



(10) **DE 10 2011 011 065 A1** 2012.08.16

(12)

Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2011 011 065.8**

(22) Anmeldetag: **11.02.2011**

(43) Offenlegungstag: **16.08.2012**

(51) Int Cl.: **G01B 21/04 (2006.01)**
G01B 11/24 (2006.01)

(71) Anmelder:

Luphos GmbH, 55130, Mainz, DE

(72) Erfinder:

**Am Weg, Christian, Dr., 63225, Langen, DE; May,
Thilo, 64283, Darmstadt, DE; Berger, Gernot,
Dr., 44139, Dortmund, DE; Nicolaus, Ralf, Dr.,
64293, Darmstadt, DE; Petter, Jürgen, Dr., 64347,
Griesheim, DE**

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
gezogene Druckschriften:

DE 10 2006 019 623 B4

DE 60 2004 004 916 T2

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

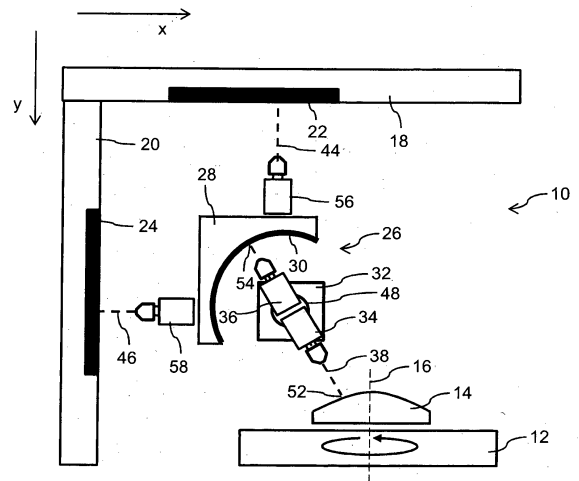
Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **Verfahren und Vorrichtung zur hochpräzisen Vermessung von Oberflächen**

(57) Zusammenfassung: Die vorliegende Erfindung betrifft eine Vorrichtung und ein Verfahren zur Vermessung zumindest eines Oberflächenabschnitts eines auf einem Träger (12) gelagerten Objekts (14), mit:

— zumindest einem gegenüber dem Träger (12) fixierbaren Referenzobjekt (18, 20) und

— einem in zumindest einer ersten Richtung (x, y) gegenüber dem Referenzobjekt (18, 20) beweglichen Halter (26), an welchem ein Referenzkörper (28) sowie ein Abstandsmesser (34, 36) angeordnet sind, die relativ zueinander drehbar gelagert sind, wobei der Abstandsmesser (34, 36) dazu ausgebildet ist, einen ersten Abstand (38) zu einem ersten Punkt (52) des Oberflächenabschnitts des Objekts (14) und einen zweiten Abstand (40) zu einem hiermit korrespondierenden zweiten Punkt (54) des Referenzkörpers (28) zu bestimmen.



Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren sowie eine Vorrichtung zur hochpräzisen Vermessung der Topologie bzw. der Oberfläche eines beliebigen Objekts auf der Grundlage einer optischen, berührungslosen Abtastung des Objekts.

Stand der Technik

[0002] Zur Qualitätssicherung als auch zur Überwachung von industriellen Herstellungsprozessen, insbesondere im Bereich der Feinwerktechnik, Optik sowie in der Fertigungstechnik mechanischer und elektrischer Mikrostrukturen besteht ein wachsender Bedarf hinsichtlich einer möglichst hochauflösenden und präzisen Vermessung von Werkstück-Oberflächen.

[0003] So ist beispielsweise aus der DE 10 2008 033 942 B3 ein auf dem Prinzip der Mehrwellenlängen-Interferometrie operierender Abstandssensor bekannt, welcher mehrere Laserlichtquellen verwendet, deren emittierte Wellenlängen im optischen Telekommunikationsbereich zwischen 1520 nm und 1630 nm liegen. Die Signale der hierbei verwendeten Laser werden durch Multiplexer in einer gemeinsamen Faser zusammengeführt und zu einem Mehrwellenlängen-Sensorkopf geleitet. Ein solches Mehrwellenlängen-Abstandsmessverfahren ermöglicht prinzipiell eine interferometrische Abtastung von Topologien und Oberflächen beliebiger Objekte in Reflexionsgeometrie, wobei mittels des Mehrwellenlängen-Verfahrens ein vergleichsweise großer, eindeutig zuordenbarer Messbereich bereitgestellt und darüber hinaus eine Messgenauigkeit im Nanometer- bzw. sogar im Subnanometerbereich erreicht werden kann.

[0004] Ferner ist aus der DE 60 2004 004 916 T2 eine optische Freiform-Oberflächen-Messvorrichtung bekannt, bei welcher ein konturabtastender Abstandssensor im Wesentlichen orthogonal zu einer zu messenden Oberfläche platziert wird. Der Abstandssensor ist dabei auf einer drehbaren Vorrichtung platziert, welche selbst auf einer Plattform angeordnet ist, die gegenüber einem Messrahmen beweglich ist. Ferner ist auf der den Abstandssensor aufnehmenden drehbaren Vorrichtung eine Messoberfläche vorgesehen, deren Abstand zum Messrahmen mittels einer Einrichtung zur kontaktlosen Abstandsmessung gemessen wird. Schließlich ist eine Drehmesseinrichtung zum Messen des Drehwinkels zwischen zwei Messrichtungen vorgesehen, wobei die erste Messrichtung durch die Bewegungsrichtung zwischen Plattform und Messrahmen, die zweite Messrichtung durch den Abstand zwischen dem Abstandssensor und der Oberfläche des zu vermessenden Elements vorgegeben ist.

[0005] Bei derartigen, etwa in einer Scanbewegung die Oberfläche eines Objektes berührungslos abtastenden Sensors spielt die Bewegung und die Positioniergenauigkeit des Sensors gegenüber dem zu vermessenden Objekt eine entscheidende Rolle.

[0006] Um den Abstand zwischen dem Abstandssensor und der zu vermessenden Oberfläche präzise ermitteln zu können, muss der Sensor im Wesentlichen orthogonal zur zu vermessenden Oberfläche ausgerichtet sein und seine Ausrichtung entsprechend der Kontur des zu vermessenden Objekts anpassen. Für diese Anpassung sind sowohl Translations- als auch Drehbewegungen des Sensors durchzuführen.

[0007] Während eine Translationsbewegung des Sensors mittels weiterer Abstandssensoren gegenüber einer feststehenden Referenz mit ausreichend hoher Genauigkeit ermittelt werden kann, erweist sich jedoch gerade ein Drehen bzw. Verkippen des Sensors als problematisch.

[0008] Bei der geforderten Messgenauigkeit im Nanometer- oder Subnanometerbereich bewirkt eine Drehung des Sensors ferner auch stets eine nicht zu vernachlässigende translatorische Verschiebung des Sensors gegenüber der den Sensor tragenden Plattform. So muss das Messsignal des Sensors zumindest um die durch die Drehbewegung des Sensors verursachte Positionsverschiebung des Sensors korrigiert werden. Die mechanischen Toleranzen des Sensor-Lagers verursachen nicht reproduzierbare Positionsveränderungen des Sensors in unterschiedlichen Winkelstellungen. Es ist daher erforderlich, die Position des Sensors für jede mögliche Ausrichtung des Sensors präzise zu bestimmen.

Aufgabe

[0009] Der vorliegenden Erfindung liegt demgegenüber die Aufgabe zugrunde, eine Vorrichtung und ein entsprechendes Verfahren zum hochpräzisen Vermessen von Oberflächen von Objekten bereitzustellen, wobei etwaige, z. B. durch eine Drehbewegung des Sensorkopfs bedingte Positionsungenauigkeiten des Sensors in einfacher Art und Weise bestimmt und entsprechend kompensiert werden sollen. Die Vorrichtung soll sich dabei durch einen möglichst einfachen, platzsparenden sowie kostengünstig zu implementierenden Aufbau auszeichnen. Auch soll sie möglichst widerstandsfähig gegenüber äußeren Störeinflüssen ausgebildet sein.

Erfindung und vorteilhafte Wirkungen

[0010] Diese Aufgabe wird mit einer Vorrichtung gemäß dem unabhängigen Patentanspruch 1 sowie mit einem Verfahren nach Patentanspruch 14 gelöst, wo-

bei vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung jeweils Gegenstand abhängiger Ansprüche sind.

[0011] Die erfindungsgemäße Vorrichtung ist zur Vermessung zumindest eines Oberflächenabschnitts eines auf einem Träger gelagerten Objekts ausgebildet. Die Vorrichtung weist dabei zumindest ein gegenüber dem Träger fixierbares Referenzobjekt auf. Träger und Referenzobjekt müssen dabei nicht zwingend miteinander verbunden oder mechanisch gekoppelt sein. Es ist grundsätzlich ausreichend, wenn die Schwerpunkte oder Symmetrieachsen des Objektträgers, des Objekts selbst und/oder des Referenzobjekts während einer Vermessungsprozedur nicht zueinander bewegt werden, sondern statisch an ihrer jeweiligen Position verweilen; sozusagen zueinander ortsfest sind. Eine Drehbewegung des Objekts, bevorzugt um eine seiner Symmetrieachsen ist dabei zur Vermessung seiner Gesamtoberfläche vorgesehen. Für die Vermessung der Oberfläche des Objekts ist die Ermittlung eines relativen Abstandes zum Referenzobjekt jedoch nicht erforderlich. Die Vorrichtung weist ferner einen in zumindest einer ersten Richtung gegenüber dem Referenzobjekt beweglichen Halter auf. An diesem Halter sind ein Referenzkörper sowie ein Abstandsmesser oder eine Abstandsmesseinrichtung angeordnet. Abstandsmesser und Referenzkörper sind dabei relativ zueinander drehbar gelagert.

[0012] Der Abstandsmesser ist ferner dazu ausgebildet, einen ersten Abstand zu einem ersten Punkt des zu vermessenden Oberflächenabschnitts des Objekts als auch einen zweiten Abstand zu einem hiermit korrespondierenden zweiten Punkt des Referenzkörpers zu bestimmen. Der mittels des Abstandsmessers zu ermittelnde erste Abstand stellt das eigentliche Messsignal dar, während anhand des gemessenen zweiten Abstands eine etwa rotationsbedingte Relativverschiebung zwischen dem Abstandsmesser und dem, ebenfalls am beweglichen Halter angeordneten, Referenzkörper ermittelt werden kann. Anhand des zu messenden zweiten Abstands kann insoweit eine Abstandskorrektur für den ersten gemessenen Abstand erfolgen.

[0013] Eine etwa durch die Drehbewegung des Abstandsmessers hervorgerufene nicht reproduzierbare Verschiebung des Sensors und ein daraus resultierende Verfälschung der Messwerte kann durch die Bestimmung des zweiten Abstands gegenüber einem, hinsichtlich seiner Kontur und Position bekannten Referenzkörper kompensiert werden. Ein Offset zwischen einer Drehachse und einer Messachse des Abstandsmessers kann durch Ermittlung der ersten und zweiten Abstände sowie durch eine relative Ausrichtung von Referenzkörper und Abstandsmesser rechnerisch kompensiert werden.

[0014] Die Position des beweglichen Halters in Bezug auf das zumindest eine Referenzobjekt wird bevorzugt mit zumindest einem weiteren Abstandsmesser, insbesondere mit einer Anzahl Abstandssensoren ermittelt, um auf mittelbarem Wege die Position des Abstandsmessers gegenüber dem Referenzobjekt bestimmen zu können.

[0015] Nach einer bevorzugten Weiterbildung weist der am beweglichen Halter angeordnete Abstandsmesser einen dem zu vermessenden Objekt zugewandten ersten Abstandssensor und einen zweiten, dem Referenzkörper zugewandten Abstandssensor auf. Der erste Abstandssensor dient einer Abstandsmessung zwischen Abstandsmesser und zu vermessendem Objekt, während der zweite Abstandssensor zur Bestimmung der Position des Abstandsmessers bzw. des ersten Abstandssensors relativ zum beweglichen Halter dient. Die Position des Halters wiederum kann mittels zumindest eines, bevorzugt mittels zweier in unterschiedlichen Richtungen ausgerichteter Sensoren gegenüber dem zumindest einen, bevorzugt gegenüber zwei Referenzobjekten bestimmt werden.

[0016] In Weiterbildung hiervon ist der Abstandsmesser drehbar am beweglichen Halter gelagert und der Referenzkörper ist drehfest am Halter angeordnet. Die Fixierung des Referenzkörpers am Halter ermöglicht insbesondere eine hochpräzise Bestimmung der Position des Abstandsmessers gegenüber dem Halter selbst.

[0017] In Weiterbildung hiervon weist der Referenzkörper eine auf die Drehbeweglichkeit des Abstandsmessers abgestimmte Referenzfläche auf. Die Referenzfläche ist derart ausgebildet, dass ein vom zweiten Abstandssensor emittiertes Messsignal von der Referenzfläche reflektiert und vom zweiten Abstandssensor wieder detektiert werden kann.

[0018] Es ist dabei insbesondere vorgesehen, dass die Referenzfläche als eine Art Hohlspiegel mit einer im Wesentlichen kreissegmentartigen Geometrie ausgebildet ist, wobei der Mittelpunkt des Hohlspiegels im Wesentlichen mit der Drehachse des Abstandsmessers bzw. mit der Drehachse des ersten und/oder des zweiten Abstandssensors zusammenfällt. Die Referenzfläche ist insbesondere hohlzylindrischer Gestalt, wobei sich die gedachte Zylinderachse im Wesentlichen parallel zur Drehachse des Abstandsmessers erstreckt. Abweichend hiervon kann die Referenzfläche auch eine polygonale Form oder eine beliebige, mittels Kalibrierung ermittelbare konkav gekrümmte Formgebung aufweisen.

[0019] Nach einer weiteren bevorzugten Ausgestaltung sind der erste und der zweite Abstandssensor des Abstandsmessers diametral entgegengesetzt zueinander ausgerichtet bzw. angeordnet. Der ers-

te Abstandssensor ist bevorzugt derart ausgerichtet, dass seine Messachse bzw. dass die von ihm emittierten optischen Messsignale annähernd orthogonal auf dem zu vermessenden Oberflächenabschnitt auftreffen und dort wieder zum ersten Abstandssensor reflektiert werden. Dadurch, dass der zweite Abstandssensor in die entgegengesetzte Richtung ausgerichtet ist, kann der dabei ermittelte Abstand unmittelbar zur Korrektur des Messsignals des ersten Abstandssensors Verwendung finden.

[0020] Der vom zweiten Abstandssensor gemessene zweite Abstand ist ein direktes Maß für die vorzunehmende Abstandskorrektur für den ersten Abstandssensors. Es ist hierbei lediglich erforderlich, die Kontur bzw. Position und Verlauf der Referenzfläche des Referenzkörpers im Zuge einer Kalibrierung der Vorrichtung einmal präzise zu bestimmen, damit eine entsprechende, der jeweils vorherrschenden Ausrichtung bzw. Winkelstellung des Abstandsmessers entsprechende Längen- oder Abstandskorrektur der ermittelten Messwerte erfolgen kann. Für die Kalibrierung der Vorrichtung ist ein Abgleich des zweiten Abstands zu jeder möglichen Winkelstellung des Abstandsmessers in Bezug auf den Referenzkörper vorzunehmen.

[0021] Nach einer weiteren bevorzugten Ausgestaltung ist der Abstand zwischen dem Referenzobjekt und dem beweglichen Halter mittels zumindest eines dritten Abstandssensors bestimmbar. Der dritte Abstandssensor kann dabei entweder am Referenzobjekt oder am Halter selbst angeordnet sein. Zur Bestimmung des Abstandes bzw. der Position des Halters in Bezug auf das Referenzobjekt weist der Halter bzw. das Referenzobjekt eine entsprechende Mess- oder Spiegelfläche auf. Insbesondere für eine die gesamte Oberfläche des zu vermessenden Objekts abtastende Bewegung des Halters ist ein zweites Referenzobjekt vorgesehen, wobei der Halter auch gegenüber dem zweiten Referenzobjekt beweglich gelagert ist. Eine zweidimensionale Beweglichkeit des Halters gegenüber den sich bevorzugt in einer entsprechenden Ebene erstreckenden Referenzobjekten ermöglicht ein Verfahren des Halters bevorzugt in der Ebene senkrecht zur Drehachse des Abstandsmessers. Insoweit ist es von Vorteil, wenn ein vierter Abstandssensor zur zweidimensionalen Positionsbestimmung des Halters in Bezug auf die Referenzobjekte Verwendung findet.

[0022] Weiterhin kann vorgesehen werden, dass der das Objekt lagernde Träger drehbar gelagert ist, um sämtliche zu vermessende Oberflächenpunkte des Objekts in die von der Messeinrichtung vorgegebene Ebene zu verlagern.

[0023] In einer alternativen Ausgestaltung kann ferner vorgesehen werden, dass der erste Punkt, welcher auf einem zu vermessenden Oberflächenab-

schnitt des Objektes liegt und der zweite Punkt, der eine der Winkelstellung des Abstandsmessers entsprechende Stelle auf dem Referenzkörper bzw. auf seiner Referenzfläche definiert, auf einer gedachten Linie liegen bzw. eine Linie definieren, entlang derer der erste und der zweite Abstandssensor ausgerichtet sind. Mit anderen Worten sind die beiden diametral entgegengesetzt ausgerichteten Abstandssensoren des Abstandsmessers derart ausgerichtet, dass ein vom ersten Abstandssensor ausgehender Messstrahl im Wesentlichen senkrecht auf die zu vermessende Oberfläche auftrifft. Durch jene Ausrichtung ergibt sich zwangsläufig die Position des zweiten Punkts auf dem Referenzkörper.

[0024] Nach einer weiteren bevorzugten Ausgestaltung sind der Träger, welcher der drehbaren Lagerung des zu vermessenden Objekts dient, und das Referenzobjekt voneinander mechanisch entkoppelt, d. h. sie können innerhalb vorgegebener Grenzen beliebig zueinander angeordnet sein. Die Positionierung des Trägers relativ zum Referenzobjekt muss für die Durchführung einer Oberflächenvermessung des Objekts nicht ermittelt werden. Im Zuge einer scannenden oder abtastenden Bewegung wird der bewegliche Halter mit seinem Referenzkörper gegenüber dem Objekt bewegt. Der Abstandsmesser mit seinen beiden entgegengesetzt ausgerichteten Abstandssensoren misst dabei jeweils den Abstand zwischen dem Referenzkörper und der zu vermessenden Oberfläche des Objekts anhand einer Vielzahl einzelner Messpunkte. Aus einem Vergleich der ermittelten Abstandsdaten kann schließlich auf die Kontur und die Oberflächenbeschaffenheit des zu vermessenden Objekts geschlossen werden.

[0025] Nach einer weiteren bevorzugten Ausgestaltung ist eine Steuereinheit vorgesehen, die dazu ausgebildet ist, zumindest den ersten Abstandssensor entlang der Flächennormalen des ersten Punkts des zu vermessenden Oberflächenabschnitts des Objekts auszurichten. Die Steuereinheit dient bevorzugt einer automatischen Justage und Drehbewegung des Abstandssensors derart, dass die von ihm emittierten Signale vom Objekt zurückreflektiert werden. Bei einer verspiegelten Oberfläche des Objekts erfolgt eine Rückreflexion im Bereich um 180° gegenüber dem emittierten Signal. Je nach Sensorausgestaltung kann auch bis zu 3° , 5° , oder 10° von der Flächennormalen des zu untersuchenden Oberflächenabschnitts abgewichen werden. Bei rauhen oder streuenden Oberflächen können andere, hiervon abweichende Ausrichtungen des Sensors gegenüber der Flächennormalen erforderlich werden. Beispielsweise kann die Ausrichtung des Sensors von einer Steuereinheit vorgegeben werden.

[0026] Es erweist sich als besonders vorteilhaft, dass der zweite, vom zweiten Abstandssensor ermittelbare Abstand zum Referenzkörper unmittelbar zur

Korrektur des vom ersten Sensor ermittelbaren Abstandswertes verwendet werden kann. Die Ausrichtung der beiden Sensoren oder des Abstandsmessers in Bezug auf das zumindest eine Referenzobjekt spielt dabei keine Rolle. Für die Korrektur oder Kompensation einer durch Drehung und/oder Verschiebung des Sensors bedingte Änderung des ersten Abstandes müssen insbesondere keine Positionskordinaten des ersten und/oder des zweiten Sensors ermittelt werden. Die beiden von den zueinander entgegengesetzt ausgerichteten Sensoren ermittelbaren Abstände können einer Steuereinheit zur Durchführung einer unmittelbaren Fehlerkorrektur zugeführt werden.

[0027] Nach einer weiteren bevorzugten Ausgestaltung sind sämtliche Abstandssensoren faseroptisch mit zumindest einer Lichtquelle gekoppelt. Eine freie Strahlpropagation erfolgt lediglich zwischen den jeweiligen Abstandssensoren und einer jeweils zugeordneten spiegelnden Referenzfläche. Die faseroptische Anbindung ist vergleichsweise wartungsarm und erfordert in aller Regel keine Nachjustage im Betrieb der Vorrichtung.

[0028] Nach einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung ist ferner zumindest der erste, dem Objekt zugewandte Abstandssensor mit mehreren Lichtquellen unterschiedlicher Wellenlänge gekoppelt, um den Abstand zum Objekt mittels eines Mehrwellenlängen-Messprinzips zu bestimmen. Ein solches Mehrwellenlängen-Messverfahren ermöglicht eine hochpräzise Abstandsmessung mit einer Auflösung im Nanometer- oder Subnanometerbereich und kann ferner einen Eindeutigkeitsbereich des Messergebnisses bis in den Millimeterbereich hinein bereitstellen. Bevorzugt werden als Lichtquellen weitgehend monochromatische Laser verwendet, deren Wellenlänge im Bereich zwischen 1520 und 1630 nm liegt. Die verwendeten Laserwellenlängen liegen typischerweise im S-, C- oder L-Band des optischen Telekommunikationsspektrums. Die Laserlichtquellen sind jedoch keineswegs auf den Infrarot-Spektralbereich beschränkt. So können grundsätzlich auch Wellenlängen im sichtbaren oder UV-Spektralbereich Verwendung finden.

[0029] Prinzipiell ist die Erfindung auch für einen mit lediglich einer Wellenlänge operierenden Abstandsmesser implementierbar. Mittels eines Mehrwellenlängen-Messverfahrens kann jedoch der Eindeutigkeitsbereich der empfangenen Signale sichtlich vergrößert werden. Die Abstandsmessung zum zu vermessenden Objekt erfolgt bevorzugt nach dem in der DE 10 2008 033 942 B3 beschriebenen Verfahren. Die jeweilige Phase oder Phasenlage der von der Objektoberfläche reflektierten Strahlen wird wellenlängenselektiv detektiert und im Zuge einer elektronischen Auswertung zur Bestimmung des Abstandes verarbeitet.

[0030] In einem weiteren, nebengeordneten Aspekt betrifft die Erfindung ferner ein Verfahren zur Vermessung zumindest eines Oberflächenabschnitts eines auf einem Träger gelagerten Objekts. Das Objekt ist dabei zumindest gegenüber einem ortsfesten Referenzobjekt fixiert und ein Halter, an welchem ein Referenzkörper sowie ein Abstandsmesser angeordnet sind, wird in einer das Objekt berührungslos abtastenden Bewegung in zumindest einer ersten Richtung gegenüber dem Referenzobjekt als auch gegenüber dem zu vermessenden Objekt bewegt. Im Zuge dieser abtastenden Bewegung wird mittels des Abstandsmessers ein erster Abstand zu einem ersten Punkt des Oberflächenabschnitts des Objekts sowie ein zweiter Abstand zu einem hiermit korrespondierenden zweiten Punkt des Referenzkörpers bestimmt. Aus der Messung dieser beiden Abstände kann ein Abstand der beiden Punkte präzise bestimmt werden.

[0031] Da die Position des zweiten Punkts auf dem Referenzkörper bekannt ist und die Lage bzw. relative Position des Referenzkörpers gegenüber dem Referenzobjekt mittels zumindest einem weiteren Abstandssensor gemessen wird, kann auf diese Art und Weise die Position des ersten, auf dem Objekt befindlichen Punktes gegenüber dem bekannten Referenzobjekt eindeutig und mit einer Präzision im Nanometer- oder Subnanometerbereich bestimmt werden.

[0032] Insoweit ist nach einer Weiterbildung zumindest ein dritter Abstandssensor vorgesehen, der den Abstand zwischen dem Referenzobjekt und dem Halter zumindest entlang einer ersten Richtung bestimmt.

[0033] Von Vorteil ist ferner ein zumindest vierter Abstandssensor vorgesehen, der bevorzugt im Wesentlichen senkrecht zum dritten Sensor ausgerichtet ist, um die Position des Halters in der von einem ersten und einem zweiten Referenzobjekt aufgespannten Ebene zu bestimmen.

[0034] Schließlich ist vorgesehen, dass anhand des ersten und des zweiten Abstandes, mithin des Abstandes zwischen Referenzkörper und zu vermessendem Objekt sowie anhand des Abstandes zwischen dem Referenzobjekt und dem beweglichen Halter die Position des ersten Punkts des zu vermessenden Oberflächenabschnitts des Objektes in Bezug auf das Referenzobjekt bestimmt wird. Im Zuge einer abtastenden oder scannenden Bewegung des Halters, bzw. einer hiermit sogar kombinierten Drehung des Referenzobjekts kann dessen gesamte Oberfläche punktweise abgetastet und mit einer Präzision im Nanometer- oder Subnanometerbereich vermessen werden.

Kurzbeschreibung der Figuren

[0035] Weitere Ziele, Merkmale sowie vorteilhafte Anwendungsmöglichkeiten der Erfindung werden in der nachfolgenden Darstellung eines Ausführungsbeispiels näher erläutert. Dabei bilden sämtliche im Text beschriebene als auch in den Figuren bildlich dargestellte Merkmale den Gegenstand der Erfindung. Es zeigen:

[0036] [Fig. 1](#) eine schematische Seitenansicht der Vorrichtung zum Vermessen eines Oberflächenabschnitts eines auf einem Träger gelagerten Objekts,

[0037] [Fig. 2](#) eine vergrößerte Darstellung des beweglich gelagerten Halters und

[0038] [Fig. 3](#) eine schematische Darstellung der faseroptischen Kopplung der in den [Fig. 1](#) und [Fig. 2](#) gezeigten Abstandssensoren mit diversen Laserlichtquellen und zugeordneten Detektoren.

[0039] Die in [Fig. 1](#) schematisch skizzierte Messeinrichtung weist zwei orthogonal zueinander angeordnete Referenzobjekte **18**, **20** auf, von denen sich das Referenzobjekt **18** im Wesentlichen in einer ersten Richtung (x) und das zweite Referenzobjekt **20** in einer hierzu senkrechten Richtung (y) erstreckt. An beiden Referenzobjekten **18**, **20** sind einzelne Referenzflächen **22**, **24** vorgesehen, die im vorliegenden Ausführungsbeispiel als Spiegelflächen ausgebildet sein können.

[0040] Ferner weist die Messeinrichtung **10** einen drehbar gelagerten Träger **12** auf, an dem ein zu vermessendes Objekt **14**, wie zum Beispiel eine optische Komponente, etwa eine Linse **14**, angeordnet ist. Der Objektträger **12** ist dabei um eine Drehachse **16** drehbar gelagert. Ferner weist die Messvorrichtung **10** einen in der x-y-Ebene beweglichen Halter **26** auf, der in [Fig. 2](#) in vergrößerter Darstellung gezeigt ist.

[0041] Der Halter **26** weist eine hier nicht näher bezeichnete Grundplatte auf, an welcher ein Referenzkörper **28** sowie ein Lager **32** zur drehbaren Lagerung zweier Abstandssensoren **34**, **36** angeordnet ist. Der Referenzkörper **28** weist eine dem Abstandsmesser **34**, **36** zugewandte, vorliegend etwa nach Art einer Zylinderinnenwandung ausgebildete Spiegel- oder Referenzfläche **30** auf. Diese ist bevorzugt als Hohlspiegel ausgebildet. Die Kontur der Referenzfläche **30** ist zur Kalibrierung der Messeinrichtung **10** präzise zu vermessen. Die Kontur und die einzelnen auf der Referenzfläche **30** abzutastenden Punkte **54** sind hinsichtlich ihrer Position bekannt und in einer Auswerteeinheit hinterlegt.

[0042] Der zwei entgegengesetzt ausgerichtete Abstandssensoren **34**, **36** aufweisende Abstandsmesser ist bezüglich einer Drehachse **48** drehbar am

Lager **32** gehalten. Die Drehachse **48** verläuft hierbei bevorzugt orthogonal zu der von den beiden Referenzobjekten **18**, **20** aufgespannten Ebene (x, y). Der zum Objekt **14** gerichtete Abstandssensor **34** ist hierbei bevorzugt als Mehrwellenlängen-Sensor ausgebildet, der zur Bestimmung eines absoluten Abstands zwischen dem Sensor **34** bzw. zwischen seinem Messkopf **50** und einem ausgewählten ersten Punkt **52** auf der zu vermessenden Oberfläche des Objekts **14** ausgebildet ist.

[0043] Die beiden Sensoren **34**, **36** sind hierbei zueinander fixiert. Sie sind zudem bezogen auf die Drehachse **48** diametral zueinander ausgerichtet. Eine Veränderung der Ausrichtung des Sensors **34** geht somit stets mit einer entsprechenden Richtungsänderung des Sensors **36** einher.

[0044] Der Sensor **34** misst dabei in Reflexionsgeometrie. Das heißt, der auf den Punkt **52** gerichtete Messstrahl wird identisch zurückgespiegelt und vom Messkopf **50** wieder detektiert, schließlich einer mit dem Messkopf **34** gekoppelten, in [Fig. 3](#) angedeuteten Sensor- bzw. Detektionseinheit **76**, **78**, **80**, **82** zugeführt. Je nach Kontur des zu vermessenden Objekts **14** und der relativen Positionierung des Halters **26** gegenüber dem Objekt **14** ist die Ausrichtung bzw. Orientierung des Sensorkopfs **34** zu verändern. Eine Drehung des Abstandssensors **34**, **36** um die Drehachse **48** kann jedoch eine Verschiebung des Abstandssensors **34** gegenüber dem Halter **26** mit sich bringen.

[0045] Indem der zweite Abstandssensor **36** in einer dem ersten Sensor **34** entgegen gerichteten Richtung auf die Referenzfläche **30** des Referenzkörpers **28** ausgerichtet ist, kann eine etwa durch die Drehbewegung **42** des Abstandsmessers **34**, **36** hervorgerufene Translation in Bezug auf den bekannten Referenzkörper **28** präzise gemessen und im Zuge der elektronischen Auswertung aufgenommenen bzw. detektierter Messsignale kompensiert werden.

[0046] Erfährt der Sensor **34** etwa rotationsbedingt eine Verschiebung zum Beispiel in Richtung zum Objekt **14**, würde dies den zu messenden Abstand **38** verringern. Eine solche Verschiebung würde aber gleichzeitig auch den zweiten Abstand, zwischen dem gegenüberliegenden Sensor **36** und der feststehenden Referenzfläche **30** quantitativ um das gleiche Maß vergrößern. Auf diese Art und Weise können etwaige drehbedingte Positionsungenauigkeiten des Abstandsmessers **34**, **36** präzise vom zweiten Sensor **36** durch Messung eines zweiten Abstands **40** gegenüber einem ausgewählten zweiten Punkt **54** auf der Referenzfläche **30** kompensiert werden.

[0047] Die Position des Halters **26** gegenüber den Referenzobjekten **18**, **20** kann mittels zweier weiterer Abstandssensoren **56**, **58** erfolgen, die jeweils den

Abstand **44** in y-Richtung bzw. den Abstand **46** in x-Richtung zum jeweiligen Referenzobjekt **18**, **20** ermitteln.

[0048] Die Ausrichtung des Abstandsmessers **34**, **36** gegenüber der Geometrie bzw. Position des Referenzkörpers **28** ergibt sich durch den zu vermessenden Punkt **52** auf der Oberfläche des Objekts **14**. Es ist hierbei denkbar, mittels geeigneter Sensoren und elektromechanischer Stelleinrichtungen den zum Objekt **14** hin gerichteten Abstandssensor **34** stets orthogonal zum jeweiligen Punkt **52** auszurichten. Der hierbei eingestellte Winkel des ersten und/oder des zweiten Abstandssensors **34**, **36** kann sodann zur Bestimmung des Abstands **40** Verwendung finden.

[0049] Der zu dem vorgegebenen Winkel tatsächlich gemessene Abstandswert **40** kann mit einem im Zuge eines Kalibrierprozesses aufgenommenen Referenzwert verglichen werden. Aus der Abweichung ergibt sich unmittelbar eine Längenkorrektur für den gemessenen Abstand **38**.

[0050] In [Fig. 3](#) ist ferner das der in den [Fig. 1](#) und [Fig. 2](#) gezeigte Messvorrichtung zugrundeliegende faseroptische Konzept schematisch dargestellt. Die Messvorrichtung weist im vorliegenden Ausführungsbeispiel vier Laser-Lichtquellen **60**, **62**, **64**, **66** unterschiedlicher Wellenlänge auf. Sämtliche Lasersignale werden hierbei dem Mehrwellenlängen-Abstandssensor **34** faseroptisch zugeführt. Mittels diesem kann nach einem Mehrwellenlängen-Messverfahren der Abstand **38** zu einem zu vermessenden Objekt **14** gemessen werden. Zumindest einer der verwendeten Laser **60** wird ferner für die übrigen drei Abstandssensoren **36**, **56**, **58** verwendet.

[0051] Die Abstandssensoren **36**, **56**, **58** werden dabei von ein und derselben Laser-Lichtquelle gespeist. Jeder dieser Sensoren kann demgemäß der [Fig. 2](#) skizzierten Abstand der jeweils zugeordneten Referenzkörper **28** bzw. Referenzobjekt **18**, **20** bestimmen. Die von den Sensoren **36**, **56** und **58** in Reflexionsgeometrie detektierten Messsignale werden faseroptisch einzelnen Detektoren **70**, **72**, **74** zugeführt, deren Signale einer zentralen Auswerteeinheit **84** zugeführt werden.

[0052] Insbesondere der Haupt-Abstandssensor **34**, der zum Vermessen einer an sich unbekanntem Topologie oder Oberfläche des Objektes **14** ausgebildet ist, wird mit Signalen von insgesamt vier Laserlichtquellen **60**, **62**, **64**, **66** gespeist. Das ebenfalls in Reflexionsgeometrie detektierte Signal wird ausgehend vom Detektor des Abstandssensors **34** einem Fasersplitter oder Demultiplexer **86** zugeführt, der das detektierte und von der Oberfläche des Objekts **14** reflektierte interferometrische Messsignal einzelnen Detektoren **76**, **78**, **80**, **82** wellenlängenselektiv zugeführt.

[0053] Mit einer geeigneten Auswerteelektronik, wie sie zum Beispiel aus der DE 10 2008 033 942 B3 bekannt ist, kann der Abstand **38** zwischen Abstandssensor **34** und zu vermessender Oberfläche des Objekts **14** im Nanometer- oder sogar Subnanometerbereich präzise ermittelt werden.

[0054] Es wird schließlich darauf hingewiesen, dass die Anzahl und Art der hier beschriebenen Laser-Lichtquellen sowie die Anordnung einzelner Detektoren nur beispielhaft gezeigt sind. Im Rahmen der Erfindung können vielfältigste Modifikationen hinsichtlich der Art und Anzahl sowie der faseroptischen Kopplung einzelner Lichtquellen und Detektoren vorgenommen werden.

Bezugszeichenliste

10	Messvorrichtung
12	Träger
14	Objekt
16	Drehachse
18	Referenzobjekt
20	Referenzobjekt
22	Referenzfläche
24	Referenzfläche
26	Halter
28	Referenzkörper
30	Referenzfläche
32	Lager
34	Abstandssensor
36	Abstandssensor
38	Abstand
40	Abstand
42	Winkel
44	Abstand
46	Abstand
48	Drehachse
50	Messkopf
52	Messpunkt
54	Messpunkt
56	Abstandssensor
58	Abstandssensor
60	Lichtquelle
62	Lichtquelle
64	Lichtquelle
66	Lichtquelle
70	Detektor
72	Detektor
74	Detektor
76	Detektor
78	Detektor
80	Detektor
82	Detektor
84	Auswerteeinheit
86	Fasersplitter, Demultiplexer

ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

Zitierte Patentliteratur

- DE 102008033942 B3 [[0003](#), [0029](#), [0053](#)]
- DE 602004004916 T2 [[0004](#)]

Patentansprüche

1. Vorrichtung zur Vermessung zumindest eines Oberflächenabschnitts eines auf einem Träger (12) gelagerten Objekts (14), mit:

– zumindest einem gegenüber dem Träger (12) fixierbaren Referenzobjekt (18, 20) und
 – einem in zumindest einer ersten Richtung (x, y) gegenüber dem Referenzobjekt (18, 20) beweglichen Halter (26), an welchem ein Referenzkörper (28) sowie ein Abstandsmesser (34, 36) angeordnet sind, die relativ zueinander drehbar gelagert sind, wobei der Abstandsmesser (34, 36) dazu ausgebildet ist, einen ersten Abstand (38) zu einem ersten Punkt (52) des Oberflächenabschnitts des Objekts (14) und einen zweiten Abstand (40) zu einem hiermit korrespondierenden zweiten Punkt (54) des Referenzkörpers (28) zu bestimmen.

2. Vorrichtung nach Anspruch 1, wobei der Abstandsmesser einen ersten, dem Objekt (14) zugewandten Abstandssensor (34) und einen zweiten, dem Referenzkörper (28) zugewandten Abstandssensor (36) aufweist.

3. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei der Abstandsmesser (34, 36) drehbar am Halter (26) gelagert ist und der Referenzkörper (28) drehfest am Halter (26) angeordnet ist.

4. Vorrichtung nach Anspruch 2 oder 3, wobei der Referenzkörper (28) eine auf die Drehbeweglichkeit des Abstandsmessers (34, 36) abgestimmte Referenzfläche (30) aufweist.

5. Vorrichtung nach Anspruch 4, wobei die Referenzfläche als Hohlspiegel (30) mit einer im Wesentlichen kreissegmentartigen Geometrie ausgebildet ist, dessen Mittelpunkt im Wesentlichen mit der Drehachse (48) des Abstandsmessers (34, 36) zusammenfällt.

6. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche 2 bis 5, wobei der erste und der zweite Abstandssensor (34, 36) diametral entgegengesetzt zueinander ausgerichtet sind.

7. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei ein Abstand (44, 46) zwischen dem Referenzobjekt (18, 20) und dem Halter (26) mittels zumindest eines dritten Abstandssensors (56, 58) bestimmbar ist.

8. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei der erste Punkt (52) und der zweite Punkt (54) auf einer gedachten Linie liegen, entlang derer der erste und der zweite Abstandssensor (34, 36) ausgerichtet sind.

9. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei der Träger (12) und das Referenzobjekt (18, 20) voneinander mechanisch entkoppelt sind.

10. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, ferner mit einer Steuereinheit (84), die dazu ausgebildet ist, zumindest den ersten Abstandssensor (34) entlang der Flächennormalen des ersten Punkts (52) des Oberflächenabschnitts des Objekts (14) auszurichten.

11. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei anhand des zweiten Abstands (40) eine durch die Drehung des Abstandsmessers (34, 36) bedingte Veränderung des ersten Abstands (38) kompensierbar ist.

12. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei sämtliche Abstandssensoren (34, 36, 56, 58) faseroptisch mit zumindest einer Lichtquelle (60, 62, 64, 66) gekoppelt sind.

13. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei zumindest der erste, dem Objekt (14) zugewandte Abstandssensor (34) mit mehreren Lichtquellen (60, 62, 64, 66) unterschiedlicher Wellenlänge gekoppelt ist, um den Abstand zum Objekt (14) mittels eines Mehr-Wellenlängen-Messprinzips zu bestimmen.

14. Verfahren zur Vermessung zumindest eines Oberflächenabschnitts eines auf einem Träger (12) gelagerten Objekts (14), welches gegenüber einem ortsfesten Referenzobjekt (18, 20) fixiert wird und wobei ein Halter (26), an welchem ein Referenzkörper (28) sowie ein Abstandsmesser (34, 36) angeordnet sind, in einer das Objekt (14) berührungslos abtastenden Bewegung in zumindest einer ersten Richtung (x, y) gegenüber dem Referenzobjekt (18, 20) bewegt wird und wobei mittels des Abstandsmessers (34, 36) ein erster Abstand (38) zu einem ersten Punkt (52) des Oberflächenabschnitts des Objekts (14) und ein zweiter Abstand (40) zu einem hiermit korrespondierenden zweiten Punkt (54) des Referenzkörpers (28) bestimmt wird.

15. Verfahren nach Anspruch 14, wobei mittels zumindest eines dritten Abstandssensor (56, 58) der Abstand zwischen dem Referenzobjekt (18, 20) und dem Halter (26) bestimmt wird.

16. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche 14 oder 15, wobei anhand des ersten und des zweiten Abstandes (38, 40) sowie des Abstandes zwischen dem Referenzobjekt (18, 20) und dem Halter (26), die Position des ersten Punkts (52) in Bezug auf das Referenzobjekt (18, 20) bestimmt wird.

Es folgen 3 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

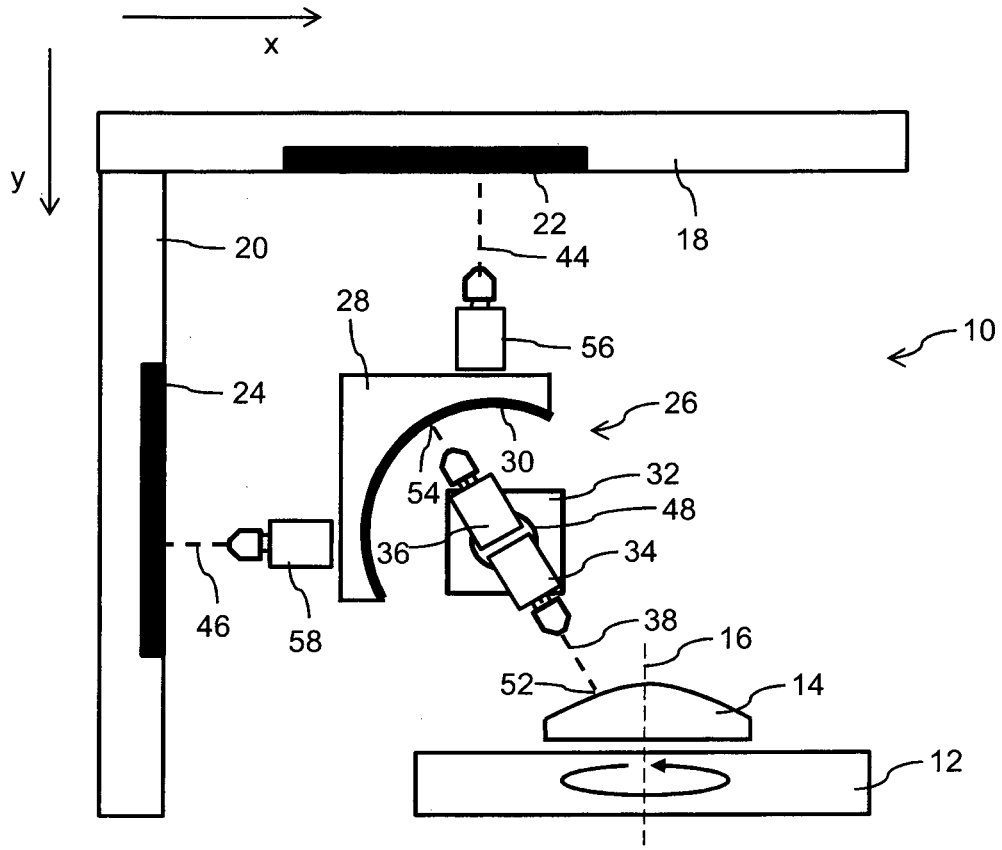


Fig. 1

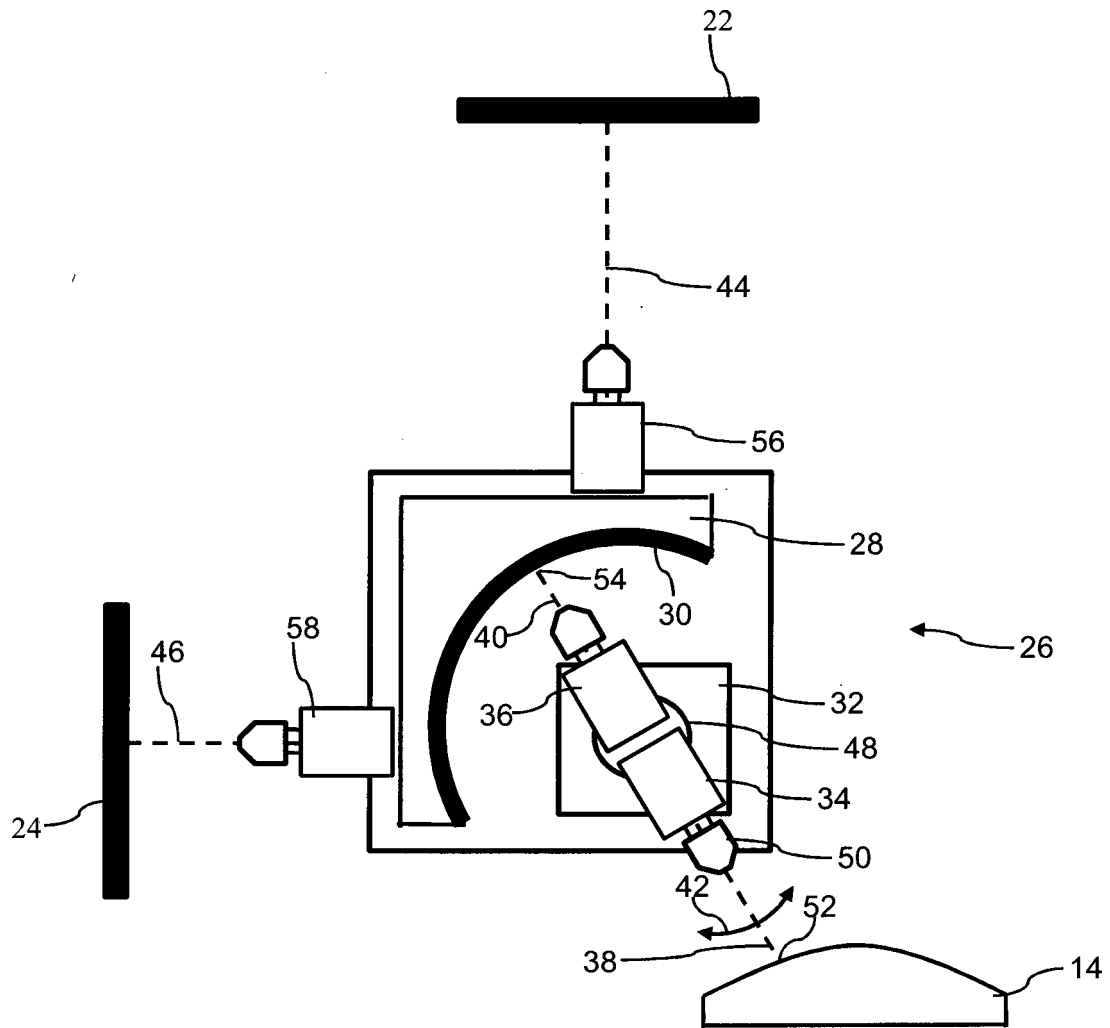


Fig. 2

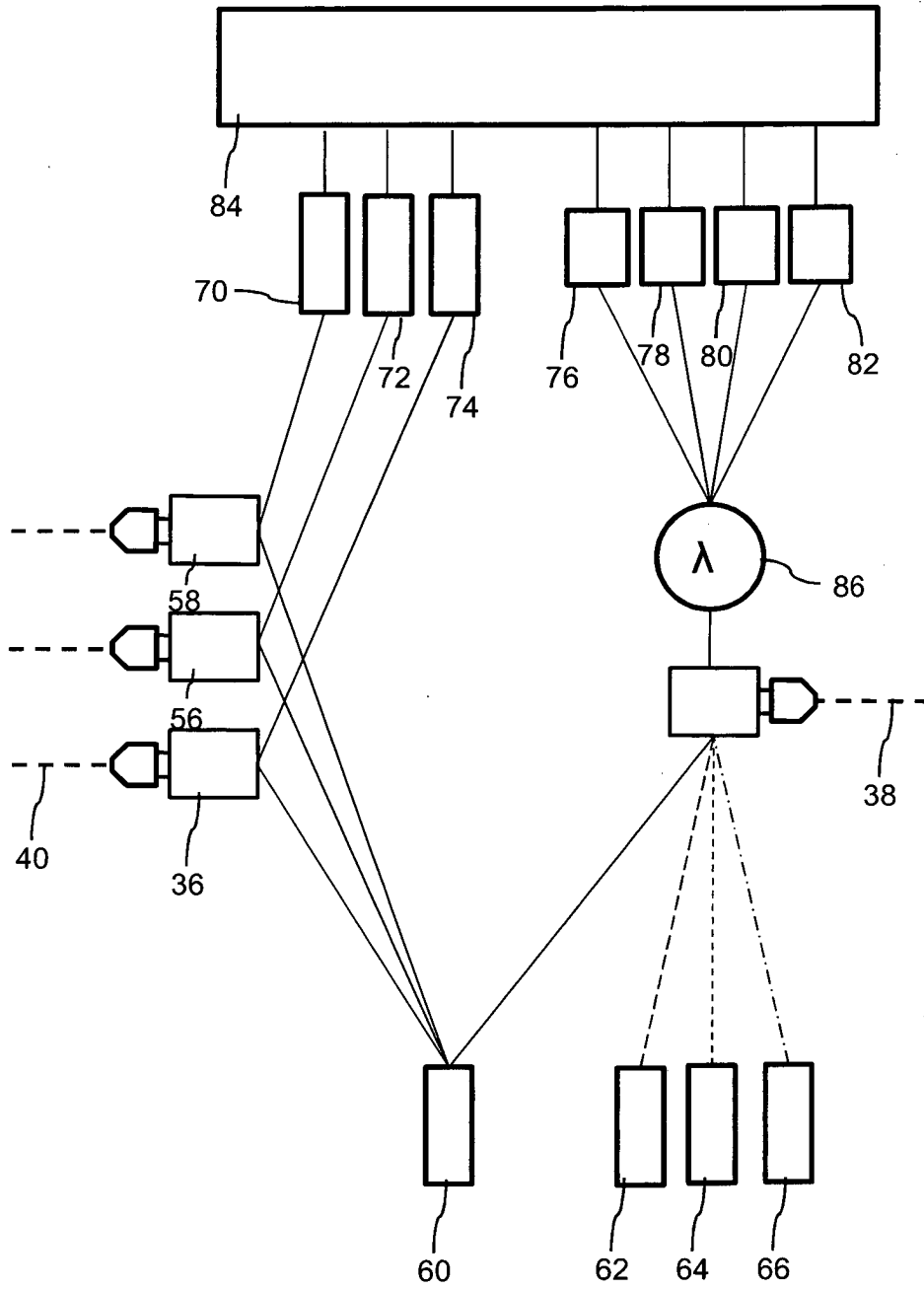


Fig. 3