



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 102 60 256 B4 2005.02.17**

(12)

Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **102 60 256.5**
 (22) Anmeldetag: **20.12.2002**
 (43) Offenlegungstag: **15.07.2004**
 (45) Veröffentlichungstag
 der Patenterteilung: **17.02.2005**

(51) Int Cl.7: **G01B 9/02**
G01B 11/03, B23Q 17/22, B23Q 17/24

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

(71) Patentinhaber:
Carl Zeiss, 89518 Heidenheim, DE

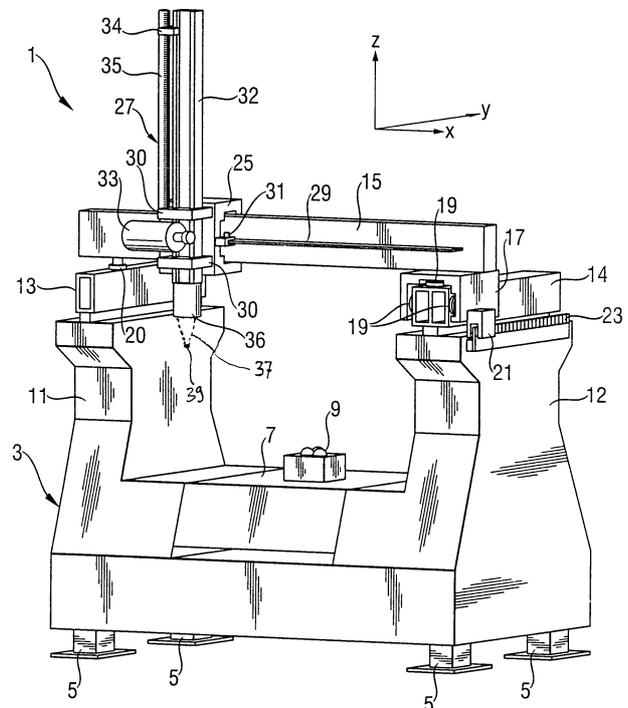
(74) Vertreter:
Diehl, Glaeser, Hiltl & Partner, 80333 München

(72) Erfinder:
Hauger, Christoph, Dr., 73431 Aalen, DE; Lasser, Theo, St. Prex, CH; Siegel, Augustin, Dr., 73447 Oberkochen, DE; Höller, Frank, Dr., 73434 Aalen, DE; Knupfer, Klaus, Dr., 73457 Essingen, DE; Monz, Ludwin, Dr., 55122 Mainz, DE; Gross, Herbert, Dr., 73457 Essingen, DE

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
 gezogene Druckschriften:
DE 199 55 268 A1
DE 101 22 200 A1
DE 39 42 896 A1
DE 39 36 118 A1
DE 692 15 248 T2
US 59 53 124 A
US 54 59 570 A
WO 02/0 82 008 A1
WO 95/09 343 A1

(54) Bezeichnung: **Interferometersystem und Meß-/Bearbeitungswerkzeug**

(57) Hauptanspruch: Interferometersystem mit einem Meßkopf (36) zum Senden von Beleuchtungsstrahlung (48) auf ein Objekt (9) und zum Empfang von von dem Objekt (9) zurückgeworfener Detektionsstrahlung (57), wobei eine Anordnung des Meßkopfes (36) mit einem Arbeitsabstand von dem Objekt (9) vorgesehen ist, und wobei das Interferometersystem (41) eine erste Strahlungsquelle (43) zur Bereitstellung von Strahlung (45) mit einer vorbestimmten ersten Kohärenzlänge, ein Paar von mit Abstand voneinander angeordneten teilreflektierenden Grenzflächen (52, 53), eine Strahlungsweiche (49) und einen Detektor (61) umfaßt, wobei eine erste Grenzfläche (53) des Grenzflächenpaares (52, 53) in einem Beleuchtungsstrahlengang zwischen der Strahlungsquelle (43) und dem Objekt (9) angeordnet ist, eine zweite Grenzfläche (52) des Grenzflächenpaares (52, 53) in dem Beleuchtungsstrahlengang zwischen der Strahlungsquelle (43) und der ersten Grenzfläche (53) angeordnet ist, und die Strahlungsweiche (49) in dem Beleuchtungsstrahlengang zwischen der Strahlungsquelle (43) und der ersten Grenzfläche (53) angeordnet ist, und wobei die erste Grenzfläche...



Beschreibung

Stand der Technik

[0001] Die Erfindung betrifft ein Interferometersystem sowie ein Werkzeug, insbesondere ein Meßwerkzeug oder/und ein Bearbeitungswerkzeug, mit einem solchen Interferometersystem.

[0002] Beispielsweise aus der deutschen Offenlegungsschrift 101 22 200 A1 ist ein Koordinatenmeßgerät mit einer Werkstückhalterung zur Anbringung eines zu vermessenden bzw. anzutastenden Werkstücks und einem bezüglich der Werkstückhalterung räumlich verlagerbaren Tastkopf bekannt. An dem Tastkopf ist ein Taststift in einer Ruhelage bezüglich des Tastkopfes gehalten, wobei Auslenkungen des Taststiftes aus dieser Ruhelage gegen eine Federkraft möglich sind und von dem Tastkopf registriert werden. Zur Bestimmung von Koordinaten einer Oberfläche des Werkstücks wird der Tastkopf bezüglich der Werkstückhalterung räumlich verfahren, bis eine Spitze des Taststiftes, welche beispielsweise die Gestalt einer Kugel aufweisen kann, mit der Oberfläche des Werkstückes in Berührungskontakt kommt. Dies führt zu einer Auslenkung der Tastspitze aus ihrer Ruhelage, was von dem Tastkopf registriert wird. Sodann werden die Relativpositionen des Tastkopfes bezüglich der Werkstückhalterung bestimmt, woraus die Koordinaten des Punktes auf der Oberfläche des Werkstückes ermittelt werden können, an welchem der Berührungskontakt zwischen Werkstückoberfläche und Taststift stattfindet. Es können auf ähnliche Weise weitere Koordinaten von Oberflächenpunkten des Werkstückes ermittelt werden. Es ist ebenfalls möglich, den Tastkopf relativ zu dem Werkstück so zu verfahren, daß der Taststift mit einer vorbestimmten Anlagekraft gegen die Werkstückoberfläche gedrückt wird, so daß die Werkstückoberfläche nach und nach systematisch abgetastet werden kann, um deren Geometrie zu vermessen.

[0003] Das bekannte Koordinatenmeßgerät setzt zur Ermittlung von Koordinaten der Werkstückoberfläche einen mechanischen Kontakt zwischen der Werkstückoberfläche und dem Meßkopf voraus. Dies kann zum einen bei empfindlichen Werkstücken zu einer Beschädigung oder Deformation des Werkstückes selbst führen und zum anderen, insbesondere bei miniaturisierten Tastköpfen, zu einer Beschädigung des Tastkopfes bzw. Taststiftes selbst, wenn dessen Annäherung an das Werkstück mit einer zu hohen Geschwindigkeit erfolgt.

Aufgabenstellung

[0004] Es ist demgemäß eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein Werkzeug, insbesondere ein Meßwerkzeug oder/und ein Bearbeitungswerkzeug vorzuschlagen, welches einen berührungslos arbei-

tenden Tastkopf aufweist.

[0005] Ferner ist es eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein Interferometersystem vorzuschlagen, welches als ein Abstandssensor arbeiten kann und insbesondere in einem Tastkopf des Werkzeuges einsetzbar ist.

[0006] Hierzu schlägt die Erfindung unter einem ersten Aspekt ein Interferometersystem mit einem Meßkopf zum Senden von Beleuchtungsstrahlung auf ein Objekt und zum Empfang von von dem Objekt zurückgeworfener Detektionsstrahlung vor, wobei eine Anordnung des Meßkopfes mit einem Arbeitsabstand von dem Objekt vorgesehen ist.

[0007] Das Interferometersystem umfaßt insbesondere eine erste Strahlungsquelle zur Bereitstellung von Strahlung mit einer vorbestimmten ersten Kohärenzlänge, ein Paar von mit Abstand voneinander angeordneten teilreflektierenden Grenzflächen, eine Strahlungsweiche und einen Detektor. Das Interferometersystem stellt insbesondere einen Beleuchtungsstrahlengang für auf das Objekt gerichtete Beleuchtungsstrahlung bereit. In dem Beleuchtungsstrahlengang ist vorzugsweise die erste Grenzfläche des Grenzflächenpaares zwischen der Strahlungsquelle und dem Objekt angeordnet, eine zweite Grenzfläche des Grenzflächenpaares zwischen der Strahlungsquelle und der ersten Grenzfläche angeordnet und die Strahlungsweiche zwischen der Strahlungsquelle und der ersten Grenzfläche angeordnet.

[0008] Ferner stellt das Interferometersystem insbesondere einen Detektionsstrahlengang für die von dem Objekt zurückgeworfene Detektionsstrahlung bereit. In dem Detektionsstrahlengang ist die erste Grenzfläche zwischen dem Objekt und dem Detektor angeordnet und die Strahlungsweiche zwischen der ersten Grenzfläche und dem Detektor angeordnet.

[0009] Bei diesem Aufbau des Interferometersystems ergeben sich dann an dem Detektor aufgrund von konstruktiven bzw. destruktiven interferenten Strahlungsüberlagerungen Erhöhungen und Abschwächungen eines Detektionssignals, wenn eine optische Weglänge zwischen der ersten Grenzfläche und dem Objekt in einem Bereich um einer optischen Weglänge zwischen den beiden Grenzflächen liegt. Derartige Signalerhöhungen bzw. -abschwächungen sind durch eine Auswerteschaltung des Interferometersystems detektierbar, so daß von der Schaltung ein Signal ausgegeben werden kann, welches anzeigt, ob der Meßkopf mit im wesentlichen dem vorbestimmten Arbeitsabstand von dem Objekt angeordnet ist oder nicht. Diese Detektion ist ohne direkten mechanischen Kontakt zwischen dem Meßkopf und dem Objekt möglich, weshalb das Interferometersystem beispielsweise als Ersatz für einen einen

mechanischen Kontakt registrierenden Tastkopf eines Koordinatenmeßgerätes dienen kann.

[0010] Vorzugsweise ist die Strahlungsweiche in dem Beleuchtungsstrahlengang zwischen der zweiten Grenzfläche und der Strahlungsquelle angeordnet, es ist jedoch ebenfalls bevorzugt die Strahlungsweiche zwischen dem Grenzflächenpaar anzuordnen.

[0011] Die erste Kohärenzlänge ist vorzugsweise kürzer als der Arbeitsabstand und insbesondere wesentlich kürzer als ein Abstand zwischen der ersten Grenzfläche und dem Objekt, wenn dieses mit dem Arbeitsabstand von dem Meßkopf angeordnet ist. Vorzugsweise umfaßt das Interferometersystem eine Fokussieroptik zur Fokussierung der von der ersten Strahlungsquelle bereitgestellten Strahlung in einem ersten Beleuchtungsstrahlungsfokus, welche mit einem Abstand von dem Meßkopf angeordnet ist, der im wesentlichen dem Arbeitsabstand entspricht.

[0012] Es sind dann vorzugsweise eine zweite Strahlungsquelle zur Bereitstellung von Strahlung ebenfalls einer vorbestimmten Kohärenzlänge vorgesehen, wobei die von der ersten und der zweiten Strahlungsquelle bereitgestellten Strahlungen in dem Beleuchtungsstrahlengang überlagert sind. Hierbei unterscheiden sich die von der ersten bzw. der zweiten Strahlungsquelle bereitgestellten Strahlungen hinsichtlich ihrer Wellenlänge, so daß die Fokussieroptik die jeweilige Strahlung an verschiedenen Beleuchtungsstrahlungsfoki fokussiert, welche mit unterschiedlichem Abstand von dem Meßkopf angeordnet sind. Es ist somit möglich, festzustellen, ob das Objekt nahe dem ersten, nahe dem zweiten oder nahe einem möglichen weiteren Beleuchtungsstrahlungsfokus angeordnet ist.

[0013] Um festzustellen, ob das Objekt mit in etwa dem Arbeitsabstand von dem Meßkopf angeordnet ist, ist vorzugsweise wenigstens eine Grenzfläche des Grenzflächenpaares mittels eines Antriebes relativ zu dem Meßkopf verlagerbar. Bei einer Untersuchung des von dem Interferometersystem bereitgestellten Meßsignals in Abhängigkeit von der Verlagerung der wenigstens einer Grenzfläche relativ zu dem Meßkopf ist es dann möglich, festzustellen, ob das Objekt in einem Bereich um den vorbestimmten Arbeitsabstand von dem Meßkopf liegt.

[0014] Das Grenzflächenpaar kann, gemäß einer bevorzugten Ausführungsform, durch zwei einander gegenüberliegende Oberflächen eines transparenten Körpers bereitgestellt sein. Ebenfalls bevorzugt ist es jedoch, das Grenzflächenpaar durch zwei mit Abstand voneinander angeordnete transparente Platten bereitzustellen. Bei einer Realisierung des Interferometersystems mittels lichtleitender Fasern ist es weiterhin bevorzugt, in einer der lichtleitenden Fasern

mit Abstand voneinander angeordnete teilreflektierende Strukturen, beispielsweise als Bragg-Gitter, bereitzustellen, um das Grenzflächenpaar zu realisieren.

[0015] Das Interferometersystem ist vorzugsweise ein Weißlicht-Interferometersystem, das heißt die von der ersten Strahlungsquelle bereitgestellte Strahlung weist eine Kohärenzlänge auf, die in etwa der Genauigkeit, mit der eine Bestimmung des Abstandes zwischen dem Meßkopf und dem Objekt möglich ist, entspricht. Ist das Objekt zunächst mit einem Abstand von dem Meßkopf angeordnet, welcher größer ist als der vorbestimmte Arbeitsabstand, und wird der Meßkopf sodann mit einer konstanten Geschwindigkeit dem Objekt angenähert, so treten in einem Bereich um den vorbestimmten Arbeitsabstand abwechselnd Signalerhöhungen aufgrund konstruktiver Interferenz und Signalabschwächungen aufgrund destruktiver Interferenz auf. Die Abfolge der Signalerhöhungen bzw. -abschwächungen tritt mit einer Frequenz auf, welche von der Geschwindigkeit abhängt, mit der sich der Meßkopf und das Objekt einander annähern. Da das Detektionssignal des Interferometersystems mit einem starken Rauschen behaftet ist, ist es vorteilhaft, das Detektionssignal einer Frequenzfilterung, insbesondere Bandpaßfilterung, zu unterwerfen, um die Anordnung des Objekts in einem Bereich um den vorbestimmten Arbeitsabstand zu registrieren.

[0016] Unter einem weiteren Aspekt geht die Erfindung aus von einem Weißlicht-Interferometersystem mit einem ersten Detektor und einer Verarbeitungsschaltung für von dem ersten Detektor bereitgestellten Meßsignalen, wobei die Verarbeitungsschaltung einen Frequenzfilter für Signale umfaßt, welche eine von dem ersten Detektor registrierte Strahlungsintensität repräsentieren.

[0017] Die Erfindung zeichnet sich unter diesem Aspekt dadurch aus, daß an dem Meßkopf ein Geschwindigkeitsmeßsystem vorgesehen ist, welches ein Geschwindigkeitssignal bereitstellt, das eine Relativgeschwindigkeit zwischen dem Objekt und dem Meßkopf repräsentiert. Es wird dann der Frequenzfilter für die Signale des ersten Detektors in Abhängigkeit von dem Geschwindigkeitssignal eingestellt. Hierdurch ist es möglich, die Auswertung der Signale des ersten Detektors des Weißlicht-Interferometers im wesentlichen optimal auf eine an sich unbekannt Relativgeschwindigkeit zwischen Meßkopf und Objekt einzustellen.

[0018] Vorzugsweise umfaßt das Geschwindigkeitsmeßsystem einen Strahlengang für eine von einer dritten Strahlungsquelle bereitgestellte Strahlung mit einer großen Kohärenzlänge. Auch diese Strahlung wird zu dem Objekt hin ausgesendet, und von dem Objekt zurückkommende Strahlung wird in interfe-

rente Überlagerung mit einer Referenzstrahlung gebracht, so daß, im wesentlichen unabhängig von dem Abstand zwischen Meßkopf und Objekt, abwechselnd eine interferente Signalerhöhung bzw. -abschwächung bei der Detektion dieser Strahlung entsteht und aus der Frequenz dieser Signalerhöhungen bzw. -abschwächungen die Relativgeschwindigkeit zwischen Meßkopf und Objekt wenigstens hinsichtlich ihrer absoluten Größe bestimmbar ist.

[0019] Vorzugsweise sind die Strahlengänge für die Strahlung der kurzen Kohärenzlänge und die Strahlung der großen Kohärenzlänge zwischen Meßkopf und Objekt einander überlagert. Für die von dem Objekt zurückgeworfene Strahlung der kurzen Kohärenzlänge und die von dem Objekt zurückgeworfene Strahlung der großen Kohärenzlänge sind vorzugsweise separate Detektoren vorgesehen. Es ist jedoch auch möglich, beide Strahlungen mit einem gemeinsamen Detektor nachzuweisen.

[0020] Unter einem weiteren Aspekt sieht die Erfindung ein Werkzeug vor, welches eine Werkstückplattform zur Anbringung eines Werkstückes, einen Werkzeugkopf und eine den Werkzeugkopf tragende Verlagerungsmechanik zur Verlagerung des Werkzeugkopfes relativ zu der Werkstückplattform umfaßt. Hierbei umfaßt das Werkzeug dann vorzugsweise eines der vorangehend beschriebenen Interferometersysteme, wobei dessen Meßkopf an dem Werkzeugkopf angebracht ist.

[0021] Das Werkzeug ist vorzugsweise ein Meßwerkzeug, wie etwa ein Koordinatenmeßgerät. Es ist jedoch auch vorgesehen, daß das Werkzeug ein Bearbeitungswerkzeug, wie etwa eine Fräsmaschine, Schleifmaschine oder dergleichen ist, bei der ein Abstand eines Bearbeitungswerkzeuges von dem Objekt gemessen wird.

[0022] Unter einem weiteren Aspekt sieht die Erfindung ein Verfahren zum Positionieren eines Meßkopfes mit einem vorbestimmten Arbeitsabstand von einem Objekt vor. Hierin wird ein erstes Interferometersystem bereitgestellt, welches ein Abstandssignal bereitstellt, welches anzeigt, ob der Meßkopf mit einem Abstand von dem Objekt angeordnet ist, der im wesentlichen gleich dem Arbeitsabstand ist, oder ob dies nicht der Fall ist.

[0023] Ferner wird ein Geschwindigkeitsmeßsystem bereitgestellt, welches ein Geschwindigkeitssignal bereitstellt, welches eine Relativgeschwindigkeit zwischen dem Objekt und dem Meßkopf repräsentiert. Die Ermittlung des Abstandssignals erfolgt dann in Abhängigkeit von dem Geschwindigkeitssignal.

Ausführungsbeispiel

[0024] Ausführungsformen der Erfindung werden

nachfolgend anhand von Zeichnungen näher erläutert. Hierbei zeigt

[0025] Fig. 1 eine Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Koordinatenmeßgeräts,

[0026] Fig. 2 eine Ausführungsform eines Interferometersystems, welches in dem Koordinatenmeßgerät gemäß Fig. 1 einsetzbar ist,

[0027] Fig. 3 eine schematische Darstellung von Strahlengängen zur Erläuterung einer Funktion des Interferometersystems gemäß Fig. 2,

[0028] Fig. 4 eine Darstellung eines Detektionssignals, wie es im Betrieb des Interferometersystems gemäß Fig. 2 auftritt,

[0029] Fig. 5 eine Variante des in Fig. 2 gezeigten Interferometersystems,

[0030] Fig. 6 eine weitere Variante des in Fig. 2 gezeigten Interferometersystems,

[0031] Fig. 7 eine Darstellung eines Detektionssignals, wie es beim Betrieb des in Fig. 6 gezeigten Interferometersystems auftritt,

[0032] Fig. 8 eine weitere Variante des in Fig. 2 gezeigten Interferometersystems,

[0033] Fig. 9 ein Detektionssignal, wie es beim Betrieb des Interferometersystems gemäß Fig. 8 auftritt,

[0034] Fig. 10 eine Detaildarstellung eines Meßkopfs des Interferometersystems gemäß Fig. 8,

[0035] Fig. 11 eine Variante des in Fig. 10 gezeigten Meßkopfs für ein weiteres Interferometersystem,

[0036] Fig. 12 eine weitere Variante des in Fig. 2 gezeigten Interferometersystems,

[0037] Fig. 13 bis Fig. 16 zeigen weitere Varianten des in Fig. 2 gezeigten Interferometersystems, und

[0038] Fig. 17 bis Fig. 19 zeigen Details einer Auswerteschaltung.

[0039] Fig. 1 zeigt eine Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Koordinatenmeßgeräts in perspektivischer Darstellung. Das Koordinatenmeßgerät umfaßt einen Sockel **3** mit vier Standfüßen **5**. Der Sockel **3** trägt in seiner Mitte eine Werkstückhalterung **7**, auf der ein zu vermessendes Werkstück **9** angebracht ist. Beidseits der Werkstückhalterung erstrecken sich an dem Sockel **3** Streben **11**, **12** nach oben, welche zwei beidseits der Werkstückhalterung angeordnete und in einer horizontalen y-Richtung sich er-

streckende Längsführungen **13**, **14** tragen. In Horizontalrichtung senkrecht (in x-Richtung) zu den Längsführungen **13**, **14** erstreckt sich eine Querführung **15**, welche an den Längsführungen **13**, **14** in y-Richtung verschiebbar gelagert ist. Hierzu ist an einem Ende der Querführung **15** ein Führungsprofil **17** vorgesehen, welches die Längsführung **14** von oben U-förmig umgreift und an welchem mehrere Luftkissen **19** vorgesehen sind, mit denen die Querführung **15** an der Längsführung **14** abgestützt ist. Mit ihrem anderen Ende ist die Querführung **15** mit einem weiteren Luftkissen **20** auf der Oberseite der Längsführung **17** abgestützt und damit auch gegenüber dieser in y-Richtung verschiebbar gelagert. Durch einen motorischen Antrieb kann die Querführung **15** entlang der Längsführung **14** verschoben werden, wobei eine entsprechende Verschiebestellung über einen an dem Sockel **3** festgelegten Maßstab und einen zugehörigen an dem U-Profil **17** festgelegten Sensor **21** abgelesen wird. An der Querführung **15** ist über ein Führungsprofil **20** eine Vertikalführung **27** in x-Richtung verschiebbar gelagert, wobei die Verschiebestellung wiederum über einen an der Querführung **15** angebrachten Maßstab **29** und einen an dem Profil **25** festgemachten Sensor **31** abgelesen wird. An dem Führungsprofil **25** sind zwei weitere mit Abstand voneinander angeordnete Führungsprofile **30** vorgesehen, welche eine sich in senkrechte Richtung (z-Richtung) erstreckende Stange **32** über einen Motor **33** verschiebbar lagern. Die Verschiebestellung der Stange **37** in z-Richtung wird über einen an der Stange **32** vorgesehenen Sensor **34** erfaßt, der die Position an einem an der Vertikalführung **27** vorgesehenen Maßstab **35** abliest. An einem unteren Ende der Stange **31** ist ein Meßkopf **36** angebracht, welcher eine Meßstrahlung **37** derart emittiert, daß diese in einem Meßstrahlungsfokus **39** fokussiert ist, welcher mit einem Abstand in z-Richtung von dem Meßkopf **36** angeordnet ist.

[0040] Der Meßkopf **36** ist Teil eines nachfolgend beschriebenen Interferometersystems, welches dann ein charakteristisches Meßsignal abgibt, wenn in einem Bereich um den Fokus **39** eine Objektoberfläche angeordnet ist. Es ist somit möglich, das Koordinatenmeßgerät **1** derart zu betreiben, daß sich der Meßkopf dem Werkstück **9** solange annähert bis das Interferometersystem eine Anordnung der Werkstückoberfläche in einem Bereich um den Fokus **39** registriert. Durch Ablesen der Stellungen an den Maßstäben **23**, **29** und **35** über das Auslesen der Sensoren **21**, **31** bzw. **34** ist es somit möglich, die Koordinaten des Ortes der Werkstückoberfläche zu bestimmen, welche im Bereich des Fokus **39** des Meßkopfs **36** liegt. Dieser Vorgang kann systematisch für eine Vielzahl von Orten der Werkstückoberfläche wiederholt werden, um dessen Geometrie zu vermessen.

[0041] Ein schematischer Aufbau eines Interferometersystems **41**, von dem einige Komponenten in

dem Meßkopf **36** angeordnet sind, ist in **Fig. 2** gezeigt.

[0042] Das Interferometersystem **41** umfaßt eine Superlumineszenzdiode als Weißlichtquelle, das heißt Quelle einer Strahlung mit kurzer Kohärenzlänge, um Weißlichtinterferometrie mit dieser Strahlung durchzuführen. Diese Art von Interferometrie wird ebenfalls als OCT ("Optical Coherence Tomography") bezeichnet.

[0043] Beispielsweise ist als Quelle **43** eine Superlumineszenzdiode einsetzbar, wie sie unter der Produktbezeichnung SLD-38-MP, von der Firma Superlum Ltd. aus Moskau bezogen werden kann.

[0044] Die von der Quelle **43** bereitgestellte Strahlung **45** weist eine Wellenlänge $\lambda_1 = 800$ nm und eine Kohärenzlänge $l_c = 15$ μ m auf. Die Strahlung **45** wird mittels einer Kollimationsoptik **47** zu einem parallelen Strahl **48** kollimiert, der zunächst einen Strahlteiler **49** geradlinig durchsetzt und sodann in einen Glaskörper **51** über eine erste teilreflektierende Grenzfläche **52** desselben eintritt. Aus dem Glaskörper **51** tritt die Strahlung **48** sodann durch eine teilreflektierende Grenzfläche **53** wieder aus, welche der Grenzfläche **52** diametral gegenüberliegt und parallel zu dieser orientiert ist. Ferner sind die beiden Grenzflächen **52**, **53** orthogonal zur Richtung des Strahls **48** orientiert. Ein Abstand zwischen den beiden Grenzflächen **52** und **53** beträgt l_1 .

[0045] Nach dem Austritt aus dem Glaskörper **51** über die Grenzfläche **53** wird der Strahl **48** von einer weiteren Fokussieroptik **54** derart fokussiert, daß die Strahlung in dem Fokuspunkt **39** derart fokussiert ist, daß der Fokuspunkt **39** mit einem Abstand l_2 von der Grenzfläche **53** angeordnet ist.

[0046] In **Fig. 2** ist ferner das Objekt **9** gezeigt, welches mit einem solchen Abstand von dem Meßkopf **36** angeordnet ist, daß dieser Abstand dem vorbestimmten Arbeitsabstand des Meßkopfes **36** entspricht. Der Arbeitsabstand kann beispielsweise als Abstand zwischen der Forderfläche der Fokussierlinse **54** und dem Fokuspunkt **39** gemessen werden. Bei Anordnung des Objekts **9** mit dem Arbeitsabstand von dem Meßkopf **36** ist die Objektoberfläche **55**, gesehen in z-Richtung, nahe dem Fokuspunkt **39** angeordnet.

[0047] Die Objektoberfläche **55** wirft die auf diese gerichtete Meßstrahlung **48** wenigstens teilweise zurück, so daß die zurückgeworfene Detektionsstrahlung wieder in die Fokussieroptik **54** eintritt, von dieser zu einem parallelen Strahlenbündel geformt wird, welches den Glaskörper **41** durchsetzt und sodann von dem Strahlteiler **49** als Detektionsstrahl **57** reflektiert wird, welcher mittels einer Fokussieroptik **59** auf einen Strahlungsdetektor **61** fokussiert wird.

[0048] Strahlengänge, wie sie in dem Interferometersystem **41** auftreten können, sind symbolisch in **Fig. 3** dargestellt:

Bei einem Strahlengang I tritt Strahlung der Quelle **43** von oben über die Grenzfläche **52** in den Glaskörper **51** ein, durchsetzt diesen, tritt aus diesem durch die Grenzfläche **53** aus, wird von der Objektoberfläche **55** reflektiert, tritt über die Grenzfläche **53** in den Glaskörper **51** ein, durchsetzt diesen erneut und tritt aus diesem über die Grenzfläche **52** wieder aus.

[0049] In einem Strahlengang II tritt Strahlung der Quelle **43** über die Grenzfläche **52** in den Glaskörper **51** ein, wird an dessen Grenzfläche **53** reflektiert, wird daraufhin an der Grenzfläche **52** reflektiert, wird daraufhin an der Grenzfläche **53** erneut reflektiert und tritt über die Grenzfläche **52** aus dem Glaskörper **51** aus.

[0050] Wenn die beiden Strahlengänge I und II gleiche optische Weglängen bereitstellen, registriert der Detektor **61** eine interferente Signalerhöhung. Die optischen Weglängen der Strahlengänge I und II sind dann gleich, wenn die optische Weglänge der Strecke l_1 , das heißt der Abstand der beiden Grenzflächen **52**, **53** voneinander, gleich der optischen Weglänge der Strecke l_2 , das heißt dem Abstand der Grenzfläche **53** von der Oberfläche **55**, ist.

[0051] Die optische Weglänge auf der Strecke l_2 ist im wesentlichen gleich l_2 , da der Strahlengang, abgesehen von der Fokussieroptik **54**, durch Luft läuft. Die optische Weglänge auf der Strecke l_1 ist im wesentlichen gleich $n \times l_1$, wobei n der Brechungsindex des Mediums des Glaskörpers **51** ist.

[0052] Ein in **Fig. 3** gezeigter Strahlengang III unterscheidet sich von dem Strahlengang I dadurch, daß eine zusätzliche Hin- und Herreflexion zwischen den Grenzflächen **52** und **53** auftritt. Ebenso unterscheidet sich ein Strahlengang IV von dem Strahlengang II durch eine zusätzliche Hin- und Herreflexion an den Grenzflächen **52**, **53**. Auch die Strahlengänge III und IV überlagern sich interferent intensitätserhöhend, wenn, abgesehen von der Weglänge der Fokussieroptik **54**, in etwa gilt:

$$n \cdot l_1 = l_2$$

[0053] Aufgrund der mehrmaligen Reflexion an den Grenzflächen **52**, **53** tragen die Strahlengänge III und IV, im Vergleich zu den Strahlengängen I und II, wesentlich weniger zu dem von dem Detektor **61** detektierten Signal bei. Es gibt neben den in **Fig. 3** gezeigten Strahlengängen I bis IV noch weitere Strahlengänge, welche eine noch höhere Anzahl von Reflexionen an den Grenzflächen **52**, **53** aufweisen, deren relativer Beitrag zu der Gesamtintensität an dem Detektor **61** jedoch noch geringer ist.

[0054] In **Fig. 4** ist als Kurve **65** ein Verlauf eines Intensitätssignals I des Detektors **61** dargestellt, wie er bei Annäherung des Meßkopfes **36** an die Objektoberfläche **55** auftritt. Für große z -Werte ist der Abstand zwischen Meßkopf **36** und Objektoberfläche **55** größer als der Arbeitsabstand z_0 des Meßkopfes. Es treten bei derart großen Abständen keine Interferenzerscheinungen an dem Detektor **61** auf, und eine registrierte Strahlungsintensität I ist zu 1,0 normiert. Mit zunehmender Annäherung des Meßkopfes **36** an die Objektoberfläche **55**, das heißt abnehmenden z -Werten, treten dann abwechselnd interferente Signalerhöhungen bzw. Signalauslöschungen auf, welche in **Fig. 4** als Maxima **67** bzw. Minima **68** der Kurve **65** eingetragen sind. Das höchste Maximum **67** tritt dann auf, wenn die Objektoberfläche **55** exakt mit dem Arbeitsabstand z_0 von dem Meßkopf angeordnet ist. Dies ist dann der Fall, wenn die optische Weglänge der Strecke l_1 genau gleich der optischen Weglänge der Strecke l_2 ist.

[0055] Wird der Meßkopf **36** über den vorbestimmten Arbeitsabstand hinaus weiter an die Objektoberfläche **55** angenähert, so treten zunächst noch weitere Maxima **67** und Minima **68** der nachgewiesenen Intensität I auf, welche jedoch zunehmend abnehmen, bis schließlich keine Interferenzerscheinungen mehr auftreten und das Meßsignal I wieder den auf eins normierten Wert annimmt.

[0056] Erfolgt die Annäherung des Meßkopfes **36** an die Objektoberfläche **55** mit einer konstanten Geschwindigkeit, so treten die Maxima **67** bzw. Minima **68** in dem Meßsignal des Detektors **61** mit einer konstanten Frequenz f_1 auf. Eine Auswerteschaltung **71** des Interferometersystems **41** umfaßt einen auf die Frequenz f_1 abgestimmten Bandpaßfilter **73**, welcher Signalkomponenten des von dem Detektor **61** bereitgestellten Signals an eine Demodulationsschaltung **74** passieren läßt, welche in einem Frequenzband um die Frequenz f_1 liegen. Die Demodulationsschaltung **74** generiert aus dieser Signalkomponente ein Ausgabesignal, wie es in **Fig. 4** als gestrichelte Linie **75** eingetragen ist. Diese hat die Form einer bezüglich dem Arbeitsabstand z_0 zentrierten Glockenkurve mit einer Halbwertsbreite, welche in etwa der Kohärenzlänge l_c der von der Quelle **43** bereitgestellten Strahlung entspricht.

[0057] Nachfolgend werden Varianten der in den **Fig. 1** bis **4** erläuterten Ausführungsformen beschrieben. Hierbei sind Komponenten, die hinsichtlich ihres Aufbaus oder ihrer Funktion Komponenten der **Fig. 1** bis **4** entsprechen, mit den gleichen Bezugsziffern, zur Unterscheidung jedoch mit einem zusätzlichen Buchstaben versehen.

[0058] Ein in **Fig. 5** dargestelltes Interferometersystem **41a** weist einen ähnlichen Aufbau auf wie das in **Fig. 2** gezeigte Interferometersystem. Allerdings

werden bei dem Interferometersystem **41a** Glasfasern zur Bereitstellung der Strahlengänge eingesetzt. Von einer Weißlichtquelle **43a** bereitgestellte Strahlung einer kurzen Kohärenzlänge wird in eine Glasfaser **77** eingekoppelt, durch einen Strahlteiler **79** geleitet und in der Glasfaser **77** weitergeführt, bis sie an einem Ende **80** derselben austritt. Nach dem Austritt aus der Glasfaser **77** wird die Strahlung mittels einer Fokussieroptik **47a** zu einem parallelen Strahl **48a** geformt, welcher nacheinander zwei planparallele Glasplatten **81** und **82** durchsetzt und schließlich durch eine Fokussieroptik **54a** in einem Fokuspunkt **39a** fokussiert wird. Jeweils eine der beiden Oberflächen der Glasplatten **81** und **82** ist teilweise verspiegelt, so daß an den Glasplatten **81**, **82** Grenzflächen **52a** und **53a** mit Abstand voneinander angeordnet bereitgestellt sind, um hierzwischen eine vorbestimmte optische Weglänge bereitzustellen (vergleiche Strahlengänge II, IV gemäß Fig. 3).

[0059] Von einem in der Nähe des Fokuspunktes **39a** angeordneten Objekt zurückgeworfene Strahlung wird von der Fokussieroptik **54a** wiederum zu einem parallelen Strahl geformt, welcher nacheinander die Glasplatten **82** und **81** und die Fokussieroptik **47a** durchsetzt, von letzterer fokussiert und in das Ende **80** der Glasfaser **77** eingekoppelt wird. Diese zurückgeworfene Strahlung wird dann von der Faser **77** zu dem Strahlteiler **79** geführt und geht in diesem in eine Glasfaser **83** über, um schließlich von dem Detektor **61a** nachgewiesen zu werden. Eine Auswertung der Signale des Detektors **61a** erfolgt, ähnlich wie dies vorangehend mit den Fig. 2, 3 und 4 beschrieben wurde, über einen Bandpaßfilter **73a** und eine Demodulationsschaltung **74a**.

[0060] Bei dem Interferometersystem **41a** ist die Glasplatte **82** in eine Richtung transversal zur Orientierung der teilreflektierenden Fläche **53a** durch einen Antrieb hin und her verlagerbar, wie dies in Fig. 5 durch einen Pfeil **85** symbolisiert ist. Der Antrieb erfolgt über einen in Fig. 5 nicht im Detail dargestellten Aktuator, welcher einen elektromagnetisch arbeitenden Aktuator oder einen piezoelektrischen Aktuator oder dergleichen umfassen kann. Aufgrund der Verlagerung der Grenzfläche **53a** sind somit die Strecken l_1 und l_2 änderbar. Damit kann, wenn eine Objektoberfläche in etwa mit dem Arbeitsabstand von dem Meßkopf angeordnet ist, die Kurve **65** gemäß Fig. 4 wiederholt durchfahren werden, um die Lage des höchsten Maximums **67** und damit die genaue Anordnung der Objektoberfläche in Bezug auf den Meßkopf wiederholt zu ermitteln. Die Frequenz f_1 , mit der die Maxima bzw. Minima nacheinander auftreten, ist dann im wesentlichen bestimmt durch die Verlagerungsgeschwindigkeit der Grenzfläche **53a** in Strahlrichtung, und der Bandpaßfilter **73a** ist vorteilhafterweise auf die Frequenz f_1 derart eingestellt, daß er Frequenzen in einem Bereich um diese Frequenz f_1 zu der Demodulationsschaltung **74a** passieren läßt.

[0061] Ein in Fig. 6 schematisch dargestelltes Interferometersystem **41b** weist einen ähnlichen Aufbau auf, wie das in Fig. 2 gezeigte Interferometersystem: Von einer Weißlichtquelle **43b** bereitgestellte Strahlung **45b** einer kurzen Kohärenzlänge wird durch eine Fokussieroptik **47b** zu einem Beleuchtungsstrahl **48b** kollimiert, welcher einen Strahlteiler **49b** durchläuft und weiterhin zwei mit einem Abstand l_1 voneinander angeordnete Grenzflächen **52b** und **53b** durchsetzt und weiter von einer Fokussieroptik **54b** in einem mit einem Abstand l_2 von der Grenzfläche **53b** angeordneten Fokuspunkt **39b** fokussiert wird. Die Grenzfläche **52b** ist durch eine teilweise verspiegelte Oberfläche des Strahlteilers **49b** bereitgestellt, und die Grenzfläche **53b** ist durch eine teilweise verspiegelte Planfläche der Fokussieroptik **54b** bereitgestellt.

[0062] Von einer in einem Bereich um den Fokuspunkt **39b** angeordneten Oberfläche **55b** eines Objekts **9b** reflektierte Strahlung wird von der Fokussieroptik **54b** wiederum fokussiert und von dem Strahlteiler **49b** als Detektionsstrahl **57b** ausgekoppelt und von einer Fokussieroptik **59b** auf einen Detektor **51b** fokussiert. Das von dem Detektor **51b** bereitgestellte Meßsignal durchläuft einen Bandpaßfilter **73b** und eine Demodulationsschaltung **74b**.

[0063] In Ergänzung zu dem in Fig. 2 gezeigten Interferometersystem umfaßt das Interferometersystem **41b** eine Laserlichtquelle **91** zur Erzeugung einer Strahlung **92** einer großen Kohärenzlänge, welche bei Ausführung der Quelle **91** als grüner Laser beispielsweise über 100 m betragen kann. Zwischen der Fokussieroptik **47b** und dem Strahlteiler **49b** ist in dem Strahl **48b** ein weiterer Strahlteiler **94** angeordnet, welcher den Strahl **48** teilweise passieren läßt und welcher den passierenden Teil des Strahls **48** der Strahlung **92** nach deren Kollimierung mittels einer Kollimationsoptik **95** überlagert. Damit wird auch die Strahlung **92** auf das Objekt **9b** gerichtet, und ein von der Objektoberfläche **55** zurückgeworfener Teil der Strahlung **92** wird ebenfalls durch die Kollimationsoptik **54b** zu einem parallelen Strahl geformt, welcher durch den Strahlteiler **49b** gemeinsam mit dem Strahl **57b** reflektiert wird. Zwischen dem Strahlteiler **49b** und der Kollimationsoptik **59b** ist ein weiterer Strahlteiler **97** angeordnet, welcher die von der Objektoberfläche **55b** zurückgeworfene Strahlung der Lichtquelle **91** reflektiert und nach Fokussierung durch eine Kollimationsoptik **99** auf einen Detektor **101** fokussiert.

[0064] Ein Verlauf einer Intensität I des von dem Detektor **101** registrierten Detektionssignals in Abhängigkeit von dem Abstand z der Objektoberfläche **55b** von dem Meßkopf ist als Kurve **103** in Fig. 7 schematisch dargestellt.

[0065] Aufgrund der großen Kohärenzlänge der von der Quelle **91** bereitgestellten Strahlung **92** treten

über einen großen Bereich von Abständen (z-Werten) der Objektoberfläche **55b** von dem Meßkopf abwechselnd Intensitätsmaxima und -minima auf. Bei einer gleichförmigen Annäherung des Meßkopfes an die Objektoberfläche **55b** treten die Maxima bzw. die Minima mit einer konstanten Frequenz f_2 auf. Diese Frequenz wird aus dem von dem Detektor **101** bereitgestellten Signal mittels einer Frequenzanalyse-schaltung **103** ermittelt. Die Frequenz f_2 repräsentiert damit den Absolutwert der Relativgeschwindigkeit zwischen Meßkopf und Objekt **9b**. Die von der Schaltung **103** ermittelte Frequenz f_2 wird an den Bandpaßfilter **73b** ausgegeben, welcher das Frequenzband der ihn passierenden Signalkomponenten des Detektors **61b** in Abhängigkeit von der Frequenz f_2 einstellt. Die Einstellung erfolgt hierbei gemäß der Formel:

$$f_1 = f_2 \cdot \frac{\lambda_2}{\lambda_1},$$

wobei

f_1 eine Mittenfrequenz des Bandpaßfilters **73b**,

λ_1 eine Frequenz der Quelle **43b** der Strahlung **45b** mit kurzer Kohärenzlänge und

λ_2 eine Wellenlänge der von der Quelle **91** bereitgestellten Strahlung **92** mit großer Kohärenzlänge ist.

[0066] Somit ist es möglich, eine zunächst unbekannte Relativgeschwindigkeit zwischen Meßkopf und Objekt unabhängig zu messen und dann den Bandpaßfilter **73b** zur Analyse des Weißlicht-Interferenzsignals in Abhängigkeit von dieser Geschwindigkeit einzustellen.

[0067] Analog zur vorbeschriebenen Ausführungsform kann auch ein faseroptischer Aufbau eingesetzt werden (**Fig. 13**), bei dem die Lichtstrahlen zwischen Lichtquellen **43f**, **91f** und quellenseitiger Grenzfläche **52f** einerseits, sowie zwischen quellenseitiger Grenzfläche **52f** und Detektoren **61f**, **101f** andererseits in Lichtleitfasern **77f**, **77f1**, **77f2**, **83f** geführt sind. Zwischen dem Faserende **80f** und dem Objekt **39f** entspricht diese Anordnung der in **Fig. 5** dargestellten. Die Strahlteiler **79f**, **79f'**, **97f** sind in dieser Ausführungsform durch Faserkoppler gebildet. Wird der Grenzflächenabstand **11** variiert, insbesondere periodisch, und besonders bevorzugt sinusoidal, so erzeugt das von der langkohärenten Lichtquelle **91f** emittierte Licht an dem hierfür vorgesehenen Detektor **101f** in einem weiten Durchstimmbereich durch die Mehrfachreflexion ein Interferenzsignal, dessen Frequenz einerseits von der Frequenz der verwendeten Lichtquelle **91f**, andererseits von der momentanen Verlagerungsgeschwindigkeit abhängt. Mit einer geeigneten Schaltung **103f** kann diese Frequenz des Interferenzsignals verwendet werden, um die Auswerteschaltung **147f** für den Detektionszweig des kurzkohärenten Signals jeweils auf die momentane Verlagerungsgeschwindigkeit einzustellen.

[0068] Eine solche Schaltung **103** verwendet eine phasenunabhängige Synchrongleichrichtung (**Fig. 17, 18 und 19**). Hierbei wird zunächst das Signal des Detektors **101** für die langkohärente Strahlung, deren Haupt-Wellenlänge ja ebenso wie die der kurzkohärenten Strahlung bekannt ist, im Verhältnis dieser Wellenlängen in einem ersten Teiler Tn1 ganzzahlig geteilt. Sind z.B. die Wellenlängen 820 nm (kurzkohärent) und 670 nm (langkohärent), so ist das Verhältnis etwa 122 : 100, der erste Teilungsfaktor beträgt also 122. Der Ausgang eines spannungsge-steuerten Oszillators VCO wird entsprechend in einem zweiten Teiler Tn2 durch 100 geteilt, und beide geteilten Signale werden einem Phasendetektor ϕ zugeführt (**Fig. 17**). Dessen Ausgangssignal dient dann dazu, über einen Regler R, der aus diesem Ausgangssignal ein Regelsignal für den Oszillator VCO bereitstellt, die Frequenz des Oszillators VCO auf den gewünschten Wert zu regeln. Das so geregelte Oszillator-Signal dient der Auswerteschaltung **147** der Detektoranordnung für das kurzkohärente Signal als Referenzfrequenz. Hierbei wird vorzugsweise in Quadratur gemessen (**Fig. 18**), d.h. das Referenzsignal wird in zwei mittels eines Phasenschiebers $\Pi/2$ gegeneinander um 90° phasenverschobenen Zweigen in den Multiplizierern X1 bzw. X2 jeweils mit dem Messsignal multipliziert und durch einen Tiefpass TP1 bzw. TP2 geführt, und die beiden Zweige danach im Sinne eines Root Mean Square (Wurzel aus der Quadratsumme, "Vektormessung") in einem Kombinerer VM wieder kombiniert. Dadurch ist das Messergebnis von der jeweiligen Phasenlage, und von der momentanen Verlagerungsgeschwindigkeit unabhängig, sofern letztere nicht gerade Null ist. Dies wäre an Umkehrpunkten einer sinusoidalen Relativbewegung der Grenzflächen **52**, **53** der Fall. Auch bei einer solchen sinusoidalen Verlagerung könnte aber fast der gesamte Verlagerungsbereich zur Messung genutzt werden.

[0069] In **Fig. 19** ist die Schaltung des Kombineres VM erläutert: Das Signal aus dem Tiefpass TP1 wird an beide Multiplikationseingänge des Multiplizierers/Dividierers M/D gelegt, das Signal aus dem Tiefpass TP2 mit dem Ausgangssignal des Kombineres VM addiert und an den Divisionseingang des Multiplizierers/Dividierers M/D gelegt. Dessen Ausgangssignal wird mit dem Signal aus dem Tiefpass TP2 addiert und bildet so das Ausgangssignal des Kombineres VM.

[0070] Alternativ kann die momentane Verlagerungsgeschwindigkeit auch direkt an der Verlagerungsanordnung oder an dem Aktuator zur Betätigung derselben gemessen oder anderweitig bestimmt werden oder auch von einer Treiberschaltung für den Aktuator abgegriffen werden. In dieser Ausführungsform sind die langkohärente Lichtquelle **91f**, der zugehörige Detektor **101f** und der Strahlteiler **97f** im Detektionszweig sowie der Strahlkombinerer **79f'**

entbehrlich.

[0071] Die teilreflektierenden Grenzflächen **52**, **53** können in einer solchen faseroptischen Bauweise durch in die Faser **77** eingebrachte Bragg-Gitter **105g1**, **105g2** gebildet sein (**Fig. 14**). Zur Erzeugung solcher Bragg-Gitter wird die Umhüllung der Faser entfernt, sodann wird die Faser mit einer UV-Quelle (ca. 240 nm) durch eine Phasenmaske belichtet, und die durch den photosensitiven Effekt gebildete periodische Brechungsindexvariation wird durch Erhitzen stabilisiert. Die Periodizität der Indexvariation wird dabei der zu reflektierenden Wellenlänge gemäß gewählt, die Länge des belichteten Bereichs der gewünschten Bandbreite (invers) entsprechend. Schliesslich wird das entfernte Mantelstück wiederhergestellt.

[0072] Wenn das Faserende als Gradientenindex-(GRIN-)Linse **109h** ausgebildet ist, kann die Oberfläche **111h** der GRIN-Linse teilverspiegelt werden (**Fig. 15**) und so als Grenzfläche dienen; die zweite Grenzfläche wird wie vorbeschrieben durch ein Faser-Bragg-Gitter **105h** gebildet.

[0073] In den letzten beiden Ausführungsformen erfolgt die Verlagerung der Grenzflächen **105g1**, **105g2** bzw. **105h**, **111h** zueinander durch Piezo-Faserstrecke **107g** bzw. **107h**. Hierbei wird die Faser **77g** bzw. **77h** mehrfach um zwei halbzylinderförmige, beabstandete Führungen **207g1**, **207g2**, **207h1**, **207h2** gewickelt, deren Abstand dann durch einen piezoelektrischen Aktuator **307g**, **307h** verändert wird. Dadurch ändert sich auch die Faserlänge. Die Ansteuerung **407g**, **407h** des Piezo-Aktuators **307g**, **307h** erfolgt periodisch. Die Steuerspannung des Piezo-Aktuators ist dabei ein Maß für die Faserlänge, also ist die zeitliche Änderung der Steuerspannung ein Maß für die Verlagerungsgeschwindigkeit, und damit für die Frequenz des Detektorsignals. Folglich muss die Auswerteschaltung **147** der Detektoranordnung entsprechend der zeitlichen Änderung der Steuerspannung des Piezo-Aktuators **107g**, **107h** eingestellt werden; die zeitliche Änderung dieser Spannung ist bei periodischer Ansteuerung proportional zur Steuersignal-Amplitude und zur Steuersignal-Frequenz. Da in diesen Ausführungsformen keine großen Massen bewegt werden, und Trägheitseffekte daher keine große Rolle spielen, kann die Ansteuerung **407g**, **407h** des Piezo-Aktuators **307g**, **307h** statt sinusoidal auch sägezahn-förmig oder dreieckförmig erfolgen. Besonders bevorzugt ist eine Ansteuerung **407g**, **407h**, die die aus Eichmessungen zugängliche Antwortfunktion des Piezo-Aktuators **307g**, **307h** so kompensiert, dass die tatsächliche Verlagerungsgeschwindigkeit der teilreflektierenden Grenzflächen **105g1**, **105g2** bzw. **105h**, **111h** relativ zueinander über einen großen Durchstimmbereich konstant wird.

[0074] Ist diese tatsächliche Verlagerungsge-

schwindigkeit zudem bekannt, kann der objektseitige Zweig der vorbeschriebenen Ausführungsform mit Faser-Bragg-Gitter **105**, teilverspiegelter GRIN-Linse **109** und Piezo-Faserstrecke **107** in der in **Fig. 5** dargestellten Ausführungsform mit nur einer, kurzkohärenten Lichtquelle **43a** eingesetzt werden und dort den nicht-faseroptischen Teil von der Lichtleitfaser **77** bis einschliesslich der Fokussieroptik **54a** ersetzen. Diese Kombination ist in **Fig. 16** dargestellt: Die optische Weglänge **11** zwischen Faser-Bragg-Gitter **105i** und teilverspiegelter Oberfläche **111i** der GRIN-Linse **109i** wird durch den Piezostrecke **107i** mit Piezo-Aktuator **307i** durch die Ansteuerung **407i** periodisch linear variiert, und der einstellbare Bandpass-Filter **73i** auf die resultierende Interferenzsignalfrequenz eingestellt.

[0075] Ein in **Fig. 8** schematisch dargestelltes Interferometersystem **41c** weist einen ähnlichen Aufbau auf wie das Interferometersystem gemäß **Fig. 2**.

[0076] Allerdings sind hier zwei Quellen **43c₁** und **43c₂** vorgesehen, welche jeweils Meßstrahlung **45c₁** bzw. **45c₂** kurzer Kohärenzlänge bereitstellen. Mittels Spiegeln **111** und **113** und einen Strahlteiler **115** werden die Meßstrahlungen **45c₁** und **45c₂** nach deren Kollimierung mittels Kollimationsoptiken **47c₁** bzw. **47c₂** zu einem gemeinsamen Strahl **48c** überlagert. Dieser durchsetzt einen Strahlteiler **94c** und einen Glaskörper **51c** mit einander gegenüberliegenden Grenzflächen **52c** und **53c** und wird sodann durch eine Kollimationsoptik **54c** kollimiert. Da sich die Wellenlängen λ_1 und λ_2 der von den Quellen **43c₁** bzw. **43c₂** bereitgestellten Strahlung unterscheiden, erfolgt die Fokussierung durch die Fokussieroptik **54c** in einem Fokuspunkt **39c₁** für die Strahlung der Wellenlänge λ_1 und in einem Fokuspunkt **39c₂** für die Strahlung der Wellenlänge λ_2 . Die Fokuspunkte **39c₁** und **39c₂** sind in z-Richtung mit einem Abstand voneinander angeordnet.

[0077] Von einer Objektoberfläche, die in einem Bereich um die Fokuspunkte **39c₁** und **39c₂** angeordnet ist, zurückgeworfene Strahlung wird wiederum durch die Fokussieroptik **54c** kollimiert und nach Durchlaufen des Glaskörpers **51c** von dem Strahlteiler **49c** umgelenkt, aus welchem sie als Strahl **57c** austritt. Ein Strahlteiler **117** teilt diesen Strahl in Teilstrahlen **57c₁** und **57c₂**, welche durch Kollimationsoptiken **59c₁** bzw. **59c₂** auf Detektoren **61c₁** bzw. **61c₂** fokussiert werden. Der Detektor **61c₁** ist zur Detektion der von dem Objekt zurückgeworfenen Strahlung der Wellenlänge λ_1 ausgelegt, genauso wie ein Bandpaßfilter **73c₁** für von dem Detektor **61c₁** bereitgestellte Meßsignale ausgelegt ist. Entsprechend ist der Detektor **61c₂** für die Detektion der Strahlung mit der Wellenlänge λ_2 ausgelegt, genauso wie der nachfolgende Bandpaßfilter **73c₂** für die von dem Detektor **61c₂** bereitgestellten Signale. Dem Bandpaßfilter **73c₁** bzw. **73c₂** sind wiederum die Modulationsschal-

tungen **74c₁** und **74c₂** nachgeschaltet. Die Demodulationsschaltung **74c₁** registriert ein Maximum einer Meßkurve **75c₁** dann, wenn die Objektoberfläche in einem Bereich um den Fokuspunkt **39c₁** für die Wellenlänge λ_1 angeordnet ist, und die Demodulationsschaltung **74c₂** registriert ein Maximum ihrer Meßkurve **75c₂** dann, wenn die Objektoberfläche in einem Bereich nahe dem Fokuspunkt **39c₂** für die Wellenlänge λ_2 angeordnet ist. Die von den Demodulationsschaltungen **74c₁**, **74c₂** ausgegebenen Meßkurven **75c₁** bzw. **75c₂** sind in Abhängigkeit von dem Ort der Objektoberfläche in z-Richtung in **Fig. 9** als Graphen schematisch dargestellt.

[0078] Durch Auswerten einer zeitlichen Reihenfolge, mit der die Maxima der Kurven **75c₁** und **75c₂** auftreten, ist es somit möglich, eine Richtung einer Relativgeschwindigkeit zwischen dem Meßkopf und dem Objekt zu ermitteln.

[0079] Bei dem Interferometersystem **41c** ist es ebenfalls möglich, der Meßstrahlung eine Strahlung großer Kohärenzlänge zu überlagern, wie dies anhand der **Fig. 6** und **7** erläutert wurde.

[0080] Es ist dann weiter möglich, die Bandpaßfilter **73c₁** und **73c₂** hinsichtlich ihres Frequenzbandes variabel auszulegen, wobei diese das Frequenzband dann immer so einstellen können, daß dieses optimal auf einen Absolutwert der Relativgeschwindigkeit zwischen Meßkopf und Objekt eingestellt ist.

[0081] In **Fig. 10** sind der Glaskörper **51c** und die Fokussieroptik **54c** des Interferometersystems **41c** im Detail dargestellt.

[0082] Ein Durchmesser des Strahls **48c** beträgt 4 mm. Der Glaskörper **51c** mit seinen teilreflektierenden Endflächen **52c** und **53c** weist eine Länge $l_1 = 60,9973$ mm auf. Der Glaskörper **51c** ist aus einem Glas der Type SF6 erhältlich von der Firma SCHOTT, gefertigt.

[0083] Die Fokussieroptik **54c** ist als ein Kittglied aus zwei Linsengläsern **122** und **124** gefertigt, wobei die Linse **122** aus einem Glas des Typs BK7, erhältlich von der Firma SCHOTT, gefertigt ist, und die Linse **124** aus einem Glas des Typs SF6.

[0084] Eine dem Glaskörper **51c** zuweisende Oberfläche **121** der Linse **122** weist einen Krümmungsradius von $r_1 = 31,25$ mm auf und ist mit ihrem Scheitelpunkt mit einem Abstand von $d_1 = 2,24$ mm in Luft von der Grenzfläche **53c** des Glaskörpers **51c** angeordnet. Eine den Linsen **122** und **124** gemeinsame Grenzfläche **123** weist einen Krümmungsradius $r_2 = -42,313$ mm auf und ist mit ihrem Scheitelpunkt mit einem Abstand $d_2 = 3,00$ mm von dem Scheitelpunkt der Fläche **121** angeordnet. Eine von dem Glaskörper **51c** wegweisende Oberfläche **125** der Linse **124**

ist als Planfläche ausgebildet und weist von dem Scheitelpunkt der Fläche **123** einen Abstand von $d_3 = 3,00$ mm auf.

[0085] Für Licht der Wellenlänge $\lambda_1 = 630$ nm beträgt eine Fokussierlänge f_1 der Fokussieroptik **54c** 95 mm, und für Licht einer Wellenlänge $\lambda_2 = 850$ nm beträgt die Fokussierlänge der Fokussieroptik **54c** 94 mm. Damit sind die Fokuspunkte **39c₁** und **39c₂** mit einem Abstand von einem Millimeter voneinander angeordnet.

[0086] Bei dem anhand der **Fig. 8, 9** und **10** erläuterten Interferometersystem, welches zwei Lichtquellen mit Wellenlängen $\lambda_1 = 630$ nm und $\lambda_2 = 850$ nm aufweist, sind somit zwei Fokuspunkte der Meßstrahlung bereitgestellt, welche einen Abstand von einem Millimeter in Strahlrichtung voneinander aufweisen.

[0087] In **Fig. 11** sind ein Glaskörper **51d** und eine Fokussieroptik **54d** für ein Interferometersystem gezeigt, welches drei Weißlichtquellen mit Wellenlängen $\lambda_1 = 630$ nm, $\lambda_2 = 850$ nm und $\lambda_3 = 1300$ nm aufweist.

[0088] Die Kombination aus Glaskörper **51d** und Fokussieroptik **54d** gemäß **Fig. 11** ist einsetzbar in einem Interferometersystem, welches dem Interferometersystem gemäß **Fig. 8** ähnlich ist, welches allerdings eine dritte Lichtquelle mit $\lambda_3 = 1300$ nm aufweist, deren Strahlung dem Licht der beiden anderen Lichtquellen überlagert ist.

[0089] Der Glasblock **51d** ist aus zwei aneinander gekitteten Teilblöcken **131** und **132** zusammengesetzt, von denen der Teilblock **131** eine teilreflektierende Grenzfläche **52d** des Interferometersystems bereitstellt und der andere Teilblock **132** eine der Grenzfläche **52d** gegenüberliegende und dem Objekt zuweisende Grenzfläche **53d** bereitstellt. Der Teilblock **131** ist aus einem Glasmaterial des Typs Lasf18a, erhältlich von der Firma SCHOTT, gefertigt und weist eine Länge von $d_1 = 24,3$ mm auf, und der andere Teilblock **132** ist aus einem Glasmaterial des Typs Lak31, erhältlich von der Firma SCHOTT, gefertigt und weist eine Länge von $d_2 = 75,13$ mm auf.

[0090] Die Fokussieroptik **54d** ist als ein Kittglied aus zwei Linsen **122d** und **124d** zusammengesetzt. Eine dem Glasblock **51d** zuweisende Oberfläche **121d** der Linse **122d** weist einen Krümmungsradius $R_1 = -14,9$ mm auf und ist mit ihrem Scheitel mit einem Abstand von $d_3 = 31,83$ mm von der Grenzfläche **53d** des Teilblocks **132** angeordnet. Eine den Linsen **122d** und **124d** gemeinsame Grenzfläche **123d** weist einen Krümmungsradius $R_2 = -7,23$ mm auf und ist mit ihrem Scheitel mit einem Abstand $d_4 = 5,0$ mm von dem Scheitel der Fläche **121** angeordnet, wobei die Linse **122** aus einem Material des Typs BAF, erhältlich von SCHOTT, gefertigt ist. Eine von dem

Glasblock **51d** wegweisende Oberfläche **125d** der Linse **124** weist einen Krümmungsradius $R_3 = -11,87$ mm auf und ist mit ihrem Scheitel mit einem Abstand $d_5 = 5,0$ mm von dem Scheitel der Fläche **123d** angeordnet, wobei die Linse **124d** aus einem Material des Typs SF64a, erhältlich von SCHOTT, gefertigt.

[0091] Die Fokussieroptik **54d** stellt für die Wellenlänge $\lambda_1 = 630$ nm eine Fokusslänge $f_1 = 126$ mm bereit, für die Wellenlänge $\lambda_2 = 850$ nm eine Fokusslänge $f_2 = 125$ mm, und für die Wellenlänge $\lambda_3 = 1300$ nm eine Fokusslänge $f_3 = 124$ mm.

[0092] Somit stellt die Fokussieroptik **54d** drei Fokusspunkte **39d₁**, **39d₂** und **39d₃** für die Strahlungen der Wellenlängen λ_1 , λ_2 und λ_3 bereit, welche in Strahlrichtung nacheinander mit einem Abstand von jeweils einem Millimeter voneinander angeordnet sind.

[0093] Ist das Interferometersystem **41d**, welches teilweise in **Fig. 11** dargestellt ist, an einem Koordinatenmeßgerät gemäß **Fig. 1** montiert, so ist es möglich, den Meßkopf einem zu vermessenden Objekt soweit anzunähern bis eine Anordnung der Objektoberfläche in der Nähe des mittleren Fokusspunkts **39d₂** registriert wird. Sodann erfolgt eine Bewegung des Meßkopfes lateral entlang der Objektoberfläche, das heißt quer zur Richtung des Strahls **48d**, und eine Bewegung des Meßkopfes erfolgt dann in -z-Richtung, das heißt in **Fig. 1** nach unten, wenn eine Anordnung der Objektoberfläche in einem Bereich nahe dem Fokusspunkt **39d₁** registriert wird, und sie erfolgt in umgekehrte z-Richtung, das heißt nach oben, wenn eine Anordnung der Objektoberfläche in einer Nähe des Fokusspunkts **39d₃** registriert wird.

[0094] Auf diese Weise ist es einfach möglich, die Oberfläche des Objekts abzutasten und deren Koordinaten mit Hilfe des Koordinatenmeßgerätes gemäß **Fig. 1** zu ermitteln.

[0095] Ein in **Fig. 12** schematisch dargestelltes Interferometersystem **41e** weist einen ähnlichen Aufbau auf wie das in **Fig. 2** gezeigte Interferometersystem.

[0096] Im Unterschied hierzu ist allerdings ein Strahlteiler **49e** zur Zuführung von Detektionsstrahlung zu einem Detektor **61e** mit einem Glaskörper **51e** zur Bereitstellung der beiden mit Abstand l_1 voneinander angeordneten Grenzflächen **52e** und **53e** des Interferometersystems **41e** vereinigt, das heißt eine teilreflektierende Fläche **49e** des Strahlteilers ist innerhalb des Glaskörpers **51e** angeordnet.

[0097] Bei der Ausführungsform gemäß **Fig. 6** sind zwei separate Detektoren **61b** und **101** zur Detektion der kurzkohärenten Strahlung der Quelle **43b** bzw. zur Detektion der langkohärenten Strahlung der

Quelle **91** vorgesehen. Es ist jedoch auch möglich, für beide Strahlung einen gemeinsamen Detektor vorzusehen, dessen Detektionssignal parallel der Frequenzanalyseschaltung **103** und dem Bandpaßfilter **37b** zugeführt wird.

[0098] Ebenso ist es möglich, bei der in **Fig. 8** dargestellten Ausführungsform einen gemeinsamen Detektor für die Strahlungen der Wellenlängen λ_1 und λ_2 bereitzustellen und dessen Detektionssignal parallel den beiden Bandpaßfiltern **73c₁** und **73c₂** zuzuführen.

[0099] Ferner ist es möglich, bei der Ausführungsform gemäß **Fig. 8, 9** und **10** sowie bei der Ausführungsform gemäß **Fig. 11** die mehreren Lichtquellen für die Wellenlängen λ_1 und λ_2 bzw. λ_1 , λ_2 und λ_3 in einer gemeinsamen Lichtquelle mit änderbarer Wellenlänge zu integrieren, deren Emissionswellenlänge dann abwechselnd auf die Werte λ_1 , λ_2 und λ_3 eingestellt wird.

[0100] Bei der anhand der **Fig. 5** beschriebenen Ausführungsform wird eine der Grenzflächen des Grenzflächenpaares mittels eines Aktuators quer zur Orientierung der Grenzfläche verlagert. Es ist jedoch ebenfalls möglich, beide Grenzflächen des Grenzflächenpaares gemeinsam zu verlagern, genauso wie es möglich ist, den Glaskörper in den Ausführungsformen gemäß **Fig. 2 ff.** in Richtung quer zur Orientierung der Grenzflächen zu verlagern.

[0101] Die vorliegende Erfindung ermöglicht, auch in engen Kanälen, z.B. Bohrungen, hochgenau zu messen, insbesondere axial. Ferner kann der Fokus und damit die Lateralauflösung wesentlich kleiner gestaltet werden als bei einem konventionellen taktilen Taster.

[0102] Die vorbeschriebenen Messanordnungen und verfahren können aber außer bei der Werkstückvermessung auch bei jeder anderen OCT-Anwendung zum Einsatz kommen.

[0103] Zusammenfassend wird ein Interferometersystem insbesondere zur Verwendung für ein Koordinatenmeßgerät vorgeschlagen, wobei das Interferometersystem in einem Beleuchtungsstrahlengang ein Paar von mit Abstand voneinander angeordneten Grenzflächen aufweist und eine einem Objekt zuweisende Grenzfläche des Grenzflächenpaares in einem Detektionsstrahlengang angeordnet ist, wobei in dem Detektionsstrahlengang ferner eine Strahlungsweiche und ein Detektor angeordnet sind. Ferner wird ein Interferometersystem, insbesondere der vorangehend geschilderten Art, vorgeschlagen, welches ein Geschwindigkeitsmeßsystem zur Erfassung einer Relativgeschwindigkeit zwischen dem Meßkopf und dem Objekt aufweist, wobei ein Frequenzfilter des Interferometersystems in Abhängigkeit von der

Relativgeschwindigkeit eingestellt wird.

Patentansprüche

1. Interferometersystem mit einem Meßkopf (36) zum Senden von Beleuchtungsstrahlung (48) auf ein Objekt (9) und zum Empfang von von dem Objekt (9) zurückgeworfener Detektionsstrahlung (57), wobei eine Anordnung des Meßkopfes (36) mit einem Arbeitsabstand von dem Objekt (9) vorgesehen ist, und wobei das Interferometersystem (41) eine erste Strahlungsquelle (43) zur Bereitstellung von Strahlung (45) mit einer vorbestimmten ersten Kohärenzlänge, ein Paar von mit Abstand voneinander angeordneten teilreflektierenden Grenzflächen (52, 53), eine Strahlungsweiche (49) und einen Detektor (61) umfaßt, wobei eine erste Grenzfläche (53) des Grenzflächenpaares (52, 53) in einem Beleuchtungsstrahlengang zwischen der Strahlungsquelle (43) und dem Objekt (9) angeordnet ist, eine zweite Grenzfläche (52) des Grenzflächenpaares (52, 53) in dem Beleuchtungsstrahlengang zwischen der Strahlungsquelle (43) und der ersten Grenzfläche (53) angeordnet ist, und die Strahlungsweiche (49) in dem Beleuchtungsstrahlengang zwischen der Strahlungsquelle (43) und der ersten Grenzfläche (53) angeordnet ist, und wobei die erste Grenzfläche (53) in einem Detektionsstrahlengang zwischen dem Objekt (9) und dem Detektor (61) angeordnet ist und die Strahlungsweiche (49) in dem Detektionsstrahlengang zwischen der ersten Grenzfläche (53) und dem Detektor (6) angeordnet ist, wobei das Interferometersystem einen Antrieb (85) aufweist, um den Meßkopf (36a) relativ zu dem Objekt (9) zu verlagern, und wobei das Interferometersystem ferner ein Bandpaßfilter umfasst, dessen Frequenzband auf eine von der Verlagerung des Meßkopfes abhängige Frequenz abgestimmt oder abstimmbar ist.

2. Interferometersystem nach Anspruch 1, wobei wenigstens die erste Grenzfläche (53) eine Komponente des Meßkopfes (36) ist und wobei, bei Anordnung des Meßkopfes (36) mit dem Arbeitsabstand von dem Objekt, eine erste optische Weglänge (l_2) zwischen der ersten Grenzfläche (53) und dem Objekt (9) im wesentlichen gleich einer zweiten optischen Weglänge (l_1) zwischen den beiden Grenzflächen (52, 53) ist.

3. Interferometersystem nach Anspruch 1 oder 2, wobei die Strahlungsweiche (49) in dem Beleuchtungsstrahlengang zwischen der Strahlungsquelle (43) und der zweiten Grenzfläche (52) angeordnet ist.

4. Interferometersystem nach einem der Ansprüche 1 bis 3, wobei die erste Kohärenzlänge kleiner

als das 0,3fache des Arbeitsabstands ist, insbesondere kleiner als das 0,07fache und weiter bevorzugt kleiner als das 0,01fache des Arbeitsabstands ist.

5. Interferometersystem nach einem der Ansprüche 1 bis 4, wobei der Meßkopf (36) eine Fokussieroptik (54) zur Fokussierung der von der ersten Strahlungsquelle (43) bereitgestellten Strahlung (45) in einem ersten Beleuchtungsstrahlungsfokus (39) aufweist, welcher mit einem Abstand von dem Meßkopf (36) angeordnet ist, der im wesentlichen dem Arbeitsabstand entspricht.

6. Interferometersystem nach Anspruch 5, wobei die von der ersten Strahlungsquelle (43c₁) bereitgestellte Strahlung (45c₁) eine erste Wellenlänge (λ_1) aufweist und das Interferometersystem (41c) ferner wenigstens eine zweite Strahlungsquelle (43c₂) zur Bereitstellung von Strahlung (45c₂) einer zweiten Wellenlänge (λ_2) umfaßt, welche in dem Beleuchtungsstrahlengang der von der ersten Strahlungsquelle (43c₁) bereitgestellten Strahlung (45c₁) überlagert ist.

7. Interferometersystem nach Anspruch 6, wobei die Fokussieroptik (45c) die von der zweiten Strahlungsquelle (43c₂) bereitgestellte Strahlung (45c₂) in einem zweiten Beleuchtungsstrahlungsfokus (39c₂) fokussiert, welcher ebenfalls mit einem Abstand von dem Meßkopf angeordnet ist, der im wesentlichen dem Arbeitsabstand entspricht, allerdings von dem ersten Beleuchtungsstrahlungsfokus (39c₁) einen Abstand aufweist.

8. Interferometersystem nach Anspruch 6 oder 7, wobei der Detektor zur Detektion der von der ersten und der zweiten Strahlungsquelle (43c₁, 43c₂) bereitgestellten Strahlung (45c₁, 45c₂) jeweils verschiedene Teildetektoren (61c₁, 61c₂) umfaßt, und wobei einem jeden Teildetektor ein separater Bandpaßfilter (73c₁, 73c₂) zur Verarbeitung der von diesem bereitgestellten Meßsignale vorgesehen ist.

9. Interferometersystem nach einem der Ansprüche 1 bis 8, wobei das Grenzflächenpaar durch einen transparenten Körper (51) mit zwei planparallelen einander gegenüberliegenden Oberflächen (52, 53) bereitgestellt ist.

10. Interferometersystem nach einem der Ansprüche 1 bis 8, wobei das Grenzflächenpaar (52a, 52b) durch zwei mit Abstand voneinander angeordnete transparente Platten (81, 82) bereitgestellt ist.

11. Interferometersystem nach einem der Ansprüche 1 bis 8, wobei das Grenzflächenpaar durch zwei mit Abstand voneinander in einer Glasfaser angeordnete teilreflektierende Strukturen bereitgestellt ist.

12. Interferometersystem nach einem der Ansprüche 1 bis 11, wobei das Interferometersystem (**41b**) einen ersten Strahlengang für Strahlung (**45b**) einer vorbestimmten kurzen ersten Kohärenzlänge aufweist, wobei in dem ersten Strahlengang der Reihe nach eine erste Strahlungsquelle (**43b**) zur Bereitstellung der Strahlung (**45b**) mit der ersten Kohärenzlänge, eine dem Objekt (**9b**) nächstliegende Komponente (**54b**) des Meßkopfes (**36b**), das Objekt (**9b**), die dem Objekt (**9b**) nächstliegende Komponente (**54b**) des Meßkopfes (**36b**) und ein erster Detektor (**61b**) angeordnet sind, wobei das Interferometersystem einen zweiten Strahlengang für Strahlung (**92**) einer vorbestimmten langen dritten Kohärenzlänge aufweist, wobei in dem zweiten Strahlengang der Reihe nach eine dritte Strahlungsquelle (**91**) zur Bereitstellung der Strahlung (**92**) mit der dritten Kohärenzlänge, die dem Objekt (**9b**) nächstliegende Komponente (**54b**) des Meßkopfes (**36b**), das Objekt, die dem Objekt (**9b**) nächstliegende Komponente (**54b**) des Meßkopfes (**36b**) und ein zweiter Detektor (**101**) angeordnet sind,

und wobei das Interferometersystem ferner umfaßt: eine erste Verarbeitungsschaltung (**103**) für von dem zweiten Detektor (**101**) bereitgestellte Meßsignale und zur Bereitstellung eines eine Modulationsfrequenz (f_2) des von dem zweiten Detektor (**101**) bereitgestellten Meßsignals repräsentierenden Frequenzsignals, eine zweite Verarbeitungsschaltung (**71b**) für von dem ersten Detektor (**61b**) bereitgestellte Meßsignale, wobei die zweite Verarbeitungsschaltung (**71b**) einen Bandpaßfilter (**73b**) mit einem von dem Frequenzsignal abhängenden Frequenzband aufweist.

13. Interferometersystem mit einem Meßkopf (**36b**) zum Senden von Strahlung auf ein Objekt (**9b**) und zum Empfang von von dem Objekt (**9b**) zurückgeworfener Strahlung, wobei eine Anordnung des Meßkopfes (**36b**) mit einem Arbeitsabstand (l_2) von dem Objekt (**9b**) vorgesehen ist, wobei das Interferometersystem (**41b**) einen ersten Strahlengang für Strahlung (**45b**) einer vorbestimmten kurzen ersten Kohärenzlänge aufweist, wobei in dem ersten Strahlengang der Reihe nach eine erste Strahlungsquelle (**43b**) zur Bereitstellung der Strahlung (**45b**) mit der ersten Kohärenzlänge, eine dem Objekt (**9b**) nächstliegende Komponente (**54b**) des Meßkopfes (**36b**), das Objekt (**9b**), die dem Objekt (**9b**) nächstliegende Komponente (**54b**) des Meßkopfes (**36b**) und ein erster Detektor (**61b**) angeordnet sind, wobei das Interferometersystem einen zweiten Strahlengang für Strahlung (**92**) einer vorbestimmten langen dritten Kohärenzlänge aufweist, wobei in dem zweiten Strahlengang der Reihe nach eine dritte Strahlungsquelle (**91**) zur Bereitstellung der Strahlung (**92**) mit der dritten Kohärenzlänge, die dem Objekt (**9b**) nächstliegende Komponente (**54b**) des Meßkopfes (**36b**), das Objekt, die dem Objekt (**9b**)

nächstliegende Komponente (**54b**) des Meßkopfes (**36b**) und ein zweiter Detektor (**101**) angeordnet sind,

und wobei das Interferometersystem ferner umfaßt: eine erste Verarbeitungsschaltung (**103**) für von dem zweiten Detektor (**101**) bereitgestellte Meßsignale und zur Bereitstellung eines eine Modulationsfrequenz (f_2) des von dem zweiten Detektor (**101**) bereitgestellten Meßsignals repräsentierenden Frequenzsignals, gekennzeichnet durch eine zweite Verarbeitungsschaltung (**71b**) für von dem ersten Detektor (**61b**) bereitgestellte Meßsignale, wobei die zweite Verarbeitungsschaltung (**71b**) einen Bandpaßfilter (**73b**) mit einem von dem Frequenzsignal abhängenden Frequenzband aufweist.

14. Interferometersystem nach Anspruch 13, wobei wenigstens die erste Grenzfläche (**53**) eine Komponente des Meßkopfes (**36**) ist und wobei, bei Anordnung des Meßkopfes (**36**) mit dem Arbeitsabstand von dem Objekt, eine erste optische Weglänge (l_2) zwischen der ersten Grenzfläche (**53**) und dem Objekt (**9**) im wesentlichen gleich einer zweiten optischen Weglänge (l_1) zwischen den beiden Grenzflächen (**52**, **53**) ist.

15. Interferometersystem nach Anspruch 13 oder 14, wobei die Strahlungsweiche (**49**) in dem Beleuchtungsstrahlengang zwischen der Strahlungsquelle (**43**) und der zweiten Grenzfläche (**52**) angeordnet ist.

16. Interferometersystem nach einem der Ansprüche 13 bis 15, wobei die erste Kohärenzlänge kleiner als das 0,3fache des Arbeitsabstands ist, insbesondere kleiner als das 0,07fache und weiter bevorzugt kleiner als das 0,01fache des Arbeitsabstands ist.

17. Interferometersystem nach einem der Ansprüche 13 bis 16, wobei der Meßkopf (**36**) eine Fokussieroptik (**54**) zur Fokussierung der von der ersten Strahlungsquelle (**43**) bereitgestellten Strahlung (**45**) in einem ersten Beleuchtungsstrahlungsfokus (**39**) aufweist, welcher mit einem Abstand von dem Meßkopf (**36**) angeordnet ist, der im wesentlichen dem Arbeitsabstand entspricht.

18. Interferometersystem nach Anspruch 17, wobei die von der ersten Strahlungsquelle (**43c₁**) bereitgestellte Strahlung (**45c₁**) eine erste Wellenlänge (λ_1) aufweist und das Interferometersystem (**41c**) ferner wenigstens eine zweite Strahlungsquelle (**43c₂**) zur Bereitstellung von Strahlung (**45c₂**) einer zweiten Wellenlänge (λ_2) umfaßt, welche in dem Beleuchtungsstrahlengang der von der ersten Strahlungsquelle (**43c₁**) bereitgestellten Strahlung (**45c₁**) überlagert ist.

19. Interferometersystem nach Anspruch 18, wo-

bei die Fokussieroptik (**45c**) die von der zweiten Strahlungsquelle (**43c₂**) bereitgestellte Strahlung (**45c₂**) in einem zweiten Beleuchtungsstrahlungsfokus (**39c₂**) fokussiert, welcher ebenfalls mit einem Abstand von dem Meßkopf angeordnet ist, der im wesentlichen dem Arbeitsabstand entspricht, allerdings von dem ersten Beleuchtungsstrahlfokus (**39c₁**) einen Abstand aufweist.

20. Interferometersystem nach Anspruch 18 oder 19, wobei der Detektor zur Detektion der von der ersten und der zweiten Strahlungsquelle (**43c₁**, **43c₂**) bereitgestellten Strahlung (**45c₁**, **45c₂**) jeweils verschiedene Teildetektoren (**61c₁**, **61c₂**) umfaßt, und wobei einem jeden Teildetektor ein separater Bandpaßfilter (**73c₁**, **73c₂**) zur Verarbeitung der von diesem bereitgestellten Meßsignale vorgesehen ist.

21. Interferometersystem nach einem der Ansprüche 13 bis 20, wobei der Meßkopf (**36a**) einen Antrieb (**85**) aufweist, um wenigstens eine Grenzfläche (**53a**) des Grenzflächenpaares (**52a**, **53a**) relativ zu dem Meßkopf (**36a**) zu verlagern.

22. Interferometersystem nach einem der Ansprüche 13 bis 21, wobei das Grenzflächenpaar durch einen transparenten Körper (**51**) mit zwei planparallelen einander gegenüberliegenden Oberflächen (**52**, **53**) bereitgestellt ist.

23. Interferometersystem nach einem der Ansprüche 13 bis 21, wobei das Grenzflächenpaar (**52a**, **52b**) durch zwei mit Abstand voneinander angeordnete transparente Platten (**81**, **82**) bereitgestellt ist.

24. Interferometersystem nach einem der Ansprüche 13 bis 21, wobei das Grenzflächenpaar durch zwei mit Abstand voneinander in einer Glasfaser angeordnete teilreflektierende Strukturen bereitgestellt ist.

25. Interferometersystem nach einem der Ansprüche 13 bis 24, wobei eine innerhalb des Frequenzbands angeordnete Frequenz f_1 der Gleichung

$$f_1 = \frac{\lambda_3}{\lambda_1} \cdot f_2$$

erfüllt, wobei

f_2 die Modulationsfrequenz (f_2) des von dem zweiten Detektor (**101**) ausgegebenen Meßsignals ist,

λ_1 eine Wellenlänge der Strahlung (**45b**) der ersten Kohärenzlänge ist und

λ_3 eine Wellenlänge der Strahlung (**92**) der dritten Kohärenzlänge ist.

26. Interferometersystem nach einem der Ansprüche 13 bis 25, wobei der erste und der zweite Strahlengang zwischen dem Meßkopf (**36b**) und dem Objekt (**9b**) einander überlagert sind.

27. Interferometersystem nach einem der Ansprüche 13 bis 26, ferner umfassend eine in dem ersten Strahlengang zwischen einer dem Objekt (**9b**) nächstliegenden Komponente (**54b**) des Meßkopfes (**36b**) und dem ersten Detektor (**61b**) und in dem zweiten Strahlengang zwischen der dem Objekt (**9b**) nächstliegenden Komponente (**54b**) des Meßkopfes (**36b**) und dem zweiten Detektor (**101**) angeordnete Strahlweiche (**97**), wobei der erste und der zweite Strahlengang zwischen der dem Objekt (**9b**) nächstliegenden Komponente (**54b**) des Meßkopfes (**36b**) und der Strahlweiche (**97**) einander überlagert sind.

28. Werkzeug, umfassend: eine Werkstückplattform (**7**) zur Anbringung eines Werkstücks (**9**), einen Werkzeugkopf (**36**) und eine den Werkzeugkopf tragende Verlagerungsmechanik zur Verlagerung des Werkzeugkopfes (**36**) relativ zu der Werkstückplattform (**7**), wobei das Werkzeug ferner ein Interferometersystem (**41**) nach einem der Ansprüche 1 bis 27 umfaßt, dessen Meßkopf (**36**) an dem Werkzeugkopf (**36**) angebracht ist.

29. Werkzeug nach Anspruch 28, wobei das Werkzeug ein Meßwerkzeug, insbesondere ein Koordinatenmeßgerät (**1**), umfaßt.

30. Werkzeug nach Anspruch 29, wobei das Werkzeug ein Bearbeitungswerkzeug umfaßt.

31. Verfahren zum Positionieren eines Meßkopfes mit einem vorbestimmten Arbeitsabstand von einem Objekt, umfassend:

Bereitstellen eines ersten Interferometersystems, welches ein Abstandssignal bereitstellt, welches anzeigt, ob der Meßkopf mit einem Abstand von dem Objekt angeordnet ist, der im wesentlichen gleich dem Arbeitsabstand ist, oder nicht, Bereitstellen eines Geschwindigkeitsmeßsystems, welches ein Geschwindigkeitssignal bereitstellt, welches eine Relativgeschwindigkeit zwischen dem Objekt und dem Meßkopf repräsentiert, wobei das Bereitstellen des Abstandssignals in Abhängigkeit von dem Geschwindigkeitssignal erfolgt.

32. Verfahren nach Anspruch 31, wobei das Bereitstellen des Abstandssignals eine Frequenzfilterung eines von einem Detektor des ersten Interferometersystems bereitgestellten Meßsignals umfaßt und die Frequenzfilterung in Abhängigkeit von dem Geschwindigkeitssignal erfolgt.

33. Verfahren nach Anspruch 32, wobei die Frequenzfilterung eine Bandpaßfilterung umfaßt.

34. Verfahren nach einem der Ansprüche 31 bis 33, wobei das Geschwindigkeitsmeßsystem ein zweites Interferometersystem umfaßt.

35. Weißlichtinterferometer mit einem Lichtdetek-

tor und einem Bandpaßfilter für ein von dem Lichtdetektor bereitgestelltes Meßsignal, wobei der Bandpaßfilter einen Eingang zur Zuführung eines Frequenzsignals aufweist, in Abhängigkeit von welchem eine Filtercharakteristik des Bandpaßfilters einstellbar ist, ferner umfassend eine Detektionsschaltung zur Bereitstellung des Frequenzsignals.

36. Weißlichtinterferometer nach Anspruch 35, wobei die Detektionsschaltung eine Geschwindigkeitsmeßschaltung oder/und eine Treiberschaltung für einen Aktuator umfaßt.

Es folgen 10 Blatt Zeichnungen

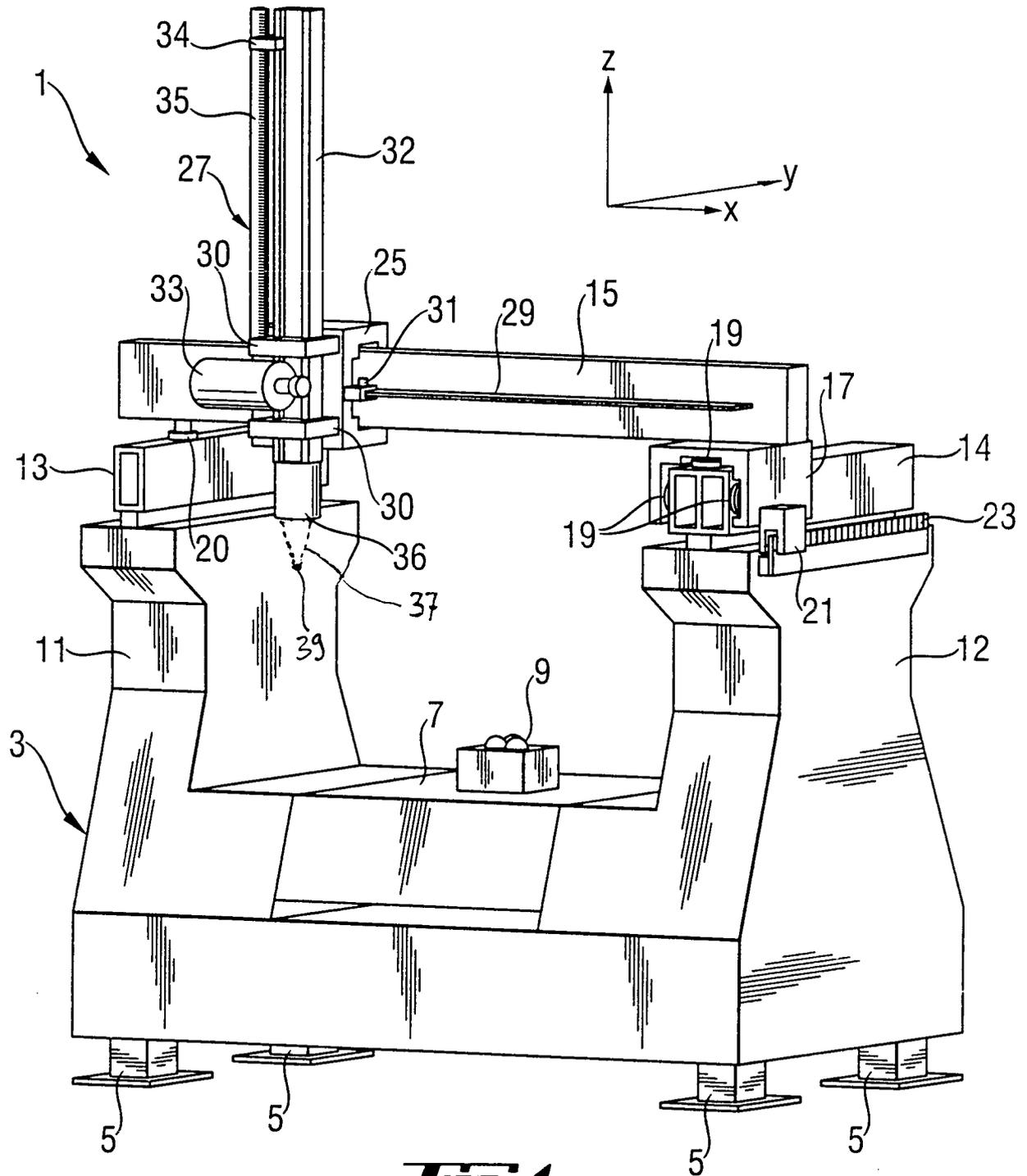
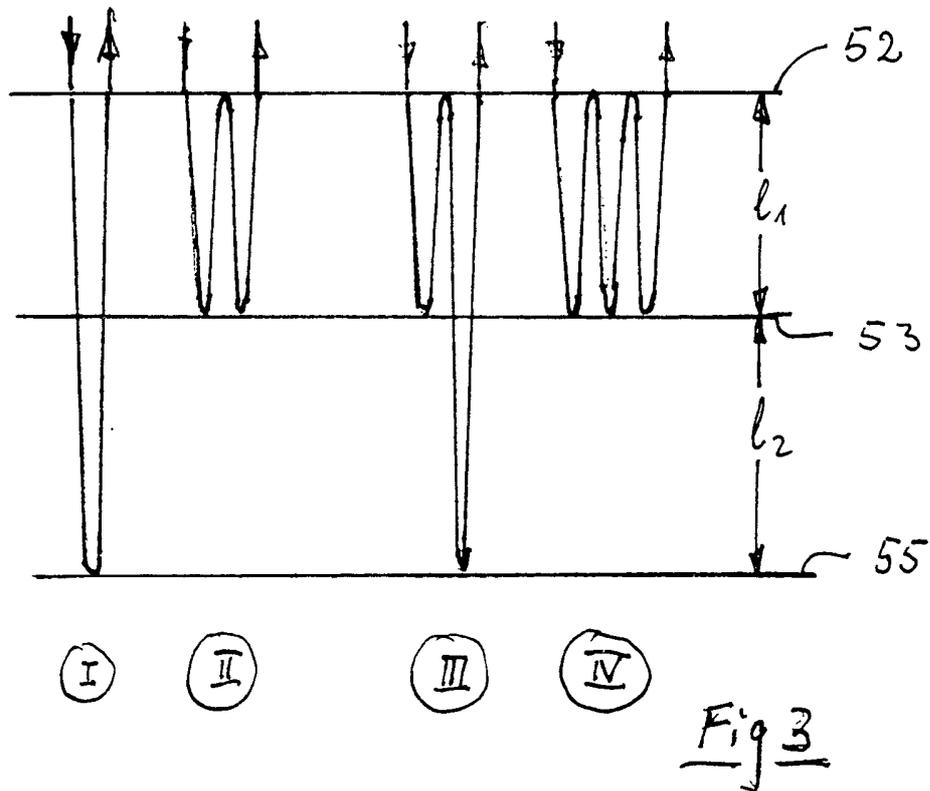
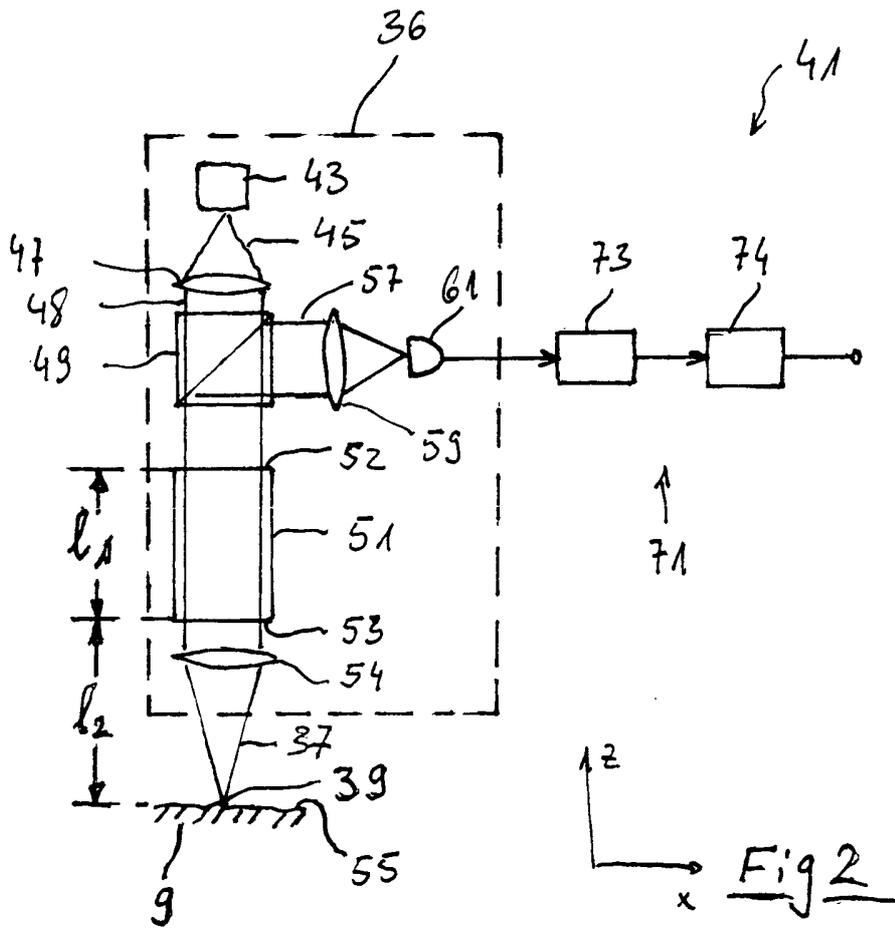


Fig. 1



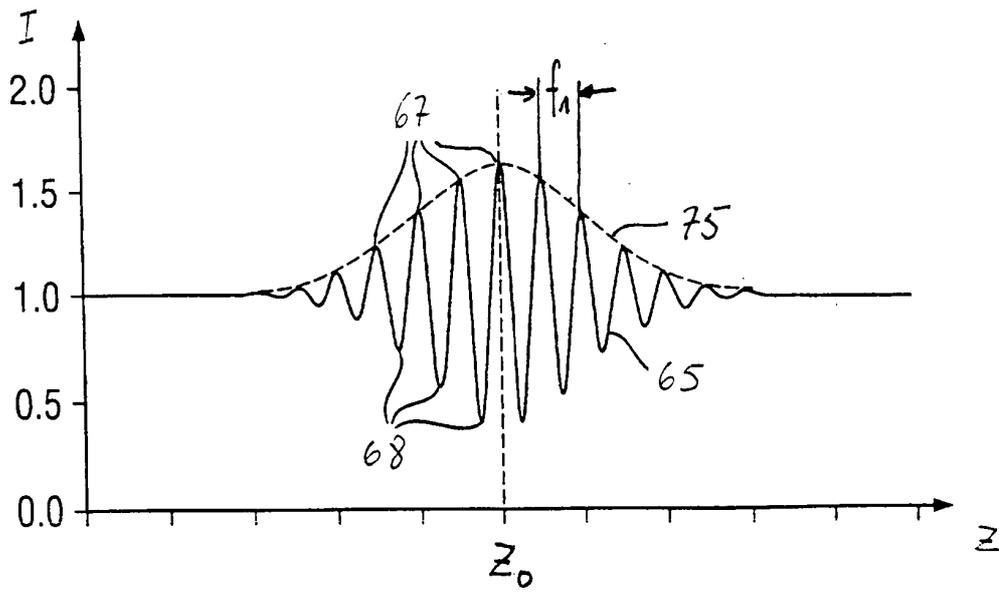


Fig 4

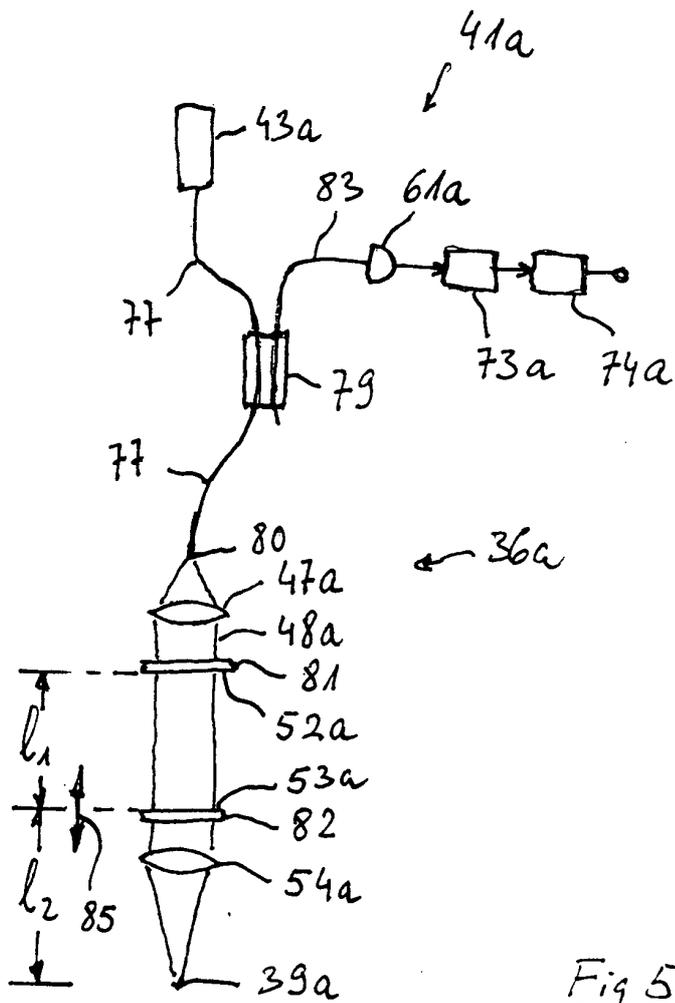
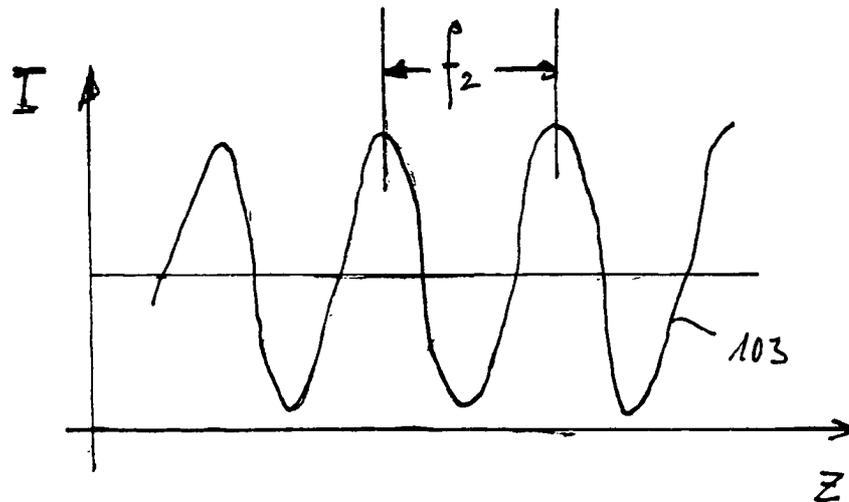
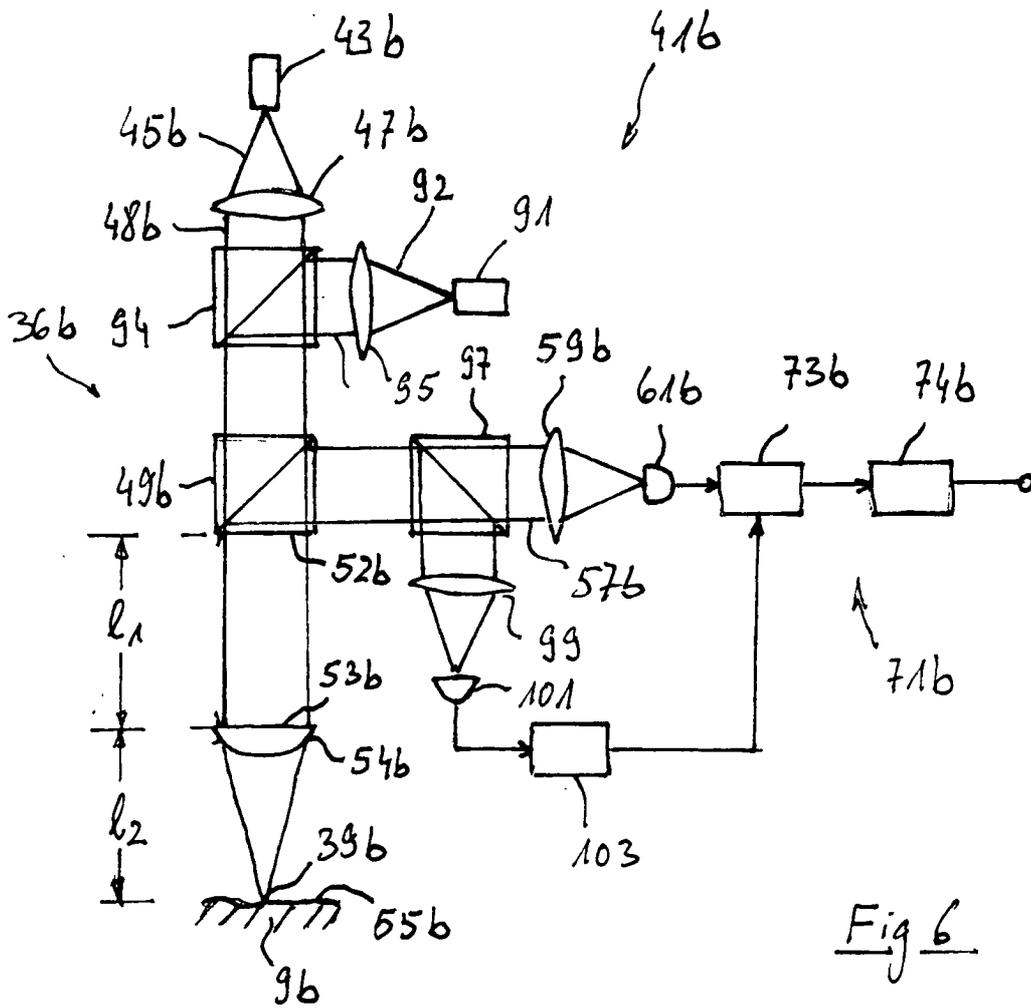


Fig 5



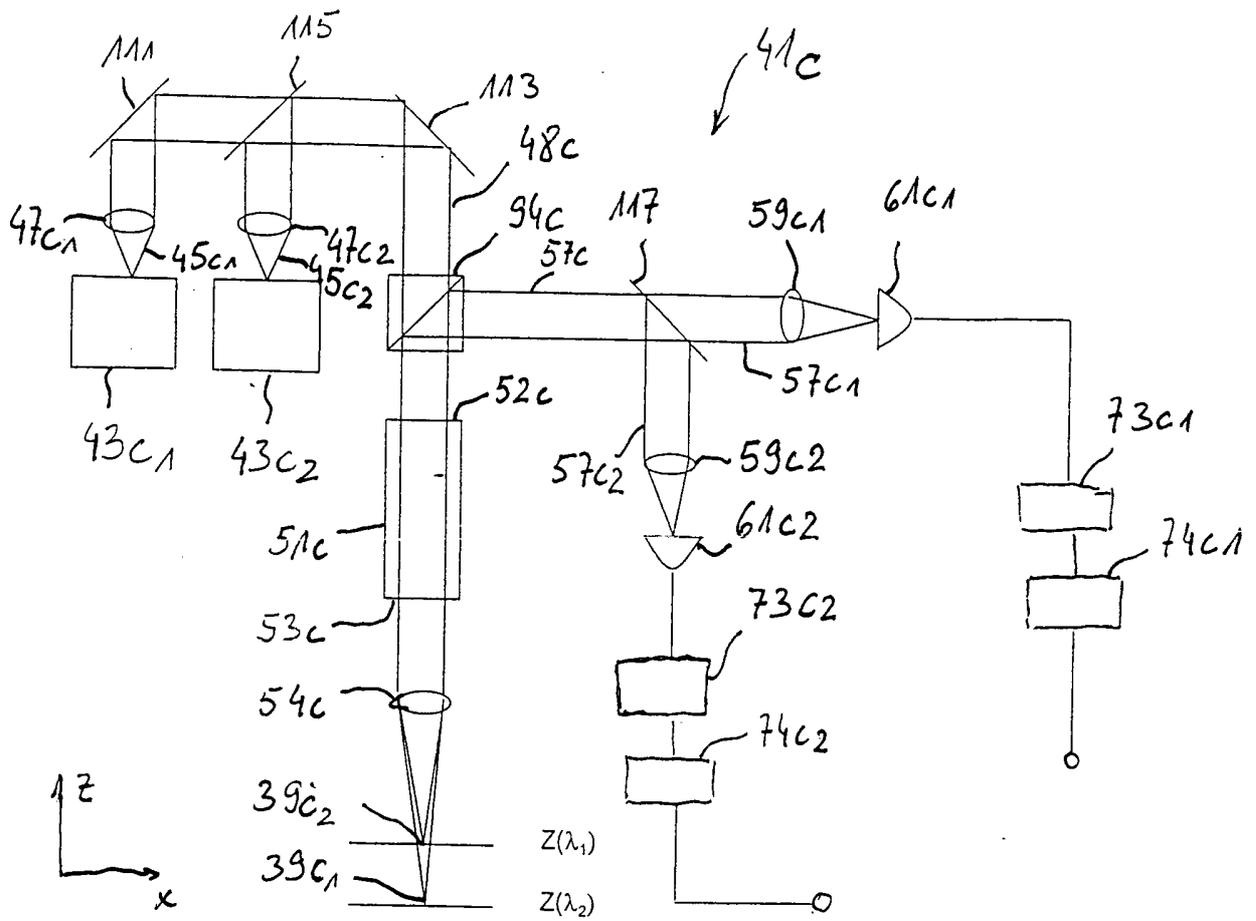


Fig 8

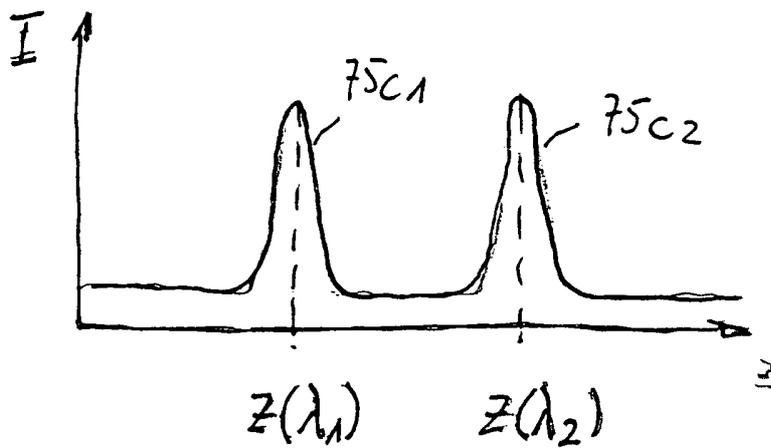


Fig 9

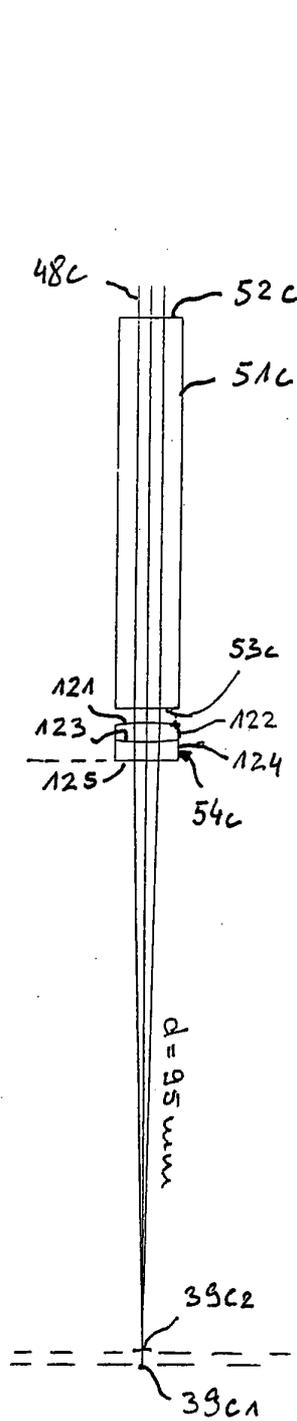


Fig 10

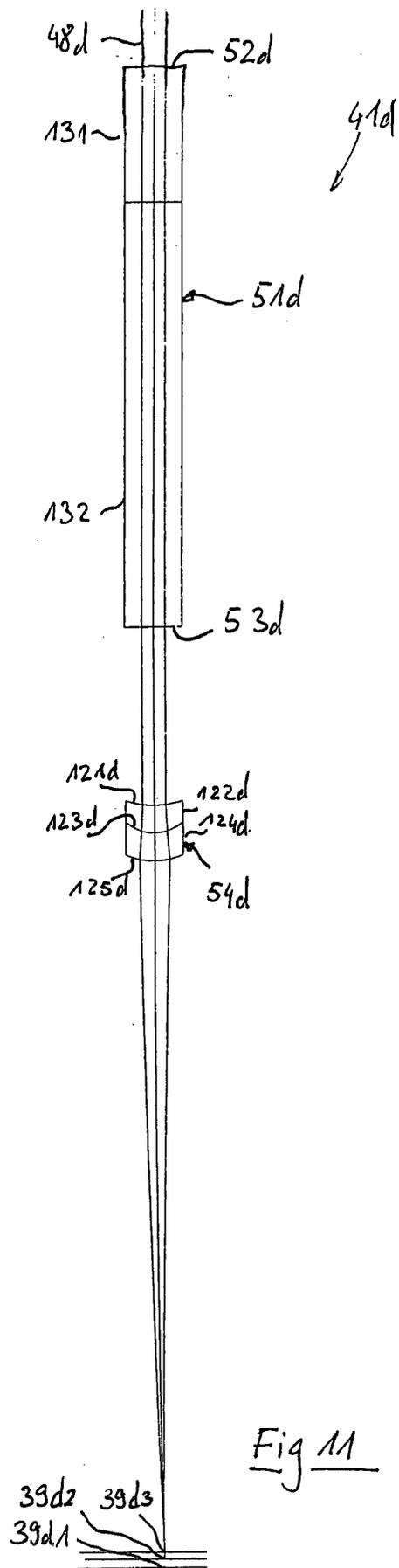


Fig 11

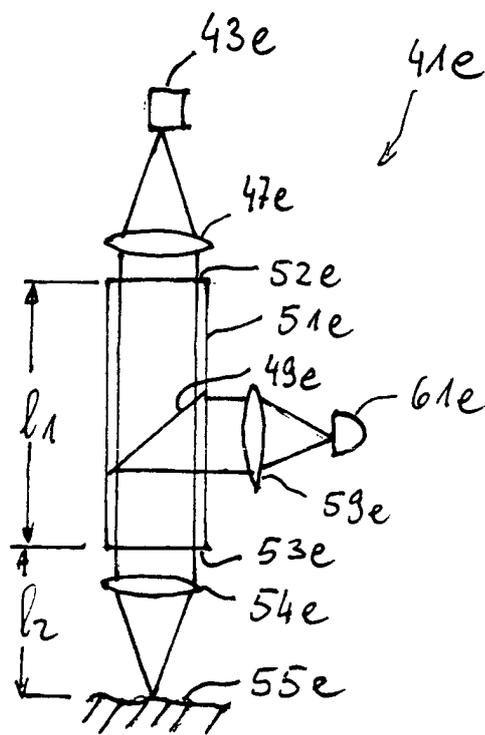


Fig 12

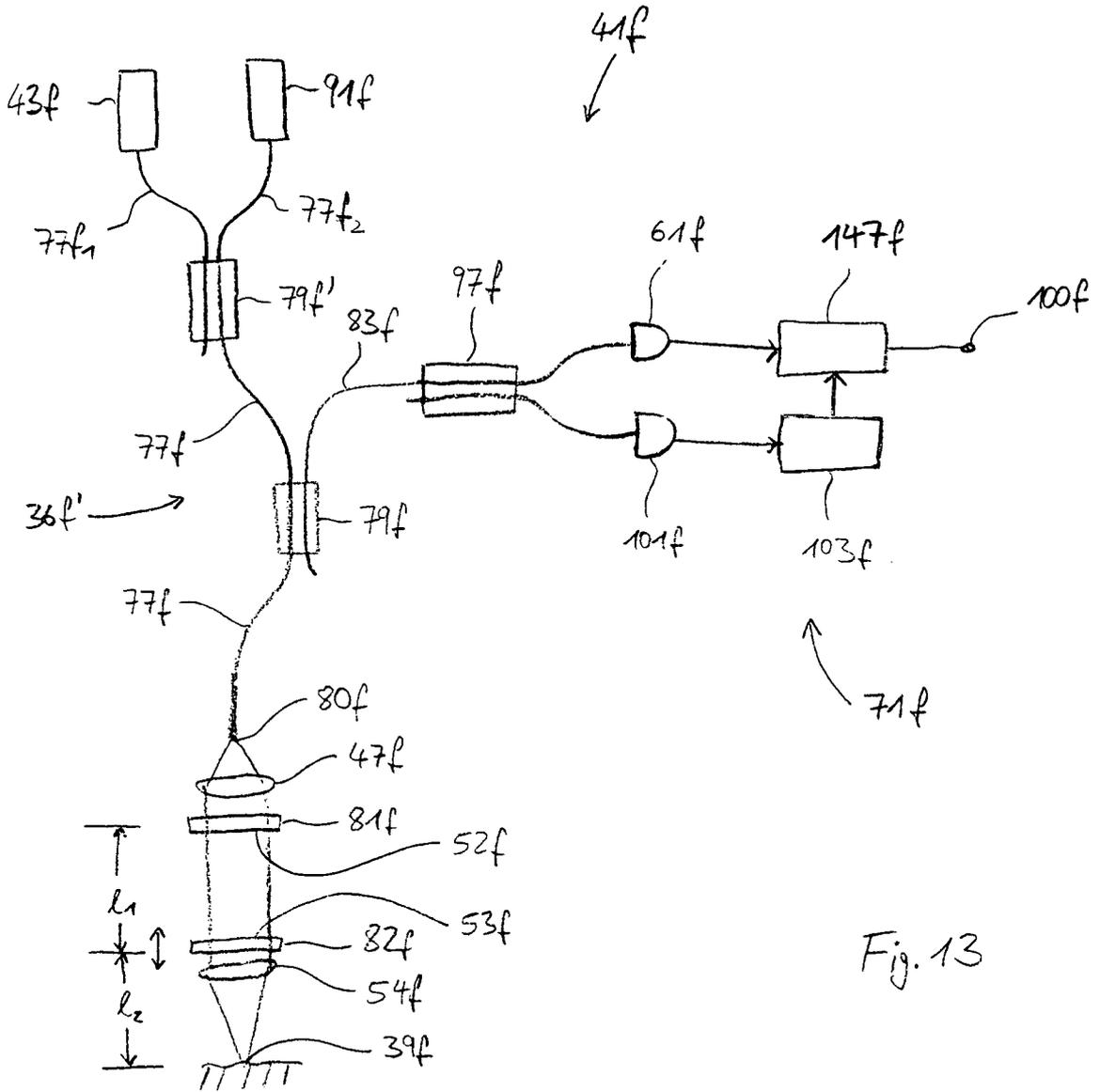


Fig. 13

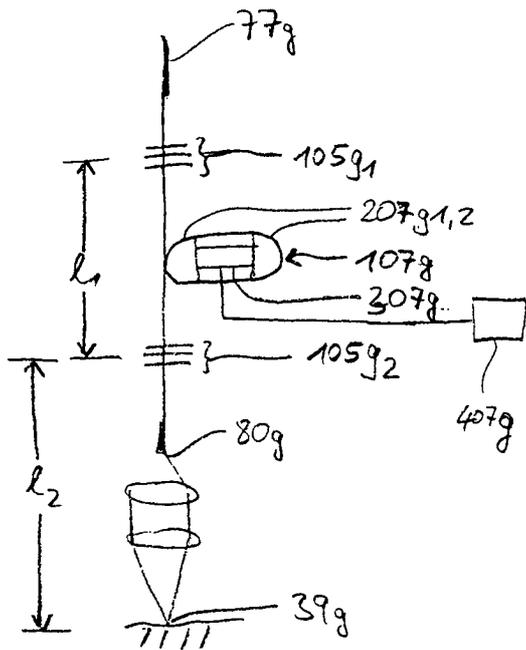


Fig. 14

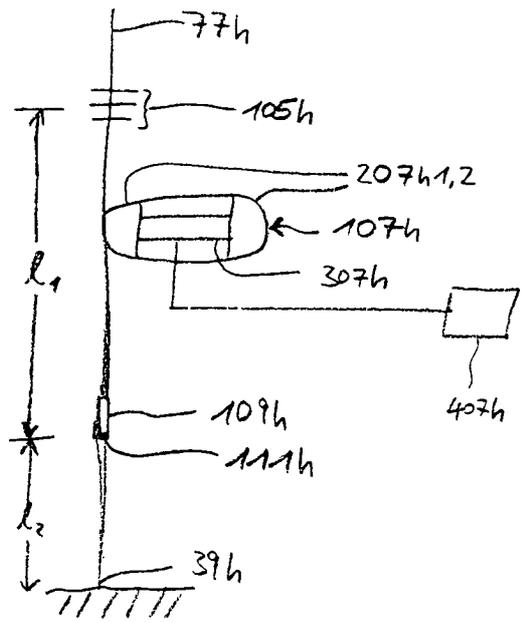


Fig. 15

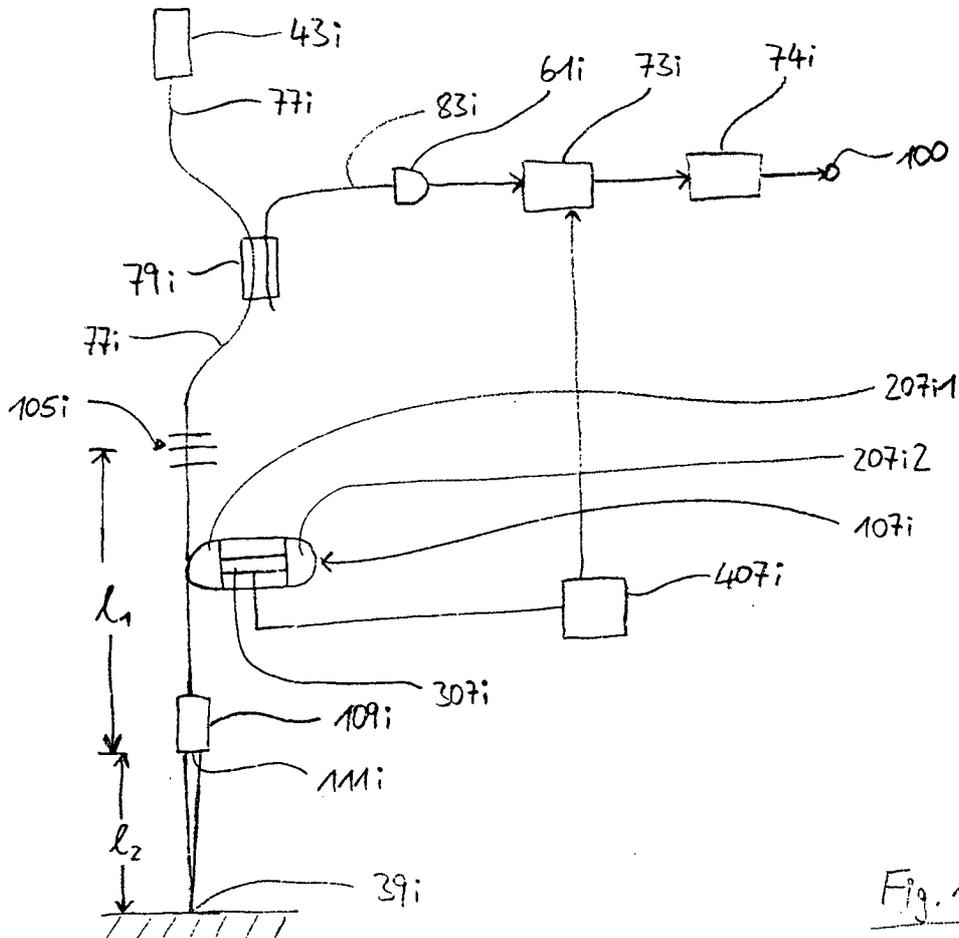


Fig. 16

