interferenzsignale auf Photodetektoren (26a-d), an die elektronische Verstärker (27a-d) mit einstellbarer Signalverstärkung angeschlossen sind. Die Ausgänge dieser Verstärker werden dann in einer Verarbeitungseinheit verarbeitet und über eine beispielsweise an einer Fernbedienung (29) ausgebildete Anzeigeeinheit (30) als Verschiebeweg bzw. Lage des Meßreflektors (11) angezeigt.

Erfindungsgemäß weist nun das Interferometer einen Strahlunterbrecher (31) auf, der bei dem in Fig. 1 dargestellten Ausführungsbeispiel den vom Meßreflektor (11) zurückkehrenden Meßstrahl (10) knapp vor der Rekombinationseinrichtung (13) unterbrechen kann. Beim dargestellten Ausführungsbeispiel weist der Strahlunterbrecher ein elektromagnetisch bewegbares Verschußteil auf, das zur Strahlunterbrechung in den Strahlengang des Meßstrahles (10) bewegbar ist. Der Strahlunterbrecher (31) ist geschützt im Gehäuse des Interferometerkopfes (6) untergebracht. Der Schaltzustand des Strahlunterbrechers (31) ist von einer räumlich getrennten Stelle aus, nämlich von der Zentraleinheit (1) aus fernsteuerbar. Dazu ist ein elektrisches Kabel (32) vorgesehen, das über einen Stecker (33) lösbar am Interferometerkopf (6) und über einen Stecker (34) lösbar an der Zentraleinheit anschließbar ist. Das Kabel (32) und die Lichtleitfasern (3, 23a-d) können vorteilhaft zu einem einzigen Kabelstrang (35) zusammengefaßt sein. Im Interferometerkopf verläuft das an das Kabel (32) anschließbare Kabel (36) zum Strahlunterbrecher (31).

Bei dem in den Fig. 1 und 2 dargestellten Ausführungsbeispiel des Interferometers ist eine Einrichtung (37) vorgesehen, die bei jedem Einschalten des Interferometers über den Hauptschalter (38), der an dem Netzanschluß (39) angeschlossen ist, eine Autokalibriereinrichtung (41) aktiviert und über die elektrischen Kabel (40, 32, 36) den Strahlunterbrecher (31) schließt. Damit gelangt auf die Photodetektoren (26a-d) nur mehr Licht über den Referenzstrahl (14). Es treten keine Interferenzsignale auf. Dies erlaubt es der Autokalibriereinrichtung (41), über die Leitungen (42) die Signalverstärkung der Verstärker (27a-d) abzugleichen, bis alle Verstärker (27a-d) ein Ausgangssignal gleicher Höhe liefern. Nach Abschluß dieser Autokalibrierung der Verstärker (27a-d) kann die eigentliche Messung beginnen, indem einfach der Strahlunterbrecher (31) geöffnet wird. Damit interferieren der von der Meßstrecke zurückkehrende Meßstrahl (10) und der Referenzstrahl (14) an der Rekombinationseinrichtung (13) unter Bildung von optischen Interferenzsignalen, die in der Zentraleinheit (1) ausgewertet werden. Der Schaltzustand des Strahlunterbrechers (31) kann über eine Anzeigeeinrichtung, beispielsweise eine Lampe (43) an der Fernbedienung (29) angezeigt werden. Es ist auch möglich, diese Autokalibrierung bei gleichzeitiger Strahlunterbrechung in fest vorgegebenen oder von Meßpausen abhängigen Zeitintervallen vorzunehmen. Auch ein händischer Start der Autokalibrierung ist möglich.

Neben verschiebbaren Verschußteilen, wie sie in Fig. 1 dargestellt sind, kommen natürlich auch verschwenk- bzw. verdrehbare Verschußteile in Frage.

Es ist auch denkbar, den Lichtstrahl auszublenden bzw. abzulenken, wenn sein Auftreffen auf die Rekombinationseinrichtung (13) unerwünscht ist. Zu dieser Art der Unterbrechung kann beispielsweise ein verdrehbarer Spiegel (31') verwendet werden, der in der in Fig. 3 dargestellten Position den Meßstrahl (10) um 90° gerade auf die Rekombinationseinrichtung (13) hin umlenkt. Soll nun dies unterbrochen werden, so kann der Spiegel um die Achse (44) über eine elektromagnetische Stelleinheit (45) gemäß den Pfeilen (50) verschwenkt werden, womit der vom Spiegel reflektierte Meßstrahl nicht mehr auf die Rekombinationseinrichtung gelangt.

Neben Versionen mit mechanisch bewegten Bauteilen sind auch rein elektrooptische Schalter (31'') denkbar und möglich, beispielsweise ist in Fig. 4 eine sogenannte Kerr-Zelle dargestellt. Das zwischen zwei Elektroden

(47) eingebrachte elektrooptische Material verändert bei Spannung an den Elektroden (47) die Polarisationsrichtung des durchgehenden Lichtes. Verwendet man zwei aufeinander senkrechte Polarisatoren (48, 49), die jeweils unter 45° zum elektrischen Feld stehen, so läßt die dargestellte Kerr-Zelle bei fehlender Spannung an den Elektroden (47) kein Licht durch. Durch Anlegen einer Spannung an die Elektroden (47) wird die Kerr-Zelle insgesamt lichtdurchlässig.

Anstelle der Kerr-Zelle können auch andere elektrooptische Materialien, beispielsweise elektrooptische Kristalle eingesetzt werden. Beispielsweise kann auch der sogenannte Pockels-Effekt ausgenutzt werden, um einen elektrooptischen Schalter zu realisieren.

PATENTANSPRÜCHE

1. Interferometer mit einer Laserlichtquelle, mit einem Strahlteiler zur Aufteilung des Laserlichts in einen Meßstrahl und einen Referenzstrahl, mit einer Rekombinationseinrichtung, an der der Referenzstrahl und der über einen beweglichen Meßreflektor geführte Meßstrahl unter Bildung mindestens eines optischen Interferenzsignals interferieren, und mit einer Detektoreinrichtung zur Erfassung und elektronischen Auswertung des bzw. der Interferenzsignale, dadurch gekennzeichnet, daß das Interferometer mindestens einen Strahlunterbrecher (31, 31', 31'') zur zeitweisen Unterbrechung des Meßstrahles (10) und/oder des Referenzstrahles (14) aufweist.

2. Interferometer nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Strahlunterbrecher (31, 31', 31'') vor der Rekombinationseinrichtung angeordnet ist und den vom Meßreflektor (11) zurückkehrenden Meßstrahl (10) unterbricht.

3. Interferometer nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß der Strahlunterbrecher (31) ein vorzugsweise elektromagnetisch bewegbares Verschußteil aufweist, das zur Strahlunterbrechung in den Strahlengang des Meßstrahles (10) bzw. Referenzstrahles (14) bewegbar ist.

4. Interferometer nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß der zeitweise zu unterbrechende Lichtstrahl (10, 14) über eine vorzugsweise elektromagnetisch verstellbare Ablenkvorrichtung (31''), beispielsweise einen Spiegel oder ein Prisma, geführt ist.

5. Interferometer nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß der zeitweise zu unterbrechende Lichtstrahl durch einen elektrooptischen Schalter (31''), beispielsweise eine Kerr-Zelle oder eine Pockels-Zelle geführt ist.

6. Interferometer nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß der Schaltzustand des Strahlunterbrechers (31) von einer von ihm räumlich getrennten Stelle (1) aus fernsteuerbar ist.

7. Interferometer nach einem der Ansprüche 1 bis 5, mit einem den Strahlteiler, die Rekombinationseinrichtung und einen den Referenzstrahl führenden Referenzzweig enthaltenden Interferometerkopf, dem Laserlicht über eine flexible Lichtleitfaser aus einer räumlich getrennten Laserlichtquelle zuführbar ist, dadurch gekennzeichnet, daß der Strahlunterbrecher (31) im Interferometerkopf (6) angeordnet ist.

8. Interferometer nach Anspruch 6 und 7, dadurch gekennzeichnet, daß der Strahlunterbrecher (31) über ein elektrisches Kabel (32) fernsteuerbar ist, das einerseits lösbar an dem Interferometerkopf (6) und andererseits lösbar an eine davon räumlich getrennte Zentraleinheit (1) anschließbar ist, die vorzugsweise die Laserlichtquelle (2) und die Detektoreinrichtung (26a bis d, 27a bis d, 28) enthält.

9. Interferometer nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß das elektrische Kabel, die flexible Lichtleitfaser (3) und gegebenenfalls vorhandene weitere Lichtleitfasern (23a bis d) zur Führung der Interferenzsignale vom Interferometerkopf (6) zur Zentraleinheit (1) zu einem gemeinsamen Kabelstrang (35) zwischen Zentraleinheit (1) und Interferometerkopf (6) zusammengefaßt sind.

10. Interferometer nach einem der Ansprüche 1 bis 9, gekennzeichnet durch eine Anzeigeeinrichtung (43) für den Schaltzustand des Strahlunterbrechers (31).

11. Interferometer nach einem der Ansprüche 1 bis 10, bei der die Detektoreinrichtung für jedes Interferenzsignal einen Photodetektor (26a bis d) und einen diesem nachgeschalteten elektronischen Verstärker (27a bis d) mit einstellbarer Signalverstärkung aufweist.

5 12. Interferometer nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß eine Autokalibriereinrichtung vorgesehen ist, die bei durch den Strahlunterbrecher (31) unterbrochenem Meßstrahl (10) oder Referenzstrahl (14) die Signalverstärkung des bzw. der elektronischen Verstärker (27a bis d) einstellt.

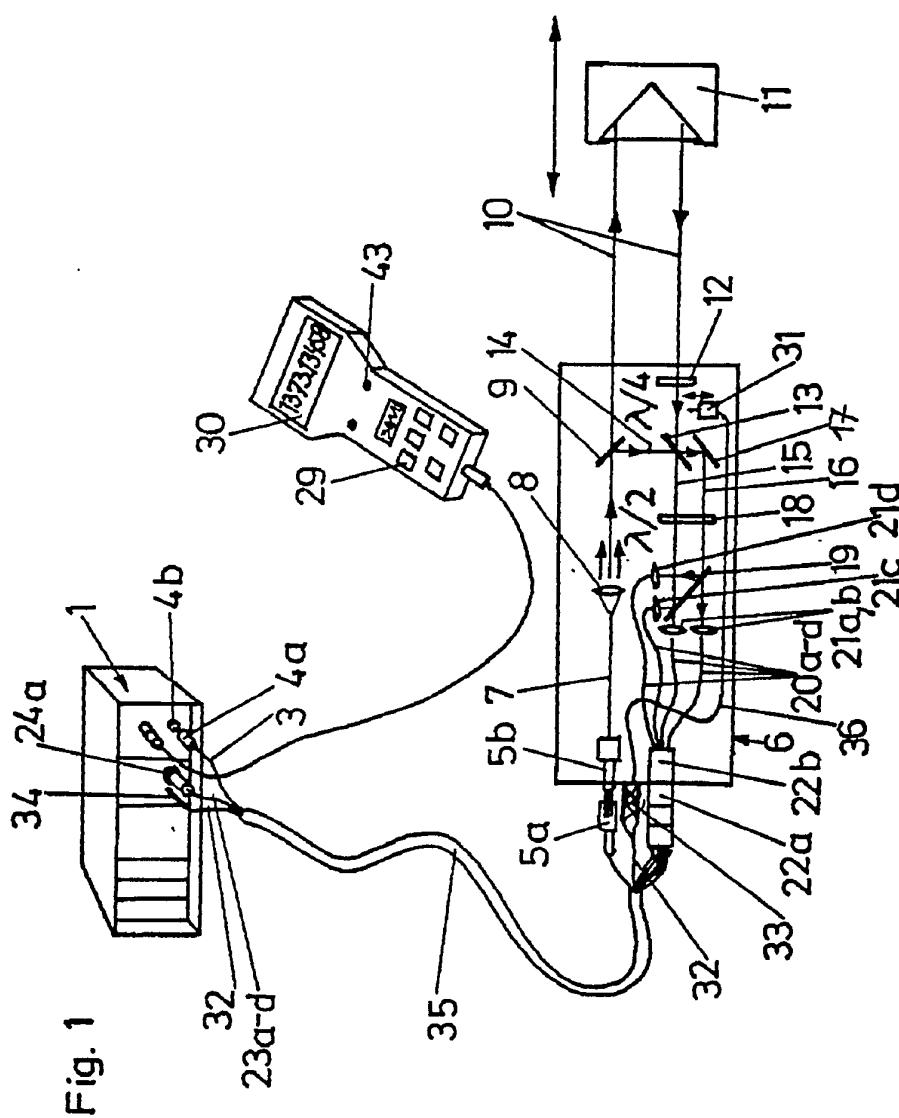
10 13. Interferometer nach Anspruch 11, mit mindestens zwei Photodetektoren für gegeneinander phasenverschobene Interferenzsignale und diesen Photodektoren nachgeschalteten elektronischen Verstärkern mit unabhängig voneinander einstellbaren Signalverstärkungen, dadurch gekennzeichnet, daß eine Autokalibriereinrichtung (41) vorgesehen ist, die bei durch den Strahlunterbrecher (31) unterbrochenem Meßstrahl (10) oder Referenzstrahl (14) die Signalverstärkungen aller Verstärker (27a bis d) abgleicht, bis alle Verstärker ein Ausgangssignal gleicher Höhe liefern.

15 14. Interferometer nach Anspruch 12 oder 13, dadurch gekennzeichnet, daß eine Einrichtung (37) vorgesehen ist, die bei jedem Einschalten des Interferometers und/oder in bestimmten Zeitabständen automatisch den Strahlunterbrecher (31) schließt und die Autokalibriereinrichtung (41) aktiviert sowie nach abgeschlossener Autokalibrierung den Strahlunterbrecher (31) öffnet.

20

Hiezu 2 Blatt Zeichnungen

25



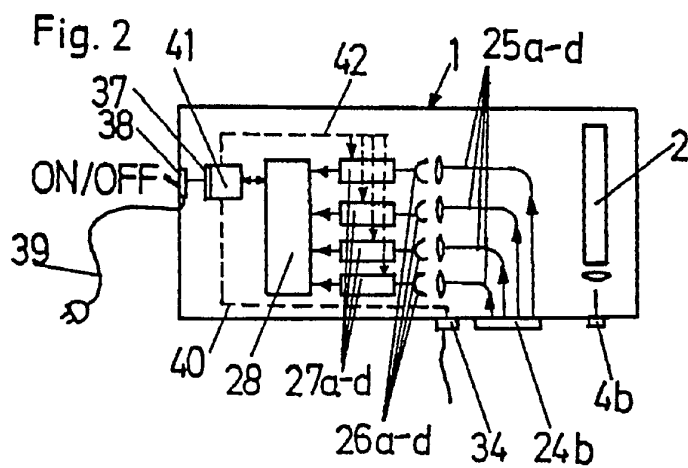


Fig. 3

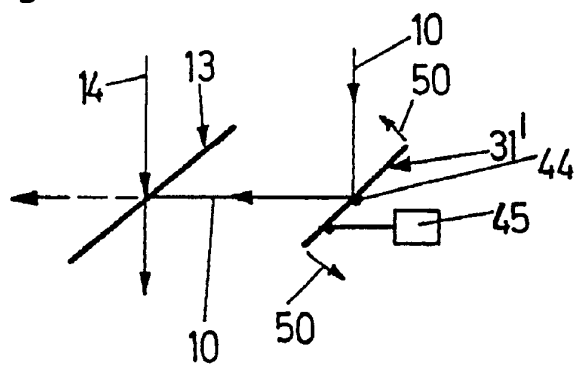


Fig. 4

