



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 103 17 826 B4 2005.07.28**

(12)

Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **103 17 826.0**
 (22) Anmeldetag: **16.04.2003**
 (43) Offenlegungstag: **18.11.2004**
 (45) Veröffentlichungstag
 der Patenterteilung: **28.07.2005**

(51) Int Cl.7: **G01B 11/14**
G01B 11/24, G01B 9/02

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden.

(71) Patentinhaber:
**Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der
 angewandten Forschung e.V., 80686 München,
 DE; Jurca Optoelektronik GmbH & Co. KG, 63110
 Rodgau, DE**

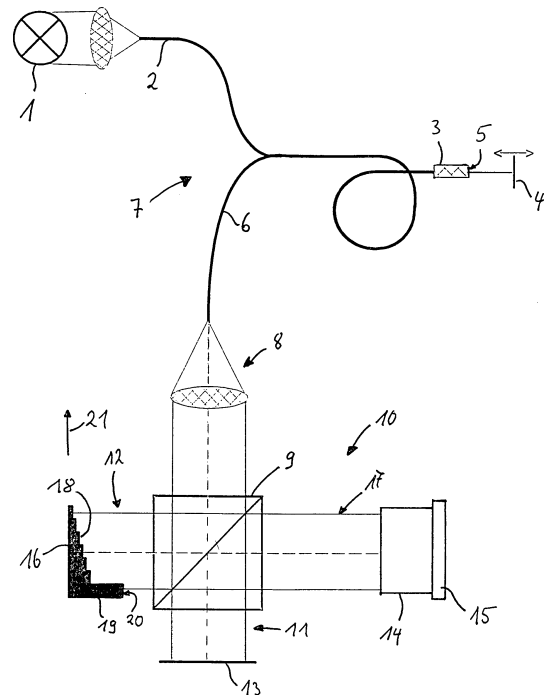
(72) Erfinder:
**Depiereux, Frank, Dipl.-Ing., 52351 Düren, DE;
 Bosbach, Christof, Dipl.-Ing., 50127 Bergheim, DE;
 Michelt, Berthold, Dr.-Ing., 65185 Wiesbaden, DE**

(74) Vertreter:
**König & Kollegen Patent- und
 Rechtsanwaltskanzlei, 52072 Aachen**

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
 gezogene Druckschriften:
DE 195 20 305 A1

(54) Bezeichnung: **Verfahren und Vorrichtung zur interferometrischen Messung**

(57) Hauptanspruch: Verfahren zur interferometrischen Messung, bei dem
 a) mittels einer ersten Interferometereinheit (7) ein Quellstrahl einer kurzkohärenten oder inkohärenten Lichtquelle (1) in einen Referenzlichtstrahl und einen Messlichtstrahl aufgeteilt wird,
 b) Referenzlichtstrahl und Messlichtstrahl in einer zweiten Interferometereinheit (10) jeweils in zwei Teilstrahlen aufgeteilt werden,
 c) einer der Referenzlichtteilstrahlen und einer der Messlichtteilstrahlen einen ersten Strahlengang (12) durchlaufen und dabei an einem mindestens ein Messstufenfeld (22) aufweisenden Stufenkörper (16) reflektiert werden, wobei die optische Wegstrecke im ersten Strahlengang (12) vom Ort der Reflexion auf dem Stufenkörper (16) abhängt,
 d) der andere Referenzlichtteilstrahl und der andere Messlichtteilstrahl einen zweiten Strahlengang (11) der zweiten Interferometereinheit durchlaufen,
 e) sämtliche Teilstrahlen einem Detektor (15) zugeführt werden, der sich am Ende einer beiden Strahlengänge (11, 12) gemeinsamen Interferenzstrecke (17) befindet,
 f) die Stufen (18) des mindestens einen Messstufenfeldes (22) optisch auf ein Bildsensorgebiet des Detektors (15) abgebildet werden, und...



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur interferometrischen Messung, bei dem

- a) mittels einer ersten Interferometereinheit ein Quellstrahl einer kurzkohärentes oder inkohärentes Licht emittierenden Lichtquelle in einen Referenzlichtstrahl und einen Messlichtstrahl aufgeteilt wird,
- b) Referenzlichtstrahl und Messlichtstrahl in einer zweiten Interferometereinheit jeweils in zwei Teilstrahlen aufgeteilt werden,
- c) einer der Referenzlichtteilstrahlen und einer der Messlichtteilstrahlen einen ersten Strahlengang durchlaufen und dabei an einem mindestens ein Messstufenfeld aufweisenden Stufenkörper reflektiert werden, wobei die optische Wegstrecke im ersten Strahlengang vom Ort der Reflexion auf dem Stufenkörper abhängt,
- d) der andere Referenzteilstrahl und der andere Messlichtteilstrahl einen zweiten Strahlengang der zweiten Interferometereinheit durchlaufen,
- e) sämtliche Teilstrahlen einem Detektor zugeführt werden, der sich am Ende einer beiden Strahlengängen gemeinsamen Interferenzstrecke befindet,
- f) die Stufen des mindestens einen Messstufenfeldes optisch auf ein Bildsensorfeld des Detektors abgebildet werden, und
- g) die Position der Abbildung von einer zwischen Referenzlichtstrahl und Messlichtstrahl auftretenden Messinterferenz in der Abbildung des Messstufenfeldes auf dem Detektor zur Messung herangezogen wird.

[0002] Des Weiteren betrifft die Erfindung eine Vorrichtung zur interferometrischen Messung, umfassend

- a) eine kurzkohärentes oder inkohärentes Licht emittierende Lichtquelle,
- b) eine einen Quellstrahl der Lichtquelle in einen Referenzlichtstrahl und einen Restlichtstrahl aufteilende erste Interferometereinheit,
- c) eine zweite Interferometereinheit mit
 - aa) Mitteln zur Aufteilung des jeweils in die zweite Interferometereinheit eintretenden Referenzlichtstrahls und Messlichtstrahls in jeweils zwei Teilstrahlen, von denen einer einen ersten Strahlengang und der andere einen zweiten Strahlengang durchläuft,
 - bb) einem im ersten Strahlengang angeordneten, mindestens ein Messstufenfeld aufweisenden Stufenkörper, wobei die optische Wegstrecke im ersten Strahlengang vom Ort der Reflexion auf dem Stufenkörper abhängt, und
 - cc) eine dem ersten Strahlengang und zweiten Strahlengang gemeinsame Interferenzstrecke, auf der Messlichtstrahl und Referenzlichtstrahl überlagert sind,
- d) einen Detektor mit einem zur orts aufgelösten

Detektion einer in der Interferenzstrecke gegebenen Interferenz geeigneten Bildsensorfeld, und
e) Mittel zur optischen Abbildung der Stufen des Stufenkörpers auf das Bildsensorfeld.

Stand der Technik

[0003] Ein zur absoluten Abstandsmessung vorgesehenes interferometrisches Verfahren sowie eine interferometrische Messvorrichtung der vorgenannten Art sind aus der DE 19520305 A1 bekannt. Danach wird der Messlichtstrahl an einem Messobjekt reflektiert, das sich in einem bestimmten, zu ermittelnden Abstand zu einem Referenzobjekt, nämlich einem Strahlteiler der ersten Interferometereinheit, befindet. Dieser Abstand erzeugt zwischen Referenzlichtstrahl und Messlichtstrahl einen optischen Wegstreckenunterschied, der dem doppelten zu ermittelnden Abstand entspricht. Referenzlichtstrahl und Messlichtstrahl werden der zweiten Interferometereinheit zugeführt. Aufgrund der unterschiedlichen Längen von optischen Wegen im ersten Strahlengang und im zweiten Strahlengang der zweiten Interferometereinheit wird dort der in der ersten Interferometereinheit erzeugte Wegstreckenunterschied zwischen einem Anteil des Referenzlichtstrahls und dem Messlichtstrahl ausgeglichen, so dass diese in der zweiten Interferometereinheit miteinander interferieren können. Aufgrund der kurzen Kohärenzlänge des eingesetzten Lichts interferiert lediglich der Anteil des Referenzlichtstrahls mit dem Messlichtstrahl, der an dem die geeignete optische Wegstrecke erzeugenden Ort am Stufenkörper reflektiert wurde. Die Messinterferenz wird zusammen mit der Reflexionsfläche des Stufenkörpers in einer zur optischen Achse senkrechten Ebene optisch auf das Bildsensorfeld des Detektors abgebildet. In dieser Abbildung kann die die Messinterferenz erzeugende Reflexionsstelle am Stufenkörper ermittelt und hieraus sowie aus den bekannten optischen Wegstreckenlängen unmittelbar auf den zu bestimmenden Abstand geschlossen werden.

[0004] Für eine Abstandsmessung ist eine Kalibrierung der zweiten Interferometereinheit erforderlich. Es ist bekannt, zum Kalibrieren eines Interferometers die optischen Wegstrecken im Interferenzlichtstrahlengang oder Messlichtstrahlengang durch Verfahren bestimmter optischer Elemente mittels Verfahrenstechniken zu verändern. Derartige Kalibriervorgänge sind grundsätzlich fehlerbehaftet. Zudem müssen die Kalibriervorgänge zur Überprüfung des Zustands der zweiten Interferometereinheit ständig wiederholt werden. Während der Kalibriervorgänge gemäß dem Stand der Technik sind in der Regel Abstandsmessungen nicht möglich.

Aufgabenstellung

[0005] Es ist nun Aufgabe der vorliegenden Erfindung

dung, ein Verfahren und eine Vorrichtung der eingangs genannten Art zur Verfügung zu stellen, bei dem bzw. bei der das Kalibrieren zeitgleich mit Messungen von Abständen und außerdem mit hoher Präzision und geringem Zeitaufwand durchgeführt werden kann.

[0006] Diese Aufgabe wird bei einem Verfahren der eingangs genannten Art dadurch gelöst, dass

- a) der Stufenkörper zusätzlich zum Messstufenfeld mit einer Kalibrierstufe versehen ist und derart angeordnet wird, dass eine durch Reflexion an der Reflexionsfläche einer Kalibrierstufe erzeugte optische Kalibrierwegstrecke im ersten Strahlengang mit der optischen Wegstrecke im zweiten Strahlengang exakt übereinstimmt,
- b) die Kalibrierstufe ebenfalls optisch auf das Bildsensorfeld des Detektors abgebildet wird, und
- c) die durch die jeweilige Überlagerung der Referenzlichtteilstrahlen und Messlichtteilstrahlen beim Durchlaufen der Kalibrierwegstrecke und des zweiten Strahlenganges in der Interferenzstrecke erzeugten Kalibrierinterferenzen zur Überprüfung der Position des Stufenkörpers festgestellt werden.

[0007] Bei Übereinstimmung der Kalibrierwegstrecke mit der des zweiten Strahlenganges wird in der zweiten Interferometereinheit auch mit kurzkohärentem Licht stets eine Interferenz, die Kalibrierinterferenz, erzeugt, nämlich jeweils zwischen den beiden Referenzlichtstrahlen und zwischen den beiden Messlichtstrahlen, da jeweils ein Anteil der den ersten Strahlengang durchlaufenden Teilstrahlen an der Kalibrierstufe reflektiert wird. Wird eine solche Kalibrierinterferenz detektiert, steht fest, dass der Stufenkörper korrekt innerhalb des zweiten Messinterferometers positioniert ist. Aus der bekannten Geometrie des Stufenkörpers sowie aus der Position der weiteren, zwischen Messlichtstrahl und Referenzlichtstrahl erzeugten Messinterferenz im Bereich der Messstufen kann dann direkt der zu messende Abstand ermittelt werden.

[0008] Das erfindungsgemäße Verfahren kann auch so ausgeführt werden, dass genau ein Messstufenfeld vorgesehen wird, wobei der Abstand der Reflexionsfläche der Kalibrierstufe zum Messstufenfeld ein Mehrfaches der Messstufenhöhe beträgt. Der Abstand der Reflexionsfläche der Kalibrierstufe zum Messstufenfeld bestimmt den Abstand des Messbereiches vom Referenzobjekt. Übertagt die Kalibrierstufe das Messstufenfeld, ist die optische Wegstrecke im ersten Strahlengang für den Anteil Teilstrahlen, die am Messstufenfeld reflektiert werden, länger als die optische Wegstrecke im zweiten Strahlengang der zweiten Interferometereinheit. In diesem Fall erzeugen der den ersten Strahlengang durchlaufende Teilstrahl des Referenzlichtstrahls sowie der den zweiten Strahlengang durchlaufende Teilstrahl des

Messlichtstrahls die Messinterferenz. Bei genau einem Messstufenfeld werden auf das Bildsensorfeld des Detektors somit gleichzeitig die Kalibrierinterferenz sowie die eine Messinterferenz abgebildet. Alternativ hierzu kann die Kalibrierstufe auch deutlich hinter dem Messstufenfeld zurückliegen. In diesem Fall wird die optische Wegstrecke im ersten Strahlengang für den Anteil der Teilstrahlen, die am Messstufenfeld reflektiert werden, kürzer als die optische Wegstrecke im zweiten Strahlengang. Die Messinterferenz wird in diesem Fall also von dem den ersten Strahlengang durchlaufenden Teilstrahl des Messlichtstrahls und dem den zweiten Strahlengang durchlaufenden Teilstrahl des Referenzlichtstrahls erzeugt.

[0009] Schließlich ist auch denkbar, dass die Kalibrierstufe z. B. in der Mitte des Stufenkörpers angeordnet ist und zwei Messstufenfelder vorgesehen sind, eines, welches gegenüber der Kalibrierstufe eine bestimmte Wegstrecke vorsteht und ein zweites, welches gegenüber der Kalibrierstufe um eine entsprechende Wegstrecke zurückspringt. In diesem Fall werden auf dem Bildsensorfeld des Detektors zwei Messinterferenzen und die Kalibrierinterferenz abgebildet, was die Messsicherheit erhöhen kann.

[0010] Ist die Reflexionsfläche der Kalibrierstufe genau senkrecht zur optischen Achse des ersten Strahlenganges, kommt die Kalibrierinterferenz tatsächlich nur zustande, wenn der Stufenkörper in der geeigneten Position steht und müsste bei fehlender Kalibrierinterferenz entsprechend nachjustiert werden. Aufgrund dessen kann es vorteilhaft sein, das erfindungsgemäße Verfahren so auszuführen, dass der Stufenkörper derart angeordnet wird, dass die Flächennormale der Reflexionsfläche zumindest der Kalibrierstufe zur optischen Achse des ersten Strahlenganges geneigt ist, und die Position der Kalibrierinterferenzen in der Abbildung der Reflexionsfläche der Kalibrierstufe auf dem Detektor festgestellt und zur Kalibrierung des Messergebnisses verwendet wird.

[0011] Bei einer geeigneten Ausdehnung der Kalibrierstufe senkrecht zur Kippachse ist für die Position des Stufenkörpers in der zweiten Interferometereinheit ein entsprechender Spielraum gegeben. Mit dem Detektor kann festgestellt werden, von welchem Ort auf der Kalibrierstufe die die Kalibrierinterferenz erzeugende Reflexion ausgeht. Bei Positionsverschiebungen aufgrund mechanischer Einwirkungen und/oder Wärmeausdehnungseffekten kann sich diese Stelle auf der Kalibrierstufe verschieben. Diese Verschiebung wird festgestellt und für die Berechnung des zu messenden Abstands berücksichtigt. Eine Positionsanpassung durch mechanisches Verschieben des Stufenkörpers ist somit überflüssig. Da sowohl die Kalibrierinterferenz als auch die Messinterferenz zwischen Messlichtstrahl und Referenzlichtstrahl gleichzeitig ausgewertet werden kön-

nen, ist eine laufende Kalibrierung während der Messung möglich. Gesonderte Kalibriervorgänge können vollständig entfallen.

[0012] Sind die Stufen des mindestens einen Messfeldes zur Kalibrierstufe parallel, sind bei geneigter Kalibrierstufe die Messstufen in gleicher Weise geneigt. Die Neigung zur optischen Achse wird in der Regel abhängig von den Stufenhöhen so gewählt, dass ein kontinuierlicher Messbereich abgedeckt wird.

[0013] Alternativ oder auch zusätzlich zur Verkippung kann die Kalibrierstufe und können auch die Messstufen in sich nochmals gestuft sein, wobei die Richtung dieser Unterstufung senkrecht zu der der Hauptstufung ist. In diesem Fall bestehen die Reflexionsflächen der Messstufen und/oder der Kalibrierstufe aus jeweils mehreren Einzelflächen, die sich durch die nochmalige Stufung jeder Stufe ergeben.

[0014] Weiterhin kann das erfindungsgemäße Verfahren so ausgeführt werden, dass die Kalibrierstufe und/oder die Stufen des Messstufenfeldes einzeln und jeweils mittels separater optischer Mittel auf jeweils eine oder zwei zueinander benachbarte Bildsensorzeilen abgebildet werden. Hierzu kann es vorteilhaft sein, als separate optische Mittel Stablin sen zu verwenden. Schließlich kann es auch vorteilhaft sein, nur die Bildsensorzeilen auszulesen, auf die Stufen des Stufenkörpers abgebildet werden. Die Verwendung von Stablin sen hat den Vorteil, dass die Abbildung der einzelnen Stufen auf den Bildsensorzeilen mit erhöhter Intensität erfolgt. Zudem brauchen nur die Bildsensorzeilen ausgelesen werden, auf denen Stufen des Messstufenfeldes abgebildet sind, wodurch sich die Messgeschwindigkeit deutlich erhöhen lässt. Zudem könnte es sinnvoll sein, die Reihenfolge der Auslesung der einzelnen Bildsensorzeilen abhängig vom erwarteten Messergebnis zu machen. Wird z. B. mit dem erfindungsgemäßen Verfahren ein sich in eine bestimmte Richtung laufend ändernder Abstand durch eine Vielzahl von Messungen kontrolliert, so könnte anhand der jüngsten Messergebnisse eine Tendenz festgestellt werden, aus der für die nächste zukünftige Messung ein zu erwartendes Messergebnis abgeleitet werden kann. Das erwartete Messergebnis könnte dann zum Festlegen der Bildsensorzeile dienen, die als erstes ausgelesen wird. Solange keine Messinterferenz festgestellt wird, werden anschließend die benachbarten Bildsensorzeilen ausgelesen. Ständig ausgelesen wird hingegen die Bildsensorzeile, auf die die Kalibrierstufe und die Kalibrierinterferenz abgebildet sind.

[0015] Die oben erwähnte Aufgabe wird des weiteren durch eine Vorrichtung der eingangs genannten Art gelöst, die sich dadurch kennzeichnet, dass eine Kalibrierstufe des Stufenkörpers zusätzlich zu dessen Messstufenfeld eine Kalibrierwegstrecke im ers-

ten Strahlengang der zweiten Interferometereinheit bestimmt, deren Länge mit der optischen Wegstrecke im zweiten Strahlengang exakt übereinstimmt, und die Mittel umfasst, um Kalibrierinterferenzen zur Überprüfung der Position des Stufenkörpers festzustellen.

[0016] Es kann vorteilhaft sein, die erfindungsgemäße Vorrichtung so auszubilden, dass der Stufenkörper derart angeordnet ist, dass die Flächennormale der Reflexionsfläche zumindest der Kalibrierstufe zur optischen Achse des ersten Strahlenganges geneigt ist.

[0017] Weiterhin kann es vorteilhaft sein, die erfindungsgemäße Vorrichtung so auszubilden, dass die zweite Interferometereinheit ein Michelson-Interferometer umfasst und der Stufenkörper ein Spiegel mit gestufter Reflexionsfläche ist.

[0018] Der Stufenkörper kann alternativ auch ein transparenter Körper sein, bei dem die Reflexionsflächen der Stufen des mindestens einen Messfeldes sowie der Kalibrierstufe als Strahlteiler fungieren. In diesem Falle würde es sich bei der zweiten Interferometereinheit auch nicht um ein Michelson-Interferometer handeln. Die zweite Interferometereinheit könnte dann aus im Strahlengang aufeinander folgend einer planen Strahlteilerplatte und dem teiltransparenten Stufenkörper gebildet sein, an die sich im Strahlenverlauf die Detektoroptik und der Detektor anschließen, wie dies in der DE 19520305 A1 verwirklicht ist.

[0019] Mit dem erfindungsgemäßen Verfahren und der erfindungsgemäßen Vorrichtung können auch Topographien und Tiefenprofile gemessen werden. Für Topographien können ein oder mehrere Messlichtstrahlen die Oberfläche eines Messgeräts abras tern. Die für jeden Rasterpunkt erfindungsgemäß festgestellten Abstände können dann zur Topographieermittlung verwendet werden.

[0020] Tiefenprofile können an teiltransparenten Messobjekten festgestellt werden, z. B. wenn die Messlichtstrahlen an im Messobjekt gegebenen Grenzflächen (teil)reflektiert werden. Verschiedene, in Richtung des Messstrahls gesehen hintereinander liegende und den Messstrahl (teil)reflektierende Grenzflächen erzeugen Messinterferenzen, die in ihrer Abbildung im Bildsensorfeld unterschiedlichen Stufen des Stufenkörpers zuzuordnen sind, woraus der Abstand der Grenzflächen zueinander und damit ein Tiefenprofil ermittelbar ist.

[0021] Die erfindungsgemäße Vorrichtung ist nicht auf die Messung von Abständen, Topographien oder Tiefenprofilen eingeschränkt. Es könnte als erste Interferometereinheit beispielsweise eine Glasfasereinheit herangezogen werden, bei der das Quelllicht

zunächst in eine Lichtfaser eingekoppelt und anschließend auf zwei Lichtfaserstränge aufgeteilt wird. Durchlaufen beide Lichtfaserstränge unterschiedliche, z. B. die Lichtgeschwindigkeit in den Fasern beeinflussende Umgebungsbedingungen, könnten mit Hilfe der zweiten Interferometereinheit Laufzeitunterschiede festgestellt werden, die Rückschlüsse auf die Umgebungsbedingungen zulassen.

[0022] Weitere Ausbildungsbeispiele sind durch die Ansprüche 10 bis 12 gegeben.

[0023] Im Folgenden wird eine vorteilhafte Ausbildungsform der Erfindung anhand von Figuren dargestellt.

Ausführungsbeispiel

[0024] Es zeigt schematisch:

[0025] [Fig. 1](#): eine Messvorrichtung zur Bestimmung eines Absolutabstandes,

[0026] [Fig. 2](#): in stark vergrößerter Wiedergabe einen Stufenspiegel in Schrägaufsicht,

[0027] [Fig. 3](#): ein Gehäuse und eine Gehäusehalterung für eine Detektoroptik,

[0028] [Fig. 4](#): einen seitlichen Schnitt durch die Detektoroptik mit Gehäuse und Gehäusehalterung und

[0029] [Fig. 5](#): eine geschnittene Schrägaufsicht auf das Gehäuse mit Stablinsen.

[0030] Die Messvorrichtung gemäß [Fig. 1](#) umfasst eine Lichtquelle **1**, deren kurzkohärentes Quelllicht in eine Lichtleitfaser **2** eingekoppelt wird. Die Lichtleitfaser **2** endet in einer Austrittslinse **3**, aus der ein Teil des Quelllichts in Richtung auf ein Messobjekt **4** austritt. Ein anderer Anteil des Quelllichts wird an der Austrittsfläche **5** der Austrittslinse **3** reflektiert und in eine rückführende Lichtleitfaser **6** eingekoppelt. Des Weiteren wird ein Teil des vom Messobjekt **4** reflektierten Quelllichts über die Austrittslinse **3** in die rückführende Lichtleitfaser **6** eingekoppelt. Die hinführende Lichtleitfaser **2**, die rückführende Lichtleitfaser **6**, die Austrittslinse **3** sowie das Messobjekt stellen eine erste Interferometereinheit **7** in Form eines Fabry-Perot-Interferometers dar, in der das Quelllicht der Lichtquelle **1** an der Austrittsfläche **5** der Austrittslinse **3** in zwei Strahlanteile aufgespalten wird. Der von der Austrittsfläche **5** unmittelbar zurück in die rückführende Lichtleitfaser **6** reflektierte Anteil wird im Folgenden als Referenzlichtstrahl bezeichnet, der vom Messobjekt **4** reflektierte und über die Austrittslinse **3** in die rückführende Lichtleitfaser **6** eingekoppelte Anteil als Messlichtstrahl. Der Messlichtstrahl läuft somit dem Referenzlichtstrahl in der rückführenden Lichtleitfaser in einem Abstand hinterher, der dem Zweifa-

chen des Abstands zwischen der Austrittsfläche **5** und der reflektierenden Oberfläche des Messobjekts **4** entspricht. Die rückführende Lichtleitfaser **6** endet in einer Aufweitungsoptik **8**, die den Messlichtstrahl und den Referenzlichtstrahl auf einen Strahlteiler **9** einer als Michelson-Interferometer ausgebildeten zweiten Interferometereinheit **10**, der Empfängerinterferometereinheit, gibt. Der Strahlteiler teilt sowohl den Referenzlichtstrahl als auch den Messlichtstrahl in jeweils zwei Teilstrahlen auf. In der zweiten Interferometereinheit **10** sind ein erster Strahlengang **12** und ein zweiter Strahlengang **11** definiert, die beide beim Eintritt in die zweite Interferometereinheit **10** beginnen. Im zweiten Strahlengang **11** wird die durch den Strahlteiler **9** hindurchtretende Strahlung zunächst an einem planen Spiegel **13** reflektiert und über den Strahlteiler **9** und eine Detektoroptik **14** auf einen Detektor **15** gegeben, der ein hier nicht im Detail dargestelltes Bildsensorarray einer Digitalkamera, z. B. einer CCD-Kamera oder CMOS-Kamera umfasst. Im ersten Strahlengang **12** trifft das aus der Aufweitungsoptik **8** austretende und vom Strahlteiler **9** reflektierte Licht auf einen Stufenspiegel **16**, der in [Fig. 2](#) vergrößert in Schrägaufsicht dargestellt ist. Vom Stufenspiegel **16** wird die Strahlung reflektiert und durch den Strahlteiler **9** hindurchtretend über die Detektoroptik **14** auf den Detektor **15** gegeben. Dabei wird der Stufenspiegel **16** auf dem Bildsensorarray des Detektors **15** optisch abgebildet. Zweiter Strahlengang **11** und erster Strahlengang **12** enden beide auf dem Bildsensorarray.

[0031] Die optische Wegstrecke im ersten Strahlengang **12** hängt davon ab, an welchem Ort am Stufenspiegel **16** das Licht reflektiert wird. Die Abstände des planen Spiegels **13** vom Strahlteiler **9** und des Stufenspiegels **16** vom Strahlteiler **9** sind so gewählt, dass der durch die erste Interferometereinheit **7** erzeugte Unterschied in der optischen Wegstrecke zwischen Messlichtstrahl und Referenzlichtstrahl in etwa ausgeglichen ist, wenn einer der Referenzlichtteilstrahlen den ersten Strahlengang **12** und einer der Messlichtteilstrahlen den zweiten Strahlengang **11** durchläuft. In diesem Fall kann es auf einer dem ersten Strahlengang **12** und dem zweiten Strahlengang **11** gemeinsamen Interferenzstrecke **17** zu Messinterferenzen zwischen diesem Referenzlichtteilstrahl und diesem Messlichtteilstrahl kommen. Die Messinterferenz wird jedoch nur von dem Anteil des Referenzlichtteilstrahls erzeugt, für den bei der gegebenen kurzen Kohärenzlänge des eingesetzten Lichts der Ausgleich des in der ersten Interferometereinheit **7** erzeugten Wegunterschiedes zum Messlichtstrahl hinreichend genau ist. Dies gilt in der Regel nur für einen auf einer bestimmten Messstufe **18** reflektierten Anteil. Da sowohl die Messinterferenz als auch der Stufenspiegel **16** im Detektor **15** optisch abgebildet werden, kann festgestellt werden, welche Messstufe **18** die Interferenz erzeugt. Aus den bekannten geometrischen Gegebenheiten kann dann unmittelbar

auf den zu bestimmenden Abstand zwischen der Austrittsfläche **5** in der ersten Interferometereinheit **7** und der reflektierenden Oberfläche des Messobjekts **4** geschlossen werden.

[0032] Um eine eindeutige Aussage zum zu bestimmenden Abstand machen zu können, ist eine Kalibrierung der zweiten Interferometereinheit **10** notwendig. Hierzu ist am Stufenspiegel **16** eine Kalibrierstufe **19** vorgesehen. Die Kalibrierstufe **19** erzeugt im ersten Strahlengang **12** eine Kalibrierwegstrecke, welche die kürzeste optische Wegstrecke im ersten Strahlengang **12** ist. Der Stufenspiegel **16** und der plane Spiegel **13** werden so platziert, dass der Abstand der Reflexionsfläche **20** der Kalibrierstufe **19** vom Strahlteiler **9** möglichst exakt mit dem Abstand des planen Spiegels **13** vom Strahlteiler **9** übereinstimmt. Sowohl die beiden am Strahlteiler **9** erzeugten Teilstrahlen des Messlichtstrahls als auch die des Referenzlichtstrahls interferieren bei hinreichend genauer Übereinstimmung der vorgenannten Abstände in der Interferenzstrecke **17** miteinander. Diese von der Kalibrierstufe **20** erzeugte Kalibrierinterferenz bestätigt somit die gewünschten geometrischen Verhältnisse. Aus der bekannten Höhe der Kalibrierstufe **19** und den bekannten Stufenhöhen der Messstufen **18** lässt sich aus der Position der in der Interferenzstrecke **17** erzeugten Messinterferenz in der Abbildung im Detektor **15** der optische Wegstreckenunterschied zwischen dem interferierenden Anteil des Referenzlichtstrahls und dem Messlichtstrahl und damit der zu messende Abstand ermitteln.

[0033] Es ist vorteilhaft, den Stufenspiegel **16** um eine zur optischen Achse des ersten Strahlenganges **12** sowie zur Flächennormalen der Spiegelflächen des Stufenspiegels **16** senkrechten Kippachse **21** zu neigen. Aufgrund der gegebenen Breite der Kalibrierstufe **19** wird mit der Neigung aus der Kalibrierwegstrecke ein Kalibrierbereich. Somit können aufgrund mechanischer oder thermischer Einflüsse erzeugte Verschiebungen des Stufenspiegels **16** festgestellt werden, in dem sich die Kalibrierinterferenz in der optischen Abbildung im Detektor **15** auf der Reflexionsfläche **20** der Kalibrierstufe **19** verschiebt. Bei Annäherung des Stufenspiegels **16** an den Strahlteiler **9** würde sich die Kalibrierinterferenz zu dem aufgrund der Neigung vom Strahlteiler **9** weiter entfernten Ende der Reflexionsfläche **20** hin verschieben. Wird eine solche Verschiebung festgestellt, braucht der Stufenspiegel **16** nicht mit mechanischen Hilfsmitteln neu positioniert zu werden. Vielmehr kann die Verschiebung mittels der Bildverarbeitung festgestellt und in die Berechnung des zu bestimmenden Messabstands eingearbeitet werden. Somit ist es möglich, selbst während einer Messung entstehende Verschiebungen oder Positionsänderungen des Stufenspiegels **16** festzustellen und für die Ermittlung des Messergebnisses zu berücksichtigen.

[0034] Überdies erzeugt die Neigung des Stufenspiegels **16** einen kontinuierlichen Messbereich für die Abstandsmessung, da die Neigung derart gewählt ist, dass sich die Messinterferenz bei sich veränderndem Messabstand entlang der für die Messinterferenz verantwortlichen Messstufe **18** verschiebt und vor Verlassen dieser bestimmten Messstufe **18** bereits auf einer der benachbarten Messstufen **18** erscheint. Die Höhe der Kalibrierstufe **19** ist so zu wählen, dass der Abstand der Reflexionsfläche **20** von der Mitte des Stufenfeldes **22** dem mittleren Messabstand zwischen Austrittsfläche **5** der Austrittslinse **3** in der ersten Interferometereinheit **7** und der reflektierenden Oberfläche des Messobjekts **4** entspricht. Die Längsausdehnung des Stufenfeldes **22** stellt dann den Messbereich **23** dar.

[0035] In den [Fig. 3](#) bis [Fig. 5](#) ist die Detektoroptik **14** näher erläutert.

[0036] In [Fig. 3](#) ist der Detektor **15** abgebildet, der sich dort auf einer in [Fig. 1](#) nicht gezeigten Platine **35** befindet. Auf der Platine **35** ist mittels in Schraublöchern **36** versenkten, hier nicht dargestellten Schrauben eine Gehäusehalterung **37** fixiert. Ein Gehäuse **38** ist in einer zylindrischen Durchführung der Gehäusehalterung **37** in Richtung senkrecht zur Platine **35** geführt. Das Gehäuse **38** kann mittels einer Fixierungsschraube **39** fixiert werden.

[0037] [Fig. 5](#) zeigt eine geschnittene Schrägaufsicht auf das Gehäuse **38**. In dem Gehäuse **38** ist eine Linsenhalterung **40** angeordnet, auf der zwei Stablinse **41** fixiert sind. Wenn das Gehäuse **38** auf das Deckglas des Detektors **15** ([Fig. 3](#)) abgesenkt wird, stützt sich die Linsenhalterung **40** unmittelbar auf diesem Deckglas ab und wird gegen einen elastischen Ausgleichsring **42** gepresst, der sich wiederum an einer als Abstützelement dienenden Kante **43** in der Wand des Gehäuses **38** abstützt.

[0038] Durch die Fixierung der Gehäusehalterung **37** auf der Platine **35** ist die Längsachse der Durchführung in der Gehäusehalterung **37** und somit die Längsachse des Gehäuses **38** senkrecht zur Ebene der Platine **35** ausgerichtet. Aufgrund fertigungstechnischer Toleranzen kann der Detektorchip **15** und damit das zum Detektorchip **15** in aller Regel parallele Deckglas zur Ebene der Platine **35** verkippt sein. Durch den elastischen Ausgleichsring **42** wird diese Verkipfung aufgefangen, so dass bei fixiertem Gehäuse **38** die Linsenhalterung **40** und damit die Linsen **41** parallel zum Detektorchip **15** ausgerichtet bleibt.

[0039] Durch Drehen des Gehäuses **38** um seine Längsachse können die Stablinse **41** parallel zu den hier nicht gesondert dargestellten Sensorzeilen des Detektorchips **15** ausgerichtet werden, so dass von jeder Stablinse **41** die Strahlung auf zum Beispiel ge-

nau eine bestimmte Sensorzeile fokussiert wird. Den Auslesevorgang kann man auf die mit der fokussierten Strahlung beaufschlagten Sensorzeilen beschränken, so dass hohe Messfrequenzen möglich sind.

[0040] Fig. 4 zeigt eine alternative Ausbildungsform der Detektoroptik 14 in einem seitlichen Querschnitt. Einander entsprechende Elemente sind den Fig. 3 bis Fig. 5 mit den gleichen Bezugszeichen versehen. So ist auch hier die Gehäusehalterung 37 auf der Platine 35 fixiert. Alternativ zu einer Befestigung mit Schrauben, kann die Gehäusehalterung 37 beispielsweise auch aufgeklebt sein. In der Gehäusehalterung 37 ist das Gehäuse 38 mit zylindrischer Form geführt, in welchem die Linsenhalterung 40 mit einer oder mehreren Stablinse 41 angeordnet ist. Je nach der gewählten Optik ist es erforderlich, zum Detektorchip 15 einen bestimmten Abstand einzuhalten. Aufgrund dessen ist ein zylinderförmiger Abstandhalter 44 vorgesehen, der sich unmittelbar auf dem Deckglas des Detektorchips 15 abstützt. Bei Absenken des Gehäuses 38 wird die Linsenhalterung 40 über die Kante 43 und den Ausgleichsring 42 auf den Abstandhalter 44 gestützt. Es ist möglich, Linsenhalterung 40 und Abstandhalter 44 einstückig auszubilden.

[0041] In allen Ausführungsbeispielen der Detektoroptik 14 können im Gehäuse 38 oder vor dem Gehäuse 38 weitere, in den Fig. nicht dargestellte optische Elemente, wie z.B. eine Sammellinse, vorgesehen sein, die im Zusammenspiel mit den im Gehäuse 38 angeordneten Linsen 41 die gewünschten Effekte bewirken.

Bezugszeichenliste

1	Lichtquelle
2	Lichtleitfaser
3	Austrittslinse
4	Messobjekt
5	Austrittsfläche
6	Lichtleitfaser
7	erste Interferometereinheit
8	Aufweitungsoptik
9	Strahlteiler
10	zweite Interferometereinheit
11	zweiter Strahlengang
12	erster Strahlengang
13	Spiegel
14	Detektoroptik
15	Detektor
16	Stufen Spiegel
17	Interferenzstrecke
18	Messstufen
19	Kalibrierstufe
20	Reflexionsfläche
21	Kippachse
22	Stufenfeld
23	Messbereich

35	Platine
36	Schraubloch
37	Gehäusehalterung
38	Gehäuse
39	Fixierungsschraube
40	Linsenhalterung
41	Stablinse
42	Ausgleichsring
43	Kante
44	Abstandhalter

Patentansprüche

1. Verfahren zur Interferometrischen Messung, bei dem
 - a) mittels einer ersten Interferometereinheit (7) ein Quellstrahl einer kurzkohärenten oder inkohärenten Licht emittierenden Lichtquelle (1) in einen Referenzlichtstrahl und einen Messlichtstrahl aufgeteilt wird,
 - b) Referenzlichtstrahl und Messlichtstrahl in einer zweiten Interferometereinheit (10) jeweils in zwei Teilstrahlen aufgeteilt werden,
 - c) einer der Referenzlichtteilstrahlen und einer der Messlichtteilstrahlen einen ersten Strahlengang (12) durchlaufen und dabei an einem mindestens ein Messstufenfeld (22) aufweisenden Stufenkörper (16) reflektiert werden, wobei die optische Wegstrecke im ersten Strahlengang (12) vom Ort der Reflexion auf dem Stufenkörper (16) abhängt,
 - d) der andere Referenzteilstrahl und der andere Messlichtteilstrahl einen zweiten Strahlengang (11) der zweiten Interferometereinheit durchlaufen,
 - e) sämtliche Teilstrahlen einem Detektor (15) zugeführt werden, der sich am Ende einer beiden Strahlengängen (11, 12) gemeinsamen Interferenzstrecke (17) befindet,
 - f) die Stufen (18) des mindestens einen Messstufenfeldes (22) optisch auf ein Bildsensorfeld des Detektors (15) abgebildet werden, und
 - g) die Position der Abbildung von einer zwischen Referenzlichtstrahl und Messlichtstrahl auftretenden Messinterferenz in der Abbildung des Messstufenfeldes auf dem Detektor (15) zur Messung herangezogen wird,

dadurch gekennzeichnet, dass

 - h) der Stufenkörper (16) zusätzlich zum Messstufenfeld mit einer Kalibrierstufe versehen ist und derart angeordnet wird, dass eine durch Reflexion an der Reflexionsfläche (20) der Kalibrierstufe (15) erzeugte optische Kalibrierwegstrecke im ersten Strahlengang (12) mit der optischen Wegstrecke im zweiten Strahlengang (11) exakt übereinstimmt,
 - i) die Kalibrierstufe (19) ebenfalls optisch auf das Bildsensorfeld des Detektors (15) abgebildet wird, und
 - j) die durch die jeweilige Überlagerung der Referenzlichtteilstrahlen und Messlichtteilstrahlen beim Durchlaufen der Kalibrierwegstrecke und des zweiten Strahlenganges (11) in der Interferenzstrecke erzeugten Kalibrierinterferenzen zur Überprüfung der

Position des Stufenkörpers (16) festgestellt werden.

2. Vorrichtung zur interferometrischen Messung, umfassend

- a) eine kurzkohärentes oder inkohärentes Licht emittierende Lichtquelle (1),
- b) eine einen Quellstrahl der Lichtquelle (1) in einen Referenzlichtstrahl und einen Restlichtstrahl aufteilende erste Interferometereinheit (7),
- c) eine zweite Interferometereinheit (10) mit
 - aa) Mitteln (9) zur Aufteilung des jeweils in die zweite Interferometereinheit (10) eintretenden Referenzlichtstrahls und Messlichtstrahls in jeweils zwei Teilstrahlen, von denen einer einen ersten Strahlengang (12) und der andere einen zweiten Strahlengang (11) durchläuft,
 - bb) einem im ersten Strahlengang (12) angeordneten, mindestens ein Messstufenfeld (22) aufweisenden Stufenkörper (16), wobei die optische Wegstrecke im ersten Strahlengang (12) vom Ort der Reflexion auf dem Stufenkörper (16) abhängt, und
 - cc) eine dem ersten Strahlengang (12) und zweiten Strahlengang (11) gemeinsame Interferenzstrecke, auf der Messlichtstrahl und Referenzlichtstrahl überlagert sind,
- d) einen Detektor (15) mit einem zur orts aufgelösten Detektion einer in der Interferenzstrecke gegebenen Interferenz geeigneten Bildsensorfeld, und
- e) Mittel (14) zur optischen Abbildung der Stufen des Stufenkörpers auf das Bildsensorfeld, gekennzeichnet durch
- f) eine Kalibrierstufe (19) des Stufenkörpers (16) zusätzlich zu dessen Messstufenfeld, die eine Kalibrierwegstrecke im ersten Strahlengang (12) der zweiten Interferometereinheit bestimmt, deren Länge mit der optischen Wegstrecke im zweiten Strahlengang (11) exakt übereinstimmt, und
- g) Mittel, um Kalibrierinterferenzen zur Überprüfung der Position des Stufenkörpers festzustellen.

3. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass genau ein Messstufenfeld (22) vorgesehen wird, wobei der Abstand der Reflexionsfläche (20) der Kalibrierstufe (19) zum Messstufenfeld (22) ein Mehrfaches der Messstufenhöhe beträgt.

4. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass

- a) der Stufenkörper (16) derart angeordnet wird, dass die Flächennormale der Reflexionsfläche (20) zumindest der Kalibrierstufe (19) zur optischen Achse des ersten Strahlenganges (12) geneigt ist, und
- b) die Position der Kalibrierinterferenzen in der Abbildung der Reflexionsfläche (20) der Kalibrierstufe (19) auf dem Detektor (15) festgestellt und zur Kalibrierung des Messergebnisses verwendet wird.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass die Kalibrierstufe (19) und/oder die Stufen (18) des Messstufenfeldes (22)

einzelnen und jeweils mittels separater optischer Mittel auf jeweils eine oder zwei zueinander benachbarte Bildsensorzeilen abgebildet werden.

6. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass als separate optische Mittel Stablin sen verwendet werden.

7. Verfahren nach Anspruch 4 oder 5, dadurch gekennzeichnet, dass nur die Bildsensorzeilen ausgelesen werden, auf die Stufen (18) des Stufenkörpers (16) abgebildet werden.

8. Vorrichtung nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass der Stufenkörper (16) derart angeordnet ist, dass die Flächennormale der Reflexionsfläche (20) zumindest der Kalibrierstufe (19) zur optischen Achse des ersten Strahlenganges (12) geneigt ist.

9. Vorrichtung nach Anspruch 7 oder 8, dadurch gekennzeichnet, dass die zweite Interferometereinheit (10) ein Michelson-Interferometer umfasst und der Stufenkörper (16) ein Spiegel mit gestufter Reflexionsfläche ist.

10. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 7 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass die erste Interferometereinheit (7) ein Fabry-Perot-Interferometer ist.

11. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 7 bis 10, dadurch gekennzeichnet, dass die Mittel (14) zur optischen Abbildung des mindestens einen Messstufenfeldes (22) sowie der Kalibrierstufe (19) mehrere unabhängig voneinander abbildende optische Einrichtungen umfassen, die jeweils die Kalibrierstufe (19) und/oder die Stufen (18) des mindestens einen Messstufenfeldes (22) einzeln auf jeweils eine oder auf zwei zueinander benachbarte Bildsensorzeilen abbilden.

12. Vorrichtung nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, dass die optischen Einrichtungen Stablin sen sind.

Es folgen 4 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

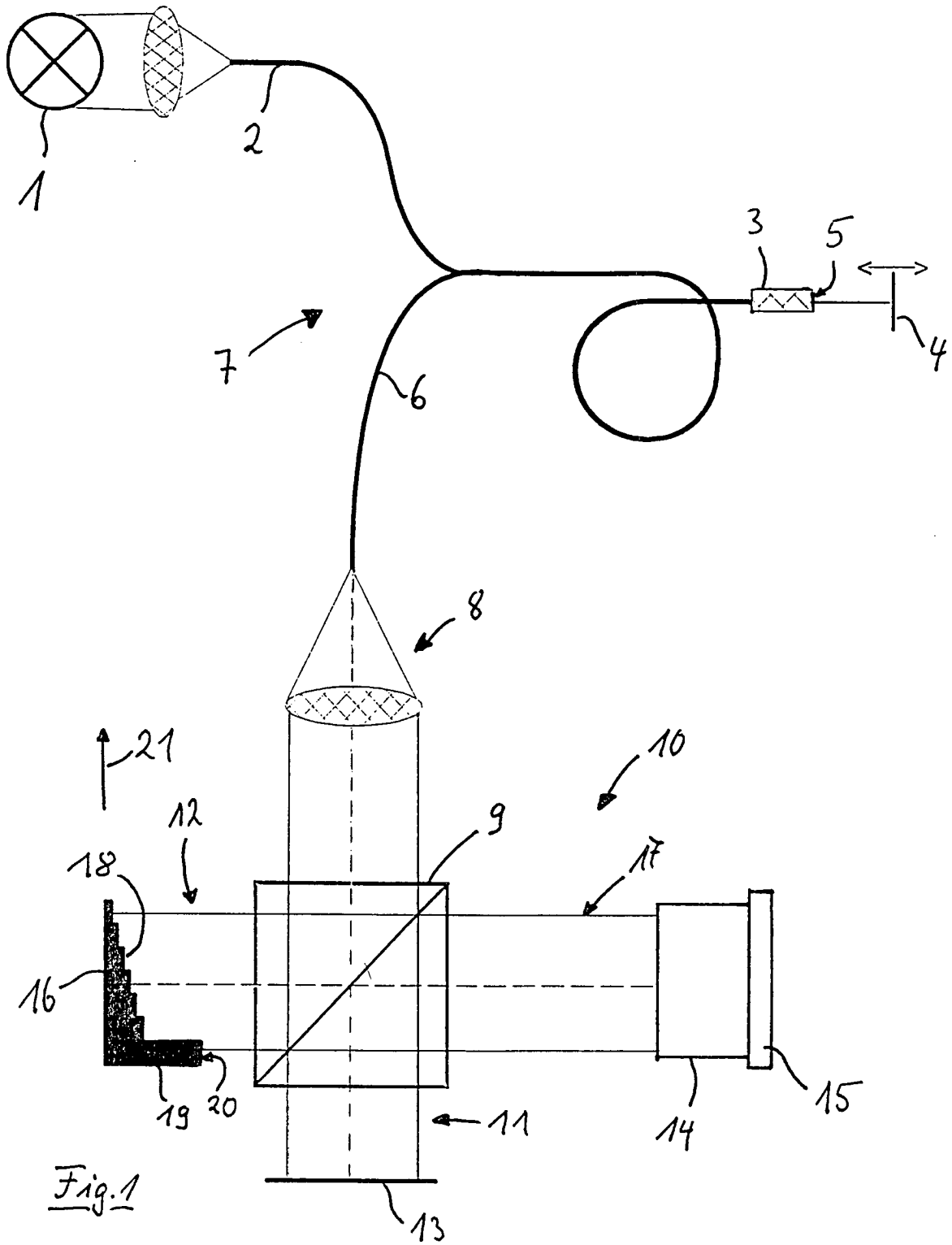


Fig. 1

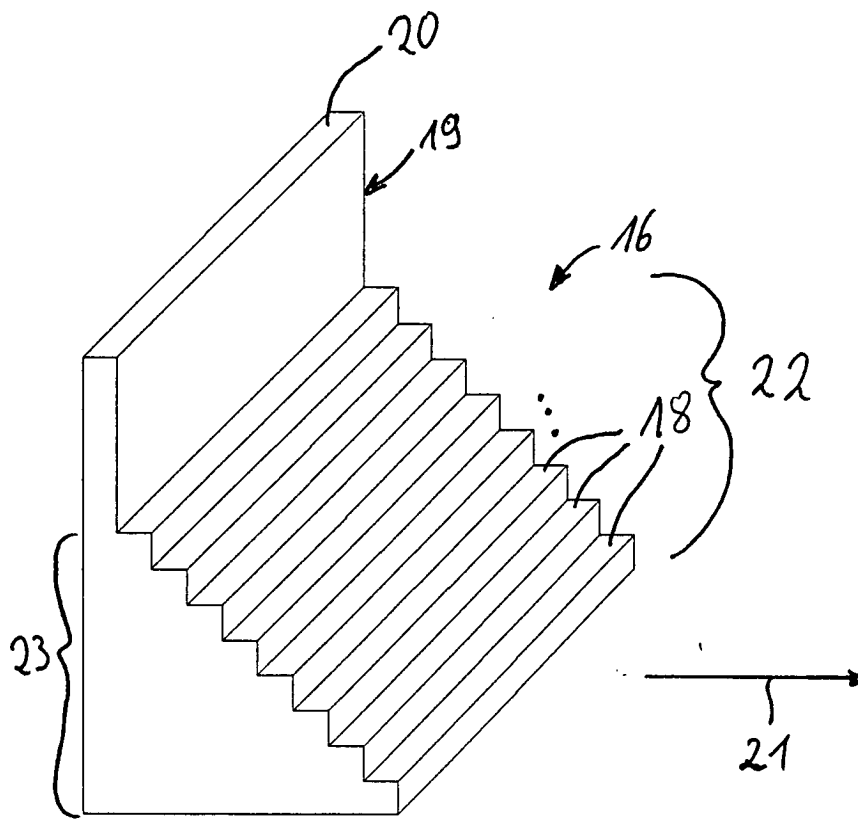


Fig. 2

